



**Universidad  
de La Laguna**

Universidad de La Laguna

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Trabajo Final de Grado**

**Plan de mantenimiento de una planta  
desaladora**

Director

Ignacio Teresa Fernández

Autor

Guillermo Morales Pérez

Mayo 2024



## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>5</b>
<b>1.- Alcance</b>	<b>6</b>
<b>2.- Abstract</b>	<b>6</b>
<b>3.- Introducción</b>	<b>7</b>
<b>3.1.- El agua en Tenerife</b>	<b>7</b>
<b>3.1.1.- Aguas subterráneas</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2.- Aguas superficiales</b>	<b>8</b>
<b>3.1.3.- Aguas de producción industrial</b>	<b>8</b>
<b>3.2.- Gestión del agua en Canarias</b>	<b>9</b>
<b>3.3.- Situación hídrica actual</b>	<b>9</b>
<b>3.4.- El futuro de los recursos hídricos</b>	<b>13</b>
<b>4.- Descripción de una planta desaladora</b>	<b>14</b>
<b>4.1.- Procesos de desalación</b>	<b>14</b>
<b>4.1.1.- Evaporación o destilación</b>	<b>14</b>
<b>4.1.1.1.- Evaporación instantánea multietapa (M.S.F.)</b>	<b>14</b>
<b>4.1.1.2.- Destilación multiefecto en tubos horizontales (M.E.D)</b>	<b>14</b>
<b>4.1.2.- Membranas</b>	<b>15</b>
<b>4.1.2.1.- Electrodiálisis</b>	<b>15</b>
<b>4.1.2.2.- Nanofiltración</b>	<b>15</b>
<b>4.1.2.3.- Ósmosis Inversa</b>	<b>15</b>
<b>4.2.- Emplazamiento y tamaño de la planta</b>	<b>16</b>
<b>4.3.- Planta desaladora de agua de ósmosis inversa</b>	<b>16</b>
<b>4.4.- Descripción detallada de la planta a estudiar</b>	<b>18</b>
<b>4.4.1. Descripción de los procesos y sus equipos</b>	<b>18</b>
<b>4.4.2.- Relación de equipos a mantener</b>	<b>36</b>
<b>5.- Mantenimiento</b>	<b>38</b>
<b>5.1.- Tipos de mantenimiento</b>	<b>39</b>
<b>5.1.1.- Mantenimiento preventivo</b>	<b>39</b>
<b>5.1.2.- Mantenimiento predictivo</b>	<b>39</b>
<b>5.1.3.- Mantenimiento correctivo</b>	<b>39</b>
<b>5.2.- Procedimientos del mantenimiento</b>	<b>40</b>
<b>5.2.1.- Procedimiento del mantenimiento preventivo</b>	<b>40</b>

<b>5.2.2.- Procedimiento del mantenimiento predictivo</b>	52
<b>5.2.3.- Procedimiento del mantenimiento correctivo</b>	60
<b>5.3.- Asignación de trabajos</b>	61
<b>5.4.- Gestión del inventario y repuestos</b>	76
<b>5.5.- Actualizaciones y mejoras</b>	77
<b>5.6.- Seguimiento del mantenimiento</b>	78
<b>5.7.- Presupuesto</b>	93
<b>6.- Conclusiones</b>	94
<b>7.- Bibliografía</b>	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa de acuíferos y pozo existentes en Tenerife (CIATF)
- Figura 2:** Gráfica de anomalía de temperatura en diferentes décadas en Tenerife (Estudio D. Luis Martín)
- Figura 3:** Gráfica de anomalía de temperatura media por municipios en Tenerife en el año 2021 (Estudio D. Luis Martín)
- Figura 4:** Mapa de las tendencias pluviométricas anuales en Tenerife entre el 2005 y 2018 (MUNA)
- Figura 5:** Gráfica de la precipitación acumulada media en Tenerife entre 1981 y 2010 y la precipitación acumulada entre diciembre del 2023 y febrero de 2024 (AEMET)
- Figura 6:** Esquema de distribución de una planta desaladora por ósmosis inversa (WordPress)
- Figura 7:** Toma de agua abierta bajo el agua con flujo de entrada horizontal (Increa)
- Figura 8:** Tubería de PRFV (Global composites)
- Figura 9:** Bombas centrífugas verticales (Rovatti Pompe)
- Figura 10:** Tanque prefabricado de hormigón armado para almacenamiento de agua (PAVER)
- Figura 11:** Bomba dosificadora para productos químicos (Integradorwt)
- Figura 12:** Tanque para almacenamiento de ácido sulfúrico de polietileno de alta densidad (Steeler)
- Figura 13:** Bomba dosificadora de alta presión (Dosing Pump Shop)
- Figura 14:** Tanque para filtración (Filtros Albercas)
- Figura 15:** Tanque de PRFV con electroagitador (Prowater)
- Figura 16:** Filtro de cartuchos horizontal (Grupo PPA)
- Figura 17:** Filtro de cartuchos vertical (Grupo Dimasa)
- Figura 18:** Bomba horizontal multietapa de cámara partida (Sulzer)
- Figura 19:** Turbina pelton (DirectIndustry)
- Figura 20:** Configuración de membranas de fibra hueca (ACS)
- Figura 21:** Configuración de las membranas de arrollamiento en espiral (Ingeniero Marino)

- Figura 22:** Bastidor de membranas (ImWater)
- Figura 23:** Ensuciamiento coloidal en bastidor de membranas (Guía de desalación del Ministerio de Sanidad)
- Figura 24:** Precipitación de sulfato de calcio en bastidor de membranas (Guía de desalación del Ministerio de Sanidad)
- Figura 25:** Formación de biopelícula en bastidor de membrana de arrollamiento en espiral (Guía de desalación del Ministerio de Sanidad)
- Figura 26:** Silo de almacenamiento (Bupolsa)
- Figura 27:** Decantador de placa (Youtube)
- Figura 28:** Tanque de almacenamiento de dióxido de carbono (DirectIndustry)
- Figura 29:** Depósito de agua formado por virolas alargadas (Bupolsa)
- Figura 30:** Ejemplo de emisario marino con difusores y codo en punta (Aristegui Maquinaria)
- Figura 31:** Válvula de mariposa automática (SIO)
- Figura 32:** Válvula macho manual (CEMAT)
- Figura 33:** Válvula de bola PTFE (MasterIndustrial.com)
- Figura 34:** Esquema de control de una planta desaladora (Universidad de Murcia)
- Figura 35:** Imagen termográfica de una bomba centrífuga horizontal (Servicios QMT)
- Figura 36:** Equipo analizador de aceite portátil (Predictec)
- Figura 37:** Inspección boroscópica en una tubería (EDEMAQ)
- Figura 38:** Análisis de vibraciones (preditecnology)
- Figura 39:** Análisis de ultrasonidos (Terotecnic Ingeniería)
- Figura 40:** Diagrama de la resolución de las averías de los equipos
- Figura 41:** Organigrama de la planta de desaladora

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1:** Relación de equipos de la planta desaladora de estudio

**Tabla 2:** Acciones de mantenimiento preventivo de la planta

**Tabla 3:** Acciones de mantenimiento predictivo de la planta

**Tabla 4:** Asignación de los trabajos preventivos al personal de la planta desaladora

**Tabla 5:** Horarios de trabajos de los operarios

**Tabla 6:** Presupuesto

## *1.- Alcance*

El alcance de este trabajo es la planificación completa del mantenimiento de una planta desaladora, además, se detalla la situación hídrica de Tenerife y se describe una instalación desaladora de osmosis inversa.

## *2.- Abstract*

This final degree project focuses on the maintenance plan of a desalination plant, attempting to provide the necessary tools for the facility to operate in a concise and efficient manner. Tenerife's need to obtain drinking water has increased due to the drastic reduction in rainfall, in addition to the need to optimize the use of these resources to the maximum.

The main objective of this study is to carry out a maintenance plan that details the preventive, predictive and corrective tasks that must be carried out, in addition to the frequency of work, the assignment of workers and others actions that must be carried out. To achieve this objective, the background, the current situation and the probable future water situation of Tenerife have had to be explained. Also, the different desalination methods that exist have been explained, emphasizing the reverse osmosis method, the same as has been chosen for the study desalination plant. In addition, an analysis of a desalination station has been carried out, explaining the equipment that makes it up.

To carry out maintenance planning, the predictive studies that are usually carried out have been detailed in order to anticipate failures of the different equipment. In the same way, it is explained how to perform a failure analysis on those equipment in which a breakdown occurs. Different very important aspects are also taken into account, such as the qualification of workers; the facility's organizational chart; the documentation necessary to monitor maintenance; and the operational management of spare parts.

It is expected that the execution of this maintenance plan will help the desalination plant to work in a coordinated and efficient manner, comfortably complying with quality standards, in addition to contributing greatly to the environment and the citizens it supplies.

### 3.- Introducción

#### 3.1.- El agua en Tenerife

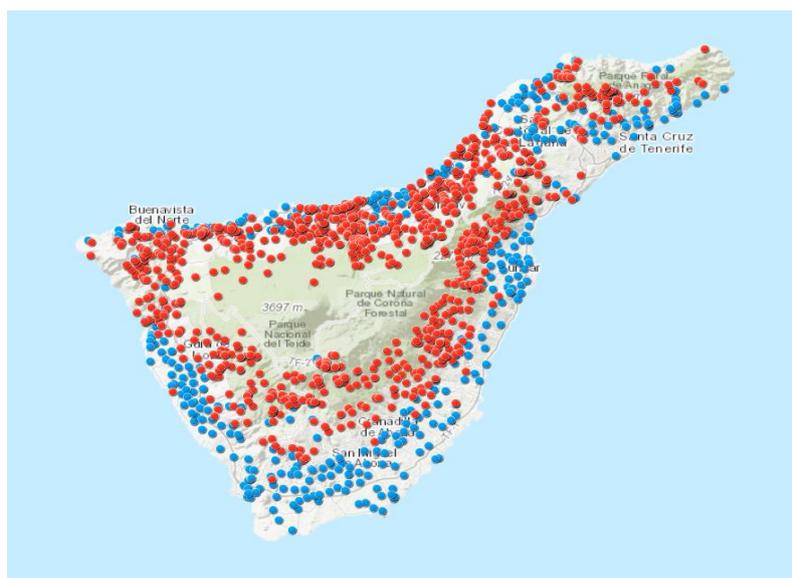
A pesar de tratarse de una isla sin ríos, Tenerife es una isla volcánica, lo que le permite tener diversas opciones para recolectar el agua proveniente de la lluvia. Es importante saber que desde los primeros pobladores se ha ido perfeccionando las técnicas en la captación del agua total que llega a Tenerife y su posterior almacenamiento, lo que es de vital importancia debido a que es un elemento necesario para la vida, que no se encuentra de forma abundante.

##### 3.1.1.- Aguas subterráneas

Las Islas Canarias, al tener un origen volcánico cuentan con un tipo de suelo muy poroso, lo que hace que el agua que llega a la superficie se infiltre. Para la recolección de esa agua se realizaron una red de galerías y pozos por todo el subsuelo de la isla. Tenerife, al tratarse de la isla con más extensión de tierra y la segunda que, de media, más precipitación anual recibe, por detrás de La Palma, tiene la mayor red de aguas subterráneas de Canarias.

La calidad de esta agua es buena en los acuíferos que se encuentran a mayor altura, y esta va bajando a medida que la altura a la que se encuentra la galería o el pozo se encuentra ya que tienen más presencia de sal.

La red subterránea de aguas de Tenerife cuenta con 393 pozos, con un caudal de 64 hm<sup>3</sup>/año y 1051 galerías, que almacenan 120 hm<sup>3</sup>/año



**Figura 1: Mapa de acuíferos y pozos existentes en Tenerife (CIATF)**

En esta imagen podemos ver la ubicación y la cantidad de galerías (marcas rojas) y pozos (marcas azules) con las que cuenta Tenerife, que en la antigüedad, eran capaces de proporcionar el 99% del agua que se utilizaba en la isla.

Aunque hoy en día la sobreexplotación de estos acuíferos y la poca protección del agua de estas procedencias están teniendo problemas de contaminación por nitratos y la salinización.

### *3.1.2.- Aguas superficiales*

En cuanto a las presas, no han tenido gran protagonismo en Canarias. A finales del siglo XX se realizan varias obras en Tenerife y Gran Canaria, siendo esta última donde son más importantes, debido a su éxito y gran capacidad, y numerosas. Tenerife solo cuenta con 12 presas, un número muy escaso debido a diferentes factores: Tenerife cuenta con una extensa red de agua subterránea; las pendientes muy elevadas en los cauces de los barrancos encarecen la construcción del embalse; en zonas áridas, se produce rápidamente aterramiento, sedimentación de material erosionado en el fondo del embalse, lo que hace decrecer la capacidad del embalse con los años.

### *3.1.3.- Aguas de producción industrial*

Indudablemente las desaladoras y depuradoras de agua están teniendo un papel fundamental en la obtención de agua dulce en los lugares costeros en los recientes años. La posibilidad de convertir el agua de mar en un agua con las características aptas para el uso agrícola y sobre todo, para el consumo humano es una gran herramienta para el desarrollo y sostenibilidad del entorno hídrico.

En Canarias han sido muy importantes para el posible desarrollo de todas las islas, favoreciendo el asentamiento de la población, el aumento del turismo, y el desarrollo de aquellos lugares más estéril. Las plantas desaladoras han ayudado en especial de Fuerteventura y Lanzarote, en esta última, gracias al avance tecnológico de la época, se instaló la primera planta desaladora de Europa en el año 1964. Esto situó a Canarias como un lugar de estudio en el ámbito de la desalación mundial. En estas islas, el porcentaje de utilización de agua desalada es del 95%, los sitios en Canarias que menos llueve y más uso hacen de las desaladoras. Le sigue Gran Canaria con un 62% y Tenerife con un 59%, las islas restantes se acercan bastante a este último valor.

Actualmente, Canarias cuenta con 281 plantas desaladoras en la provincia de Las Palmas y 46 en la provincia de Santa Cruz de Tenerife, la gran mayoría de ellas usan la tecnología de ósmosis inversa. Cabe remarcar que en toda España hay 765 plantas desalinizadoras.

Aun así, todas las islas están optando por incrementar el volumen de agua desalada, actualmente en 700.000 metros cúbicos al día, bien sea abriendo nuevas plantas o ampliando las actuales, para hacer frente a las necesidades de toda la población.

A pesar de que 60% del total del agua que se suministra proviene de la desalación, energéticamente solo ocupa poco más del 10% del total de uso en Canarias, consumiendo de media cada estación desaladora 4.5 kWh/m<sup>3</sup>, aunque las más nuevas pueden reducirlo hasta desaladora 3 kWh/m<sup>3</sup>. También es cierto que la mayor parte de consumo urbano de agua desalada va dedicado al regadío de los campos de golf, grandes extensiones de césped y vegetación que necesitan una ingente cantidad de agua.

En Tenerife, destacan las plantas desalinizadoras de Sanata Cruz de Tenerife, produciendo 28.000 m<sup>3</sup>/d; las de Fonsalía y Granadilla, estas están siendo renovadas para pasar de producir 14.000m<sup>3</sup>/d a 21.000 m<sup>3</sup>/d; también se está construyendo una en el Valle de Güimar, que obtendrá 16.000 m<sup>3</sup>/d; por último, cabe mencionar diferentes desaladoras portátiles repartidas por toda la isla, ejemplificando, se instalaron 2 desaladoras portátiles en la zona de la Isla Baja produciendo 2.000 m<sup>3</sup>/d.

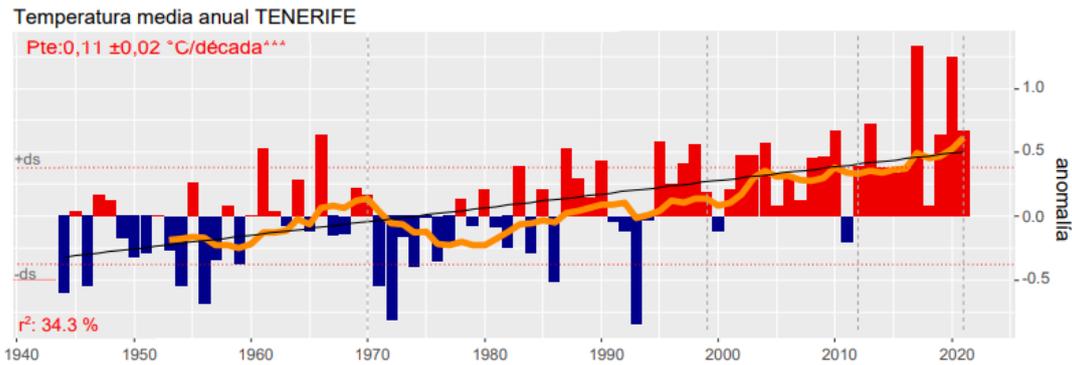
### 3.2.- Gestión del agua en Canarias

La Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas regula las aguas terrestres anteriormente mencionadas y la organización administrativa (Gobierno de Canarias, Cabildos, Consejos Insulares de Aguas). También se ordena el régimen de concesiones, captación, alumbramiento y el transporte de agua.

### 3.3.- Situación hídrica actual

Como bien sabemos, hoy en día el agua dulce es un recurso cada vez más escaso no solo en Canarias sino en todo el mundo. Desde hace años estamos muy familiarizados con el término “*cambio climático*”, y es que como comenta la ONU (Organización de Naciones Unidas), 2023 va camino de ser el año más cálido desde que hay datos, y es más, todo indica que el próximo año va camino de ser igual. Esta solo es una de las muchas consecuencias del cambio climático, otra en la que vamos a hacer hincapié es el aumento de las sequías, pero hay multitud de efectos adversos que ya estamos sufriendo, estos son: tormentas más potentes, aumento del nivel del mar, calentamiento del agua, desaparición de especies, escasez de alimentos y más riesgos para la salud, entre otros muchos más.

