



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
MEDIANTE UN PROCESO DE DESALACIÓN
POR ÓSMOSIS INVERSA

Autor: Manuel Jiménez Serrano
Director: María del Mar Cledera Castro

Madrid 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Diseño de una estación de tratamiento de agua potable mediante un proceso de desalación por osmosis inversa

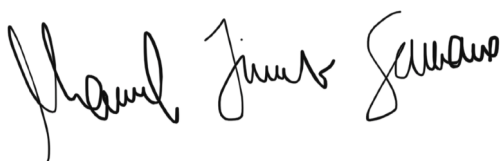
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2020/2021 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Manuel Jiménez Serrano

Fecha: 16/ 06/ 2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Firmado digitalmente por
María del Mar Cledera Castro
Fecha: 2021.06.09 20:00:03
+02'00'

Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: 16/ 06/ 2021



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
MEDIANTE UN PROCESO DE DESALACIÓN
POR ÓSMOSIS INVERSA

Autor: Manuel Jiménez Serrano
Director: María del Mar Cledera Castro

Madrid 2021

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MEDIANTE UN PROCESO DE DESALACIÓN POR ÓSMOSIS INVERSA

Autor: Jiménez Serrano, Manuel.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de una estación de tratamientos de agua potable mediante un proceso de desalación por osmosis inversa en la zona de la comarca de la Marina Alta. El agua se obtendrá de un acuífero costero subterráneo en la sierra de Toix, en el municipio de Calpe. Se quiere diseñar la planta para abastecer de agua potable a la comarca de la Marina Alta, de unos 50 mil habitantes, una comarca perteneciente a la Comunidad Valenciana.

Durante la mayoría del año el acuífero se recarga de agua salada, procedente del mar, pero durante 3 meses al año, existe una inversión del gradiente que provoca la salida de agua dulce al mar. La estación de tratamientos de agua potable se diseñará para su funcionamiento durante todo el año. También se tendrá en cuenta que la población, en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, de la comarca aumenta por el alto número de turistas que visitan la zona.

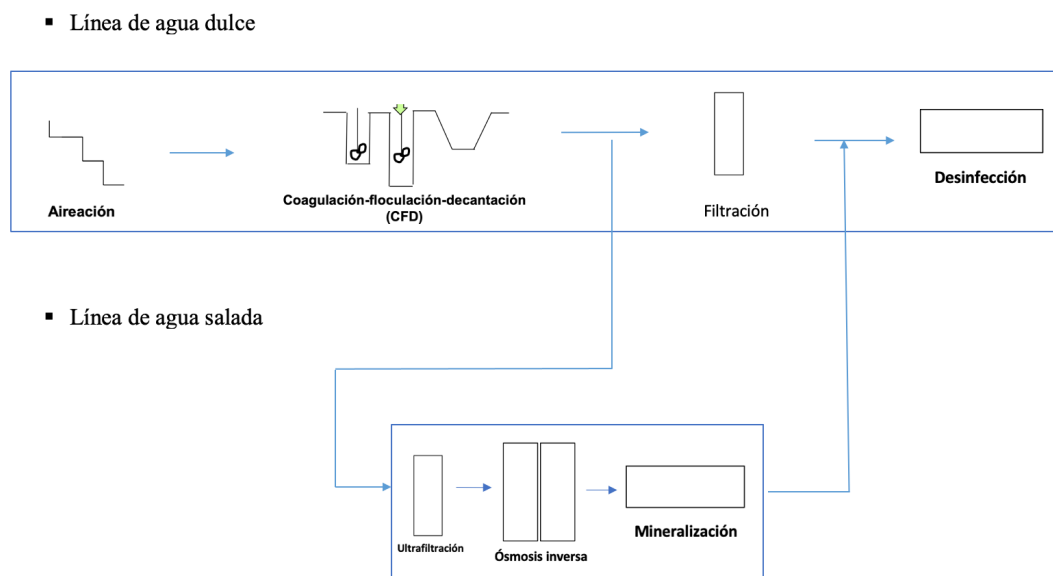


Ilustración 1: Esquema de la ETAP

Palabras clave: Agua, Depurar, Ósmosis

1. Introducción

El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada (solo el 2,5% del agua en el planeta es potable), y su calidad está sometida a una presión constante, la cual solo crece con los años. La conservación de la calidad del agua dulce es una prioridad para poder conseguir el suministro necesario para el consumo de agua, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por muchos factores, por ejemplo: la presencia de agentes infecciosos y productos químicos vertidos por las industrias y la presencia de productos procedentes de la carencia de un sistema de reciclaje tanto a nivel local como nacional. [1]

El crecimiento demográfico, el cambio climático y el mal uso de nuestras reservas de agua, hacen que los recursos hídricos de la población cada vez sean menores. Por eso es importante que los países tengan un plan para poder abastecer a la población con agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible para el uso personal y doméstico. Se debe recordar que el agua no es un privilegio si no un derecho respaldado por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales.

2. Definición del proyecto

Este proyecto se ha dividido en tres partes. La primera parte se ha basado en la búsqueda de la localización donde instalar la ETAP y la obtención de los datos del agua de la zona.

La segunda parte se ha desarrollado el análisis de los datos del agua para el cálculo y el diseño de la planta. El cálculo consiste en obtener los litros de agua consumidos por la población anualmente y ver si el acuífero tiene dicha capacidad de abastecimiento. En el diseño se ha planteado los diferentes tipos y posibles decisiones a tomar sobre los diferentes elementos que componen las diferentes etapas de la estación de tratamiento de agua potable.

Y la última etapa consiste en el análisis de los diferentes tipos de desalación y su conclusión. También se ha realizado un análisis energético para conseguir reutilizar la presión que se pierde con la salmuera en el proceso de la ósmosis inversa.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

La principal Sistema que se va a emplear para tratar el agua hasta que tenga los requisitos necesarios para el consumo humano es la ósmosis inversa. La ósmosis es un proceso natural por el cual dos soluciones con diferentes concentraciones están divididas por una membrana semipermeable, provocando una diferencia de presiones. La solución con menor concentración pasaría a través de la membrana a la solución con mayor concentración, para igualar las concentraciones, este proceso no supone ningún coste energético. La osmosis inversa consiste en aumentar la presión en el lado de la solución

con mayor concentración para invertir el proceso y que atraviese la membrana hacia el lado de menor concentración. Por ejemplo, si se tiene una membrana que separa agua dulce y salada, el proceso natural sería que el agua dulce pase la membrana hacia el lado de agua salada, para que las concentraciones se igualasen. Ahora bien, si aumentamos la presión en el lado del agua salada, por encima de la presión osmótica, el agua salada pasaría hacia el agua dulce filtrando la sal e invirtiendo el proceso de la ósmosis.

4. Conclusiones

El proceso elegido para desalar es la osmosis inversa, como se ha comentado anteriormente.

La estación de agua potable (ETAP) se quiere instalar en la sierra de Toix, donde está el acuífero de donde se va a abastecer la planta. Para evitar problemas de cavitación se recomienda que la instalación se divida en dos partes. Una primera parte formada por una bomba que de mucho caudal y poca altura hasta llegar a un depósito de acumulación de agua. Dentro de ese depósito se instalará la segunda bomba que proporcione mucha altura y poco caudal hasta llegar a la planta depuradora.

Toda agua proveniente de un pozo o acuífero contiene sales de Fe y Mn por lo que el primer proceso debe de ser la aireación. En nuestro caso las cantidades son muy bajas, las sales de Fe se precipitarán pero las de Mn necesitan que el pH suba a 9.

En la coagulación es muy importante que la mezcla sea homogénea y rápida por lo que se debe de usar unas bombas de dosificación. En la floculación el pH cambia dependiendo de el coagulante que se le añada, en este caso el pH debería de estar entre 8 y 10. Después de la coagulación y floculación se deja reposar el agua en la decantación para que precipiten todos los sólidos.

Los resultados de los diferentes análisis del agua son los que controlan si el agua se desvía a la línea de agua dulce. Debido a que la planta tiene que abastecer a tanta población, el filtrado de la línea de agua dulce ha de ser rápido, por ello se seleccionará el filtrado de flujo ascendente.

En la línea de agua salda está formada por 3 etapas. La primera etapa es el ultrafiltrado, esta etapa es necesaria antes de la osmosis inversa debido a que reduce las posibilidades de obstrucción de la membrana. En este caso se recomienda el uso de filtros orgánicos.

La segunda etapa (membrana de ósmosis inversa) es la más importante y la más costosa. La salmuera que se rechaza en este proceso está a 70 bar y dicha presión se aprovecha para conseguir una recuperación energética usando el *Energy Recovery Pressure Exchanger (ERI-PX)*. Este dispositivo contiene un rotor cerámico la cual transmite la presión de la salmuera al agua salada. En la estación también se instalará un laboratorio donde después de una microfiltración y una diálisis se obtiene a partir de la salmuera dos componentes muy usados, el hidróxido de sodio y ácido clorhídrico

Como se ha comentado antes, el proceso de ósmosis inversa tiene una gran capacidad para eliminar las sustancias presentes en el agua, entre ellas sales vitales para el consumo humano. Por este motivo el agua ha de tener un postratamiento, tercera etapa de la línea

de agua salada, donde se remineralice usando es un lecho de calcita con dosificador de CO₂

El último paso es la desinfección con cloro, teniendo en cuenta que hay que aportar un 0,2 mg/l más para la desinfección de los patógenos de las tuberías de transporte.

5. Referencias

[1] “Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019.”

DESIGN OF A DRINKING WATER TREATMENT PLANT USING A REVERSE OSMOSIS DESALINATION PROCESS.

Author: Jiménez Serrano, Manuel.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

PROJECT SUMMARY

The objective of this project is to design a drinking water treatment plant using a reverse osmosis desalination process in the Marina Alta region. The water will be obtained from a subway coastal aquifer in the Toix mountain range, in the municipality of Calpe. The plant is to be designed to supply drinking water to the Marina Alta region, a region belonging to the Valencian Community.

During most of the year the aquifer is recharged with salt water from the sea, but during 3 months of the year, there is a gradient inversion that causes fresh water to flow into the sea. The drinking water treatment plant will be designed for year-round operation. It will also consider that the population of the region increases during the months of June, July, August, and September due to the high number of tourists visiting the area.

Keywords: Water, Purification, Osmosis

1. Introduction

Water is essential for life. The amount of fresh water on earth is limited (only 2.5% of the water on the planet is potable), and its quality is under constant pressure, which only increases with age. The conservation of freshwater quality is a priority to achieve the necessary supply for water consumption, food production and recreational use. Water quality can be compromised by many factors, for example: the presence of infectious agents and chemicals discharged by industries and the presence of products from the lack of a recycling system both locally and nationally. [1]

Population growth, climate change and the misuse of our water reserves mean that the population's water resources are becoming less and less. It is therefore important that countries have a plan to supply the population with sufficient, healthy, acceptable, physically accessible and affordable water for personal and domestic use. It should be remembered that water is not a privilege, but a right endorsed by the Committee on Economic, Social and Cultural Rights.

2. Project definition

This project has been divided into three main parts. The first part was based on the search of the location where to install the DWTP and the search of the water data of the area.

The second part was based on the analysis of the water data for the calculation and design of the plant. The calculation consists of obtaining the liters of water consumed by the population annually and see if the aquifer has such a supply capacity. In the design, the different types and possible decisions to be taken on the different elements that make up the different stages of the drinking water treatment plant have been considered.

And the last stage consists of the analysis of the different types of desalination and its conclusion. An energetic analysis has also been carried out to reuse the pressure that is lost with the brine in the reverse osmosis process.

3. Description of the model/system/tool

The main system to be used to treat the water until it meets the necessary requirements for human consumption is reverse osmosis. Osmosis is a natural process by which two solutions with different concentrations are divided by a semi-permeable membrane, causing a pressure difference. The solution with lower concentration would pass through the membrane to the solution with higher concentration, to equalize the concentrations, this process does not involve any energy cost. Reverse osmosis consists of increasing the pressure on the side of the solution with the higher concentration to reverse the process so that it passes through the membrane to the side with the lower concentration. For example, if you have a membrane that separates fresh and salt water, the natural process would be for the fresh water to pass through the membrane to the salt waterside, so that the concentrations are equalized. However, if we increase the pressure on the salt waterside, above the osmotic pressure, the salt water would pass towards the fresh water, filtering the salt and reversing the osmosis process.

4. Conclusions

The process chosen for desalination is reverse osmosis, as mentioned above.

The drinking water station (DWTP) is to be installed in the Toix mountain range, where the aquifer from which the plant will be supplied is located. To avoid cavitation problems, it is recommended that the installation be divided into two parts. A first part formed by a pump that has a high flow and low height until it reaches a water accumulation tank. Inside this tank, the second pump will be installed to provide a high head and low flow until it reaches the treatment plant.

All water coming from a well or aquifer contains ferrous and manganous components, so the first process must be aeration. In our case the quantities are very low, the ferrous components will precipitate on their own, but the manganous components need the pH to rise to 9.

In coagulation, it is very important that the mixture is homogeneous and fast, so dosing pumps must be used. In flocculation the pH changes depending on the coagulant added,

in this case the pH should be between 8 and 10. After coagulation and flocculation, the water is left to settle in the settling tank to precipitate all the particles.

The results of the various water analyses control whether the water is diverted to the freshwater line. Because the plant must supply so many people, the filtering of the freshwater line must be fast, so up flow filtering will be selected.

The saltwater line consists of 3 stages. The first stage is ultrafiltration, this stage is necessary before reverse osmosis because it reduces the chances of membrane clogging. In this case the use of organic filters is recommended.

The second stage (reverse osmosis membrane) is the most important and the most expensive. The brine that is rejected in this process is at 70 bar and this pressure is used to achieve energy recovery using the Energy Recovery Pressure Exchanger (ERI-PX). This device contains a ceramic rotor which transmits the brine pressure to the salt water. A laboratory will also be installed at the station where, after microfiltration and dialysis, two widely used components, sodium hydroxide and hydrochloric acid, are obtained from the brine.