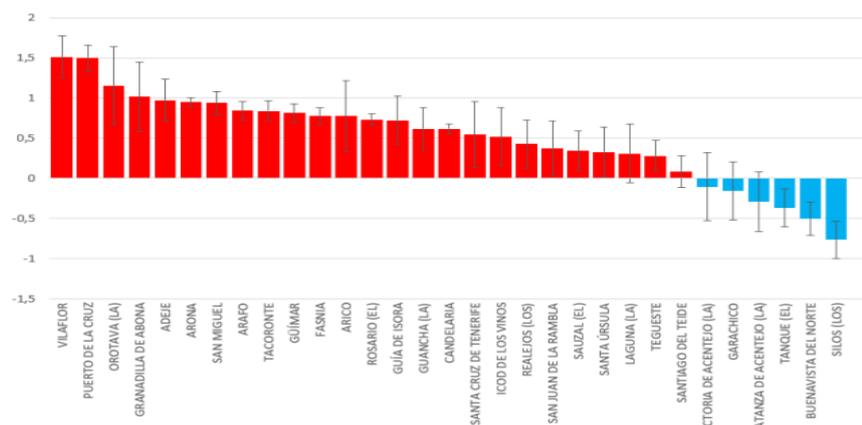
El aumento de la temperatura, quizás puede ser uno de los efectos más claros. Lo podemos ver reflejado en la siguiente gráfica, correspondiente a un estudio realizado por D. Luis Martín en 2021 [1] en el que analiza el cambio climático en Tenerife:



**Figura 2: Gráfica de anomalía de temperatura en diferentes décadas en Tenerife (Estudio D. Luis Martín)**

Desde 1978 la tendencia de la temperatura media en Tenerife es al alza, acentuándose sobre todo a partir de la década de los 90.

Según el mismo estudio podemos observar cómo el incremento de temperatura es un tema que afecta a la mayoría de los municipios de la isla:



**Figura 3: Gráfica de anomalía de temperatura media por municipios en Tenerife en el año 2021 (Estudio D. Luis Martín)**

Esta gráfica nos muestra como en el año 2021, 25 de los 31 municipios tinerfeños tuvieron una anomalía de temperatura media mayor que el promedio del periodo comprendido entre 1975-1999.

Por otro lado, un estudio realizado por investigadores del Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA) de la Universidad de La Laguna (ULL), ayudados por el superordenador Teide HPC y al diseño e interpretación de los datos del grupo GOTA, han diseñado un modelo climático con una extraordinaria precisión. Este modelo augura en el mejor de los casos un aumento de 2 grados y en el peor de los casos el aumento sería de 6 grados hacia el final del siglo. Notándose más en cumbres que en zonas costeras.

Por desgracia, la sequía también está notándose en nuestras islas, un fenómeno más desastroso que el aumento de las temperaturas.

La lluvia es indispensable en la tierra, ya que de ella se nutren todos los seres vivos.

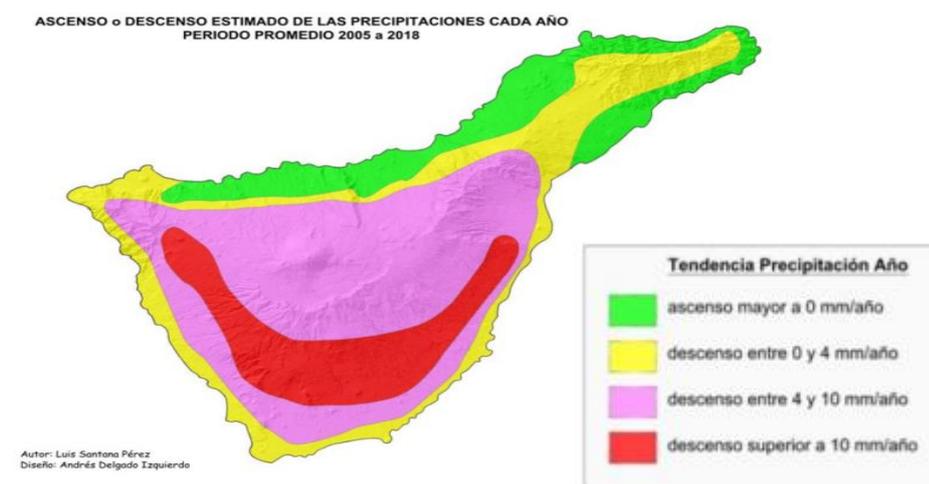
Las lluvias sobre España, y en especial en Canarias han disminuido de forma drástica, ocasionando sequías recurrentes o en el caso opuesto, lluvias torrenciales que desbordan ríos, anegan pueblos y destruyen cultivos.

En un estudio realizado por el Cabildo de Tenerife, en el que se hace un análisis estadístico sobre el cambio pluviométrico en la isla, observamos en el apartado 9 (sobre la tendencia de la serie temporal pluviométrica hasta el 2010), como en la mayoría de estaciones de las diferentes partes de la isla se obtiene una tendencia negativa, es decir, las precipitaciones han ido decreciendo. El estudio diferencia entre leve; apreciable; significativo; notable; e importante.

En la mayor cantidad de zonas se obtiene un decrecimiento de las precipitaciones de una manera apreciable- significativo, excepto en las zonas del Parque Nacional del Teide donde hay un aumento de forma notable; en el Valle de Güimar se registró un aumento en gran parte de las estaciones de la zona; y por último en las estaciones de Abona se obtuvo un aumento significativo de las precipitaciones.

Pero es a partir del 2005 cuando esta crisis pluviométrica se ha agravado. Como se puede apreciar en el estudio realizado por los Museos de Tenerife de Naturaleza y Arqueología [2] sobre las precipitaciones anuales en el siglo 21 en Tenerife.

#### MAPA ESQUEMÁTICO DE LAS TENDENCIAS PLUVIOMÉTRICAS ANUALES

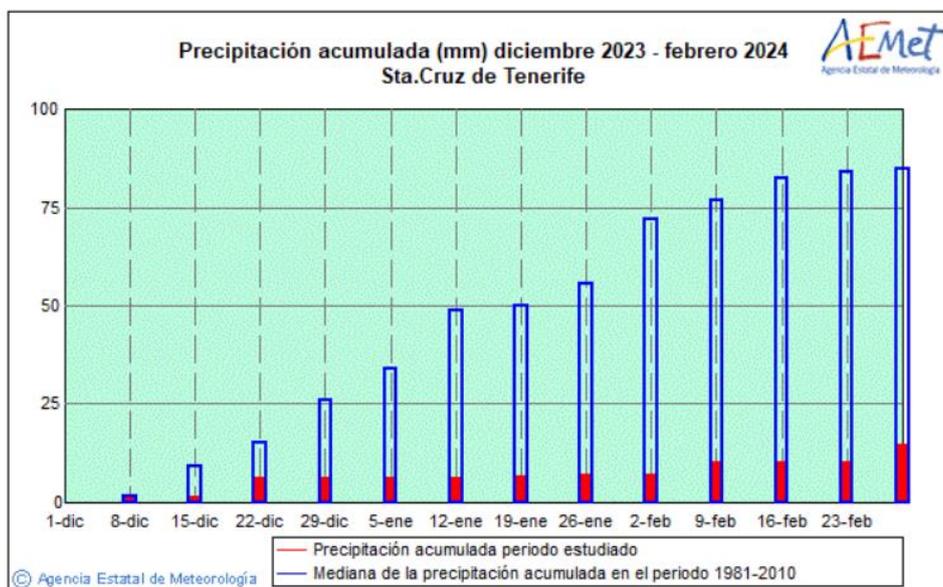


**Figura 4: Mapa de las tendencias pluviométricas anuales en Tenerife entre el 2005 y 2018 (MUNA)**

Hay un gravísimo descenso en las precipitaciones medias anuales, sobre todo en la vertiente oeste y sur de la isla, estas donde en los años anteriores gozaban de un aumento medio en las lluvias anuales. Aunque en las demás vertientes se puede apreciar

el aumento de las precipitaciones en zonas costeras y de medianías, no es suficiente para que se registre un acumulado que compense la falta de lluvias en el resto de Tenerife.

La emergencia hídrica de Tenerife es real y es que, el último invierno ha sido de los más secos desde que hay registros, según la AEMET.



**Figura 5: Gráfica de la precipitación acumulada media en Tenerife entre 1981 y 2010 y la precipitación acumulada entre diciembre del 2023 y febrero de 2024 (AEMET)**

Se puede apreciar, que el valor precipitado acumulado registrado no alcanzó ni el 20% de la acumulación media en la estación de Santa Cruz de Tenerife.

Pero es que en la estación del Aeropuerto de Tenerife Norte llegó apenas al 25%; en el Aeropuerto de Tenerife Sur la precipitación acumulada fue despreciable; y en Izaña no se alcanzó el 10% de la precipitación media.

Este drástico invierno forzó al Cabildo de Tenerife a declarar de forma unánime la situación de emergencia hídrica en Canarias para que el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) junto con Balsas de Tenerife (BALTEN), analicen la situación y ejecuten las acciones pertinentes para garantizar el abastecimiento de agua a la población y al sector agrícola.

Esta situación se produce después de un análisis técnico en el que BALTEN asegura que Tenerife se encuentra en medio de una sequía extrema y de larga duración en sus medianías; el nivel de almacenamiento de las balsas se encuentran al 34.6%, cuando el año pasado se encontraban al 52%; también ha disminuido las precipitaciones de todas las estaciones de la isla entre un 15 y 40%; la evotranspiración, es decir, la evaporación desde el suelo y la superficie de las plantas junto con la transpiración de las plantas, ha

subido entre el 10 y el 25%; estos factores han derivado en una necesidad de aumentar el agua entre un 15 y 30%.

Entre las principales medidas adoptadas se encuentran, a corto plazo, la instalación de 5 desaladoras portátiles en diferentes puntos de la isla mientras se realizan obras en las diferentes estaciones depuradoras y desaladoras de agua (mejoras de módulos para aumentar el volumen y la calidad del agua tratada, instalación de los mismos, ampliaciones en las estaciones). Además de medidas preventivas para intentar disminuir todo lo posible las pérdidas de agua en la red, también se insta a las administraciones y organismos a promover el uso eficiente del agua.

### *3.4.- El futuro de los recursos hídricos*

Como hablamos anteriormente, la situación crítica a la que se enfrenta a Tenerife y a Canarias entera nos afecta directamente a todos los ciudadanos no solo al sector agrario. Las medidas impulsadas por el Cabildo para frenar esta emergencia, en un intento desesperado de salvar al sector primario de la isla de un verano crítico para la agricultura y ganadería debido a la falta de agua y a la calidad de la misma, necesitan un compromiso de los habitantes de la isla para frenar el gasto de agua.

Ya son varios municipios los que han tomado medidas para intentar minimizar el derroche en el uso de agua. Mientras, el propio Cabildo y varios Ayuntamientos de zonas turísticas promueven diferentes proyectos para la realización de nuevos hoteles, centros comerciales e incluso de una nueva “ciudad” en Arona.

Con el aumento de la población residente y turística en Tenerife, junto con el consumo y gasto desmedido que ello supone; seguido del aumento anual de temperaturas, y con la sequía que se espera en los años venideros; además de los incendios, cada vez más usuales y destructores. Está claro que habrá que luchar de una manera concisa y eficaz para mantener los recursos hídricos necesarios para lograr una armonía que permita a la isla seguir prosperando.

En los próximos años serán primordiales tanto las desaladoras como las depuradoras de agua, ya que al estar en un terreno rodeado de agua salada, disponemos de un recurso “ilimitado” como el agua de mar. El agua desalada se usará para principalmente para consumo humano, y, en menor medida industrial, y agrícola. El agua que se pueda reutilizar irá a las depuradoras de aguas residuales para reutilizarla y que en este caso, exclusivamente serán de uso industrial y agrícola.

Indudablemente las plantas desaladoras han sido imprescindibles para el desarrollo de todas las islas, en especial de las islas más orientales. Pero hoy en día y sobre todo en los próximos años serán fundamentales para sostener la sobrecarga de uso que tienen las redes de agua de las islas y para asegurar que las Islas Canarias pueden seguir siendo habitables.

## *4.- Descripción de una planta desaladora*

### *4.1.- Procesos de desalación*

La evolución de las plantas desaladoras ha permitido desarrollar y perfeccionar múltiples técnicas para separar la sal del agua. Las más utilizadas durante estas décadas se pueden clasificar en: desalación mediante evaporación o destilación, y desalación por membranas.

#### *4.1.1.- Evaporación o destilación*

##### *4.1.1.1.- Evaporación instantánea multietapa (M.S.F.)*

En esta técnica, se evapora el agua a desalar en varias cámaras sucesivas.

En cada una de las cámaras la temperatura y la presión es menor que en la anterior. En ellas, se condensa el agua y al pasar a la siguiente, donde la presión es menor, provoca la evaporación súbita del agua, quedando la sal en el fondo del depósito.

A la siguiente cámara llega agua con menor concentración salina, ya que el vapor generado en la evaporación, es condensado y el ciclo prosigue hasta tener agua con las condiciones óptimas.

Esta técnica es la segunda más utilizada en el mundo, siendo utilizada en el 18% de las plantas desaladoras. Su principal defecto es el elevado coste energético.

##### *4.1.1.2.- Destilación multiefecto en tubos horizontales (M.E.D)*

El principio de funcionamiento de esta técnica es similar al de la anterior. También se tienen celdas en serie en las que la presión y la temperatura van decreciendo. La diferencia reside en que estas plantas tienen tubos verticales y horizontales que contienen vapor caliente, lo que actúa como un intercambiador de calor, ya que al pulverizarse agua, ese vapor se condensa y hace que el agua salada del lado exterior del tubo se evapore. Esto produce que ese vapor libre de sales, pase a la siguiente cámara y caliente la parte interna de los tubos mientras se condensa en forma de agua desalada, así continua el proceso hasta obtener un nivel de desalación correcto.

Como solo se tiene que hacer un calentamiento externo al principio del ciclo ya que se cuenta con un intercambiador de calor, se reduce mucho el gasto energético, a pesar de ello este tipo de planta solo representa el 8% del total de plantas.

## 4.1.2.- Membranas

### 4.1.2.1.- Electrodialisis

Este método consiste en dejar pasar iones a través de una corriente eléctrica por una serie de membranas selectivas catiónicas y aniónicas que permite la separación de los iones. Estas membranas son colocadas a escasos milímetros entre dos electrodos, permitiendo el paso del agua a desalar. Los iones de la sal, van circulando de una solución con menor concentración a otra con mayor concentración.

### 4.1.2.2.- Nanofiltración

En este proceso se opera por presión, haciendo que el soluto de bajo peso molecular (agua) cruce la membrana, y la sales sean retenidas total o parcialmente por la membrana.

Para este proceso se utiliza un tamaño de poro de entre 0.01 y 0.001 micras.

### 4.1.2.3.- Ósmosis Inversa

El principio de funcionamiento de esta técnica es muy similar al anterior, por presión y por medio de la membrana se separa el agua de moléculas e iones, sales alcalinas y alcalinotérreas, iones de metales pesados, alcoholes y azúcares.

El tamaño del poro de la membrana en este caso es menor a 1 nanómetro. Al tener menor permeabilidad, hay que trabajar con más presión de agua para que pueda atravesar la densa membrana, alrededor de 70 atmósferas.

También es muy importante que los componentes del permeado sean afines al material de la membrana para que se puedan disolver en su estructura y se difundan por ella.

El último método mencionado no elimina tantas impurezas como este, pero puede servir con un buen pretratamiento del agua antes de llegar a esta fase.

Esta técnica, actualmente es la más utilizada en todo el mundo, con un 70% del total de las plantas desaladoras de agua utilizando este método, ya que elimina el 99% de las partículas que se encuentran en el agua salada.

## 4.2.- Emplazamiento y tamaño de la planta

Las plantas desaladoras suelen estar localizadas a pocos metros del mar, debido a que cuanto mayor es la distancia de la planta al mar, mayor será la energía empleada en bombear el agua hasta donde se realiza el proceso de desalación, es por ello que como máximo se pueden encontrar a una distancia de 3 kilómetros desde donde se produce la captación de agua, aunque es extremadamente raro, la sequía extrema de los años venideros obligará a que cada vez sean más las plantas que se encuentren varios kilómetros tierra adentro.

El tamaño de la planta varía según los metros cúbicos de agua desalada que se pretenda producir al día debido a que tendrán que haber más cantidad de equipos o equipos que sean capaces de soportar más volumen de trabajo.

Para poner en contexto, la Desaladora de Santa Cruz de Tenerife, teniendo una capacidad para producir 28.000  $m^3$ /día, ocupa un terreno de aproximadamente 32.545 metros cuadrados.

## 4.3.- Planta desaladora de agua de ósmosis inversa

El plan de mantenimiento se realizará de una planta desaladora de ósmosis inversa debido a que son las más numerosas en el mundo y también en Canarias y Tenerife.

La primera fase consiste en la captación del agua bruta (agua de mar) desde el mar, por medio de tuberías y bombas que impulsan el agua hacia la siguiente fase.

En la segunda fase tiene lugar el pretratamiento del agua bruta, debido a que el agua de mar llega con múltiples impurezas tanto químicas como físicas.

El tratamiento químico que se realiza es el de situar el agua con un pH ácido, esto elimina la vida biológica que se encuentre en el agua. Después se suprimirá el cloro del agua ya que es un elemento altamente tóxico para el cuerpo humano, para ello se utilizará dióxido de azufre.

El siguiente paso es el tratamiento físico en el que el agua bruta tiene que pasar por varios filtrados para eliminar la materia en suspensión.

El primer filtrado se hace con arena, lo que nos permite eliminar la materia de hasta 50 micras. El segundo filtrado será con filtros de cartucho, lo que permite pasar el agua con sustancias menores a 10 micras. Es importante que este paso se haga con una circulación de agua muy lenta para que no se creen canales dentro de los filtros que hagan que el agua circule por ellos y por tanto no elimine sus impurezas.

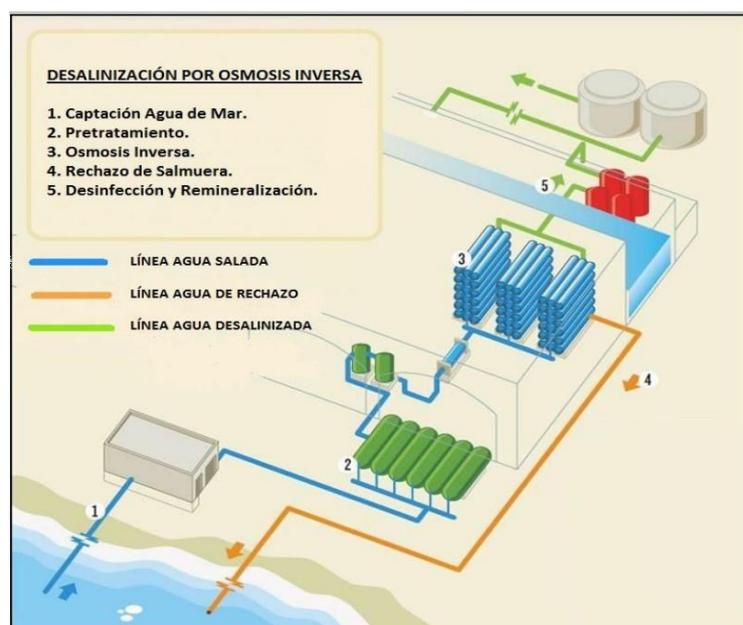
Esta fase es muy importante debido a que las membranas son muy sensibles a la variación de calidad del agua, por tanto, es primordial hacer un buen tratamiento del agua salada para que no se dañen las membranas.

Una vez terminado el pretratamiento el agua llega a la tercera fase, la desalación, donde se encuentra el bastidor de membranas. En esta fase se dispone de bombas de alta presión cuya misión es impulsar el agua entre 65 y 70 bares, para que pueda superar la presión osmótica del agua salada que es de entre 25 y 30 bares. Cuando el agua ya ha atravesado las membranas se encuentran dos soluciones, el agua desalada y la salmuera, agua con una concentración de entre 50 y 75 gramos de sal por litro de agua. Como a la salida del módulo de ósmosis inversa la salmuera sigue teniendo una gran presión, debido a que la pérdida de carga en el módulo es de solo 2 o 3 bares, se recupera la energía restante mediante turbinas para disminuir el consumo total de la planta. La salmuera, finalmente es devuelta al mar, ocasionando problemas en el entorno marino, aunque se están encontrando diferentes utilidades a este vertido, como puede ser su uso para la agricultura, o para la recuperación de los materiales contenidos en la sal.

Al agua desalada obtenida se le hace un análisis para determinar su contenido de sales, ya que las membranas no rechazan el 100% de las sales, según haya sido su pretratamiento o dependiendo del uso que se le vaya a dar a esa agua, habrá que hacer, o no, otro paso de ósmosis, en ese caso estaríamos hablando de una planta de dos pasos.

La cuarta y última fase es el postratamiento, en el que el agua producida es remineralizada mediante inyecciones de calcio y dióxido de carbono para que sea apta para el consumo humano, para ello se aumenta su pH hasta alrededor de 7.5, se reduce su dureza y se obtiene una conductividad de entre 400 a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Finalmente, el agua es almacenada y ya está lista para abastecer a la red.



**Figura 6: Esquema de distribución de una planta desaladora por ósmosis inversa (WordPress)**

#### 4.4.- Descripción detallada de la planta a estudiar

Dado que el objetivo de este trabajo no es el diseño de una planta desaladora, sino el estudio de la misma para desarrollar su plan de mantenimiento, la planta que se ha escogido tiene la configuración de equipos de una planta desaladora ya construida.

Supondremos una planta desaladora de ósmosis inversa muy similar a la Planta Desaladora de Marbella, con una caudal de producción de  $56.000 \text{ m}^3/\text{día}$ . Gracias a ACOSOL, una empresa de tratamiento de aguas, se ha obtenido la mayoría de equipos de la planta.

El volumen de agua desalada por día de la planta marbellí es muy superior a las plantas que a día de hoy hay en la Isla, puesto que la Estación Desaladora de Granadilla de Abona que abrió sus puertas en 2016 y tiene una capacidad de  $14.000 \text{ m}^3/\text{día}$ , pero que fue construida con la capacidad de en un futuro ser ampliada hasta los  $42.000 \text{ m}^3/\text{día}$ . De hecho, la Desaladora de Santa Cruz de Tenerife que tiene una capacidad de  $28.000 \text{ m}^3/\text{día}$  tendrá que ser ampliada hasta  $50.000 \text{ m}^3/\text{día}$  para evitar futuros desabastecimientos en la red, esta medida fue aprobada por el pleno del Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife en el mes de marzo y trasladada al Gobierno Estatal.

Por tanto, el plan de mantenimiento que se desarrolla en este trabajo podrá servir en no mucho tiempo para las plantas desaladoras de Tenerife, que tendrán que aumentar su capacidad a un valor cercano a  $50.000 \text{ m}^3/\text{día}$  para abastecer las futuras demandas de la Isla.

##### 4.4.1. Descripción de los procesos y sus equipos

###### Captación

Inicialmente, la toma de agua de mar será abierta, esto quiere decir que el agua se obtiene directamente desde el mar, sin la necesidad de ningún pozo.

El agua se obtiene a 500 metros de la costa a través de una estructura circular de hormigón de 7 metros de alto (4,5 metros están enterrados en la arena) y 3,68 metros de diámetro.

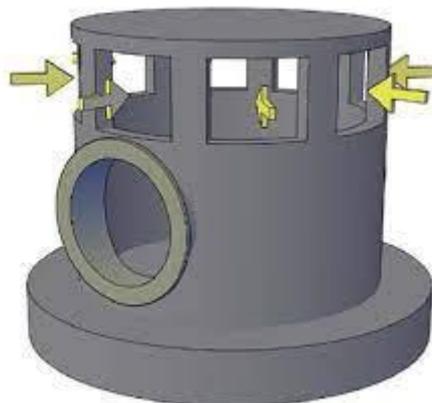


Figura 7: Toma de agua abierta bajo el agua con flujo de entrada horizontal (Increa)

Al tener la entrada de agua horizontal se reduce la succión de organismos respecto a la entrada vertical.

A ella se conecta una tubería enterrada en la arena de 2 metros de diámetro de PRFV (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio).

Estas tuberías se utilizan debido a sus grandes beneficios, tales como la resistencia a la corrosión, buen comportamiento frente a sobrepresiones, y nulo mantenimiento si se realizó una correcta fabricación y montaje.



**Figura 8: Tubería de PRFV (Global composites)**

La tubería lleva el agua de mar hasta la galería de toma de hormigón armado, de 11 metros de profundidad, 3 metros de ancho y 5 metros de largo. La galería desemboca en la cántara de aspiración, donde varias bombas impulsan el agua salada hasta la planta desaladora.

El bombeo del agua se realiza con 4 bombas centrífugas en posición vertical con grupo de autocebado. Cuyas características son:

- Caudal:  $1960 \text{ m}^3/\text{h}$
- Presión: 4,40 bar
- Tensión 6300 V, 1500 rpm
- Potencia: 275 kW



**Figura 9: Bombas centrífugas verticales (Rovatti Pompe)**

Estas bombas centrífugas transforman la energía mecánica en energía cinética, por medio de un impulsor de forma radial que gira dentro de la carcasa empujando el fluido hacia el centro de la bomba, creando una fuerza centrífuga que expulsa el fluido por el otro extremo creando un flujo constante. El autocebado en estas bombas es imprescindible ya que antes de su puesta en marcha, el aire que hay en el interior de la bomba es expulsado a la vez que se llena el sistema de bombeo con el agua en este caso.

Este sistema permite que la bomba trabaje de forma autónoma eliminando las bolsas de aire sin necesidad de que ningún operario intervenga.

Estas bombas permiten el impulso del agua de mar a una distancia lejana (2,5 kilómetros), también ocupan menos espacio que las bombas centrífugas horizontales, lo que permite poder utilizar 4 de ellas.

## Pretratamientos

El producto bruto, anteriormente bombeado hacia la instalación se almacena en un tanque de hormigón armado de 3000  $m^3$  de capacidad, es necesario instalar un equipo para el almacenamiento de agua entre la zona de captación y de tratamiento por cualquier inconveniente que pueda surgir durante la obtención de agua bruta, o por si se realiza algún mantenimiento a los equipos que conforman dicho proceso.



**Figura 10: Tanque prefabricado de hormigón armado para almacenamiento de agua (PAVER)**

Desde este tanque se realiza el impulsa el agua hacia los tanques donde se realiza el pretratamiento químico, mediante 9 bombas centrífugas horizontales, 8 en uso, y una de reserva.

Estas bombas tienen las siguientes características:

- Caudal: 660  $m^3/h$
- Presión: 4,20 bar
- Tensión 380 V
- Potencia: 150 kW

El primer tratamiento que se realiza al agua bruta es su desinfección, para que no haya partículas que ensucien o dañen en exceso las membranas, para ello se cuenta con una instalación con 2 depósitos de PRFV de  $15 m^3$  y dos bombas dosificadoras que suministran hipoclorito de sodio directamente a la tubería de impulsión a la E.T.A.P. (Estación de Tratamiento del Agua Potable), para a continuación pasar al siguiente tratamiento.



**Figura 11: Bomba dosificadora para productos químicos (Integrodorwt)**

Otro pretratamiento al que se somete al agua producto es el de acidificación, con este método se consigue regular el pH del agua, necesario para no dañar las membranas, para ello se utiliza ácido sulfúrico al 98%. Este líquido es altamente corrosivo y de peligrosa manipulación, el depósito debe tener capacidad para abastecer a la instalación 15 días.

Por ello, se usarán 2 depósitos de capacidad igual a  $15 m^3$ , este depósito tiene que ser de PEAD (Polietileno de Alta Densidad), un material con alta resistencia y gran rigidez, además de comportarse bien ante cambios de temperatura, y lo más importante, no es atacado por ácidos ni disolventes.

Además, este equipo contará con 4 bombas dosificadoras, dos para cada equipo de almacenamiento, siendo 1 de reserva. La adición del ácido se hará mediante una válvula conectada a un variador que permitirá la entrada según el nivel de pH.



**Figura 12: Tanque para almacenamiento de ácido sulfúrico de polietileno de alta densidad (Steeler)**

Este depósito se encontrará dentro de un cubeto, recubierto interiormente de baldosa antiácido, además la instalación donde se encuentre tiene que tener la ventilación necesaria para evitar la acumulación de gases.

La siguiente estación química es la dosificación del coagulante, en ella se añade cloruro férrico al agua bruta con el fin de atraer sustancias que haya en el agua y se concentren formando pequeños coágulos de materia orgánica, que será atrapada por el filtro de arena en el siguiente paso.

En esta estación se ubican 2 tanques de PRFV de 4 m<sup>3</sup> y 5 bombas dosificadoras, 2 por tanque y una de reserva general.



**Figura 13: Bomba dosificadora de alta presión (Dosing Pump Shop)**

En el siguiente paso, se colocan 24 filtros de arena en paralelo, de este modo todo el caudal se reparte entre ellos. Estos filtros son cilíndricos y están en posición horizontal, de 3 metros de diámetro y 11 metros de largo, están fabricados en acero al carbono revestidos interiormente por una capa de neopreno, el material filtrante es la arena de sílex.

Estos filtros se encargan de eliminar toda materia orgánica de hasta 50 micras, a una velocidad de 11 m/h.



**Figura 14: Tanque para filtración (Filtros Albercas)**

Para el lavado de los filtros, proceso que se realiza para eliminar el polvo superficial y eliminar los cúmulos que se crean por el uso de los filtros con el tiempo y evitar que el producto bruto circule por canales formados por el agua lo que provoca disminución del filtrado de la misma, se dispone de:

2 Bombas de lavados de filtro de arena

-Caudal: 500  $m^3/h$

-Presión 3,70 bar

2 Soplantes (motor y compresor)

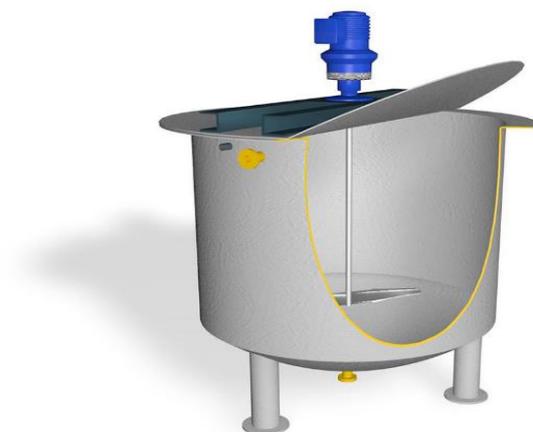
-Caudal: 2065  $m^3/h$

-Presión 0,5 y 1 bar

- Compresor de 3300 r.p.m. con cabina de insonorización

Posteriormente a este proceso, al agua salada se le somete a un tratamiento con antiincrustantes (sulfatos de calcio), aunque en el tratamiento de agua de mar no son estrictamente necesarios, su colocación es conveniente. El objetivo de este proceso es evitar la concentración de sales, evitando así que se adhieran a las paredes y a las membranas de las siguientes fases.

La planta cuenta con dos tanques  $3.5 \text{ m}^3$  de PRFV, los cuales tienen un electroagitador (mezclador) para mejorar la disolución de desincrustante, que es dosificado por 5 bombas dosificadoras, siendo 1 de reserva.



**Figura 15: Tanque de PRFV con electroagitador (Prowater)**

Por último, el agua bruta llega a 4 filtros de cartucho horizontales además de a 12 verticales construidos de igual forma que los filtros de arena. En cambio, estos filtros restringen el paso de sustancias por medio de cartuchos de polipropileno de 40 micras.



**Figura 16: Filtro de cartuchos horizontal (Grupo PPA)**



Figura 17: Filtro de cartuchos vertical (Grupo Dimasa)

## Membranas

Para hacer circular el agua a desalar por los bastidores de membranas y optimizar al máximo su rendimiento hay que elevar la presión del agua bruta 70 bares de presión para superar la presión osmótica del agua.

A la salida del pretratamiento se impulsará el agua con 8 bombas centrífugas horizontales multietapa y de cámara partida. Los principales beneficios de este tipo de bombas es su robustez, alta estanqueidad, escaso mantenimiento, modificación a partir de añadir o suprimir etapas, según sea el volumen de agua a tratar y con un rendimiento sobre el 80%. Por otro lado, su principal inconveniente es su precio elevado.

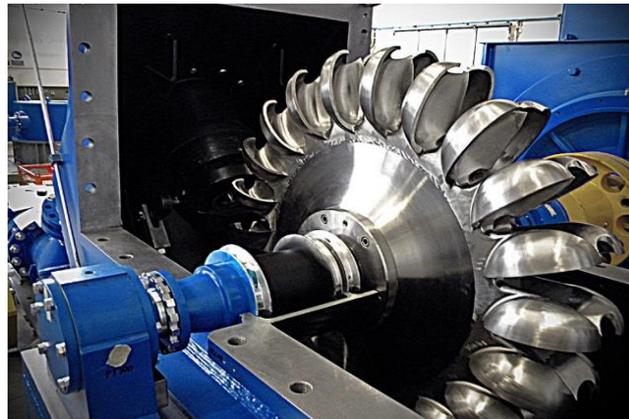


Figura 18: Bomba horizontal multietapa de cámara partida (Sulzer)

Cada bomba presenta las siguientes características:

- Caudal:  $652 \text{ m}^3/\text{h}$
- Presión: 70 bar

El agua rechazada (salmuera) al salir de las membranas alimenta la turbina Pelton, esta se conecta al motor de las bombas, recuperando así la gran presión que reside en la salmuera aligerando el consumo de energía utilizado por la planta.



**Figura 19: Turbina pelton (DirectIndustry)**

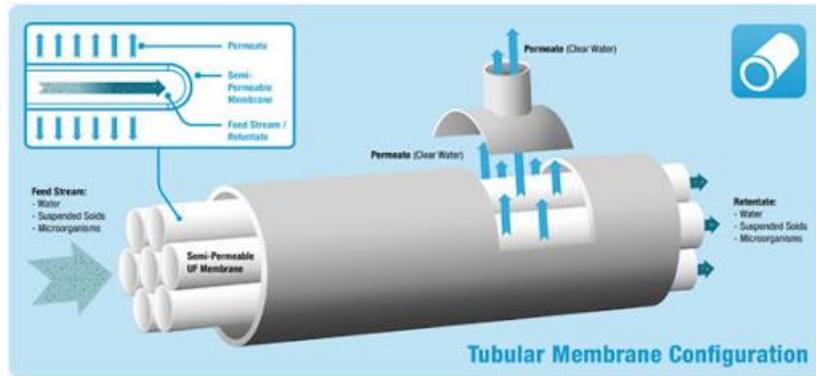
En total existen 9 turbo-bombas, 8 en utilización, alimentando cada una a un bastidor membranas, y una de reserva.

En cuanto a los bastidores de membranas, en la planta se encuentran los 8 en paralelo.

6 bastidores son de membranas de fibra hueca, fabricadas por la empresa Dupont. Este tipo de membranas están formadas por millones de tubos capilares del tamaño de un pelo, pero interiormente huecos.

Como podemos apreciar en la figura 20, cuando el agua a presión entra por un extremo, circula por el interior del bastidor con las paredes de fibra actuando como filtro ya que a mitad del módulo, los capilares se encuentran sin salida, ahí se retienen las sales y el agua sigue circulando por el interior del módulo hasta salir del módulo. La salmuera se desplaza por el borde del tubo y es posteriormente evacuada.

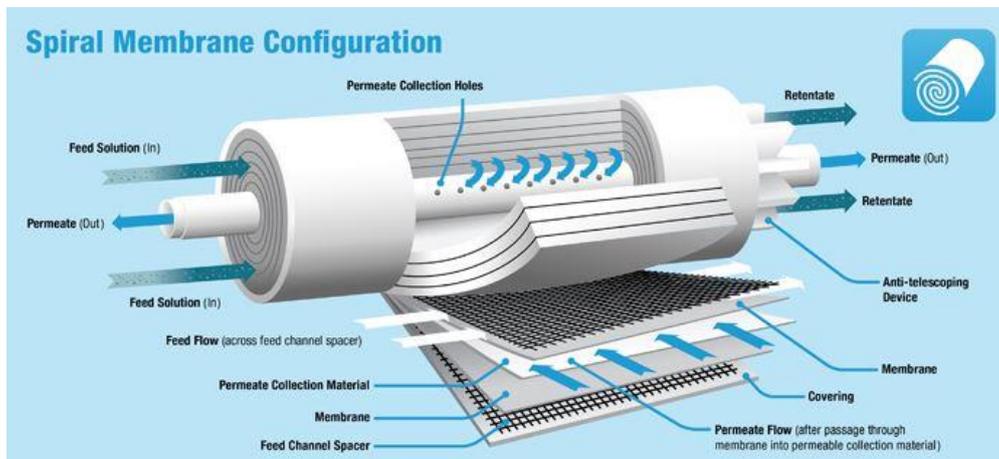
Los tubos que contienen en su interior dos membranas están contruidos en PRFV, ya que se necesita un contenedor anticorrosivo.