As mentioned above, the reverse osmosis process has a great capacity to eliminate substances present in water, including salts vital for human consumption. For this reason, the water has to have a post-treatment, third stage of the salt water line, where it is remineralizer using a calcite bed with CO₂ doser.

The last step is disinfection with chlorine, considering that an additional 0.2 mg/l must be added for the disinfection of pathogens in the transport pipes.

5. References

[1] "United Nations World Water Development Report 2019."

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>I</i>
<i>Índice de ilustraciones.....</i>	<i>III</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>V</i>
Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Motivación del proyecto.....	7
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	9
Capítulo 3. Definición del Trabajo	11
3.1 Justificación.....	11
3.1.1 Crecimiento demográfico	11
3.1.2 Cambio Climático.....	12
3.1.3 Recursos Hídricos.....	13
3.1.4 Uso del agua.....	15
3.1.5 El derecho al agua.....	16
3.2 Objetivos.....	18
3.3 Metodología.....	19
3.4 Planificación	20
Capítulo 4. Sistema/Modelo Desarrollado.....	21
4.1 Diferentes Procesos de desalación.....	21
4.1.1 Destilación por múltiple efecto (MED)	21
4.1.2 Evaporación súbita por efecto flash (MSF)	22
4.1.3 Compresión mecánica de vapor (CV)	23
4.1.4 Electrodialisis (ED).....	24
4.1.5 Osmosis inversa (OI)	25
4.1.6 Elección del proceso.....	27
4.2 Diseño de la planta	28
4.2.1 Captación.....	29
4.2.1.1 Análisis.....	29

4.2.1.2 Instalación de ETAP.....	33
4.2.2 Aireación y preoxidación.....	36
4.2.3 Tratamiento CFD	37
4.2.3.1 Coagulación.....	37
4.2.3.2 Floculación	37
4.2.3.3 Decantación	38
4.2.4 Línea de agua dulce.....	38
4.2.4.1 Filtración lenta.....	39
4.2.4.2 Filtración rápida	40
4.2.5 Línea de agua salada.....	43
4.2.5.1 Ultrafiltración	43
4.2.5.2 Ósmosis inversa.....	44
4.2.5.3 Mineralización.....	47
4.2.6 Desinfección	48
Capítulo 5. Análisis de Resultados.....	49
5.1 Captación.....	49
5.2 Filtración línea de agua dulce.....	50
5.3 Ultrafiltración	52
5.4 Ósmosis inversa.....	53
5.5 Resultados.....	55
Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	57
Capítulo 7. Bibliografía.....	61
ANEXO I- METAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	65

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Esquema de la ETAP.....	7
Ilustración 4: Crecimiento de la población mundial [5]	12
Ilustración 5: Anomalías en la medida de la temperatura global, comparando las 5 colecciones globales de datos de temperatura [6]	13
Ilustración 6: Distribución del agua [7]	14
Ilustración 7: Estrés hídrico por país/región [8]	14
Ilustración 8: Uso del agua extraída [9]	15
Ilustración 9: Crecimiento de la extracción de agua mundial [10]	16
Ilustración 10: Porcentaje de población con acceso a agua potable 2010 [11]	17
Ilustración 11:: Esquema de la ETAP [13]	19
Ilustración 12: Proceso de desalación por múltiple efecto (MED) [14]	22
Ilustración 13: Evaporación súbita por efecto flas (MFS) [15]	23
Ilustración 14: Proceso de compresión de vapor(CV) [16]	24
Ilustración 15: Proceso de electrodiálisis [17]	25
Ilustración 16: Proceso de ósmosis inversa [18]	26
Ilustración 17: Ubicación de la entrada del acuífero de Toix [20]	29
Ilustración 18: ubicación aproximada de la entrada a la cavidad del acuífero [21]	30
Ilustración 19: Plano del acuífero de Toix	30
Ilustración 20: Gráficas del caudal	31
Ilustración 21: Consumo de agua diario por persona según la comunidad autonómica de España [22]	33
Ilustración 22: Tanque CFD [23]	38
Ilustración 23: Filtro de arena lento	39
Ilustración 24: filtro por presión [24]	42
Ilustración 25: Filtro de flujo ascendente [24]	42
Ilustración 26: Filtro por centrifugado [24]	42

Ilustración 27: Filtro por gravedad [24]	42
Ilustración 28: Esquema simplificado del turbocharger [25]	45
Ilustración 29: funcionamiento del ERI-PX	46
Ilustración 30: Gráfico de cantidad de Cloro a usar	48
Ilustración 31:Esquema del equipo ERI-PX [12]	54

Índice de tablas

Tabla 1: Comparativa de los diferentes procesos [18]	27
Tabla 2: Análisis de la calidad del agua	32
Tabla 3: Comparativa de filtración	43
Tabla 4: Tabla del catálogo de Culligan [26]	52
Tabla 6: Tabla del consumo energético de las bombas [12]	55
Tabla 7: Tabla del ahorro energético [12]	55

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada (solo el 2,5% del agua en el planeta es potable), y su calidad está sometida a una presión constante, la cual solo crece con los años. La conservación de la calidad del agua dulce es una prioridad para poder conseguir el suministro necesario para el consumo de agua, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por muchos factores, por ejemplo: la presencia de agentes infecciosos y productos químicos vertidos por las industrias y la presencia de productos procedentes de la carencia de un sistema de reciclaje tanto a nivel local como nacional. [1]

El crecimiento demográfico, el cambio climático y el mal uso de nuestras reservas de agua, hacen que los recursos hídricos de la población cada vez sean menores. Por eso es importante que los países tengan un plan para poder abastecer a la población con agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible para el uso personal y domestico. Se debe recordar que el agua no es un privilegio si no un derecho respaldado por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. [2]

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El Consorcio para el Abastecimiento y Saneamiento de Aguas en la Marina Alta (CASAMA) es el encargado del suministro de agua en la comarca de La Marina Alta. Este consorcio fue creado en marzo de 1987 tras acuerdo entre la Generalitat Valenciana y la Diputación de Alicante, con el objeto de resolver de forma conjunta los graves problemas que ya se empezaban a plantear en la década de 1980 en el suministro de agua, principalmente en los municipios de la costa. [3]

Fue Charles E. Reid en 1953 quien, por primera vez, propuso usar una membrana para realizar un proceso de desalinización de agua, pero hasta 1959 no encontró una membrana de calidad aceptable para el proceso. El siguiente problema que se encontraron fue el coste energético del proceso, no resolvieron este problema hasta la década de los setenta.

La ósmosis es un proceso natural por el cual dos soluciones con diferentes concentraciones están divididas por una membrana semipermeable, provocando una diferencia de presiones. La solución con menor concentración pasaría a través de la membrana a la solución con mayor concentración, para igualar las concentraciones, este proceso no supone ningún coste energético. La osmosis inversa consiste en aumentar la presión en el lado de la solución con mayor concentración para invertir el proceso y que atraviese la membrana hacia el lado de menor concentración. Por ejemplo, si se tiene una membrana que separa agua dulce y salada, el proceso natural sería que el agua dulce pase la membrana hacia el lado de agua salada, para que las concentraciones se igualasen. Ahora bien, si aumentamos la presión en el lado del agua salada, por encima de la presión osmótica (Presión mínima para detener el flujo a través de la membrana), el agua salada pasaría hacia el agua dulce filtrando la sal e invirtiendo el proceso de la ósmosis.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

El agua en nuestro planeta no es el problema porque aparece en el 71% de la superficie terrestre. Se estima que hay unos 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua en el Planeta. De esos 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua, el 97,5% se encuentra en los océanos. El problema está en el agua potable que solo abarca 2,5%. Por eso es fundamental desarrollar, para conseguir de forma segura y sostenible, estaciones de tratamiento de agua potable. [4]

3.1.1 CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO

Según la UNESCO se estima que, al año, la población mundial crece en 80 millones de personas al año, lo que supone un aumento en el consumo del agua de 64 mil millones de metros cúbicos anuales. Se espera que la población mundial crezca en un 1% anualmente, lo que supone unos 2 mil millones de personas en los próximos años, llegando a alcanzar los 10,9 mil millones de personas en el mundo.

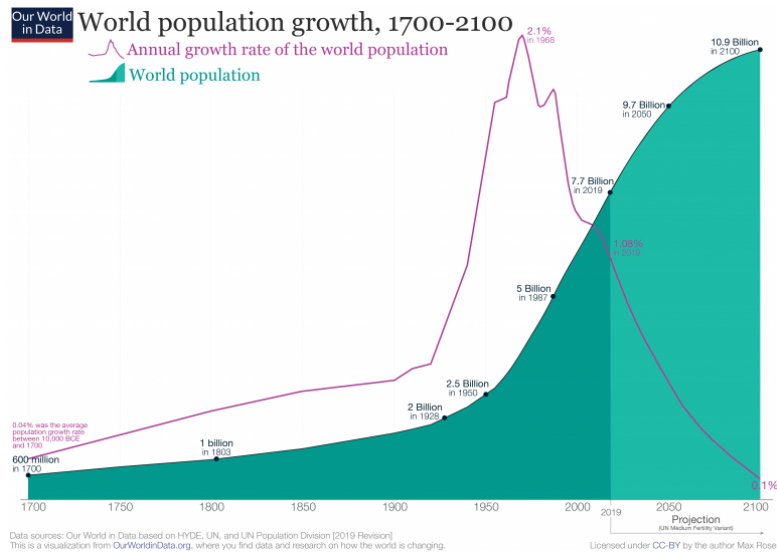


Ilustración 2: Crecimiento de la población mundial [5]

En la Ilustración 2 se representa el crecimiento mundial de la población desde 1700 hasta 2100. Podemos ver como la pendiente de crecimiento de la población mundial en los próximos 100 años es inmensamente mayor que en los 300 años anteriores.

3.1.2 CAMBIO CLIMÁTICO

La escasez de agua dulce es un fenómeno estacional y es un hecho que el cambio climático agrava esta situación. Las olas de calor, las precipitaciones agresivas o las tormentas son manifestaciones del cambio climático que afecta al acceso de agua potable de forma segura de la población. Estos fenómenos, también provocan una caída en la calidad del agua, ya que las crecidas de los ríos y tormentas contaminan los abastecimientos de agua potable. El cambio climático también afecta degradando ecosistemas esenciales a la hora de purificar, captar y almacenar agua, como bosques y humedales.

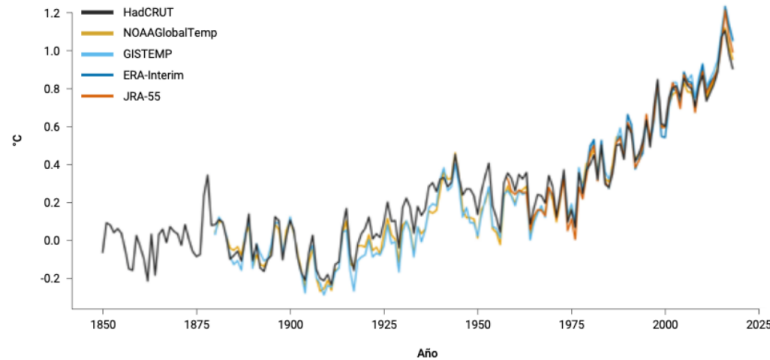


Ilustración 3: Anomalías en la medida de la temperatura global, comparando las 5 colecciones globales de datos de temperatura [6]

El cambio climático se puede ver reflejado en el aumento de la temperatura del planeta. En la Ilustración 3, podemos ver cómo la temperatura del planeta aumentará hasta 1,2 grados, lo que provocará un aumento de los fenómenos que se han explicado en este apartado.

3.1.3 RECURSOS HÍDRICOS

El agua es el bien que proporciona la vida en la Tierra y ese bien fundamental aparece en el 71% de la superficie terrestre. Se estima que hay unos 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua en el Planeta.

De esos 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua, el 97,5% se encuentra en los océanos. Del agua que se encuentra en los continentes, el 80% está en la superficie, mientras que el 20% restante se encuentra manifestado en vapor de agua.

Solo el 2,5% es agua potable, el 70% se encuentra congelada y el 30% son aguas subterráneas de difícil acceso, solo el 0,77% se encuentra accesible al ser humano

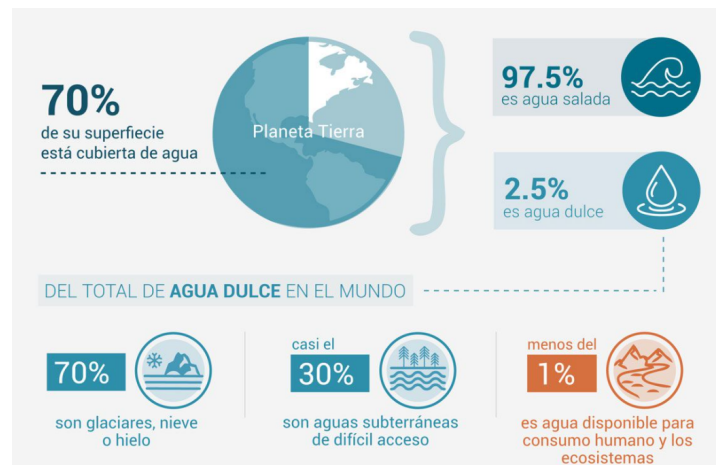


Ilustración 4: Distribución del agua [7]

La escasez de agua se calcula con el parámetro del estrés hídrico. Se habla de estrés hídrico cuando la demanda de agua supera la cantidad de agua disponible o la calidad de agua es muy baja.