**Figura 20: Configuración de membranas de fibra hueca (ACS)**

En cada bastidor Dupont, se encuentran 198 tubos de presión, y por tanto 396 membranas.

Los otros 2 bastidores son de membranas en espiral, fabricados por Hydranautics. Este tipo de membranas está formado por varias láminas de filtro arrolladas sobre un eje longitudinal con perforaciones por el que circula el producto bruto y permite al agua de mar atravesar el conjunto láminas, las cuales no dejan pasar los iones de sal.



**Figura 21: Configuración de las membranas de arrollamiento en espiral (Ingeniero Marino)**

Estos 2 bastidores de Hydranautics cuentan con 99 tubos de presión y en el interior de ellos 7 membranas, por tanto, el bastidor cuenta con 693 membranas.



**Figura 22: Bastidor de membranas (ImWater)**

Como el agua producto que llega a las membranas todavía contiene impurezas, entre ellas destacan óxidos metálicos, microorganismos, partículas coloidales, estas pueden dañar las delicadas membranas.

Por ello, es muy importante realizar un buen pretratamiento al agua de mar para optimizar el rendimiento de las membranas y asegurar su buen estado.

Los tipos más comunes de ensuciamiento son:

- Ensuciamiento coloidal



**Figura 23: Ensuciamiento coloidal en bastidor de membranas (Guía de desalación del Ministerio de Sanidad)**

- Incrustaciones de materia inorgánica



**Figura 24: Precipitación de sulfato de calcio en bastidor de membranas (Guía de desalación del Ministerio de Sanidad)**

- Formación de colonias biológicas



**Figura 25: Formación de biopelícula en bastidor de membrana de arrollamiento en espiral (Guía de desalación del Ministerio de Sanidad)**

Para la limpieza de los bastidores, el Ministerio de Sanidad recomienda una periodicidad de al menos una vez al año o cuando la presión diferencial a la entrada y salida del bastidor caiga entre un 10 y 15 % del rendimiento del diseño inicial.

Para el lavado de las membranas, que se realiza con la planta parada, se realiza una solución con agua sin cloro y otros productos químicos con pH entre 4 y 10 ya que no afecta a los componentes de las membranas.

Para esta limpieza se necesitan los siguientes equipos:

- Tanque electroagitador de PRFV para preparación de la solución para la limpieza
- Bomba centrífuga horizontal para circulación de la solución
- Filtro de cartuchos para evitar la entrada de suciedad durante la recirculación de la solución

## Postratamientos

El primero de los postratamientos que se realizan una vez el agua ya ha sido desalada correctamente tras su paso por las membranas es el de recalificar el agua, para hacer potable el agua desalada, para este proceso se necesita:

- Silo de almacenamiento de cal de  $82 m^3$
- Depósito de  $2 m^3$  para lechada de cal
- Cámara de mezcla de  $10 m^3$
- Decantador de placa de  $90 m^3$
- Depósito de dosificación de  $6 m^3$
- 3 bombas centrífugas verticales



**Figura 26: Silo de almacenamiento (Bupolsa)**

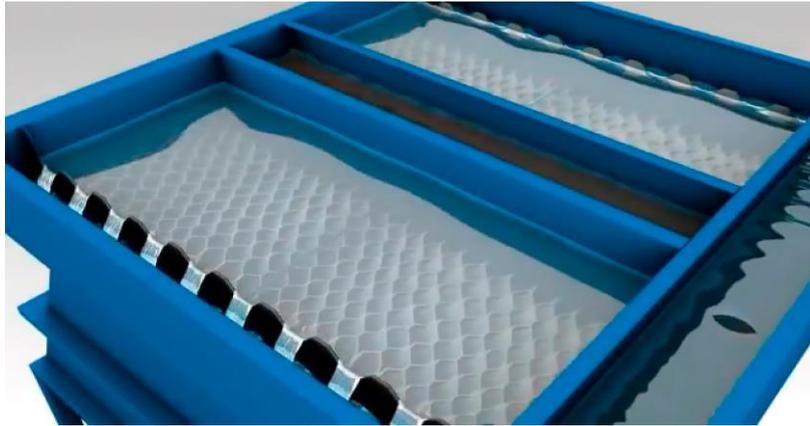


Figura 27: Decantador de placa (Youtube)

En el proceso, las bombas dosifican las cantidades justas de cal al agua (sensor de pH y conductividad del agua), posteriormente se mezclan las dos sustancias y se decantan para eliminar el exceso de cal. Finalmente se impulsan mediante las bombas centrífugas verticales a la tubería que lleva el agua a la siguiente etapa.

Como última preparación para hacer el agua apta para consumo humano el agua tratada entra a la instalación de CO<sub>2</sub>, la cual posee un tanque de almacenamiento de dióxido de carbono de 21 Toneladas.

En este proceso se dosifica las cantidades necesarias (mediante equipos de medida) de CO<sub>2</sub> al agua, para reducir su dureza, directamente en la tubería de impulso a E.T.A.P.

Una vez finalizado este parte del proceso, el agua desalada remineralizada está lista para abastecer a la red llega al depósito de la E.T.A.P.



Figura 28: Tanque de almacenamiento de dióxido de carbono (DirectIndustry)

## Almacenamiento de agua desalada

El agua ya desalada y remineralizada se almacena en un depósito cilíndrico de 20 metros de diámetro y 10 metros de altura, formado por virolas de acero al carbono y pintado exterior e interiormente con pintura epoxi para proporcionar al depósito mayor protección contra la luz, la temperatura, además de mayor resistencia al tanque.



**Figura 29: Depósito de agua formado por virolas alargadas (Bupolsa)**

A este depósito van conectadas 3 bombas centrífugas horizontales cuyas características son:

- Caudal:  $860 \text{ m}^3/\text{h}$
- Presión: 8 bar

La función de estas 3 bombas es la de conducir el agua desalada, a través de una tubería de 700 milímetros de diámetro al embalse donde se mezcla naturalmente con el agua allí alojada.

## Rechazo de salmuera

Por último, una vez la salmuera ha pasado por la Turbina Pelton, tiene que ser desechada al mar de la forma que menos altere las condiciones marinas. Por ello la salmuera se conduce por un colector subterráneo de PRFV de 1,6 metros de diámetro hasta el punto donde, mediante un emisario submarino se mezcla con el agua marina.

Este último proceso se realiza mediante 8 difusores de 250 milímetros de diámetro y 1 codo en punta (extremo del emisario en la figura 27) de 900 milímetros de diámetro.

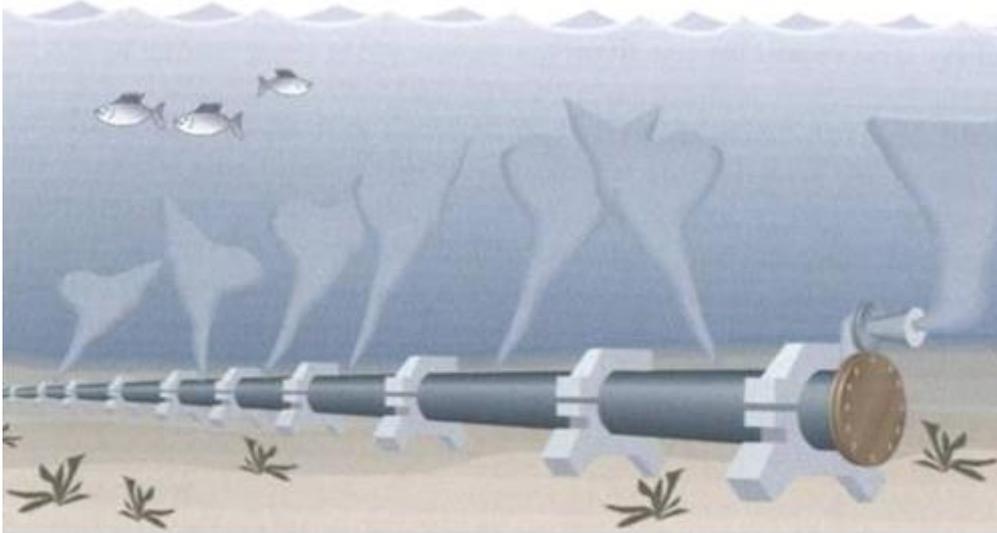


Figura 30: Ejemplo de emisario marino con difusores y codo en punta (Aristegui Maquinaria)

## Válvulas

Las válvulas se encargan de permitir el paso de agua a la entrada y a la salida de los equipos, regulando el proceso de desalación.

Se usarán válvulas de mariposa automáticas de acero inoxidable de alta calidad en los siguientes procesos:

- Bombeo intermedio (Almacenamiento de agua de mar-Filtros)
- Entrada y salida de agua los filtros de arena y de cartucho
- Bombas de dosificación
- Entrada y salida de equipos de almacenamiento de agua



**Figura 31: Válvula de mariposa automática (SIO)**

Se usarán válvulas macho manuales de acero inoxidable de alta calidad en los siguientes procesos:

- Bombeo de impulsión de agua marina a la planta
- Bombeo de agua producto a los bastidores de ósmosis inversa
- Entrada y salida de los bastidores de ósmosis inversa
- Entrada y salida de la Turbina Pelton
- Impulsión de los equipos de lavado de filtros



**Figura 32: Válvula macho manual (CEMAT)**

En la instalación de ácido sulfúrico se encuentran válvulas de bola de politetrafluoroetileno (PTFE) a la entrada y salida de las bombas de dosificación y en el tanque de almacenamiento.



**Figura 33: Válvula de bola PTFE (MasterIndustrial.com)**

## Instrumentos de medida

Los instrumentos de los que dispone esta planta son realmente variados y nos permiten tener conocimiento sobre todos los indicadores necesarios para realizar correctamente cada proceso de la planta.

Cada proceso dispone de los siguientes instrumentos de medida:

- **Captación de agua**
  - Medidor de pH del agua de mar
  - Medidor de conductividad (mide el valor de conductividad del agua bruta)
  - Medidor de temperatura del agua
  
- **Tratamientos químicos**
  - Medidor de nivel de los depósitos
  - Medidor de concentración de los productos
  - Medidor de temperatura
  
- **Filtros de arena y de cartuchos**
  - Medidor de presión diferencial a la entrada y salida del filtro
  
- **Bombes de equipos de alta presión**
  - Manómetro (medidor de presión) en la aspiración e impulsión de las bombas
  
- **Bastidor de membranas**
  - Medidor de temperatura a la entrada de los bastidores
  - Medidor de pH a la entrada de los bastidores
  - Medidor de presión diferencial a la entrada y salida del bastidor
  - Manómetro a la entrada y salida del producto y del rechazo
  - Medidor de conductividad a la salida del agua producto
  - Medidor de caudal del agua a la salida de los bastidores
  
- **Bombeo de agua desalada**
  - Manómetro en la impulsión hacia la E.T.A.P. y al embalse
  
- **Depósitos de almacenamiento de aguas**
  - Medidor de nivel de los depósitos

Todos estos sensores están conectado al equipo de control que semiautomáticamente (supervisado por los empleados de control) se encargan de según los indicadores que

registran los instrumentos permiten o restringen el paso del agua por las válvulas. Además, son imprescindibles en las tareas de mantenimiento, en especial del mantenimiento predictivo ya que podremos detectar fallas y deterioros en los equipos por los niveles que estos instrumentos nos indiquen.

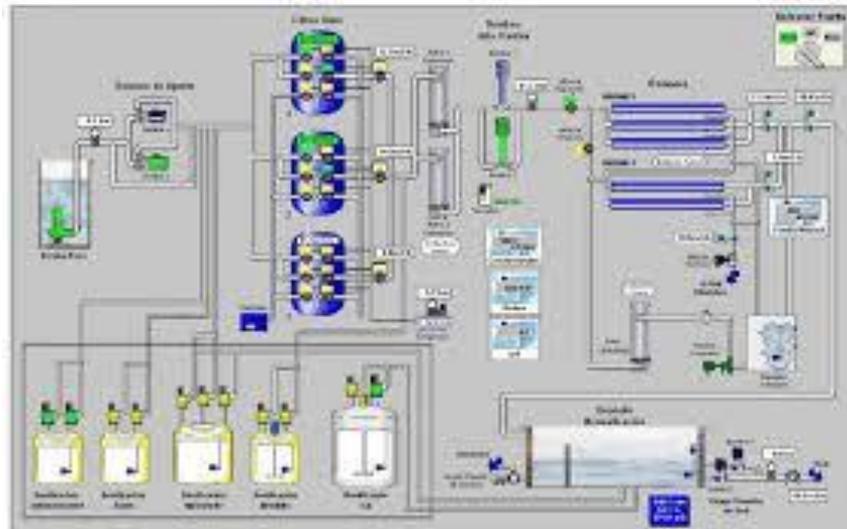


Figura 34: Esquema de control de una planta desaladora (Universidad de Murcia)

#### 4.4.2.- Relación de equipos a mantener

LÍNEA DE PROCESO		EQUIPO
Captación de agua		Toma de agua subacuática
		Tubería de PRFV subacuática
Impulsión a planta		Bomba centrífuga vertical
		Tanque de hormigón armado de 3000 m <sup>3</sup>
		Bomba centrífuga horizontal
Pretratamiento	Desinfección	Bomba dosificadora
		Depósito de PRFV
	Acidificación	Bomba dosificadora
		Depósito de PEAD
	Coagulación	Bomba dosificadora
		Depósito de PRFV
	Filtro de arena	Filtros de arena
Antiincrustación	Bomba dosificadora	
	Tanque electroagitador de PRFV	
Filtro de cartuchos	Filtros de cartucho	

<b>Desalación</b>		Bomba horizontal multietapa de cámara partida
		Turbina Pelton
		Bastidor de membranas de fibra hueca
		Bastidor de membranas de arrollamiento en espiral
<b>Postratamiento</b>	<b>Calcificación</b>	Silo de almacenamiento
		Depósito para lechada de cal
		Decantador de placa
		Bomba dosificadora
	<b>Carbonificación</b>	Bomba centrífuga vertical
<b>Impulsión a embalse</b>		Depósito de CO <sub>2</sub> de acero al carbono
		Bomba centrífuga horizontal
<b>Rechazo de salmuera</b>		Depósito de acero al carbono
		Colector subterráneo de PRFV
<b>Limpiezas</b>	<b>Filtros de arena</b>	Emisario submarino
		Bomba centrífuga horizontal
	<b>Membranas</b>	Soplante
		Tanque electroagitador de PRFV
		Bomba centrífuga horizontal
		Filtro de cartuchos
<b>Tuberías</b>		Tubería de PRFV
		Tubería de acero inoxidable
<b>Válvulas</b>		Válvula de mariposa automática
		Válvula macho manual
		Válvula de bola PTFE
<b>Equipos de medida</b>		Válvula de bola PTFE
		Medidor de pH
		Medidor de conductividad
		Medidor de temperatura
		Medidor de concentración química
		Medidor de presión diferencial
		Medidor de presión
Medidor de caudal		
		Medidor de nivel

**Tabla 1: Relación de equipos de la planta desaladora de estudio**

Una vez conocidos los equipos y diferentes válvulas e instrumentos de medida que se encuentran en la planta desaladora ya estamos en disposición de preparar el plan de mantenimiento.

## 5.- Mantenimiento

Se entiende como mantenimiento las diferentes acciones realizadas a una máquina, sistema, o instalación con el fin de mejorar su funcionamiento y alargar su vida útil.

Aunque no hay una fecha exacta, el mantenimiento industrial surge en Europa durante la primera Revolución Industrial entre el siglo XVIII y XIX. En esa época el mantenimiento solo se realizaba cuando las máquinas sufrían alguna avería, lo que provocaba que se parara la producción hasta que se produjera el arreglo del equipo.

No fue hasta la década de los 50, después de la Segunda Guerra Mundial, cuando los ingenieros japoneses empezaron a seguir las indicaciones de los fabricantes sobre la maquinaria, realizando así, un mantenimiento más proactivo y dando lugar al mantenimiento preventivo.

Actualmente el mantenimiento industrial esta presente en todas las empresas del sector, su importancia es tal que es un factor muy importante en la adquisición de equipos, debido a que si su mantenimiento es más barato y asequible a la hora de realizarlo, se puede elegir dicho equipo por delante de otros más baratos, siendo ambos de similares características.

Los principales objetivos del mantenimiento se enumeran a continuación:

- Alargar la vida útil de los equipos de producción aplicando técnicas de mantenimiento predictivo y preventivo.
- Mejorar la seguridad de los trabajadores por medio de la detección preventiva de fallos eliminando cualquier peligro para los empleados.
- Mantener operativos los equipos para cuando se quiera producir estén disponibles para funcionar a pleno rendimiento.
- Mejorar la calidad de los productos, asegurándose de que los equipos están trabajando con el mayor rendimiento para que la producción cumpla los estándares necesarios.
- Optimizar los recursos, de manera que los equipos estén en un correcto estado, minimizando los recursos, costes, y mano de obra necesaria para su funcionamiento.
- Reducir el impacto medioambiental, aplicando medidas para así aminorar el consumo de recursos naturales, generación de residuos y emisiones contaminantes.

## *5.1.- Tipos de mantenimiento*

### *5.1.1.- Mantenimiento preventivo*

El mantenimiento preventivo se centra en inspecciones periódicas, establecidas en los programas de mantenimiento basándose en el tiempo, uso del equipo o condiciones de operación de los equipos.

Dentro de estas inspecciones se pueden realizar limpiezas, calibraciones, lubricaciones e incluso reemplazos, con el fin de tener en óptimo estado los equipos.

Es muy importante documentar todas las acciones que se realizan en los equipos para saber cuando conviene hacer la próxima. En el plan de mantenimiento se marcarán las fechas en las que se realizarán estos trabajos, además es importante que todos los departamentos de la empresa trabajen de forma conjunta para sincronizarse y no dejar inoperativa en la medida de lo posible la producción.