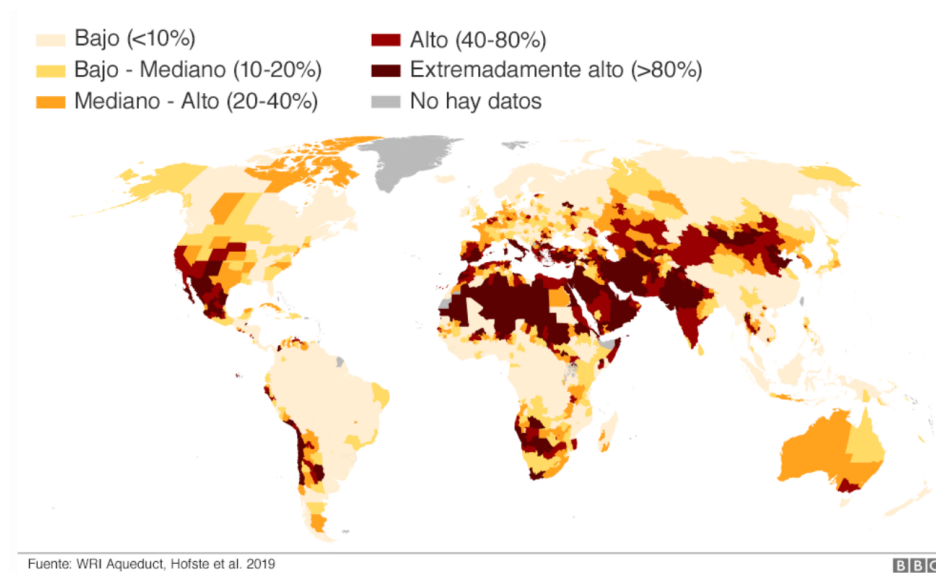


Ilustración 5: Estrés hídrico por país/región [8]

Como se puede ver en la Ilustración 5 el problema del agua se ve reflejado en una amplia parte de la población mundial. Se estima que casi 2 000 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable de manera segura según la OMS. Cuando el estrés hídrico es del 80% se consideran áreas de escasez extrema de agua y las podemos ver en países como india o chile. Como se ha explicado en los apartados del crecimiento demográfico y del cambio climático, la expectativa es que la situación empeore.

3.1.4 USO DEL AGUA



Ilustración 6: Uso del agua extraída [9]

Como se aprecia en la Ilustración 6, la mayoría de las extracciones de agua se destinan a la agricultura, casi 70%. La industria ocupa el 19% y solo el 12% se destina a uso municipal. En el sector agrícola el 40% de la producción se lleva a cabo en el 19% de las plantaciones del mundo, debido a que solo este porcentaje es el que dispone de un sistema de regadío. Más de la mitad del agua destinada al sector industrial se destina a las plantas termoeléctricas, específicamente al proceso de enfriamiento. [9]

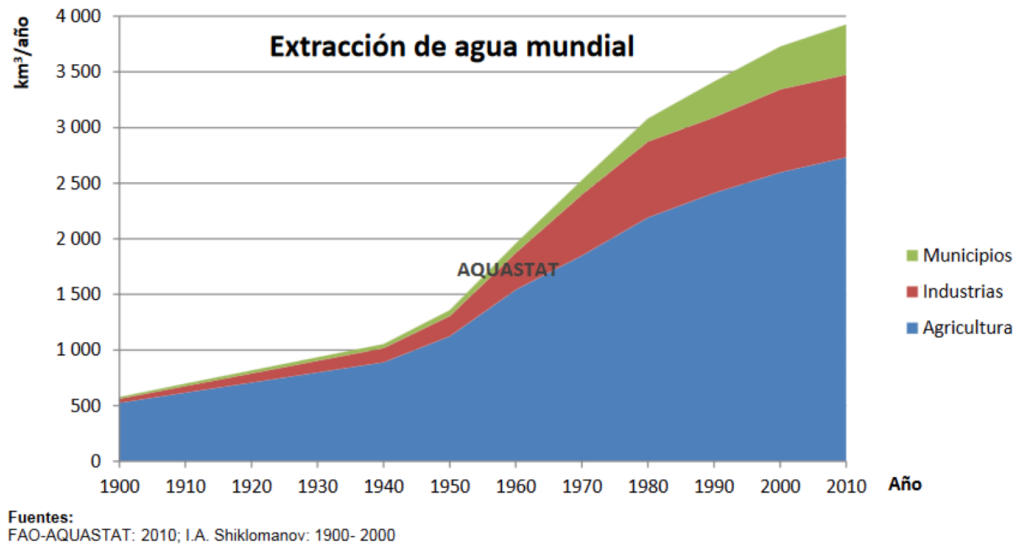


Ilustración 7: Crecimiento de la extracción de agua mundial [10]

La Ilustración 7 , refleja muy bien como en el último siglo la extracción de agua ha aumentado un exponencialmente.

3.1.5 EL DERECHO AL AGUA

Solo el 71% de la población mundial (5200 millones de personas) tiene acceso a una fuente de agua potable de forma segura, accesible y limpia. El 89% (6500 millones de personas) tiene acceso a una fuente de agua potable, limpia y accesible con un trayecto menos de 15 minutos. En el mundo, 200 millones de personas usan una fuente de agua potable, pero contaminada por heces y según la OMS, 850 millones de personas, no tienen acceso a ninguna fuente de agua.

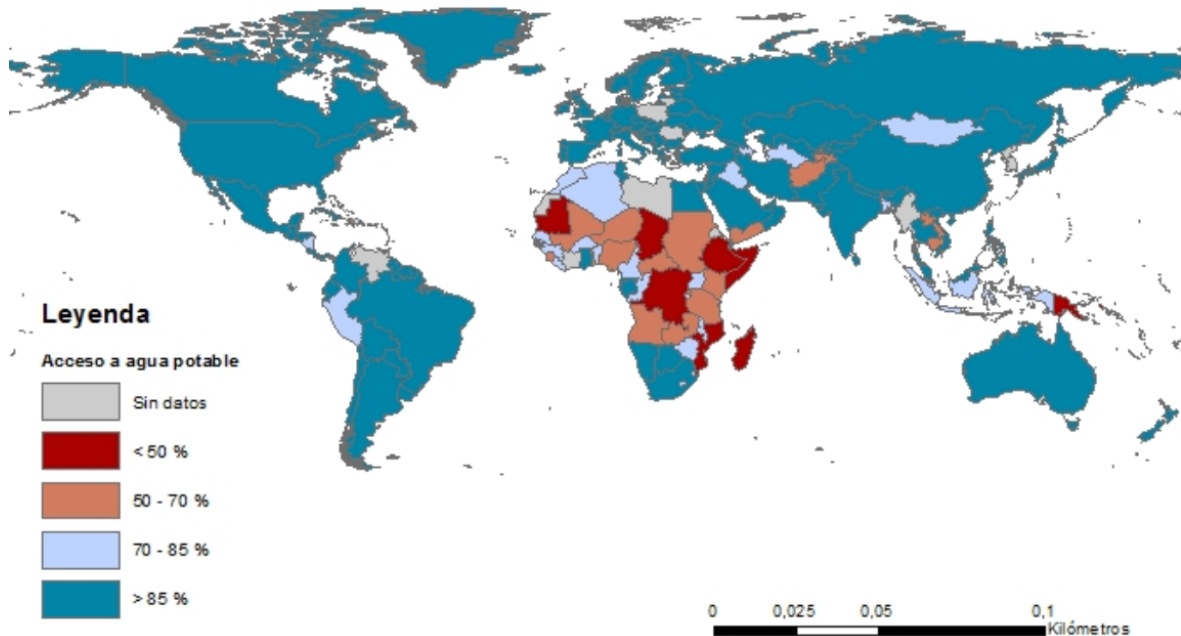


Ilustración 8: Porcentaje de población con acceso a agua potable 2010 [11]

Se puede observar como en la mayoría de los países de alto desarrollo, el acceso a una fuente de agua potable es de más del 85%. En países de Centro América y Sudamérica como Perú o Nicaragua el porcentaje es del 70%-85%.

El principal problema se encuentra en África y Asia, pero principalmente en el continente africano. En África menos del 70% de la población no tienen acceso a una fuente de agua potable, destacando países donde el porcentaje baja hasta menos del 50% como Mauritania, Chad, Etiopía, Somalia, República Democrática del Congo, Mozambique y Madagascar.

“En noviembre de 2002, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales adoptó la Observación General nº 15 sobre el derecho al agua como el derecho de cada uno a disponer de agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible para su uso personal y doméstico.

- Suficiente: El abastecimiento debe de ser suficiente para el uso personal y domestico.
- Saludable: El agua debe de ser saludable, sin ningún tipo de partícula dañina para la salud humana.
- Aceptable: El agua, tanto para uso personal como domestico, tiene que tener un olor, color y saber aceptable.
- Físicamente accesible: La fuente del agua debe de estar cerca y físicamente accesible para las personas. La OMS establece que debe de estar a una distancia inferior a 1 Km y con un trayecto de ida y vuelta inferior a los 30 minutos
- Asequible: Los servicios deben de ser asequibles a la población, con un limite del 3% de los ingresos del hogar.

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento.”

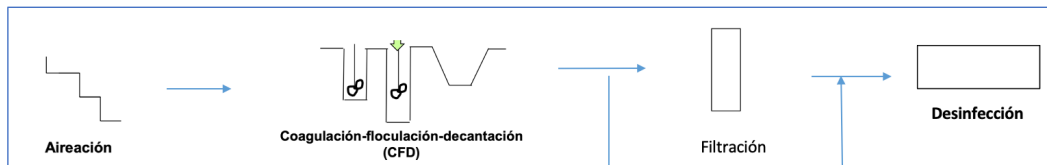
[12]

3.2 OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de una estación de tratamientos de agua potable mediante un proceso de desalación por osmosis inversa en la zona de la comarca de la Marina Alta. El agua se obtendrá de un acuífero costero subterráneo en la sierra de Toix, en el municipio de Calpe. Se quiere diseñar la planta para abastecer de agua potable a la comarca de la Marina Alta, con una población de 50 mil habitantes, una comarca perteneciente a la Comunidad Valenciana.

Durante la mayoría del año el acuífero se recarga de agua salada, procedente del mar, pero durante 3 meses al año, existe una inversión del gradiente que provoca la salida de agua dulce al mar. La estación de tratamientos de agua potable se diseñará para su funcionamiento durante todo el año. También se tendrá en cuenta que la población, en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, de la comarca aumenta por el alto número de turistas que visitan la zona(200 mil habitantes).

- Línea de agua dulce



- Línea de agua salada

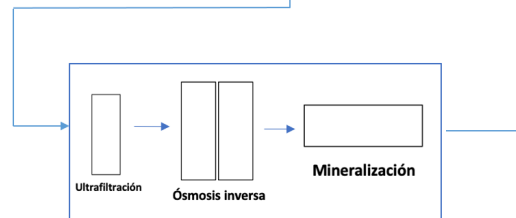


Ilustración 9:: Esquema de la ETAP [13]

3.3 METODOLOGÍA

Este TFG se divide en tres partes: datos, diseño y análisis

La primera parte consiste en encontrar una localización donde instalar la planta depuradora y buscar datos del análisis del agua en la zona. En la segunda parte se estudiarán los datos del agua para el diseño y el cálculo de la planta. En la tercera parte se realizará un análisis económico y energético de las diferentes tecnologías para la optimización de la planta.

3.4 PLANIFICACIÓN

METODOLOGÍA DE TRABAJO		SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
PARTE 1 – DATOS								
P1.1	Localización de la ETAP							
P1.2	Búsqueda de datos de agua							
PARTE 2 – DISEÑO								
P2.1	Análisis de los datos del agua							
P2.2	Diseño de la planta							
P2.3	Calculo de la planta							
PARTE 3 – ANÁLISIS								
P3.1	Análisis de diferentes tecnologías de desalación							
P3.4	Análisis económico de la ETAP							
Redacción de la memoria del proyecto								

Capítulo 4. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO

4.1 DIFERENTES PROCESOS DE DESALACIÓN

La desalación es un proceso de tratamiento de agua cuyo objetivo es potabilizar el agua minimizando los niveles de salinidad presentes en ella. El proceso mas extendido es el de la osmosis inversa, esta presente en un 60% de las plantas desoladoras.

En este apartado se explica diferentes métodos de desalinización existentes en diferentes plantas por el mundo.

Los diferentes procesos de desalación se pueden dividir en dos grandes grupos, en primer lugar, los procesos que provocan un cambio de fase tanto por evaporación como por congelación y los procesos que usan membranas. En el primer grupo se pueden encontrar la destilación por múltiple efecto (MED), la destilación súbita por efecto flash y la compresión de vapor (CV) y en el segundo grupo se encuentran la osmosis inversa y la electrodiálisis (ED).

4.1.1 DESTILACIÓN POR MÚLTIPLE EFECTO (MED)

La desalación MED consiste en la evaporación por múltiples etapas, como podemos ver en Ilustración 10. Este proceso está formado por un sistema en serie de cámara, donde la primera etapa es la única que se alimenta térmicamente de una fuente externa. En esta etapa el agente térmico pasa por unos tubos donde se rocía agua salada provocando la evaporación en las caras de dichos tubos. El vapor de la primera cámara funciona como agente térmico para la segunda cámara y se hace pasar por los tubos de dicha cámara. Este proceso se repite para las tres etapas. El agua salada que no se evapora en las cámaras se recircula y se rocía en la siguiente etapa. El vapor de agua que sale de la última cámara se condensa y se obtiene

agua dulce. El proceso se realiza en vacío, lo que provoca que en cada etapa la presión cambie y el punto de ebullición baje.

Este proceso tiene poca capacidad y una eficiencia del 40%, pero un coste energético pequeño, por lo que se usa para poblaciones pequeñas como islas del caribe.

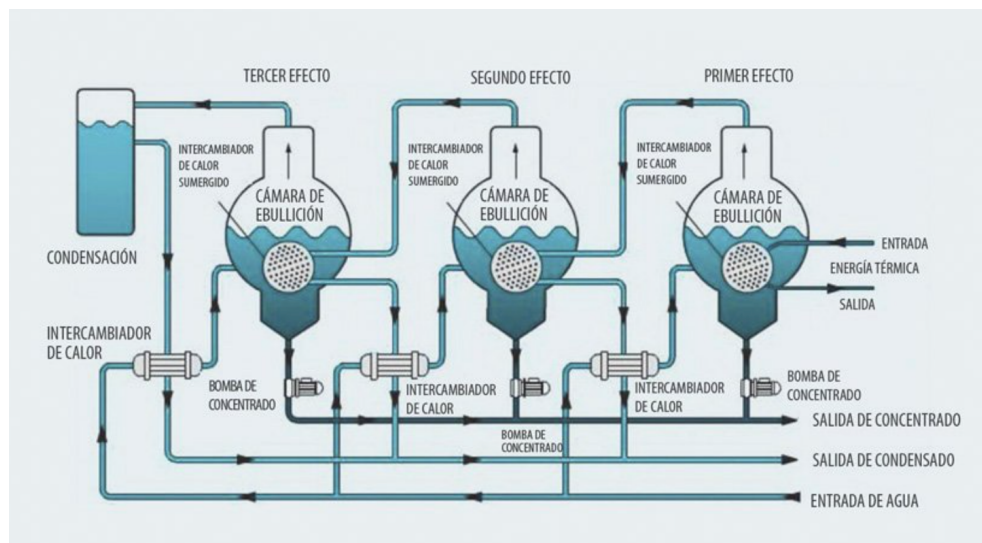


Ilustración 10: Proceso de desalación por múltiple efecto (MED) [14]

4.1.2 EVAPORACIÓN SÚBITA POR EFECTO FLASH (MSF)

Este proceso tiene el mismo concepto base que el anterior. El agua salada se evapora para luego condensarla y obtener agua dulce. En este proceso el agua salada, previamente calentada, entra en la primera etapa donde la presión de la cámara está por debajo de la presión de saturación, lo que provoca una evaporación súbita, de ahí el nombre. El agua evaporada se condensa mediante intercambiadores de calor, cediendo el calor al agua salada. Este proceso se repite por todas las etapas, como podemos ver en la Ilustración 11.

La evaporación súbita por efecto flash tiene mayor capacidad y mayor eficiencia que la destilación por múltiple efecto, pero mayor coste energético. Este proceso es usado para poblaciones grandes como las del oriente medio.

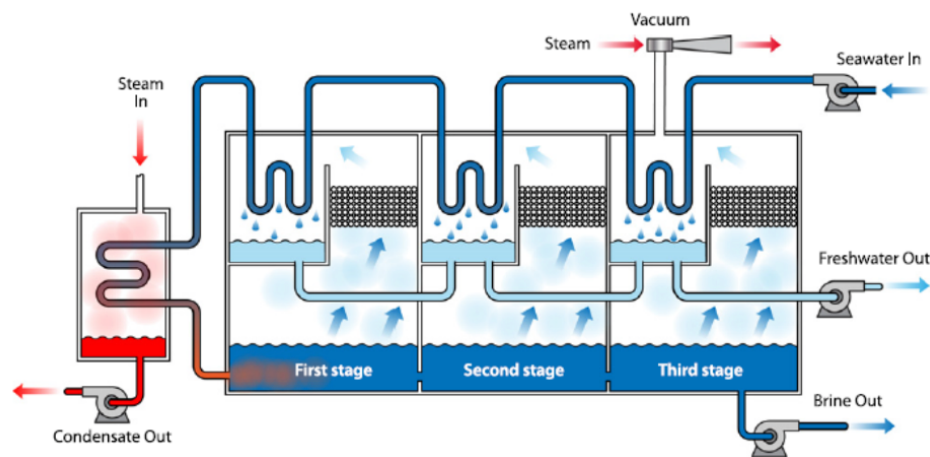


Ilustración 11: Evaporación súbita por efecto flas (MFS) [15]

4.1.3 COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR (CV)

En este proceso el agente térmico es el calor obtenido en la compresión del vapor de agua. El agua salada pasa por un calentador que la acerca al punto de ebullición. Esta agua es pulveriza por unos tubos que funcionan como intercambiadores de calor, por los cuales pasa el vapor de agua comprimido. El agua salada se evapora al contacto con los tubos y se aspira hasta la campara de compresión. En la cámara de compresión se separan los gases compresibles como el vapor de lo que no se pueden comprimir. Este vapor comprimido cede el calor al agua pulverizada en los tubos y se condensa obteniendo agua dulce. Este proceso se puede observar en la siguiente imagen Ilustración 12

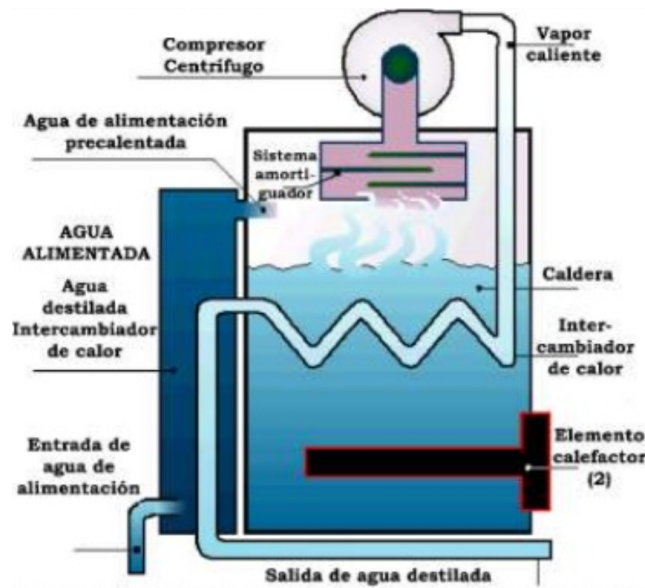


Ilustración 12: Proceso de compresión de vapor(CV) [16]

4.1.4 ELECTRODIÁLISIS (ED)

Los procesos anteriores usan una fuente de energía para provocar un cambio de fase mientras que la electrodiálisis usa unas membranas entre dos electrodos para dividir las sales. Las sales están compuestas por un ion positivo Na^+ y un ion negativo Cl^- , la unión forma la sal $NaCl$. Para este proceso de separación, se dispone de varios electrodos unidos a una corriente eléctrica, los electrodos conectados en el polo positivo se llamarán ánodos y los electrodos conectados al polo negativo cátodos. Los iones negativos serán atraídos al electrodo positivo y los iones positivos al electrodo negativo. Entre los electrodos se dispone de una membrana selectiva, que solo deja pasar los iones. Esta membrana lo que consigue es dividir el agua con mayor concentración y el agua dulce. Este proceso se puede observar de forma simplificada en la Ilustración 13

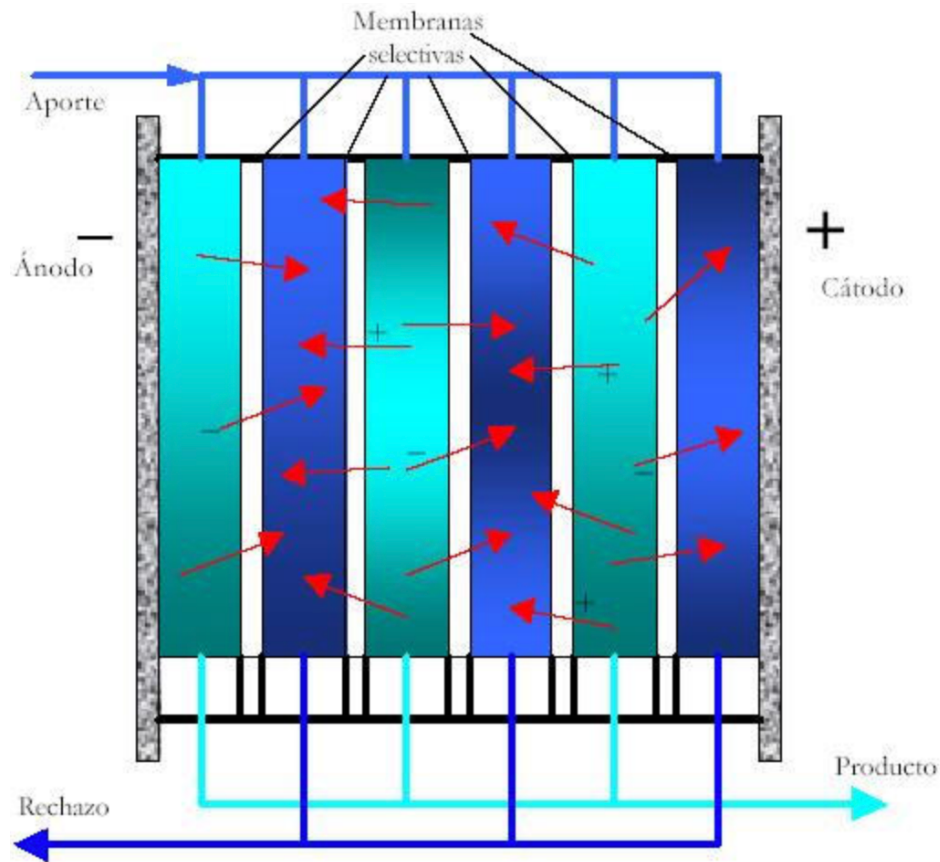


Ilustración 13: Proceso de electrodiálisis [17]

4.1.5 OSMOSIS INVERSA (OI)

La ósmosis es un proceso natural por el cual dos soluciones con diferentes concentraciones están divididas por una membrana semipermeable, provocando una diferencia de presiones. La solución con menor concentración pasaría a través de la membrana a la solución con mayor concentración para igualar las concentraciones, este proceso no supone ningún coste energético. La ósmosis inversa consiste en aumentar la presión en el lado de la solución con mayor concentración para invertir el proceso y que atraviese la membrana hacia el lado de menor concentración. Por ejemplo, si se tiene una membrana que separa agua dulce y salada, el proceso natural sería que el agua dulce pase la membrana hacia el lado de agua salada, para que las concentraciones se igualasen. Ahora bien, si aumentamos la presión en el lado

del agua salada, por encima de la presión osmótica (presión mínima para detener el flujo en la membrana), el agua salada pasaría hacia el agua dulce filtrando la sal e invirtiendo el proceso de la ósmosis. Podemos observar este proceso de forma simplificada en la Ilustración 14

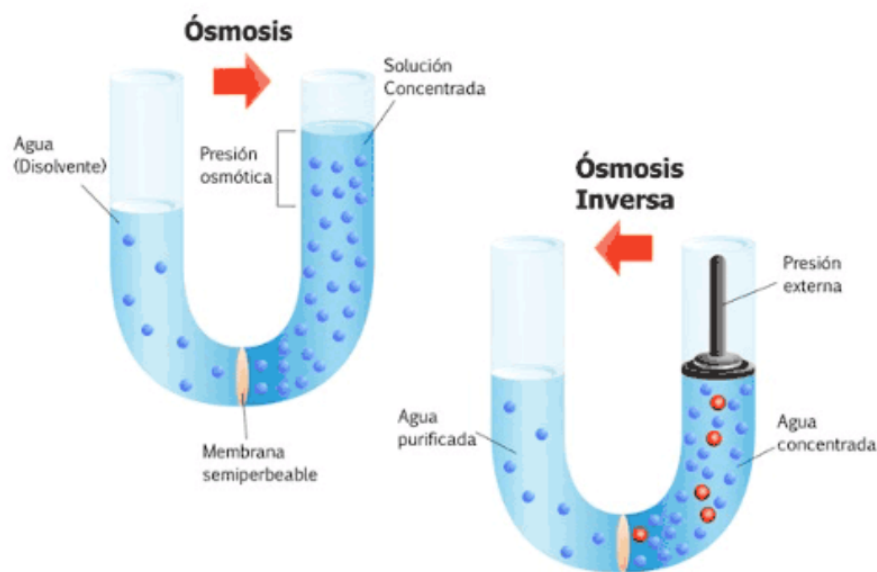


Ilustración 14: Proceso de ósmosis inversa [18]

4.1.6 ELECCIÓN DEL PROCESO

La Tabla 1 es una tabla comparativa de los diferentes métodos de desalar explicados anteriormente. La selección del método dependerá, claramente, de las características de cada proyecto.

<i>Características</i>	MSF	MED	CV	OI	ED
<i>Tipo de energía</i>	Térmica	Térmica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
<i>Consumo energético primario (Kj/kg)</i>	Alto (>200)	Alto/Medio (150-200)	Medio (100-150)	Bajo (<80)	Bajo (<30)
<i>Coste instalaciones</i>	Alto	Alto/Medio	Alto	Medio	Medio
<i>Coste producción (m³/día)</i>	Alta (>50000)	Media (>20000)	Baja (>5000)	Alta (>50000)	Media (30000)
<i>Posibilidad de ampliación</i>	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil	Fácil
<i>Fiabilidad de operación</i>	Alta	Media	Baja	Alta	Alta
<i>Desalación agua de mar</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Calidad agua desalada(ppm)</i>	Alta (>50)	Alta (>50)	Alta (>50)	Media (300-500)	Media (>300)
<i>Superficie de terreno requerida</i>	Mucha	Media	Poca	Poca	Poca

Tabla 1: Comparativa de los diferentes procesos [19]

Este proyecto, como ya se ha mencionado, su objetivo es abastecer de agua dulce a toda la zona de la comarca de la Marina Alta, con una población de unos 200.000 habitantes, una cifra muy elevada. Los dos mejores procesos, para este proyecto son: evaporación súbita por

método flash y la osmosis inversa. Ambas tienen una producción elevada de agua dulce diaria, pero la osmosis inversa tiene un consumo y un coste de instalación mucho más bajo y además se requiere menos terreno y tiene la posibilidad de realizar ampliaciones con facilidad.