### *5.1.2.- Mantenimiento predictivo*

El mantenimiento predictivo se basa en la monitorización y en el análisis del rendimiento de los equipos por medio de los sensores y diversas técnicas que nos aportan datos del estado de los equipos. Estos datos nos aportan conocimiento sobre posibles fallas o deterioro de algunos componentes, para poder realizar trabajos de mantenimiento en el momento óptimo y así usar el componente hasta el final de su vida útil.

### *5.1.3.- Mantenimiento correctivo*

Se puede definir el mantenimiento correctivo como el conjunto de acciones necesarias para corregir un problema en un equipo.

El primer paso de este tipo de corrección es identificar la falla y realizar el diagnóstico correspondiente, después se realiza la reparación, y más tarde, se hacen pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema. Por último, es buena práctica realizar un análisis del problema para conocer por qué no se identificó el problema antes de la rotura y como se podría identificar antes el problema, además sería importante conocer si este problema podría darse de forma crónica.

El mantenimiento correctivo puede ser programado, es decir, parada programada por los departamentos de producción y mantenimiento para solventar la avería de un equipo. O también, puede ser no programado, esto se refiere a que la avería sucede de manera espontánea y su arreglo es obligado para poder seguir con la producción de la planta.

## 5.2.- Procedimientos del mantenimiento

Los pasos para realizar un correcto plan de mantenimiento son:

- Conocer el funcionamiento de los equipos y de la instalación.
- Listado de equipos a los que se les va a realizar el mantenimiento.
- Establecer los protocolos de mantenimiento, esto es, las acciones preventivas, predictivas y correctivas que sean necesarias para el buen funcionamiento de la planta. Además de la frecuencia con que se tienen que realizar, los conocimientos y trabajadores necesarios.
- Revisar y actualizar el plan de mantenimiento.
- Documentación y registro por parte de los operarios de los mantenimientos que se han llevado a cabo.

### 5.2.1.- Procedimiento del mantenimiento preventivo

Los procedimientos para efectuar el mantenimiento preventivo de la planta se reflejan en una tabla en la que se indica el equipo, las acciones a efectuar sobre cada equipo, y su frecuencia, como podemos ver a continuación en la **Tabla 2**:

LÍNEA DE PROCESO	EQUIPO	MANTENIMIENTO	FRECUENCIA
<b>Captación de agua</b>	Toma de agua subacuática	Inspección de obstrucción y limpieza de rejas	Anual
		Aplicación de tratamiento anticorrosivos y de protección	Bianual
	Tubería de PRFV subacuática	Limpieza interior de la tubería	Anual
		Comprobación de anclajes y conexiones	Anual
		Limpieza exterior de la tubería	Bianual
		Aplicación de tratamiento anticorrosivos y de protección	Bianual
<b>Impulsión a planta</b>	Bomba centrífuga vertical	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Diaria
		Limpieza del equipo y su entorno	Semanal
		Revisión del consumo energético	Semanal
		Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Mensual
		Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Mensual
		Cambio del aceite lubricante	Trimestral
		Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Trimestral
		Aplicación producto antioxidante	Semestral
		Inspección de rodamientos	Semestral
		Análisis de aceite	Semestral
		Termografía del equipo	Anual
		Análisis de vibraciones	Anual
	Limpieza profunda de componentes	Anual	
	Tanque de hormigón armado de 3000 m <sup>3</sup>	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, conductividad y temperatura	Semanal
		Inspección exhaustiva de grietas	Trimestral
		Limpieza interna	Semestral
Aplicación de pinturas impermeabilizantes internas		Bianual	

<b>Impulsión a planta</b>			Arreglo de desperfectos y pintura exterior del tanque	Bianual
		Bomba centrífuga horizontal	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Diaria
			Limpieza del equipo y su entorno	Semanal
			Revisión del consumo energético	Semanal
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Mensual
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Mensual
			Cambio del aceite lubricante	Trimestral
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Trimestral
			Aplicación producto antioxidante	Semestral
			Inspección de rodamientos	Semestral
			Análisis de aceite	Semestral
			Termografía del equipo	Anual
			Análisis de vibraciones	Anual
			Limpieza profunda de componentes	Anual
<b>Pretratamientos</b>	<b>Desinfección</b>	Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Diaria
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Mensual
			Cambio del aceite lubricante	Semestral
			Cambio de válvula	Semestral
			Sustitución del diafragma	Anual
			Sustitución del sello del aceite	Anual
		Depósito de PRFV	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Diaria
			Inspección exhaustiva de grietas	Trimestral
			Análisis de ultrasonidos	Anual
			Limpieza	Anual
			Aplicación de revestimientos internos	Bianual

<b>Pretratamientos</b>	<b>Acidificación</b>	Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Diaria
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Mensual
			Cambio del aceite lubricante	Semestral
			Cambio de válvula	Semestral
			Sustitución del diafragma	Anual
			Sustitución del sello del aceite	Anual
		Depósito de PEAD	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Diaria
			Inspección exhaustiva de grietas	Trimestral
			Análisis de ultrasonidos	Anual
			Limpieza	Anual
	Aplicación de revestimientos internos		Bianual	
	<b>Coagulación</b>	Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Diaria
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Mensual
			Cambio del aceite lubricante	Semestral
			Cambio de válvula	Semestral
			Sustitución del diafragma	Anual
			Sustitución del sello del aceite	Anual
		Depósito de PRFV	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Diaria
			Inspección exhaustiva de grietas	Trimestral
			Análisis de ultrasonidos	Anual
			Limpieza	Anual
<b>Filtros de arena</b>	Filtros de arena	Inspección visual y comprobación fugas, presiones y velocidad de filtración	Diaria	
		Limpieza del depósito y su entorno	Semanal	
		Inspección de las juntas y desgaste de componentes	Mensual	

<b>Pretratamientos</b>	<b>Filtros de arena</b>	Filtros de arena	Control de calidad del agua	Mensual	
			Limpieza del filtro	Trimestral	
			Cambio de arena	Anual	
	<b>Antiincrustación</b>	Bomba dosificadora	Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Diaria
				Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Mensual
				Cambio del aceite lubricante	Semestral
				Cambio de válvula	Semestral
				Sustitución del diafragma	Anual
				Sustitución del sello del aceite	Anual
		Tanque electroagitador de PRFV	Tanque electroagitador de PRFV	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Diaria
				Inspección exhaustiva de grietas	Trimestral
				Comprobación del nivel de aceite	Trimestral
				Comprobación del motor y hélices	Semestral
				Cambio de aceite	Semestral
				Análisis de ultrasonidos	Anual
				Limpieza de todos los componentes	Anual
				Aplicación de revestimientos internos	Bianual
<b>Filtros de cartuchos</b>	Filtros de cartucho	Inspección visual y comprobación fugas y presiones	Diario		
		Limpieza del depósito y su entorno	Semanal		
		Cambio de filtros	Anual		
<b>Desalación</b>	Bomba horizontal multietapa de cámara partida	Bomba horizontal multietapa de cámara partida	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Diaria	
			Limpieza del equipo y su entorno	Semanal	
			Revisión del consumo energético	Semanal	
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Mensual	
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Mensual	

<b>Desalación</b>	Bomba horizontal multietapa de cámara partida	Cambio del aceite lubricante	Trimestral
		Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Trimestral
		Aplicación producto antioxidante	Semestral
		Inspección de rodamientos	Semestral
		Análisis de aceite	Semestral
		Termografía del equipo	Anual
		Análisis de vibraciones	Anual
		Limpieza profunda de componentes	Anual
	Turbina Pelton	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como caudal y potencia generada	Diaria
		Limpieza del equipo y su entorno	Semanal
		Inspección de las paletas	Mensual
		Comprobar alineación entre turbina y generador	Trimestral
		Inspección de rodamientos y sellos	Trimestral
		Inspección de la cámara de la turbina	Semestral
		Termografía	Anual
		Análisis de vibraciones	Anual
	Bastidor de membranas de fibra hueca	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, pH, presión, presión diferencial y conductividad	Diaria
		Comprobación de uniones y sellado de las mismas	Semanal
		Limpieza interior de las membranas	Semestral
		Sustitución de membranas	Triannual
	Bastidor de membranas de	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, pH, presión, presión diferencial y conductividad	Diaria

<b>Desalación</b>		arrollamiento en espiral	Comprobación de uniones y sellado de las mismas	Semanal
			Limpieza interior de las membranas	Semestral
			Sustitución de membranas	Triannual
<b>Postratamientos</b>	<b>Calcificación</b>	Silo de almacenamiento	Inspección visual y comprobación fugas y de nivel de llenado	Diaria
			Verificación del sellado de las juntas	Trimestral
			Comprobación del estado del llenado y de la descarga	Semestral
			Inspección de la estructura y tornillería	Semestral
		Depósito para lechada de cal	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura y nivel de llenado	Diario
			Inspección exhaustiva de grietas	Trimestral
			Análisis de ultrasonidos	Anual
			Limpieza	Anual
		Decantador de placa	Aplicación de revestimientos internos	Bianual
			Inspección visual y comprobación fugas y buen funcionamiento	Diaria
			Revisión del motor y del sellado de las juntas	Trimestral
			Cambio del aceite lubricante	Trimestral
			Análisis de vibraciones	Anual
		Bomba dosificadora	Limpieza profunda de los componentes	Anual
			Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Diaria
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Mensual
			Cambio del aceite lubricante	Semestral
			Cambio de válvula	Semestral
			Sustitución del diafragma	Anual
		Bomba centrífuga vertical	Sustitución del sello del aceite	Anual
			Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Diaria
			Limpieza del equipo y su entorno	Semanal

<b>Postratamientos</b>	<b>Calcificación</b>	Bomba centrífuga vertical	Revisión del consumo energético	Semanal
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Mensual
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Mensual
			Cambio del aceite lubricante	Trimestral
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Trimestral
			Aplicación producto antioxidante	Semestral
			Inspección de rodamientos	Semestral
			Análisis de aceite	Semestral
			Termografía del equipo	Anual
			Análisis de vibraciones	Anual
			Limpieza profunda de componentes	Anual
	<b>Carbonificación</b>	Depósito de CO <sub>2</sub> de acero al carbono	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como presión y conductividad térmica	Diaria
Inspección de la estructura y componentes			Trimestral	
Verificación del vacío del depósito			Semestral	
<b>Impulsión a embalse</b>	Bomba centrífuga horizontal	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Diaria	
		Limpieza del equipo y su entorno	Semanal	
		Revisión del consumo energético	Semanal	
		Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Mensual	
		Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Mensual	
		Cambio del aceite lubricante	Trimestral	
		Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Trimestral	
		Aplicación producto antioxidante	Semestral	
		Inspección de rodamientos	Semestral	
		Análisis de aceite	Semestral	

<b>Impulsión a embalse</b>	<b>Bomba centrífuga horizontal</b>	Termografía del equipo	Anual	
		Análisis de vibraciones	Anual	
		Limpieza profunda de componentes	Anual	
	<b>Depósito de acero al carbono</b>	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, conductividad y temperatura	Semanal	
		Inspección exhaustiva de grietas	Trimestral	
		Limpieza interna	Semestral	
		Aplicación de pinturas impermeabilizantes internas	Bianual	
		Arreglo de desperfectos y pintura exterior del tanque	Bianual	
<b>Rechazo de salmuera</b>	<b>Colector subterráneo de PRFV</b>	Inspección de parámetros tales como pH, caudal y salinidad	Diaria	
		Limpieza interior de la tubería	Anual	
		Inspección boroscópica	Anual	
	<b>Emisario submarino</b>	Análisis de agua marina	Mensual	
		Comprobación de anclajes y conexiones	Anual	
		Limpieza exterior de la tubería	Bianual	
<b>Limpiezas</b>	<b>Filtros de arena</b>	<b>Bomba centrífuga horizontal</b>	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Trimestral
			Limpieza del equipo y su entorno	Trimestral
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Trimestral
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Trimestral
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Trimestral
			Inspección de rodamientos	Semestral
			Aplicación producto antioxidante	Anual
			Cambio del aceite lubricante	Anual
			Limpieza profunda de componentes	Anual
	Análisis de aceite	Bianual		
		<b>Soplante</b>	Inspección visual y parámetros tales como temperaturas, presión	Trimestral

<b>Limpiezas</b>	<b>Filtros de arena</b>	Soplante	Limpieza del equipo y su entorno	Trimestral
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Trimestral
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada y salida	Trimestral
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Trimestral
			Inspección de rodamientos y compresor	Semestral
			Aplicación producto antioxidante	Anual
			Cambio del aceite lubricante	Anual
			Limpieza profunda de componentes	Anual
			Análisis de aceite	Bianual
	<b>Membranas</b>	Tanque electroagitador de PRFV	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Semestral
			Limpieza de todos los componentes	Semestral
			Comprobación del nivel de aceite	Semestral
			Comprobación del motor y hélices	Semestral
			Cambio de aceite	Anual
			Aplicación de revestimientos internos	Bianual
		Bomba centrífuga horizontal	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Semestral
			Limpieza del equipo y su entorno	Trimestral
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Semestral
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Semestral
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Semestral
			Inspección de rodamientos	Anual
			Aplicación producto antioxidante	Anual
			Cambio del aceite lubricante	Anual
Limpieza profunda de componentes	Anual			

<b>Limpiezas</b>	<b>Membranas</b>		Análisis de aceite	Bianual
		Filtro de cartuchos	Cambio del filtro	Semestral
<b>Tuberías</b>	Tubería de PRFV		Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, presión y caudal	Semanal
			Inspección de las uniones de las tuberías	Trimestral
			Limpieza a presión del interior	A anual
			Análisis de ultrasonidos	Bianual
			Inspección boroscópica	Bianual
	Tubería de acero inoxidable		Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, presión y caudal	Semanal
			Inspección de las uniones de las tuberías	Trimestral
			Limpieza a presión del interior	A anual
			Análisis de ultrasonidos	Bianual
			Inspección boroscópica	Bianual
<b>Válvulas</b>	Válvula de mariposa automática		Inspección de desgastes, fisuras y tolerancias de desgaste	Trimestral
			Lubricación	Semestral
			Limpieza química	A anual
			Sustitución de la válvula	Quinquenal
	Válvula macho manual		Inspección de desgastes, fisuras y tolerancias de desgaste	Trimestral
			Lubricación	Semestral
			Limpieza química	A anual
			Sustitución de la válvula	Decenal
	Válvula de bola PTFE		Inspección de desgastes, fisuras y tolerancias de desgaste	Trimestral
			Lubricación	Semestral
			Limpieza química	A anual
			Sustitución de la válvula	Quinquenal
<b>Equipos de medida</b>	Medidor de pH	Calibración	A anual	

<b>Equipos de medida</b>	Medidor de conductividad	Calibración	Anual
	Medidor de temperatura	Calibración	Anual
	Medidor de concentración química	Calibración	Anual
	Medidor de presión diferencial	Calibración	Anual
	Medidor de presión	Calibración	Anual
	Medidor de caudal	Calibración	Anual
	Medidor de nivel	Calibración	Anual

**Tabla 2: Acciones de mantenimiento preventivo de la planta**

### 5.2.2.- Procedimiento del mantenimiento predictivo

A continuación, se explican los diferentes métodos de análisis predictivos que se realizan en las plantas industriales para anticiparse a las roturas de los equipos y así actuar de manera anticipada frente a los fallos.

- **Inspecciones sensoriales:** este tipo de análisis puede ser de gran valor a la hora de detectar una anomalía en el funcionamiento de cualquier equipo, pues un operario con experiencia conoce los comportamientos comunes en los diferentes equipos de la planta. Los reconocimientos que puede hacer el operario son:

- Escuchar ruidos anómalos como golpes o fricciones entre piezas.
- Observar si hay piezas sueltas o mal conectadas.
- Atender a cambios de color en las superficies, pudiendo identificar presencia de materia orgánica
- Reconocer olores inusuales como componentes eléctricos sobrecalentados, pérdidas de líquido en algún equipo, e incluso incendios.

- **Análisis de parámetros:** en el centro de control es muy importante saber leer la información proporcionada por cada sensor para saber el rendimiento al que están los equipos y su estado actual. Esto, junto con una creación de un histórico es de gran ayuda para que todos los operarios, ya sean de mantenimiento o no, conozcan los valores óptimos de trabajo de cada equipo, y sepan en cada momento cuando los valores se salen de rango.

- **Termografía:** esta técnica nos permite por medio de una cámara termográfica conocer la temperatura superficial a la que se encuentra el equipo gracias a la radiación generada.

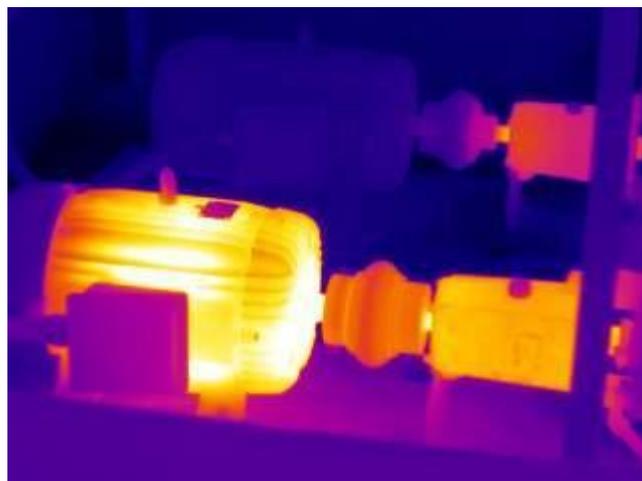


Figura 35: Imagen termográfica de una bomba centrífuga horizontal (Servicios QMT)

- **Análisis de aceite:** el sistema de lubricación de las bombas de media y alta potencia, las mismas que se encuentran en la instalación de estudio, es el aceite, esto se debe a que asegura mayor rendimiento en los rodamientos.

Por esta razón es primordial realizar análisis de aceite, mediante equipos portátiles de diagnósticos se pueden realizar comprobaciones que nos indiquen:

- Contenido de agua
- Viscosidad, para determinar su degradación química
- Constante dieléctrica, para conocer el deterioro del aceite y su nivel de contaminación
- Índice de desgaste férrico, para saber el desgaste de los componentes mecánicos
- Indicador de partículas no férricas, nos permite conocer el nivel de contaminación del lubricante.



Figura 36: Equipo analizador de aceite portátil (Predictec)

- **Inspección boroscópica:** este estudio nos aporta información visual de aquellos lugares que no se pueden apreciar con el ojo humano, por ejemplo, el interior de turbinas, bombas, tuberías... Además, no hace falta desmontar los equipos para realizar esta inspección porque el boroscopio cuenta con un brazo flexible con varias lentes.