4.2 DISEÑO DE LA PLANTA

En este apartado se desarrollará el diseño de la planta depuradora por osmosis inversa que se quiere construir. El diseño de la planta depende claramente de las propiedades del agua: su salinidad, los patógenos presentes y su composición química. En este tipo de plantas hay cuatro fases claramente diferenciadas. La primera es la captación y transporte del agua a la planta, en este caso la planta se quiere construir encima del acuífero de donde se va a extraer, por lo que el sistema de captación y transporte será el mismo. La segunda fase es el pretratamiento, donde se prepara el agua para tener las condiciones adecuadas para pasar la fase de desalación. En la fase de desalación se requiere una primera filtración muy estricta para que el agua pueda ser desalada por las membranas. En la línea de agua salada, una vez realizado el proceso de desalación, el agua debe de pasar por un tratamiento de mineralización. Y por últimos tenemos la fase de desinfección, en la cual se añade el agente desinfectante en el agua para destruir los microorganismos patógenos restantes y posibles en las tuberías.

La fase más importante de la planta es la fase de desalación. Las membranas presentes en esta fase deben de estar siempre en funcionamiento para impedir que se sequen. Estas membranas requieren un cuidado muy específico para su máxima eficiencia.

4.2.1 CAPTACIÓN

En este apartado se va a analizar el acuífero de donde se va a abastecer la planta. Primero se va a realizar un análisis de las características del acuífero como la situación geográfica, calidad del agua y caudal del sumidero. Luego se describirá y planteará una instalación de captación.

4.2.1.1 Análisis

La estación de agua potable (ETAP), como se ha dicho antes, se quiere instalar en la comarca de la Marina Alta con el objetivo de abastecer a toda la población. Más concretamente, en la sierra de Toix, donde está el acuífero de donde se va a abastecer la planta.

El sumidero de Toix se encuentra en los acantilados suroestes de la sierra, entre el Morro de Toix y la Cala del Racó del corb, cuyas coordenadas son $X=763316$; $Y=4280059$. EL único acceso a la cavidad es mediante embarcación, la entrada se encuentra a 8m bajo el nivel del mar.

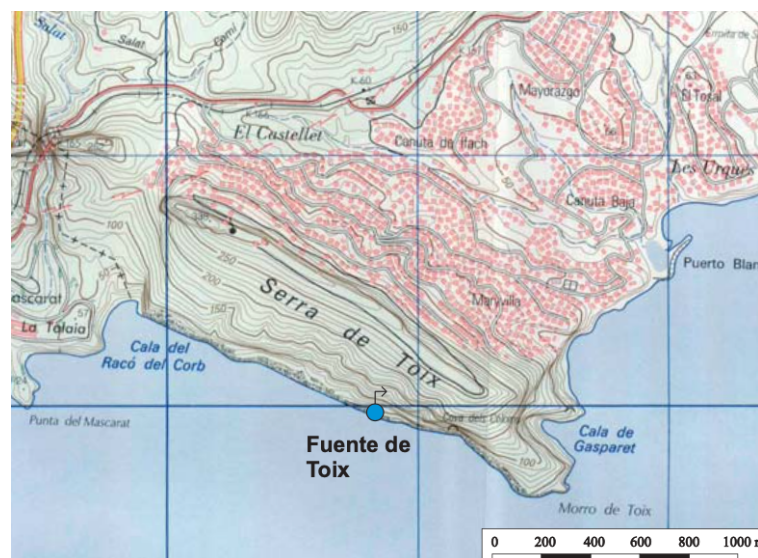


Ilustración 15: Ubicación de la entrada del acuífero de Toix [20]



Ilustración 16: ubicación aproximada de la entrada a la cavidad del acuífero [21]

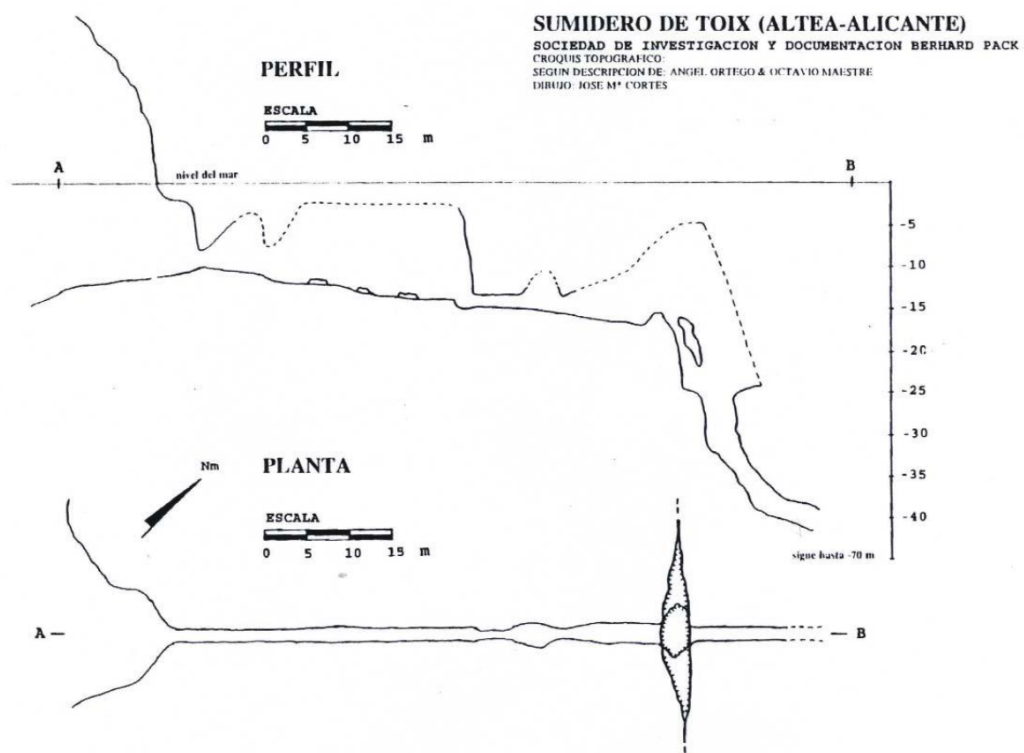


Ilustración 17: Plano del acuífero de Toix

Como se puede apreciar en el plano de la Ilustración 17, la cavidad es de 1,5m de radio y de una altura de más de 10 m en algunos puntos. Solo se ha podido acceder a los primeros 150m de profundidad, cuyo recorrido baja hasta los 70m por debajo del nivel del mar.

Cabe destacar que este sumidero tiene un funcionamiento hidráulico peculiar. Durante la mayoría del tiempo actúa como sumidero, dejando entrar el agua salada a la cavidad, pero durante algún mes del año esto cambia y se invierte el fenómeno. Se han hecho varios estudios usando un correntómetro a unos 40 m dentro y unos 12 m por debajo del nivel del mar. El último fue realizado por la diputación de alicante en el 2006.

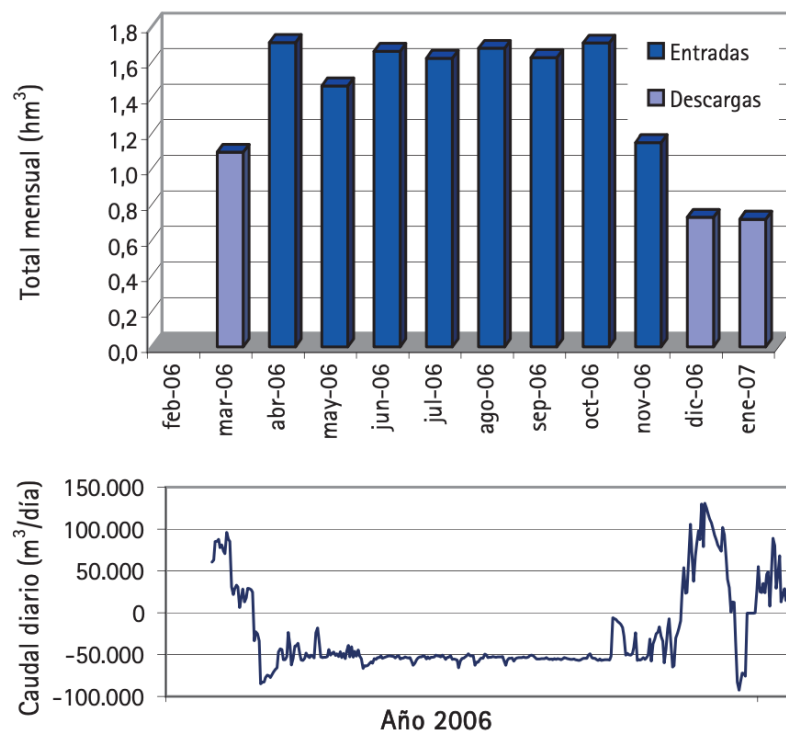


Ilustración 18: Gráficas del caudal [20]

Como podemos observar en la Ilustración 18 los meses de enero, febrero, marzo y diciembre el agua dulce sale por el acuífero, mientras que en el resto del año actúa como sumidero y deja entrar el agua salada. También cabe destacar que tiene un caudal mensual máximo aproximado de 2 hm^3 , siendo el caudal anual de unos 19 hm^3 .

DETERMINACIÓN	RESULTADO
Conductividad a 20 °C	47300 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH	7.88
Cloruros	22078,47 mg/l
Sulfatos	2594,40 mg/l
Bicarbonatos	170,51 mg/l
Carbonatos	0.00 mg/l
Nitratos	0,00 mg/l
Sodio	11558,06 mg/l
Magnesio	1282,28 mg/l
Calcio	485,77 mg/l
Potasio	499,44 mg/l
Nitritos	0,00 mg/l
Amonio	0,00 mg/l
Fluoruros	1,56 mg/l
Anhidrido silícico	0,13 mg/l
Hierro	1,15 mg/l
Manganeso	0,16 mg/l
Turbidez	2,26 U.N.F
Residuo seco a 110 °C	45495,00 mg/l

Tabla 2: Análisis de la calidad del agua [20]

Como podemos ver en la Tabla 2: Análisis de la calidad del agua , la calidad del agua del sumidero es muy parecida a la del agua de mar con unos $47300\mu\text{S}/\text{cm}$ y un ligero ph.

4.2.1.2 Instalación de ETAP

Para poder pasar a analizar y plantear una instalación de la captación y transporte del agua hay que analizar el caudal demandado. Se estima que el consumo doméstico abarca el 68% de los litros que consume una persona por día, el 14% es del sector terciario y el 17% otros usos. La comunidad valenciana es una de las comunidades que más litros de agua consume por persona/día.

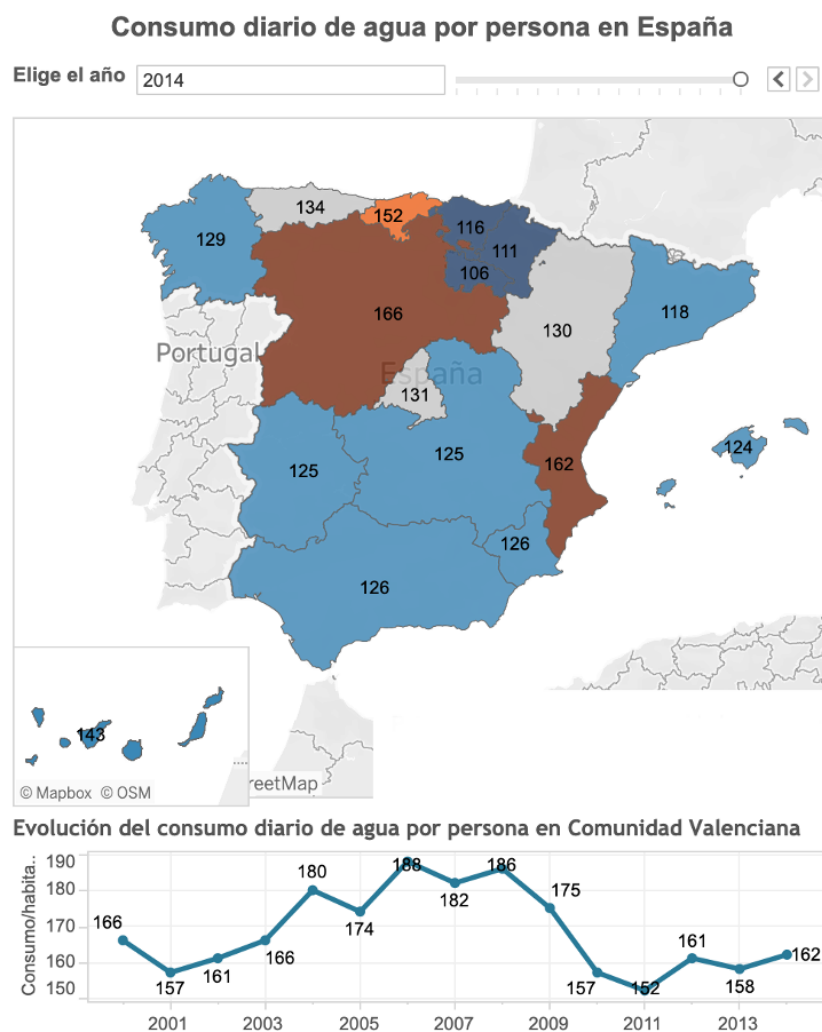


Ilustración 19: Consumo de agua diario por persona según la comunidad autónoma de España [22]

Extrapolando los litros consumidos por persona en la comunidad valenciana obtenidos en la Ilustración 19 a los litros totales de agua que consume una persona, podemos obtener de forma aproximada que una persona consume en total unos 250 litros diarios.

$$250 \frac{l}{\text{día/persona}} \cdot \frac{1 dm^3}{1 l} \cdot \frac{1 m^3}{1000 dm^3} = 0.25 \frac{m^3}{\text{día/persona}}$$

Ahora se calculan los litros de la comarca entera multiplicando el valor obtenido de consumo de agua por persona por la población entera, que se estima de unos 200 000 habitantes censados.

$$0.25 \frac{m^3}{\text{día/persona}} \cdot 200000 \text{ personas} = 50\,000 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Para comprobar que el acuífero de donde se obtiene el agua tiene el caudal necesario, se calculan los litros de agua anuales de demanda.

$$50\,000 \frac{m^3}{\text{día}} \cdot 365 \text{ días} = 18\,250\,000 \frac{m^3}{\text{año}} = 18,25 \frac{hm^3}{\text{año}}$$

Se concluye que el acuífero tendrá suficiente agua para abastecer a la comarca de la Marina Alta.

Una vez se obtiene el caudal a bombear se pasa a estudiar la instalación de bombeo. La estación depuradora se construirá en la parte superior de la sierra de Toix a unos 230 m de altura con respecto al nivel de mar. Esta sierra se encuentra entre terreno urbano y con posibilidad de construir, de hecho, ahora se encuentra una instalación de antenas en la cima de la sierra. La ley de costas de 1988 es la ley encargada de regular la construcción en nuestras costas, con la última reforma de 2013 y 2014. En esta última reforma estipulan que hay que dejar 100 m de distancia desde la rivera del mar para poder construir exceptuando los terrenos catalogados como urbanos antes de esta reforma que solo tendrán que dejar una distancia de 20 m, como es este caso.

El principal problema de toda instalación de bombeo es la cavitación. La cavitación es un fenómeno hidráulico en el cual se forma vapor de agua debido al descenso de la presión por debajo de la presión de saturación del fluido, en este caso agua salada.

Aplicando la ecuación de Bernoulli en los puntos A (punto de extracción del agua) y E (entrada del rodete) y despejando la presión del punto E se obtiene la siguiente ecuación. Siendo P la presión, C las velocidades del fluido en los puntos correspondientes, Z las alturas y Hr las pérdidas hidráulicas entre los puntos correspondientes.

$$\frac{P_E}{\rho \cdot g} = \frac{P_A}{\rho \cdot g} + \frac{C_A^2 - C_E^2}{2 \cdot g} + Z_A - Z_E + Hr_{A-E}$$

Para mantener la presión en el punto E siempre por encima de la presión de saturación del fluido debemos de: aumentar la presión en el punto A, disminuir la diferencia de velocidades, disminuir la altura del punto E o disminuir las pérdidas en la aspiración.

En esta instalación se necesitaría una bomba que proporcione mucha altura y mucho caudal, lo que conllevaría un rendimiento muy bajo, lo cual aumentaría el gasto energético. Por lo general las bombas con un alto rendimiento son bombas que proporcionan una altura elevada y un caudal pequeño o viceversa. También habría una alta probabilidad de cavitación ya que Z en la entrada sería muy alta.

Como conclusión se recomienda que la instalación se divida en dos partes. Una primera parte formada por una bomba que de mucho caudal y poca altura hasta llegar a un depósito de acumulación de agua. Dentro de ese depósito se instalará la segunda bomba que proporcione mucha altura y poco caudal hasta llegar a la planta depuradora. La segunda bomba se instalará dentro del depósito para que esté cebada durante todo su funcionamiento y se eviten los problemas de cavitación en el rodete.

4.2.2 AIREACIÓN Y PREOXIDACIÓN

Ya tenemos la instalación de abastecimiento y transporte a la planta, ahora se procede al primer paso en el tratamiento depurativo del agua que es la aireación

La aireación es un proceso por el cual se lleva el agua a un contacto directo e íntimo con el aire. Este proceso sirve para eliminar los responsables de los olores y sabores que son los componentes orgánicos volátiles como el sulfuro de hidrógeno y el metano. También consigue aumentar la presencia de oxígeno en el agua.

Toda agua obtenida de un pozo, manantial o acuífero tiene presente componentes ferrosos y manganosos, este primer proceso de aireación consigue que estos componentes se conviertan en hidróxidos insolubles y se precipiten, pero hay que matizar circunstancias. Con respecto a los componentes ferrosos la aireación funciona muy bien para concentraciones de menos de 10mg/l (Tabla 2), que es nuestro caso, pero si aumenta por alguna circunstancia, en el tratamiento CFD hay que usar un coagulante $FeCl_3$. Para los componentes manganosos hay que tener un poco más de cuidado, la aireación solo funciona cuando las concentraciones son pequeñas y con un pH 9 pero el agua a tratar tiene un pH 7.88. Cuando las concentraciones de manganeso son altas se tendrían que eliminar en la siguiente etapa que es la preoxidación con agentes químicos como el $KMnO_4$. En nuestro caso al ser la concentración de 0,16 mg/l (Tabla 2) se recomienda aumentar el pH del agua a 9 y usar la aireación como etapa principal y eliminar la preoxidación.

Hay diferentes tipos de aireación.

- Aireadores de rociamiento: Consiste en pulverizar el agua mediante unas toberas.
- Aireadores de escalones: El agua se hace pasar, en forma de cascada, por unas torres de entre 1,5 y 3 metros que funcionan como escalones.
- Aireadores de difusión: Se inyecta aire comprimido a través de perforaciones en la parte inferior del depósito.

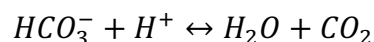
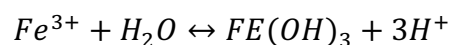
En esta planta se usará el método de aireación por escalones

4.2.3 TRATAMIENTO CFD

El tratamiento de coagulación, floculación y decantación sirve para precipitar las partículas coloidales. Los coloides son partículas suspendidas de un tamaño de 1 micra que no pueden sedimentar de forma natural y tampoco se pueden filtrar porque pasarían por la mayoría de los filtros.

4.2.3.1 Coagulación

En esta etapa se introduce un reactivo coagulante en el primer tanque que neutraliza las cargas electrostáticas de los coloides, generan cargas positivas que neutralizan las fuerzas repulsivas entre las partículas y provoca una inestabilidad. Es muy importante que la mezcla sea homogénea y rápida por lo que se debe de usar unas bombas de dosificación. Los coloides ante la inestabilidad tienden a agruparse en unos microflóculos. En este caso, como se ha dicho en el apartado anterior, se va a usar un coagulante férrico $FeCl_3$ cuya reacción es la siguiente.



4.2.3.2 Floculación

En este proceso se inyecta un floculante que hace que los microflóculos se agrupen en flóculos mas grandes. En esta etapa es muy importante dos factores, la velocidad y el ph. La velocidad debe de ser lenta para que los flóculos formados sean grandes, si la velocidad fuese alta, estos flóculos se romperían y el proceso dejaría de tener sentido. El ph cambia dependiendo de el coagulante que se le añada, en este caso el ph debería de estar entre 8 y 10.

4.2.3.3 Decantación

La decantación es el ultimo proceso de esta etapa. En este proceso se deja que las partículas floculares, que tienen mayor densidad que el agua, decanten por la gravedad y sedimenten en el fondo del tanque. El agua limpia sale por la parte superior del tanque mientras que los sedimentos precipitados se recogen en el fondo del estanque. Hay muchos tipos de tanque de decantación, depende del tipo de sedimento y de la forma de recogerlo.

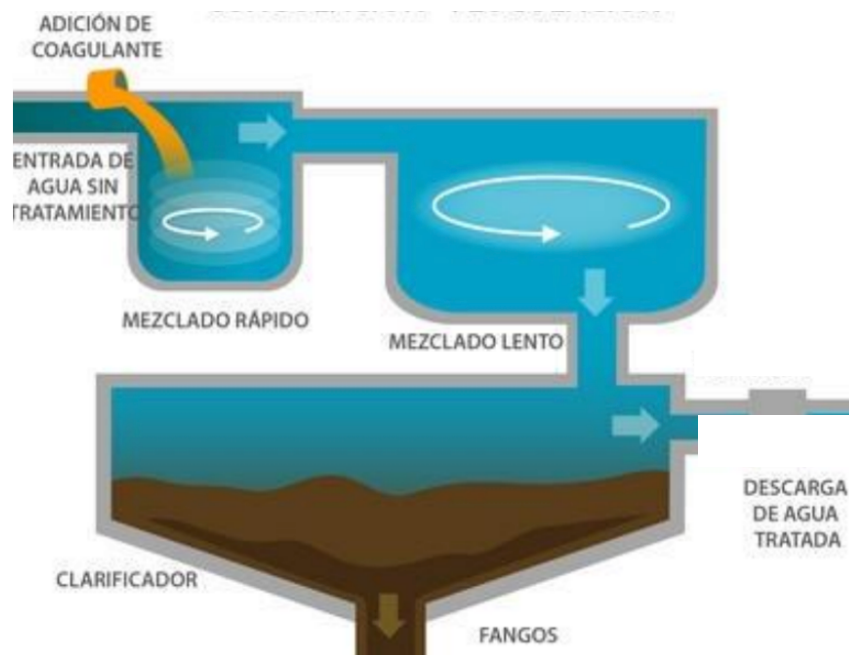


Ilustración 20: Tanque CFD [23]

4.2.4 LÍNEA DE AGUA DULCE

En este apartado se explicará la línea de agua dulce. El acuífero que abastece a la planta pertenece a un sistema subterráneo de canales que hay en la zona. Hay varios meses al año que las corrientes cambian y este acuífero que llena de agua dulce que evacua al mar y por

lo tanto la planta de desalación se abastece de agua dulce. Como se puede ver en Ilustración 1, la línea de agua dulce es únicamente una filtración.

La filtración se usa principalmente para retener las partículas en suspensión, coloides remanentes y patógenos. Hay dos tipos de filtración grandes: el filtrado rápido y el filtrado lento.

4.2.4.1 Filtración lenta

Los filtros lentos son de arena y su composición es muy sencilla, se requiere un tanque donde esta el lecho filtrante, arena y el sistema de tubería de abastecimiento y drenaje. El lecho de arena esta formado por tres partes: la primera parte se coloca en el fondo y consiste en gravilla, la segunda se coloca encima de la primera y es arena gruesa y la tercera que se dispone arriba del todo es arena muy fina. La disposición se puede apreciar en la Ilustración 21.

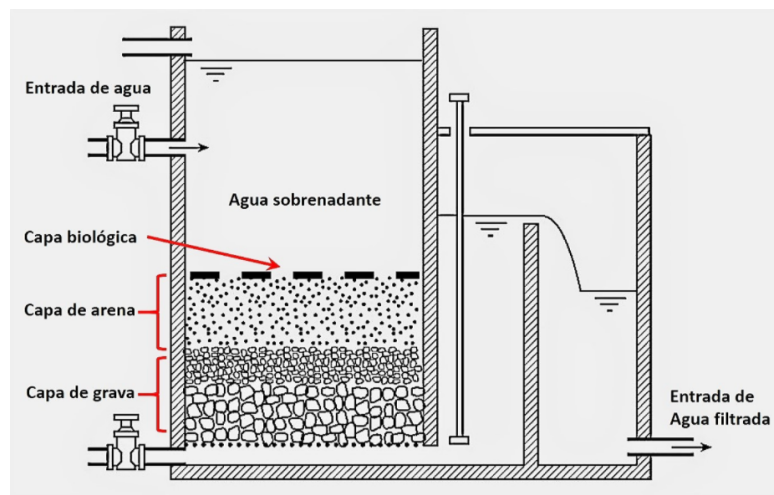


Ilustración 21: Filtro de arena lento

La OMS considera que este tipo de filtro es el método mas simple, efectivo y asequible para poblaciones rurales en vía de desarrollo que quieren empezar un sistema sostenible de agua depurada. Las principales ventajas de este tipo de filtro son:

- Eliminación de hasta el 98% de los patógenos del agua.
- Simplicidad del diseño y posible uso de materiales del entorno.
- Solo requiere la gravedad para conseguir un flujo.
- No requiere uso de químicos.
- Fácil mantenimiento.

Para conseguir el mayor rendimiento del proceso se aconseja que la turbidez sea inferior a 20UNT y la temperatura no sea baja, para este último se aconseja que el filtro no sea abierto a la atmosfera y se cierre.

EL mantenimiento es muy sencillo, en la capa biológica se queda en las primeras partes del filtro y solo es necesario removerlo y pasado un tiempo quitar la primera capa y reponerla con una nueva.

El único inconveniente de este proceso es que es muy lento y solo consigue un flujo de entre unos 0,1-0,3 m^3/h y por m^2 de superficie.

4.2.4.2 Filtración rápida

La diferencia entre la filtración rápida y lenta es la velocidad del flujo de agua limpia. Las dos grandes ventajas de este tipo de filtro es la eficacia para eliminar turbidez, olores y sabores y tiene una gran capacidad de filtración de unos 4000 -12000 l/h por metro cuadrado de superficie.

La velocidad es la gran ventaja y desventaja de este tipo de filtro, al ser tan rápido no puede eliminar componentes del agua que requieren un proceso mas delicado como las sales, virus, bacterias y materia orgánica. También tienen un gran costo de capital y de mantenimiento y requieren una supervisión especializada.

Para conseguir la alta velocidad de estos filtros se requiere una fuerza impulsora y los hay de diferente tipo de filtro: por gravedad, por presión, por flujo ascendente y por centrifugado.

Filtro por gravedad

La diferencia entre el filtro de arena lento por gravedad es el lecho granular que compone el filtro, siendo unos granos mas grandes el del filtro rápido. Se puede observar de forma simplificada un ejemplo en Ilustración 25.

Filtro por presión

En este tipo de filtro, el agua de abastecimiento esta sometida a una gran presión y es proyectado sobre el filtro. El material filtrante suele estar en cilindros de acero verticales u horizontales capaces de resistir altas presiones. Se puede observar de forma simplificada un ejemplo en Ilustración 22. Este será el filtro usado debido a la alta velocidad de filtrado.