Esta inspección nos aporta información sobre posibles obstrucciones, desgaste en piezas mecánicas e incluso fugas en los sellos de los equipos.



Figura 37: Inspección boroscópica en una tubería (EDEMAQ)

- **Análisis de vibraciones:** este tipo de análisis es uno de los más extendidos en el mundo del mantenimiento pues es de gran ayuda a la hora de predecir fallos en múltiples equipos, pero en concreto, en las máquinas rotativas.

Este estudio se realiza mientras el equipo funciona de manera normal, y mediante las gráficas generadas se puede observar si hay un cambio en la frecuencia y/o amplitud de la señal, lo que indica que hay un componente que no está en correcto estado.

El análisis de vibraciones puede detectar los siguientes fallos:

- Desbalanceo
- Desalineamiento
- Ejes torcidos
- Problemas eléctricos



Figura 38: Análisis de vibraciones (preditecnology)

- **Análisis por ultrasonido:** esta técnica es muy útil en el ámbito de las plantas desaladoras y demás plantas en las que se realicen tratamientos al agua. Mediante un equipo auxiliar portátil se puede identificar sonidos no apreciables al oído humano que nos indican posibles fallos en depósitos y equipos, estos son:

- Fricción en bombas
- Fugas de fluidos
- Pérdidas de vacío
- Erosión
- Corrosión
- Obstrucciones



Figura 39: Análisis de ultrasonidos (Terotecnic Ingeniería)

Ahora ya estamos en disposición de colocar a cada equipo el mantenimiento predictivo que le corresponde, lo cual se muestra en la **Tabla 3**.

LÍNEA DE PROCESO		EQUIPO	Inspecciones sensoriales	Análisis de parámetros	Termografía	Análisis de aceite	Inspección boroscópica	Análisis de vibraciones	Análisis por ultrasonido
Captación de agua		Toma de agua subacuática	X	X					
		Tubería de PRFV subacuática	X	X					
Impulsión a planta		Bomba centrífuga vertical	X	X	X	X	X	X	
		Tanque de hormigón armado de 3000 m <sup>3</sup>	X	X					X
		Bomba centrífuga horizontal	X	X	X	X	X	X	
Pretratamiento	Desinfección	Bomba dosificadora	X	X					
		Depósito de PRFV	X	X	X				X
	Acidificación	Bomba dosificadora	X	X					
		Depósito de PEAD	X	X	X				X
	Coagulación	Bomba dosificadora	X	X					
		Depósito de PRFV	X	X	X				X
	Filtro de arena	Filtros de arena	X	X					
	Antiincrustación	Bomba dosificadora	X	X					

		Tanque electroagitador de PRFV	X	X	X				X
	<b>Filtro de cartuchos</b>	Filtros de cartucho	X	X					
<b>Desalación</b>		Bomba horizontal multietapa de cámara partida	X	X	X	X	X	X	
		Turbina Pelton	X	X	X	X	X	X	
		Bastidor de membranas de fibra hueca	X	X					
		Bastidor de membranas de arrollamiento en espiral	X	X					
<b>Postratamiento</b>	<b>Calcificación</b>	Silo de almacenamiento	X	X					X
		Depósito para lechada de cal	X	X					X
		Decantador de placa	X	X	X	X			
		Bomba dosificadora	X	X					
		Bomba centrífuga vertical	X	X	X	X	X	X	
	<b>Carbonificación</b>	Depósito de CO2 de acero al carbono	X	X	X	X		X	X

<b>Impulsión a embalse</b>		Bomba centrífuga horizontal	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
		Depósito de acero al carbono	<b>X</b>	<b>X</b>						<b>X</b>
<b>Rechazo de salmuera</b>		Colector subterráneo de PRFV	<b>X</b>	<b>X</b>			<b>X</b>			<b>X</b>
		Difusor	<b>X</b>	<b>X</b>						
		Codo en punta	<b>X</b>	<b>X</b>						
<b>Limpiezas</b>	<b>Filtros de arena</b>	Bomba de lavado de filtros	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>				
		Soplante	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>				
	<b>Membranas</b>	Tanque electroagitador de PRFV	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>				
		Bomba centrífuga horizontal	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>				
		Filtro de cartuchos	<b>X</b>							
<b>Tuberías</b>		Tubería de PRFV	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>			<b>X</b>
		Tubería de acero inoxidable	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>			<b>X</b>
<b>Válvulas</b>		Válvula de mariposa automática	<b>X</b>	<b>X</b>						
		Válvula macho manual	<b>X</b>	<b>X</b>						

	Válvula de bola PTFE	<b>X</b>	<b>X</b>					
<b>Equipos de medida</b>	Medidor de pH	<b>X</b>	<b>X</b>					
	Medidor de conductividad	<b>X</b>	<b>X</b>					
	Medidor de temperatura	<b>X</b>	<b>X</b>					
	Medidor de concentración química	<b>X</b>	<b>X</b>					
	Medidor de presión diferencial	<b>X</b>	<b>X</b>					
	Medidor de presión	<b>X</b>	<b>X</b>					
	Medidor de caudal	<b>X</b>	<b>X</b>					
	Medidor de nivel	<b>X</b>	<b>X</b>					

**Tabla 3: Acciones de mantenimiento predictivo de la planta**

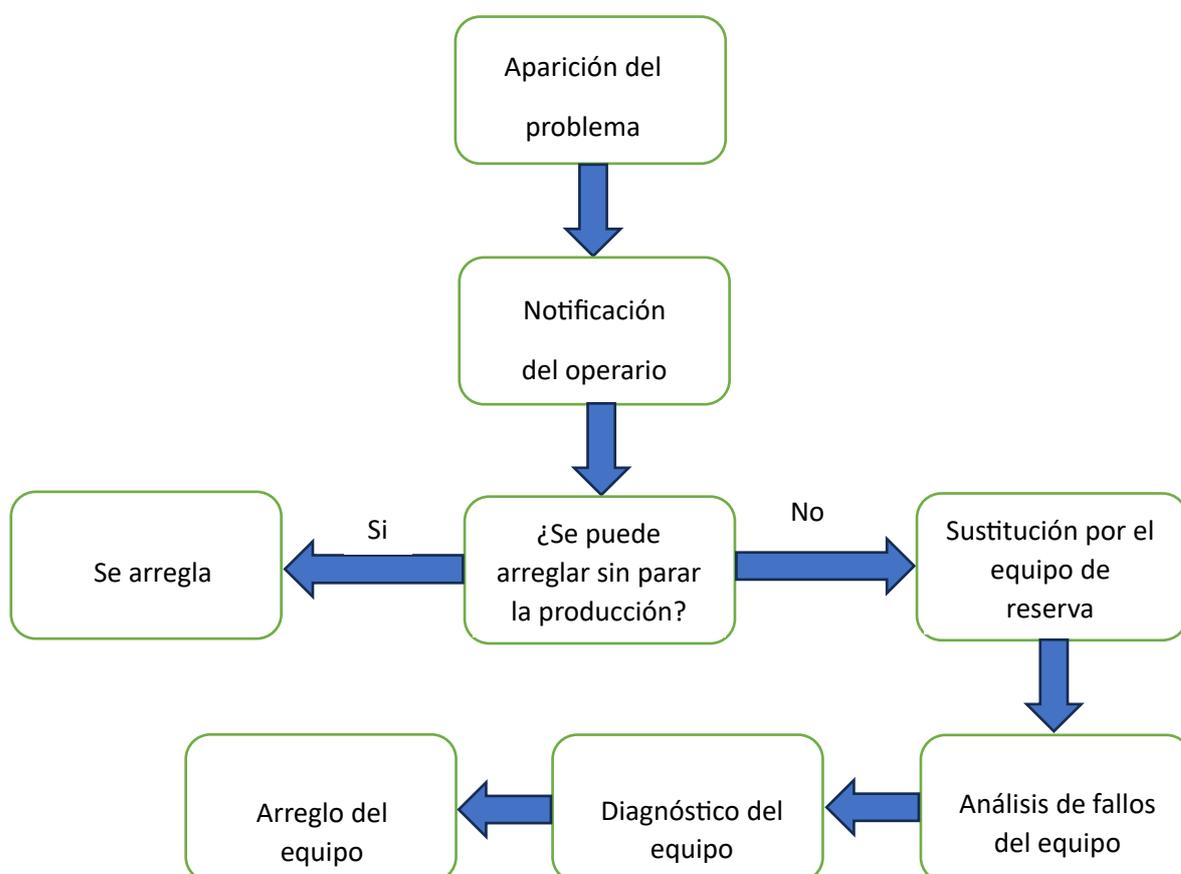
### 5.2.3.- Procedimiento del mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo de la planta se centrará en solventar cualquier falla o problema que puedan tener los equipos o los equipos auxiliares. Para ello es necesario tener trabajadores versátiles, con gran conocimiento y con experiencia. Además de una buena coordinación entre los trabajadores y los distintos departamentos para poder atacar el problema desde su raíz e intentar que el problema no se vuelva a presentar en la planta o al menos, no de la misma forma.

Aun habiendo realizado un correcto plan de mantenimiento de acciones preventivas y predictivas, las instalaciones tan grandes como la que es objeto de este estudio, que tiene múltiples equipos de gran potencia y, está trabajando durante todo el día, y en las épocas críticas del año como el verano, están a pleno rendimiento, suelen tener numerosas averías en los equipos.

En este tipo de plantas se tienen equipos de reserva en cada proceso, para el caso en el que se averíe un equipo, se pueda seguir produciendo agua desalada apta para consumo humano.

No obstante, la forma de proceder sería:



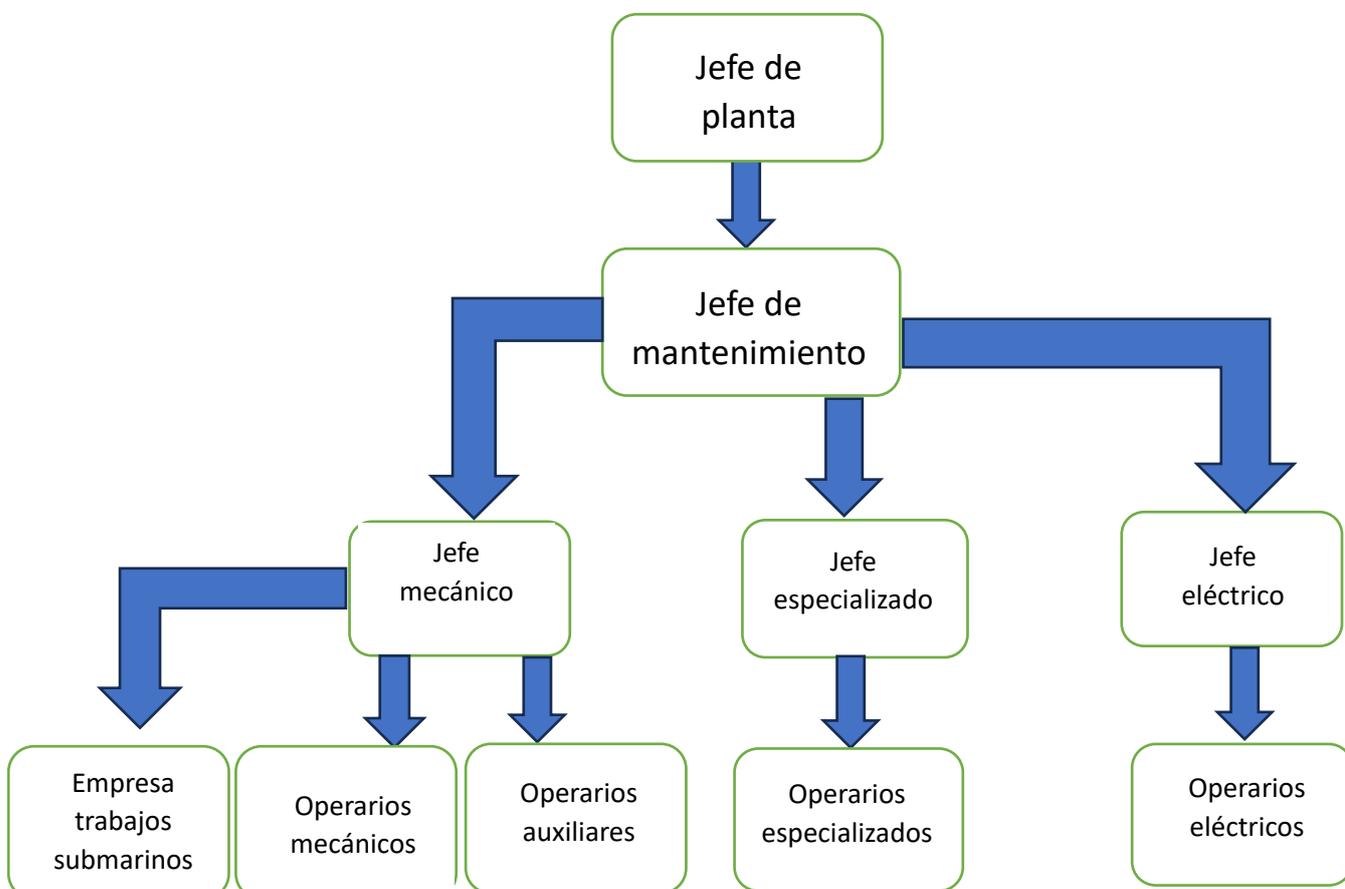
**Figura 40: Diagrama de la resolución de las averías de los equipos**

Tan importante como arreglar equipo averiado es conocer el origen de su falla y si va a volver a pasar recurrentemente o no. Para ello se indica el proceso de análisis de fallos:

- 1.- Inspección del equipo con fallos
- 2.- Inspección de los equipos conectados al equipo problemático
- 3.- Conocer la raíz del fallo
- 4.- Ver el historial de arreglos del equipo
- 5.- Arreglar el equipo
- 6.- Estudiar las fallas que pueden volver a ocurrir
- 7.- Aplicar las medidas necesarias para evitar la aparición del problema
- 8.- Poner el equipo en marcha

### 5.3.- Asignación de trabajos

Primeramente, la estructura organizativa del mantenimiento de la planta se muestra de la siguiente manera:



**Figura 41: Organigrama de la planta de desaladora**

El jefe de mantenimiento será el encargado realizar la asignación de los trabajos, a la vez que se encargará de la coordinación de las distintas acciones de mantenimiento con los demás departamentos, para tener así una gran sincronización, maximizando el rendimiento de la planta desaladora.

Los jefes de sección (especialista, mecánica, eléctrica) serán los encargados de supervisar y controlar el desempeño de los operarios, solucionando pequeños contratiempos que puedan surgir, e incluso realizando algunas de las tareas más críticas de la planta.

El trabajo de los operarios de todas las acciones consiste en realizar las maniobras, inspecciones y trabajos que se necesiten para el buen desempeño de la instalación desaladora.

Debido al volumen de producción y los numerosos equipos de la planta, esta tendrá que contar con los siguientes empleados:

- **jefe de mantenimiento**, su turno de trabajo será de 8 horas diarias de lunes a viernes.
- **jefe mecánico**, trabajará 8 horas diarias entre semana y los fines de semana estará de guardia localizada ante cualquier imprevisto en la planta.
- **jefe eléctrico**, trabajará 8 horas diarias entre semana y los fines de semana estará de guardia localizada ante cualquier imprevisto en la planta.
- **jefe especializado**, trabajará 8 horas diarias entre semana y los fines de semana estará de guardia localizada ante cualquier imprevisto en la planta.
- **6 operarios auxiliares**, estos operarios realizan tareas de monitoreo, limpieza y apoyo a otras acciones preventivas. Se agruparán 2 por cada turno de 8 horas diarias entre semana y uno por cada guardia de 8 horas durante sábados y domingos.
- **6 operarios mecánicos**, los cuales realizarán las acciones de mantenimiento a los equipos del ámbito mecánico. Se dividirán 3 por cada turno de trabajo de 8 horas diarias entre semana, y un operario de guardia localizada al día durante los fines de semana.
- **4 operarios eléctricos**, realizarán las tareas de mantenimiento a los equipos eléctricos. Se dividen en 2 por cada turno de trabajo de 8 horas diarias entre semana, y un operario de guardia localizada al día durante los fines de semana.
- **2 operarios especializados**, que se encargarán de las membranas de ósmosis inversa en el proceso de desalación y contarán con formación especial en bastidores de membranas de osmosis inversa. Se divide uno por cada turno de trabajo de 8 horas diarias entre semana, y un operario de guardia localizada al día durante los fines de semana.

En la **Tabla 4** se puede apreciar la asignación de empleados para la realización de cada acción de mantenimiento de la planta.