Filtro de flujo ascendente

En este tipo de filtro, como bien indica su nombre, el flujo del agua es ascendente. En vez de hacer pasar el agua por encima del filtro y recogerla debajo, el agua entra en una cámara y se va llenando, el filtro se dispone arriba de la cámara y cuando el nivel del agua sube el agua pasa por el filtro y se recoge por la parte superior de la cámara. Se puede observar de forma simplificada un ejemplo en Ilustración 23

Filtro por centrifugado

En este filtro la presión del agua para ser proyectada sobre el filtro se consigue centrifugando, el filtro gira a una velocidad específica, lo que genera una fuerza centrípeta y el agua es proyectada a la superficie cilíndrica de la cámara y pasa por el filtro. Se puede observar de forma simplificada un ejemplo en Ilustración 24

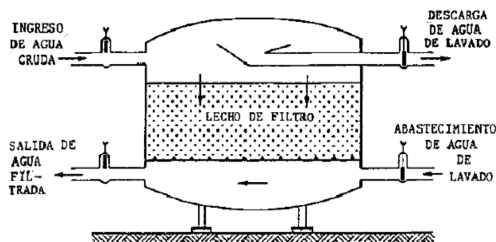


Ilustración 22: filtro por presión [24]

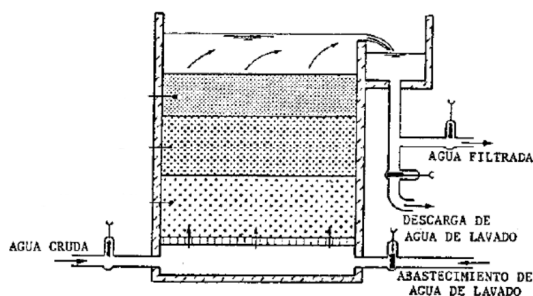


Ilustración 23: Filtro de flujo ascendente [24]

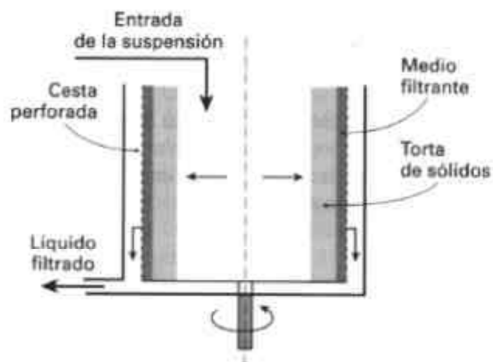


Ilustración 24: Filtro por centrifugado [24]

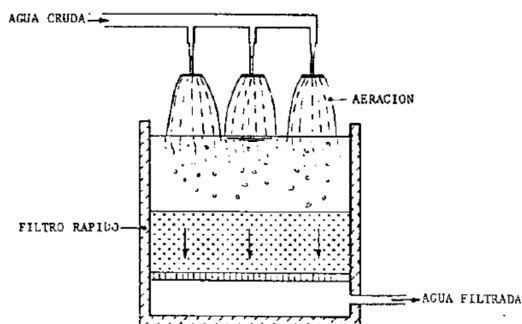


Ilustración 25: Filtro por gravedad [24]

4.2.5 LÍNEA DE AGUA SALADA

En este apartado se va a desarrollar la parte del proceso de depuración referente a la línea de agua salada. La etapa principal de este proceso es la osmosis inversa, las membranas que la componen son muy delicadas y el agua debe de tener unas condiciones optimas para su máximo rendimiento.

4.2.5.1 Ultrafiltración

El ultrafiltrado sirve para retener las partículas de un tamaño entre 0,1-0,01 μm . Esta etapa es necesaria antes de la osmosis inversa debido a que reduce las posibilidades de obstrucción de la membrana, elimina partículas muy pequeñas como bacterias, virus, endotoxinas y solidos en suspensión. En la siguiente tabla (Tabla 3) podemos comparar los diferentes filtros que existen y el tamaño de filtración.

Tipo de filtración	Tamaño de partículas
Filtración	1-100 μm
Microfiltración	1-0,1 μm
Ultrafiltración	0,1-0,001 μm
Ósmosis inversa	0,001-0,0001 μm

Tabla 3: Comparativa de filtración

Los diferentes tipos de filtros se pueden agrupar en dos grandes tipos: los orgánicos y los inorgánicos. En los filtros orgánicos la membrana de filtración esta compuesta por materiales como poliamidas, polipropileno, polietileno o celulosa, todos ellos compuestos orgánicos. En el otro grande grupo podemos encontrar filtros de vidrio, metálico o cerámicos.

Todos los filtros necesitan un mantenimiento periódico para limpiar las membranas e impedir que se obstruyan del todo.

4.2.5.2 Ósmosis inversa

Como se ha explicado anteriormente, el proceso de osmosis inversa consiste en aumentar la presión en el lado de agua salada, por encima de la presión osmótica, y conseguir que pase por la membrana filtrando las sales del agua.

Membrana osmótica

La membrana diseñada para el proceso de osmosis esta principalmente formada por dos capas, una primera capa expuesta que realiza la función de filtrado y otra segunda capa que se encarga de dar rigidez a la membrana para soportar las presiones de la cámara osmótica. El principal compuesto de las membranas, por lo general es la poliamida, un polímero, pero también podemos encontrar compuestos como el acetato de celulosa, polímeros como el polisulfonato y polímeros cerámicos. Estos diferentes compuestos hacen que la membrana tenga unos poros de unos 0,001-0,0001 μm , lo que provoca que la membrana pueda filtrar sales monovalentes, ácidos no disociados y virus.

Las tres principales características de funcionamiento que comparten la mayoría de las membranas son: la temperatura del fluido, la presión del agua en la cámara osmótica y la cantidad de solidos disueltos en el fluido. La vida de la membrana suele estar relacionada sobre todo con la calidad de agua del fluido (cantidad de solidos disueltos) y la cantidad de agua a filtrar.

Recuperación

La etapa que mas coste energético consume es la de la ósmosis inversa. El fluido tiene que superar la presión osmótica y llegar a unos 70 bar de presión en la cama de la membrana y las bombas que consiguen esta presión son las culpables de este alto coste energético.

La salmuera que se rechaza en este proceso está a 70 bar y antes de devolverla al mar hay que reducir su presión. En un principio se utilizaban unas válvulas que reducían esa presión, pero se vio la posibilidad de en vez de perder la presión usarla para ayudar a las bombas de presión.

En un principio se probó usar unas turbinas Francis o Pelton, a modo de generador, para usarlas como alimentación energética del motor de las bombas a presión, pero la eficacia de este proceso era muy baja. Tras varios años hay dos procesos que destacan, pues su eficacia es muy alta.

El primer proceso es el turbobomba o *turbocharger*. Este proceso consiste en unir mecánicamente el eje de la turbina con el eje de la bomba de presión. La presión de la salmuera de rechazo se aprovecha y se recupera en forma de energía mecánica. La energía mecánica se transmite mediante el eje de unión a las bombas de presión.

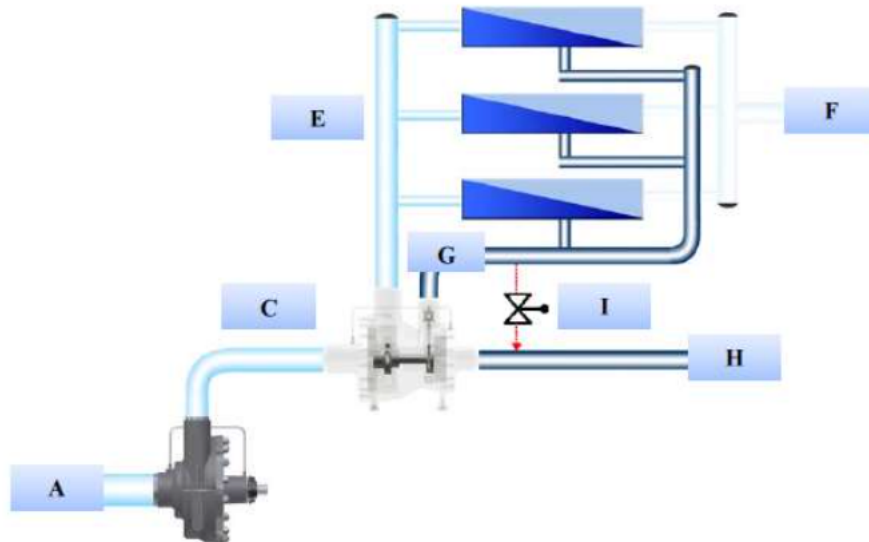


Ilustración 26: Esquema simplificado del turbocharger [25]

Como podemos ver en la Ilustración 26 los puntos A,C y E son puntos de agua del mar a alta presión antes de introducirse en la cámara osmótica. El punto G es la salmuera a alta presión que se usa para alimentar el *tubocharger*. El punto H es la salmuera a baja presión, después de pasar por el *tubocharger* y el punto F es el agua dulce después del proceso de osmosis inversa.

El otro proceso que se usa es el *Energy Recovery Pressure Exchanger (ERI-PX)*. Este dispositivo contiene un rotor cerámico, su única parte rotativa la cual transmite la presión de la salmuera al agua salada.

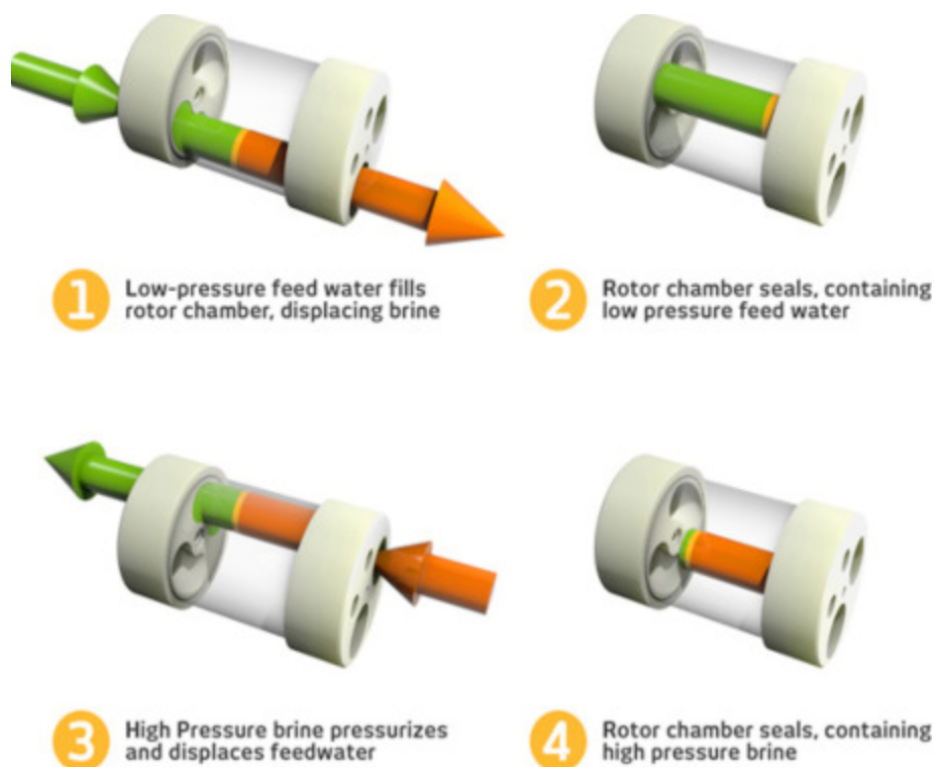


Ilustración 27: funcionamiento del ERI-PX

Como podemos ver en la Ilustración 27 el primer paso el agua salada con baja presión echa de la cámara de rotación a la salmuera. En el segundo pase se observa que la cámara de rotación contiene agua salada a baja presión, la cual es expulsada a alta presión por la salmuera y se llena de esta el rotor (paso 3 y 4).

Control de residuos

Este proceso genera unos residuos llamados salmueras y una parte muy importante de la planta es la gestión d estos residuos. La mayoría de las plantas lo disuelven y lo echan al mar, pero esto puede ser muy perjudicial para el medioambiente y el ecosistema de la zona. En este caso concreto al estar la planta tan cerca de núcleos urbanos es imposible echarlo cerca de la planta, se tendría que construir una tubería que transportase la salmuera dentro del mar en un sitio donde le impacto sea muy bajo, pero este proceso es muy costoso.

Un estudio del MIT afirma que ha encontrado un forma económica y beneficiosa de gestionar estos residuos [26]. Con un proceso previo de microfiltracion y de diálisis podemos obtener un producto que se puede usar para conseguir hidróxido de sodio y ácido clorhídrico. Estos dos compuestos son muy fáciles de conseguir tras unos procesos químicos básicos y muy usados. El hidróxido de sodio, también conocido como sosa acuosa, se usa en como base química para fabricar tejidos, papel y detergentes. El ácido clorhídrico se trata de un acido muy fuerte que se usa como reactivo químico y una de sus aplicaciones mas usadas es como desincrustante para eliminar residuos de caliza.

4.2.5.3 Mineralización

Como se ha comentado antes, el proceso de ósmosis inversa tiene una gran capacidad para eliminas las sustancias presentes en el agua, entre ellas sales vitales para el consumo humano. Por este motivo el agua ha de tener un posttratamiento donde se remineralice obteniendo, por ejemplo, la alcalinidad y dureza necesaria para el consumo humano. La legislación española en el Real Decreto 140/003 estipula que las características necesarias del agua para el consumo humano.

Para conseguir unos buenos resultado lo mas usado es un lecho de calcita con dosificador de CO₂. El dosificador esta formado por unos difusores de CO₂ y el lecho está compuesto por una capa de carbonato cálcico que el agua atraviesa y sale con una calidad apta para el consumo humano.

4.2.6 DESINFECCIÓN

El método mas usado para la desinfección es el uso del cloro. El cloro penetra en las células de los patógenos destruyendo las enzimas esenciales y su pared celular.