LÍNEA DE PROCESO	EQUIPO	MANTENIMIENTO	Trabajador
<b>Captación de agua</b>	Toma de agua subacuática	Inspección de obstrucción y limpieza de rejas	Empresa subcontratada
		Aplicación de tratamiento anticorrosivos y de protección	Empresa subcontratada
	Tubería de PRFV subacuática	Limpieza interior de la tubería	Empresa subcontratada
		Comprobación de anclajes y conexiones	Empresa subcontratada
		Limpieza exterior de la tubería	Empresa subcontratada
		Aplicación de tratamiento anticorrosivos y de protección	Empresa subcontratada
<b>Impulsión a planta</b>	Bomba centrífuga vertical	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Operario mecánico
		Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar
		Revisión del consumo energético	Jefe eléctrico
		Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico
		Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Operario mecánico
		Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico
		Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico
		Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico
		Inspección de rodamientos	Operario mecánico
		Análisis de aceite	Jefe mecánico
		Termografía del equipo	Operario eléctrico
		Análisis de vibraciones	Jefe mecánico
Limpieza profunda de componentes	Operario auxiliar, mecánico y eléctrico		

<b>Impulsión a planta</b>	Tanque de hormigón armado de 3000 m <sup>3</sup>	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, conductividad y temperatura	Operario especialista	
		Inspección exhaustiva de grietas	Operario mecánico	
		Limpieza interna	Operario auxiliar	
		Aplicación de pinturas impermeabilizantes internas	Operario mecánico y auxiliar	
		Arreglo de desperfectos y pintura exterior del tanque	Operario mecánico y auxiliar	
	Bomba centrífuga horizontal	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Operario mecánico	
		Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar	
		Revisión del consumo energético	Jefe eléctrico	
		Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico	
		Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Operario mecánico	
		Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico	
		Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico	
		Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico	
		Inspección de rodamientos	Operario mecánico	
		Análisis de aceite	Jefe mecánico	
		Termografía del equipo	Operario eléctrico	
		Análisis de vibraciones	Jefe mecánico	
		Limpieza profunda de componentes	Operario auxiliar, mecánico y eléctrico	
		<b>Pretratamientos</b>	<b>Desinfección</b>	Bomba dosificadora
Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Operario mecánico			
Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico			
Cambio de válvula	Operario mecánico			

<b>Pretratamientos</b>	<b>Desinfección</b>	Bomba dosificadora	Sustitución del diafragma	Operario mecánico
			Sustitución del sello del aceite	Operario mecánico
		Depósito de PRFV	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Operario especialista
			Inspección exhaustiva de grietas	Operario mecánico
			Análisis de ultrasonidos	Operario auxiliar
			Limpieza	Operario mecánico y auxiliar
		Aplicación de revestimientos internos	Operario mecánico y auxiliar	
	<b>Acidificación</b>	Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Operario auxiliar
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Operario mecánico
			Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico
			Cambio de válvula	Operario mecánico
			Sustitución del diafragma	Operario mecánico
			Sustitución del sello del aceite	Operario mecánico
		Depósito de PEAD	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Operario especialista
			Inspección exhaustiva de grietas	Operario mecánico
			Análisis de ultrasonidos	Operario auxiliar
			Limpieza	Operario mecánico y auxiliar
	Aplicación de revestimientos internos		Operario mecánico y auxiliar	
	<b>Coagulación</b>	Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Operario auxiliar
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Operario mecánico
Cambio del aceite lubricante			Operario mecánico	
Cambio de válvula			Operario mecánico	

<b>Pretratamientos</b>	<b>Coagulación</b>	Bomba dosificadora	Sustitución del diafragma	Operario mecánico
			Sustitución del sello del aceite	Operario mecánico
		Depósito de PRFV	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Operario especialista
			Inspección exhaustiva de grietas	Operario mecánico
			Análisis de ultrasonidos	Operario auxiliar
			Limpieza	Operario mecánico y auxiliar
		Aplicación de revestimientos internos	Operario mecánico y auxiliar	
	<b>Filtros de arena</b>	Filtros de arena	Inspección visual y comprobación fugas, presiones y velocidad de filtración	Operario especialista
			Limpieza del depósito y su entorno	Operario auxiliar
			Inspección de las juntas y desgaste de componentes	Operario mecánico
			Control de calidad del agua	Operario especialista
			Limpieza del filtro	Operario especialista y mecánico
			Cambio de arena	Operario especialista y mecánico
	<b>Antiincrustación</b>	Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Operario auxiliar
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Operario mecánico
			Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico
			Cambio de válvula	Operario mecánico
			Sustitución del diafragma	Operario mecánico
Sustitución del sello del aceite			Operario mecánico	
Tanque electroagitador de PRFV		Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Operario especialista	
		Inspección exhaustiva de grietas	Operario mecánico	

<b>Pretratamientos</b>	<b>Antiincrustación</b>	Tanque electroagitador de PRFV	Comprobación del nivel de aceite	Operario mecánico
			Comprobación del motor y hélices	Operario mecánico
			Cambio de aceite	Operario mecánico
			Análisis de ultrasonidos	Jefe mecánico
			Limpieza de todos los componentes	Operario auxiliar, mecánico y eléctrico
			Aplicación de revestimientos internos	Operario mecánico y auxiliar
	<b>Filtro de cartuchos</b>	Filtros de cartucho	Inspección visual y comprobación fugas y presiones	Operario especialista
			Limpieza del depósito y su entorno	Operario auxiliar
			Cambio de filtros	Operario especialista
<b>Desalación</b>	Bomba horizontal multietapa de cámara partida	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Operario mecánico	
		Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar	
		Revisión del consumo energético	Jefe eléctrico	
		Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico	
		Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Operario mecánico	
		Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico	
		Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico	
		Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico	
		Inspección de rodamientos	Operario mecánico	
		Análisis de aceite	Jefe mecánico	
		Termografía del equipo	Operario eléctrico	
		Análisis de vibraciones	Jefe mecánico	
Limpieza profunda de componentes	Operario auxiliar, mecánico y eléctrico			

<b>Desalación</b>	Turbina Pelton	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como caudal y potencia generada	Operario mecánico	
		Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar	
		Inspección de las paletas	Operario mecánico	
		Comprobar alineación entre turbina y generador	Operario mecánico	
		Inspección de rodamientos y sellos	Operario mecánico	
		Inspección de la cámara de la turbina	Operario mecánico	
		Termografía	Operario eléctrico	
		Análisis de vibraciones	Jefe mecánico	
		Inspección de las toberas	Jefe mecánico	
	Bastidor de membranas de fibra hueca	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, pH, presión, presión diferencial y conductividad	Operario especialista	
		Comprobación de uniones y sellado de las mismas	Operario especialista	
		Limpieza interior de las membranas	Jefe y operario especialista	
		Sustitución de membranas	Jefe especialista	
	Bastidor de membranas de arrollamiento en espiral	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, pH, presión, presión diferencial y conductividad	Operario especialista	
		Comprobación de uniones y sellado de las mismas	Operario especialista	
		Limpieza interior de las membranas	Jefe y operario especialista	
Sustitución de membranas		Jefe especialista		
<b>Postratamientos</b>	<b>Calcificación</b>	Silo de almacenamiento	Inspección visual y comprobación fugas y de nivel de llenado	Operario mecánico
			Verificación del sellado de las juntas	Operario mecánico
			Comprobación del estado del llenado y de la descarga	Operario mecánico

<b>Postratamientos</b>	<b>Calcificación</b>		Inspección de la estructura y tornillería	Operario mecánico
		Depósito para lechada de cal	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura y nivel de llenado	Operario mecánico
			Inspección exhaustiva de grietas	Operario mecánico
			Análisis de ultrasonidos	Jefe mecánico
			Limpieza	Operario mecánico y auxiliar
			Aplicación de revestimientos internos	Operario mecánico y auxiliar
			Decantador de placa	Inspección visual y comprobación fugas y buen funcionamiento
		Revisión del motor y del sellado de las juntas		Operario mecánico y eléctrico
		Cambio del aceite lubricante		Operario mecánico
		Análisis de vibraciones		Jefe mecánico
		Limpieza profunda de los componentes		Operario mecánico, eléctrico y auxiliar
		Bomba dosificadora	Inspección visual y comprobación fugas y de caudal suministrado	Operario auxiliar
			Limpieza de cristales en la válvula de inyección	Operario mecánico
			Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico
			Cambio de válvula	Operario mecánico
			Sustitución del diafragma	Operario mecánico
			Sustitución del sello del aceite	Operario mecánico
		Bomba centrífuga vertical	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Operario mecánico
			Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar
			Revisión del consumo energético	Jefe eléctrico
Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico			
		Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Operario mecánico	

<b>Postratamientos</b>	<b>Calcificación</b>	Bomba centrífuga vertical	Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico
			Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico
			Inspección de rodamientos	Operario mecánico
			Análisis de aceite	Jefe mecánico
			Termografía del equipo	Operario eléctrico
			Análisis de vibraciones	Jefe mecánico
	Limpieza profunda de componentes	Operario auxiliar, mecánico y eléctrico		
	<b>Carbonificación</b>	Depósito de CO <sub>2</sub> de acero al carbono	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como presión y conductividad térmica	Operario mecánico
			Inspección de la estructura y componentes	Jefe mecánico
Verificación del vacío del depósito			Jefe mecánico	
<b>Impulsión a embalse</b>	Bomba centrífuga horizontal	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Operario mecánico	
		Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar	
		Revisión del consumo energético	Jefe eléctrico	
		Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico	
		Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Operario mecánico	
		Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico	
		Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico	
		Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico	
		Inspección de rodamientos	Operario mecánico	
		Análisis de aceite	Jefe mecánico	
		Termografía del equipo	Operario eléctrico	
Análisis de vibraciones	Jefe mecánico			

<b>Impulsión a embalse</b>		Bomba centrífuga horizontal	Limpieza profunda de componentes	Operario auxiliar, mecánico y eléctrico
		Depósito de acero al carbono	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, conductividad y temperatura	Operario especialista
			Inspección exhaustiva de grietas	Operario mecánico
			Limpieza interna	Operario auxiliar
			Aplicación de pinturas impermeabilizantes internas	Operario mecánico y auxiliar
			Arreglo de desperfectos y pintura exterior del tanque	Operario mecánico y auxiliar
<b>Rechazo de salmuera</b>		Colector subterráneo de PRFV	Inspección de parámetros tales como pH, caudal y salinidad	Operario mecánico
			Limpieza interior de la tubería	Jefe mecánico
			Inspección boroscópica	Jefe mecánico
		Emisario submarino	Análisis de agua marina	Empresa subcontratada
			Comprobación de anclajes y conexiones	Empresa subcontratada
			Limpieza exterior de la tubería	Empresa subcontratada
<b>Limpiezas</b>	<b>Filtros de arena</b>	Bomba centrífuga horizontal	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Operario mecánico
			Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada	Operario mecánico
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico
			Inspección de rodamientos	Operario mecánico
			Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico
			Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico
Limpieza profunda de componentes	Operario mecánico eléctrico y auxiliar			

<b>Limpiezas</b>	<b>Filtros de arena</b>	Bomba centrífuga horizontal	Análisis de aceite	Jefe mecánico
		Soplante	Inspección visual y parámetros tales como temperaturas, presión	Operario mecánico
			Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico
			Comprobación y limpieza de los filtros de entrada y salida	Operario mecánico
			Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico
			Inspección de rodamientos y compresor	Operario mecánico
			Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico
			Cambio del aceite lubricante	Operario eléctrico
			Limpieza profunda de componentes	Operario mecánico eléctrico y auxiliar
	Análisis de aceite	Jefe mecánico		
	<b>Membranas</b>	Tanque electroagitador de PRFV	Inspección visual y comprobación fugas y de parámetros tales como pH, temperatura, nivel de llenado y concentración química	Operario especialista
			Limpieza de todos los componentes	Operario mecánico, eléctrico y auxiliar
			Comprobación del nivel de aceite	Operario mecánico
			Comprobación del motor y hélices	Operario mecánico
			Cambio de aceite	Operario mecánico
			Aplicación de revestimientos internos	Operario mecánico y auxiliar
		Bomba centrífuga horizontal	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, cambios de presión y succión	Operario mecánico
			Limpieza del equipo y su entorno	Operario auxiliar
			Comprobación del nivel de aceite en cojinetes	Operario mecánico
Comprobación y limpieza de los filtros de entrada			Operario mecánico	

<b>Limpiezas</b>	<b>Membranas</b>	Bomba centrífuga horizontal	Verificación del estado de la base de la bomba, de los pernos, y de los sellos mecánicos	Operario mecánico
			Inspección de rodamientos	Operario mecánico
			Aplicación producto antioxidante	Operario mecánico
			Cambio del aceite lubricante	Operario mecánico
			Limpieza profunda de componentes	Operario mecánico eléctrico y auxiliar
			Análisis de aceite	Jefe mecánico
		Filtro de cartuchos	Cambio del filtro	Operario especialista
<b>Tuberías</b>	Tubería de PRFV	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, presión y caudal	Operario mecánico	
		Inspección de las uniones de las tuberías	Operario mecánico	
		Limpieza a presión del interior	Operario mecánico	
		Análisis de ultrasonidos	Jefe mecánico	
		Inspección boroscópica	Jefe mecánico	
	Tubería de acero inoxidable	Inspección visual y comprobación de fugas y parámetros tales como temperaturas, presión y caudal	Operario mecánico	
		Inspección de las uniones de las tuberías	Operario mecánico	
		Limpieza a presión del interior	Operario mecánico	
		Análisis de ultrasonidos	Jefe mecánico	
		Inspección boroscópica	Jefe mecánico	
<b>Válvulas</b>	Válvula de mariposa automática	Inspección de desgastes, fisuras y tolerancias de desgaste	Operario mecánico	
		Lubricación	Operario mecánico	
		Limpieza química	Operario mecánico	
		Sustitución de la válvula	Operario mecánico y eléctrico	
		Inspección de desgastes, fisuras y tolerancias de desgaste	Operario mecánico	

<b>Válvulas</b>	Válvula macho manual	Lubricación	Operario mecánico
		Limpieza química	Operario mecánico
		Sustitución de la válvula	Operario mecánico y eléctrico
	Válvula de bola PTFE	Inspección de desgastes, fisuras y tolerancias de desgaste	Operario mecánico
		Lubricación	Operario mecánico
		Limpieza química	Operario mecánico
		Sustitución de la válvula	Operario mecánico y eléctrico
<b>Equipos de medida</b>	Medidor de pH	Calibración	Jefe eléctrico
	Medidor de conductividad	Calibración	Jefe eléctrico
	Medidor de temperatura	Calibración	Jefe eléctrico
	Medidor de concentración química	Calibración	Jefe eléctrico
	Medidor de presión diferencial	Calibración	Jefe eléctrico
	Medidor de presión	Calibración	Jefe eléctrico
	Medidor de caudal	Calibración	Jefe eléctrico
	Medidor de nivel	Calibración	Jefe eléctrico

**Tabla 4: Asignación de los trabajos preventivos al personal de la planta desaladora**

Todas las acciones preventivas, predictivas y correctivas que se realicen en la estación desaladora se harán conforme al Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Los trabajos de mantenimiento de esta planta desaladora se realizan durante las 24 horas del día los 365 días de año, pues la producción del agua desalada no puede disminuir ni pararse por completo. Es por eso que este tipo de plantas tiene una planificación exhaustiva del horario y de los turnos de trabajo de sus empleados para que la planta esté a pleno funcionamiento y se encuentre controlada en todo momento y ante cualquier fallo que pueda ocurrir durante la producción.

En la **Tabla 5** podemos ver la organización de la jornada laboral y de los turnos de los operarios que asegura el correcto control y mantenimiento de la planta desaladora de estudio.

<b>Día</b>	<b>Trabajador</b>	<b>Horario</b>
Lunes a viernes	Jefe de mantenimiento	07:00-15:00
	Jefe mecánico	07:00-15:00
	Jefe eléctrico	07:00-15:00
	Jefe especializado	07:00-15:00
	Operario auxiliar	07:00-15:00
		15:00-23:00
		23:00-07:00
	Operario mecánico	07:00-15:00
		15:00-23:00
	Operario eléctrico	07:00-15:00
		15:00-23:00
	Operario especializado	07:00-15:00
15:00-23:00		
Sábado y domingo	Jefe mecánico	Guardia localizada
	Jefe eléctrico	Guardia localizada
	Jefe especializado	Guardia localizada
	Operario auxiliar	07:00-15:00
		Guardia presencial
		15:00-23:00
		Guardia presencial
	Operario mecánico	23:00-07:00
Guardia presencial		
Operario mecánico	Guardia localizada	
Operario eléctrico	Guardia localizada	
Operario especializado	Guardia localizada	

**Tabla 5: Horarios de trabajos de los operarios**

#### 5.4.- Gestión del inventario y repuestos

Tan importante como es realizar un buen mantenimiento, también lo es tener las herramientas necesarias y disponibles en el momento en el que se vayan a realizar las tareas de mantenimiento.

La gestión de los repuestos es una tarea difícil a la hora de afrontar el mantenimiento de una planta industrial. El presupuesto no es ilimitado, y por tanto, no se puede tener los repuestos de todos los equipos de la planta disponibles en todo momento porque hay que ajustarse al coste de la producción de agua desalada para poder cuadrar los repuestos que se pueden tener para su utilización.

Es necesario el análisis del inventario y de repuestos porque así evitaremos, en gran medida, paradas de producción indeseadas, equipos fuera de servicio durante un tiempo prolongado y sobrecostos en los repuestos por la variación económica que por desgracia vivimos actualmente.

La gestión de repuesto de la planta desaladora en la que se centra este trabajo se fijará en los equipos más críticos y se les realiza un mantenimiento más continuado, estos son:

- Bombas centrífugas
- Bastidor de membranas
- Tuberías

Por parte de las bombas centrífugas, equipos que se encargan de impulsar el agua desde su captación hasta su almacenamiento una vez desalada. Se comprarán sellos mecánicos, rodamientos, cojinetes, pernos y tornillos, y demás componentes problemáticos, también aceite lubricante, para que queden almacenados en una instalación dentro de la planta. El aprovisionamiento de estos equipos se hará suponiendo que pueden fallar 7 de estas bombas al mismo tiempo, debido al número de bombas que tiene la planta.

En cuanto a los bastidores de membranas, que no son equipos con gran mantenimiento diario, pero si son el centro de la producción. El reemplazo de estos equipos se hará cada 3 años, pero se comprarán desde un año y medio antes para asegurarnos de que un inconveniente en la vida útil, nos prive varios meses de la producción.

Las tuberías son las encargadas de distribuir el agua por toda la planta, en este tipo de plantas el agua circula a una gran presión, lo que somete a un gran estrés a las tuberías. Por ello se tendrá una quinta parte del número de tuberías de la planta almacenadas, y con ellas, todo tipo de conexiones y de material para sellarlas herméticamente.

También se tendrá tornillería correspondiente con todo el resto de equipos de la planta, además de productos básicos para el funcionamiento de cada uno de esos equipos y de la planta.

Las averías que se produzcan repentinamente y no se tengan repuestos, serán reemplazados por los equipos de reserva que tiene la planta y serán comprados al proveedor y posteriormente arreglados.

Todos los repuestos que haya en la planta se enumerarán y se añadirán a un inventario interno de la planta. Todos los trabajadores que tengan que utilizar algún repuesto, lo retirarán por medio de una autorización del jefe de servicio.

### *5.5.- Actualizaciones y mejoras*

La implantación de un plan de mantenimiento en cualquier industria es un proceso largo y costoso, tanto económicamente como a nivel de tiempo y esfuerzo de todo el personal. La colaboración de toda la empresa es inequívocamente fundamental para la implantación y posterior mejora y actualización del plan, desde los operarios que realizan el mantenimiento, pasando por los operarios de gestión de recursos, hasta los jefes de los diferentes departamentos, ya que el desempeño y la experiencia individual es muy importante a la hora de evaluar los trabajos que se realizan y los resultados que se obtienen.

A partir de la implantación del plan de mantenimiento se abre una etapa de modificaciones del mismo, esto se debe a que el plan propuesto tiene que amoldarse a cada planta desaladora.

Cada estación desaladora es diferente, esto se debe a que la concentración salina, la temperatura, los residuos del agua bruta es diferente en cada zona. También lo es el tipo de pretratamiento y/o postratamiento que se aplican al agua a tratar. Por supuesto, cada tipo de agua se comportará de distinta forma en los bastidores de membranas, ensuciándolas en mayor o menor medida, cada mayor o menor frecuencia. Esto aplica a cada equipo de la planta.

Por tanto, desde el inicio de las acciones de mantenimiento, el plan será revisado cada 6 meses, en búsqueda de posibles cambios en los operarios, las frecuencias de los trabajos o diferentes acciones que puedan cuidar mejor a los equipos. Una vez el plan de mantenimiento se haya asentado en la instalación, será revisado mínimo una vez al año, aunque día a día durante los trabajos se irán recogiendo datos e información que, mediante partes, podrían acabar en una modificación del plan de mantenimiento.

Esta gestión del mantenimiento será responsabilidad del jefe de mantenimiento, aunque estará supervisado por el jefe de planta. Para el correcto manejo de la vasta información que proporcionan los equipos (datos aportados por los instrumentos electrónicos), y de todas las acciones preventivas, predictivas y correctivas que se llevan a cabo en la planta, sería recomendado apoyarse en la implantación de un GMAO (sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador).

Su función es la de facilitar todas las tareas que se llevan a cabo, desde la asignación de tareas al personal y el reporte de averías, hasta el aumento de la productividad, el mejor control sobre los repuestos y, por tanto, mejor control de gastos.

### *5.6.- Seguimiento del mantenimiento*

Tener controlada la realización de los trabajos y la frecuencia de los mismos es un factor primordial para el correcto mantenimiento de los equipos y del buen funcionamiento de la planta. Ya que todos los operarios deben saber cuando actuar y sobre que equipos hacerlo, no puede haber equipos que se les haya realizado el mantenimiento dos veces y otros ninguno, o que se haya retrasado o adelantado su acción preventiva.

Para verificar la realización de las tareas de mantenimiento se tendrá que rellenar un parte de seguimiento de las acciones. Por otro lado, ante la aparición de averías, se tendrá que rellenar un parte de incidencias, el cual será redirigido al jefe de la sección del operario, y si fuera una avería grave (en la que haya que parar la producción del agua producto) será notificado al jefe de mantenimiento y al de planta.

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de captación de agua bruta

Nombre del trabajador: \_\_\_\_\_

Puesto: \_\_\_\_\_

N.º de equipo: \_\_\_\_\_

Fecha de mantenimiento: \_\_\_\_\_

Acción realizada: \_\_\_\_\_

FRECUENCIA	
Anual	Bianual

Fecha del próximo mantenimiento: \_\_\_\_\_

<u>OBSERVACIONES</u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de impulsión a planta

Nombre del trabajador: \_\_\_\_\_

Puesto: \_\_\_\_\_

N.º de equipo: \_\_\_\_\_

Fecha de mantenimiento: \_\_\_\_\_

Acción realizada: \_\_\_\_\_

FRECUENCIA						
Diaria	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Bianual

Fecha del próximo mantenimiento: \_\_\_\_\_

<u><b>OBSERVACIONES</b></u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de pretratamientos

SUBPROCESO					
Desinfección	Acidificación	Coagulación	Filtros de arena	Antiincrustación	Filtros de cartucho

**Nombre del trabajador:** \_\_\_\_\_

**Puesto:** \_\_\_\_\_

**N.º de equipo:** \_\_\_\_\_

**Fecha de mantenimiento:** \_\_\_\_\_

**Acción realizada:** \_\_\_\_\_

FRECUENCIA						
Diaria	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Bianual

**Fecha del próximo mantenimiento:** \_\_\_\_\_

<u><b>OBSERVACIONES</b></u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de desalación

Nombre del trabajador: \_\_\_\_\_

Puesto: \_\_\_\_\_

N.º de equipo: \_\_\_\_\_

Fecha de mantenimiento: \_\_\_\_\_

Acción realizada: \_\_\_\_\_

FRECUENCIA						
Diaria	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Triannual

Fecha del próximo mantenimiento: \_\_\_\_\_

<u>OBSERVACIONES</u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de postratamientos

SUBPROCESO	
Calcificación	Carbonificación

**Nombre del trabajador:** \_\_\_\_\_

**Puesto:** \_\_\_\_\_

**N.º de equipo:** \_\_\_\_\_

**Fecha de mantenimiento:** \_\_\_\_\_

**Acción realizada:** \_\_\_\_\_

FRECUENCIA						
Diaria	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Bianual

**Fecha del próximo mantenimiento:** \_\_\_\_\_

<u>OBSERVACIONES</u>

Firma:

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de impulsión a embalse

Nombre del trabajador: \_\_\_\_\_

Puesto: \_\_\_\_\_

N.º de equipo: \_\_\_\_\_

Fecha de mantenimiento: \_\_\_\_\_

Acción realizada: \_\_\_\_\_

FRECUENCIA						
Diaria	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Bianual

Fecha del próximo mantenimiento: \_\_\_\_\_

<u>OBSERVACIONES</u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de rechazo de salmuera

Nombre del trabajador: \_\_\_\_\_

Puesto: \_\_\_\_\_

N.º de equipo: \_\_\_\_\_

Fecha de mantenimiento: \_\_\_\_\_

Acción realizada: \_\_\_\_\_

FRECUENCIA			
Diaria	Mensual	Anual	Bianual

Fecha del próximo mantenimiento: \_\_\_\_\_

<u>OBSERVACIONES</u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Proceso de limpieza

SUBPROCESO	
Filtros de arena	Membranas

**Nombre del trabajador:** \_\_\_\_\_

**Puesto:** \_\_\_\_\_

**N.º de equipo:** \_\_\_\_\_

**Fecha de mantenimiento:** \_\_\_\_\_

**Acción realizada:** \_\_\_\_\_

FRECUENCIA			
Trimestral	Semestral	Anual	Bianual

**Fecha del próximo mantenimiento:** \_\_\_\_\_

<u><b>OBSERVACIONES</b></u>

Firma:

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Mantenimiento de tuberías

TIPO DE TUBERÍA	
PRFV	Acero inoxidable

**Nombre del trabajador:** \_\_\_\_\_

**Puesto:** \_\_\_\_\_

**N.º de equipo:** \_\_\_\_\_

**Fecha de mantenimiento:** \_\_\_\_\_

**Ubicación de la tubería:** \_\_\_\_\_

**Acción realizada:** \_\_\_\_\_

FRECUENCIA			
Semanal	Trimestral	Anual	Bianual

**Fecha del próximo mantenimiento:** \_\_\_\_\_

<u>OBSERVACIONES</u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Mantenimiento de válvulas

TIPO DE VÁLVULA		
Válvula de mariposa automática	Válvula macho manual	Válvula de bola PTFE

**Nombre del trabajador:** \_\_\_\_\_

**Puesto:** \_\_\_\_\_

**N.º de equipo:** \_\_\_\_\_

**Fecha de mantenimiento:** \_\_\_\_\_

**Ubicación de la válvula:** \_\_\_\_\_

**Acción realizada:** \_\_\_\_\_

FRECUENCIA				
Trimestral	Semestral	Anual	Quinquenal	Decenal

**Fecha del próximo mantenimiento:** \_\_\_\_\_

<u><b>OBSERVACIONES</b></u>

Firma:

\_\_\_\_\_

## PARTE DE SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO

### Mantenimiento de equipos de medida

TIPO DE MEDIDOR							
pH	Conductividad	Temperatura	Concentración química	Presión diferencial	Presión	Caudal	Nivel

**Nombre del trabajador:** \_\_\_\_\_

**Puesto:** \_\_\_\_\_

**N.º de equipo:** \_\_\_\_\_

**Fecha de mantenimiento:** \_\_\_\_\_

**Ubicación del medidor:** \_\_\_\_\_

**Acción realizada:** \_\_\_\_\_

FRECUENCIA
Anual

**Fecha del próximo mantenimiento:** \_\_\_\_\_

<u><b>OBSERVACIONES</b></u>

Firma: \_\_\_\_\_

## PARTE DE INCIDENCIAS

**Marque el equipo donde se presenta la avería**

LÍNEA DE PROCESO		EQUIPO	MARQUE CON X
Captación de agua		Toma de agua subacuática	
		Tubería de PRFV subacuática	
Impulsión a planta		Bomba centrífuga vertical	
		Tanque de hormigón armado de 3000 m <sup>3</sup>	
		Bomba centrífuga horizontal	
Pretratamiento	Desinfección	Bomba dosificadora	
		Depósito de PRFV	
	Acidificación	Bomba dosificadora	
		Depósito de PEAD	
	Coagulación	Bomba dosificadora	
		Depósito de PRFV	
	Filtro de arena	Filtros de arena	
	Antiincrustación	Bomba dosificadora	
		Tanque electroagitador de PRFV	
	Filtro de cartuchos	Filtros de cartucho	
Desalación		Bomba horizontal multietapa de cámara partida	
		Turbina Pelton	
		Bastidor de membranas de fibra hueca	
		Bastidor de membranas de arrollamiento en espiral	
Postratamiento	Calcificación	Silo de almacenamiento	
		Depósito para lechada de cal	

<b>Postratamiento</b>	<b>Calcificación</b>	Decantador de placa	
		Bomba dosificadora	
		Bomba centrífuga vertical	
	<b>Carbonificación</b>	Depósito de CO <sub>2</sub> de acero al carbono	
<b>Impulsión a embalse</b>		Bomba centrífuga horizontal	
		Depósito de acero al carbono	
<b>Rechazo de salmuera</b>		Colector subterráneo de PRFV	
		Emisor submarino	
<b>Limpiezas</b>	<b>Filtros de arena</b>	Bomba centrífuga horizontal	
		Soplante	
	<b>Membranas</b>	Tanque electroagitador de PRFV	
		Bomba centrífuga horizontal	
		Filtro de cartuchos	
<b>Tuberías</b>		Tubería de PRFV	
		Tubería de acero inoxidable	
<b>Válvulas</b>		Válvula de mariposa automática	
		Válvula macho manual	
		Válvula de bola PTFE	
<b>Equipos de medida</b>		Medidor de pH	
		Medidor de conductividad	
		Medidor de temperatura	
		Medidor de concentración química	
		Medidor de presión diferencial	
		Medidor de presión	
		Medidor de caudal	
	Medidor de nivel		

Nombre del trabajador: \_\_\_\_\_

Puesto: \_\_\_\_\_

Fecha de la incidencia: \_\_\_\_\_

Ubicación del equipo: \_\_\_\_\_

Acción realizada: \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN DE LA INCIDENCIA**

Firma:

\_\_\_\_\_

## 5.7.- Presupuesto

Otra parte importante del plan de mantenimiento es realizar un presupuesto de todos los recursos, tanto personales como materiales. En la **Tabla 6** podremos ver el coste anual de cada recurso y el cómputo global del coste del mantenimiento de la planta desaladora que hemos estudiado durante este trabajo de final de grado.

Artículo	Cantidad	Precio anual	Precio total
<b>Recursos humanos</b>			
Jefe/a de mantenimiento	1	56.000,00 €	56.000,00 €
Jefe/a de sección	3	46.200,00 €	138.600,00 €
Operario/a auxiliar	6	28.000,00 €	168.000,00 €
Operario/a eléctrico	4	35.000,00 €	140.000,00 €
Operario mecánico	6	35.000,00 €	210.000,00 €
Operario especializado	2	35.000,00 €	70.000,00 €
Empresa de mantenimiento subacuático	1	20.000,00 €	20.000,00 €
<b>Total personal</b>			<b>802.600,00 €</b>
<b>Recursos materiales</b>			
Productos de limpieza	-	2.000,00 €	2.000,00 €
Material oficina	-	600,00 €	600,00 €
Herramientas mecánicas	-	1.000,00 €	1.000,00 €
Tornillos, pernos, clavos, roscas, arandelas	-	250,00 €	250,00 €
Pintura	-	200,00 €	200,00 €
Pintura aislante	-	2.000,00 €	2.000,00 €
Cemento	-	50,00 €	50,00 €
Equipos de medida	-	1.250,00 €	1.250,00 €
Cojinetes	-	350,00 €	350,00 €
Rodamientos	-	350,00 €	350,00 €
Sellos mecánicos	-	100,00 €	100,00 €
Aceite lubricante para bombas	-	1.500,00 €	1.500,00 €
Sensores	-	750,00 €	750,00 €
Válvulas simples	-	100,00 €	100,00 €
Tomas de fuerza	-	75,00 €	75,00 €
Interruptores	-	100,00 €	100,00 €
Bombillas	-	250,00 €	250,00 €
Equipos de protección individual y colectiva	-	2.000,00 €	2.000,00 €
Productos químicos para limpieza de membranas	-	200,00 €	200,00 €
Arena para filtración	-	1.000,00 €	1.000,00 €
Imprimación antioxidante	-	500,00 €	500,00 €
Analizador ultrasónico	-	3.000,00 €	3.000,00 €
Analizador vibraciones	-	1.500,00 €	1.500,00 €
Analizador de aceite	-	300,00 €	400,00 €
Boroscopio	-	400,00 €	700,00 €

Cámaras termográficas	-	700,00 €	700,00 €
Alquiler de 2 furgonetas	-	10.800,00 €	10.800,00 €
<b>Total material</b>			<b>31.725,00 €</b>
<b>Total global</b>			<b>834.325,00 €</b>

**Tabla 6: Presupuesto**

En este presupuesto no se contempla los costes de los materiales necesarios en las acciones de mantenimiento correctivo no planificado, puesto que estas surgen de forma repentina. Y tampoco se reflejan los costes de oportunidad, estos son los gastos que se producen por la compra de algunos materiales en los que el precio ofrecía una oportunidad para ahorrar costes en un futuro.

## 6.- Conclusions

The creation and implementation of a correct maintenance plan for a desalination plant is truly essential to achieve high operational, economic and environmental sustainability efficiency. During the completion of this work, the key points of a maintenance plan have been analyzed, such as preventive, predictive and corrective actions, the department's organizational chart, the assignment and schedule of work, spare parts management, as well as their monitoring, maintenance plan update and budget.

It is necessary to know well the land where the desalination plant is going to be built, in addition to the industry and the equipment used in it to carry out a correct maintenance plan. It is also important to have a team that covers broad fields of technical knowledge, from the basic knowledge of working in an industry, to the mechanical, electrical, chemical and specific knowledge needed in a desalination plant. Although it is also important to have a maintenance manager who leads the work team and, knowing the operators who make it up, distribute the jobs that best suit each one, to achieve the maximum performance of each worker, achieving a work team cohesive and that they work happily with a common goal.

The constant training of the work team is also key to the development of work, since workers who are up to date in terms of knowledge of technical developments can carry out the actions that require maintenance in a more precise and successful way. In addition, it is important to be updated on the software tools that are being launched on the market since they can help improve the performance of workers, freeing them from workloads, helping them solve problems and assisting them in carrying out different jobs.

Finally, it is important to be aware of the proliferation of the construction and renovation of desalination plants in the world, but more specifically in the Canary Islands and Tenerife. The coming years will not be easy for obtaining fresh water for the entire population, since there is less and less rainfall and more demand, this unequivocally leads to an increase in the production of desalinated water by the local industry. Maintenance plans will be essential for desalination plants since they require an update of the maintenance plan in the event of any internal modification that occurs in the plant and the drafting of a plan for each plant that is built. Maintenance plans help the plants maximize the total production of desalinated water, extending the useful life of the equipment as much as possible, minimizing technical stops at the desalination station, and offering the highest quality of the final product produced there, fresh water, necessary for the life of all humans.

## 7.- Bibliografía

[1]. “CAMBIO CLIMÁTICO EN TENERIFE 2021,”. [www.occet.es](http://www.occet.es) [En línea]. Disponible en: [https://occet.es/wpcontent/uploads/2023/01/Cambioclimatico\\_Tenerife\\_2021\\_Luis\\_Martin2022.pdf](https://occet.es/wpcontent/uploads/2023/01/Cambioclimatico_Tenerife_2021_Luis_Martin2022.pdf) (Accedido: 21-may-2024).

[2]. “PRECIPITACIONES ANUALES SIGLO XXI EN TENERIFE SEGUNDA PARTE,”. [www.museosdetenerife.org](http://www.museosdetenerife.org) [En línea]. Disponible en: <https://www.museosdetenerife.org/muna-museo-de-naturaleza-y-arqueologia/wp-content/uploads/sites/2/2021/01/LLUVIA-SIGLO-XXI-TENERIFE-SEGUNDA-PARTE-FINAL-MUNA-1-1.pdf> (Accedido: 21-may-2024).

[3]. Acuamed. (2008). La desalación en España. Ed. Acuamed.

[4]. Medina San Juan, J. A. (2000). Desalación de aguas salobres y de mar: Ósmosis inversa (1ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa.

[5]. “Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano,” [www.sanidad.gob.es](http://www.sanidad.gob.es) [En línea]. Disponible en: [https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia\\_desalacion.pdf](https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf) (Accedido: 21-may-2024).

[6]. Gallará, I. (2020). Mantenimiento industrial (1ª ed.). Jorge Sarmiento Editor - Universitas.

[7]. “Mantenimiento preventivo a fondo,” [www.fractal.com](http://www.fractal.com) [En línea]. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-preventivo> (Accedido: 21-may-2024).

[8]. “Mantenimiento correctivo: qué es, tipos y ventajas,” [www.ekon.es](http://www.ekon.es) [En línea]. Disponible en: <https://www.ekon.es/blog/mantenimiento-correctivo-que-es-tipos-y-ventajas/> (Accedido: 21-may-2024).

[9]. “Lubricación con Aceite,” [www.predictiva21.com](http://www.predictiva21.com) [En línea]. Disponible en: <https://predictiva21.com/13-3-lubricacion-aceite/> (Accedido: 21-may-2024).

[10]. “Cómo se hace la gestión de repuestos en el mantenimiento industrial,” [www.cursosaula21.com](http://www.cursosaula21.com) [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/gestion-de-repuestos-en-el-mantenimiento-industrial/> (Accedido: 21-may-2024).