Ilustración 28: Gráfico de cantidad de Cloro a usar [23]

En la primera zona el cloro es consumido por compuestos inorgánicos. En la segunda parte el cloro aun no tiene capacidad de desinfección. En tercera zona el agua ya tiene la cantidad de cloro necesaria para la desinfección y se reduce su cantidad residual ya que se consume y en la cuarta zona hay que tener en cuenta que hay que administrar 0,2 [mg/l] de cloro extra para desinfectar los patógenos presentes e las tuberías de transporte.

Capítulo 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 CAPTACIÓN

Para el diseño de la captación se partirá de los litros de agua por día que se necesita. A ese valor tenemos que aplicarle un factor de filtrado, que es el porcentaje de agua que se consigue filtrar después de la osmosis inversa.

$$Q_{fc} = \frac{Q_d}{F} = \frac{50\,000 \text{ m}^3/\text{día}}{0,45} = 111\,111 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \frac{\text{día}}{24 \text{ h}} \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 1,286 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Q_{fc} = caudal final de captación

Q_d = caudal diario de consumo

F = factor de filtrado

Una vez tenemos el caudal de captación, se procede a calcular la potencia de consumo de la bomba. Como ya se dijo anteriormente, la instalación de la captación se divide en dos etapas para evitar problemas de cavitación. La primera bomba tendrá una altura de 30m y la segunda una de 200m.

A la potencia de bombeo hay que aplicarle los rendimientos por pérdidas hidráulicas, volumétricas y mecánicas que es del 80% y las pérdidas por el motor de accionamiento de la bomba, que es del 95%.

Primera bomba

$$P = \frac{P}{\eta_t} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{fc}}{\eta_t} = \frac{1027,39 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot 1,286}{0,7 \cdot 0,9} = 617,200 \text{ KW}$$

Segunda bomba

$$P = \frac{P}{\eta_t} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{fc}}{\eta_t} = \frac{1027,39 \cdot 9,81 \cdot 200 \cdot 1,286}{0,7 \cdot 0,9} = 4 \text{ 114,67 KW}$$

Potencia final

$$P = 617,200 \text{ KW} + 4 \text{ 114,67 KW} = 4 \text{ 731,87 KW}$$

Bomba	Marca	Modelo	Potencia	Caudal	Altura
1	Andritz	SW serie	/	5000 m ³ /h	70m
2	Andritz	AD serie	5000 KW	6000 m ³ /h	250m

Tabla 4: Bombas Andritz

5.2 FILTRACIÓN LÍNEA DE AGUA DULCE

En este apartado se calculará la potencia de las bombas de presión para los filtros rápidos de arena. Como referencia par el cálculo se ha usado el catálogo de la empresa Lama de filtros industriales.

Calculo de la velocidad de un filtro

Datos del filtro:

$$V_f = 3030 \frac{m}{h}$$

$$A = 7 m^2$$

$$P = 10 bar$$

$V =$ velocidad de filtrado final

$V_f =$ velocidad de filtrado del filtro

$A =$ Area del filtro

$$V = V_f \cdot A = 30 \frac{m}{h} \cdot 7 m^2 = 210 \frac{m^3}{h}$$

Calculo del número de filtros requeridos

$n =$ número de filtros

$$n = \frac{Q}{V} = \frac{111\,111 \frac{m^3}{día} \frac{día}{24 h}}{210 \frac{m^3}{h}} = 22,045 \text{ filtros}$$

Altura y potencia de una bomba para un filtro

- La presión de trabajo es de 10 bar con unas perdidas medias del 20%

$P =$ Presión de funcionamiento del filtro

$$H = \frac{P/\rho \cdot g}{\eta_t} = 124 m$$

$$P_{1bomba} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta_t} = \frac{1027,39 \cdot 9,81 \cdot 124 \cdot \frac{210}{3600}}{0,7 \cdot 0,9} = 115,718 \text{ KW}$$

$$P_{total} = 115,718 \text{ KW} \cdot 23 \text{ bombas} = 2\,661,52 \text{ KW}$$

5.3 ULTRAFILTRACIÓN

Para la ultrafiltración se han elegido los filtros de la empresa Culligan cuya ficha técnica esta en la Tabla 5

Modelo	Módulos	Caudal máx m³/h	Potencia kW	Conexiones hidráulicas		Medidas (mm) largo x ancho x alto
	nº			Entrada H₂O	Permeado	
ULF 10	1	6	2,2	DN40	DN40	1800x2150x2350
ULF 20	2	12	2,2	DN40	DN40	1800x2150x2350
ULF 40	4	24	3	DN50	DN50	1800x2150x2350
ULF 60	6	38	4	DN65	DN65	2300x2150x2350
ULF 80	8	50	4	DN80	DN80	2300x2150x2350
ULF 100	10	62	5,5	DN80	DN80	2750x2150x2350
ULF 120	12	75	7,5	DN80	DN80	2750x2150x2350
ULF 140	14	87	7,5	DN80	DN80	3200x2150x2150
ULF 160	16	100	11	DN100	DN100	3200x2150x2150
ULF 180	18	112	15	DN100	DN100	3400x2150x2350

Tabla 5: Tabla del catálogo de Culligan [27]

- Teniendo en cuenta que el caudal es de $4629,63 \frac{m^3}{h}$ y la potencia consumida por un filtro es de $P = 15KW$, necesitaremos 42 filtros del modelo ULF 180

$$P = 15KW \cdot 42 \text{ filtros} = 630 \text{ KW}$$

5.4 OSMOSIS INVERSA

En este apartado se calculará la potencia requerida para las bombas de presión. Como se ha mencionado en los apartados anteriores la etapa de la osmosis inversa requiere una presión de unos 70 bar para conseguir superar la presión osmótica.

- Eliminando los términos nulos de la ecuación de Bernoulli, no queda la siguiente ecuación, siendo P_A la presión en la cámara osmótica

$$\frac{P_E}{\rho \cdot g} = \frac{P_A}{\rho \cdot g} + \frac{C_A^2 - C_E^2}{2 \cdot g} + Z_A - Z_E + Hr_{A-E} - H$$

$$\frac{P_A}{\rho \cdot g} = H = \frac{70 \cdot 10^5}{1027,39 \cdot 9,81} = 694,54 \text{ m}$$

$$P = \frac{P}{\eta_t} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{fc}}{\eta_t} = \frac{1027,39 \cdot 9,81 \cdot 694,54 \cdot 1,286}{0,7 \cdot 0,9} = 13\,363,2 \text{ KW}$$

Recuperación energética

Para este apartado se considerará que el rendimiento de la cámara de ósmosis inversa es del 98% y el rendimiento del instrumento de recuperación energética (ERI-PX) es del 90%.

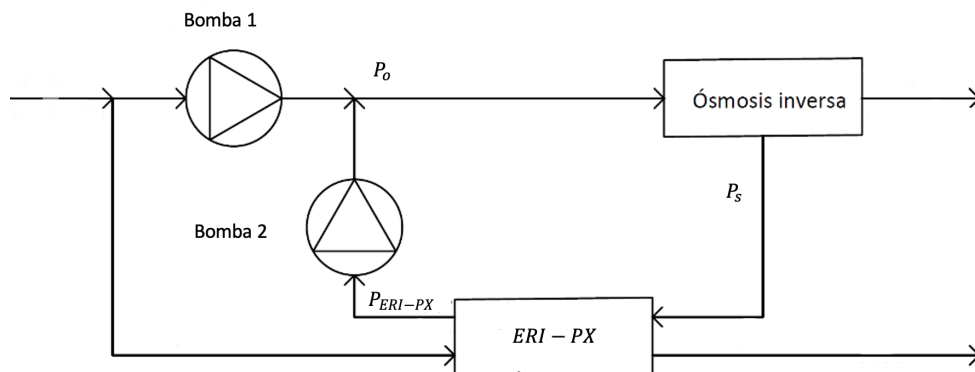


Ilustración 29: Esquema del equipo ERI-PX [12]

$$P_s = P_o \cdot \eta = 70 \cdot 0.98 = 68,6$$

P_s = Presión de salida de la cámara osmótica

P_o = Presión de entrada de la cámara osmótica = Presión de entrada del ERI – PX

$$P_o = P_{ERI-PX} \cdot \eta = 68,6 \cdot 0.9 = 61,74$$

P_{ERI-PX} = Presión de salida del ERI – PX

- Ahora se calcula la altura de la Bomba 2 para elevar la presión a 70 bar

$$H_2 = \frac{p_s - p_e}{\rho \cdot g} = \frac{(70 - 61,74) \cdot 10^5}{1027,39 \cdot 9,81} = 81,955m$$

$$P_2 = \frac{P}{\eta_t} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{fc}}{\eta_t} = \frac{1027,39 \cdot 9,81 \cdot 81,955 \cdot (1,286 \cdot 0,55)}{0,7 \cdot 0,9} = 927,348KW$$

- Ahora se va a calcular la potencia de la bomba 1 teniendo en cuenta la bomba 2, aquí se va a reflejar el ahorro de energía.

$$H_1 = \frac{p_s - p_e}{\rho \cdot g} = \frac{(70) \cdot 10^5}{1027,39 \cdot 9,81} = 694,534 m$$

$$P_1 = \frac{P}{\eta_t} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{fc}}{\eta_t} = \frac{1027,39 \cdot 9,81 \cdot 694,534 \cdot (1,286 \cdot 0,45)}{0,7 \cdot 0,9} = 6\,013,39 KW$$

- Si sumamos las dos potencias conseguimos el consumo energético que se usa para llegar a los 70 bar.

$$P = P1 + P2 = 927,348KW + 6\,013,39\,KW = 6\,940,74\,KW$$

Bomba	Marca	Modelo	Presión	Caudal	Altura
1	Andritz	ASPH serie	15 bar	2500	90m
2	Andritz	SU serie	100 bar	3500	800m

Tabla 6: Bomba Andritz

5.5 RESULTADOS

Etapas	Consumo (KW)
Captación	4731,87
Filtración de la línea de agua dulce	2661,52
Ultrafiltración	630
Ósmosis inversa	6940,74
Total	14 964,13 KW

Tabla 7: Tabla del consumo energético de las bombas [13]

Etapas	Consumo (KW)
Sin ERI-PX	13363,2
Con ERI-PX	6940,74
Diferencia	6422,46 KW

Tabla 8: Tabla del ahorro energético [13]

En la Tabla 7 y Tabla 8 se ve reflejado la potencia consumida en cada etapa, su total y la diferencia de consumo que hay con el elemento recuperación energética ERI-PX

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto, como ya se ha mencionado, su objetivo es abastecer de agua dulce a toda la zona de la comarca de la Marina Alta, con una población de unos 200.000 habitantes, una cifra muy elevada. Los dos mejores procesos de desalación a gran escala son: evaporación súbita por método flash y la osmosis inversa. Ambas tienen una producción elevada de agua dulce diaria, pero la osmosis inversa tiene un consumo y un coste de instalación mucho mas bajo y a demás se requiere menos terreno y tiene la posibilidad de realizar aplicaciones con facilidad.

La estación de agua potable (ETAP) se quiere instalar en la sierra de Toix, donde está el acuífero de donde se va a abastecer la planta. Extrapolando los litros consumidos por persona en la comunidad valenciana a los litros totales de agua que consume una persona, podemos obtener de forma aproximada que una persona consume en total unos 250 litros diarios. Si extrapolamos los litros diarios al consumo de la población de 20000 habitantes y los 365 días que tiene un año, nos da como resultados $18,25 \text{ hm}^3$ que es menos que la capacidad del acuífero(19 hm^3).

La estación depuradora se construirá en la parte superior de la sierra de Toix a unos 230 m de altura con respecto al nivel de mar. En esta instalación se necesitaría una bomba que proporcione mucha altura y mucho caudal, lo que conllevaría un rendimiento muy bajo y una posible cavitación. Para evitar estos problemas se recomienda que la instalación se divida en dos partes. Una primera parte formada por una bomba que de mucho caudal y poca altura hasta llegar a un deposito de acumulación de agua. Dentro de ese de deposito se instalará la segunda bomba que proporcione mucha altura y poco caudal hasta llegar a la planta depuradora. La segunda bomba se instalará dentro del deposito para que esté cebada durante todo su funcionamiento y se eviten los problemas de cavitación en el rodete.

Toda agua proveniente de un pozo o acuífero contiene componentes ferrosos y manganosos por lo que el primer proceso debe de ser la aireación, que consigue que estos componentes se conviertan en hidróxidos insolubles y se precipiten. En nuestro caso las cantidades son muy bajas, las sales de Fe se precipitarán solos pero las de Mn necesitan que el ph suba a 9.

En el CFD se introduce un reactivo coagulante en el primer tanque que neutraliza las cargas electroestáticas de los coloides, generan cargas positivas que neutralizan las fuerzas repulsivas entre las partículas y provoca una inestabilidad. Es muy importante que la mezcla sea homogénea y rápida por lo que se debe de usar unas bombas de dosificación. En la floculación el ph cambia dependiendo de el coagulante que se le añada, en este caso el ph debería de estar entre 8 y 10. Después de la coagulación y floculación se deja reposar el agua en la decantación para que precipite todas las partículas.

Una vez llegamos a este punto hay que instalar unos controles que indiquen el tipo de agua y el tipo de proceso que debe de pasar. Habrá un primer analizador de agua dentro del acuífero, antes de ser transportado a la planta. Luego habrá un segundo analizador en el tanque de decantación. Por la general se considerará como línea principal la línea de agua salada, pero si en los resultados de los dos analizadores no hay sal se desviará a la línea de agua dulce.

Debido a que la planta tiene que abastecer a tanta población, el filtrado de la línea de agua dulce ha de ser rápido. Por ello se seleccionará el filtrado de flujo ascendente que consiste en llenar un tanque por debajo y mientras el nivel del agua sube el agua va pasando por un filtro y se recoge por la parte superior.

En la línea de agua salda está formada por 3 etapas. La primera etapa es el ultrafiltrado, esta etapa es necesaria antes de la osmosis inversa debido a que reduce las posibilidades de obstrucción de la membrana. Los diferentes tipos de filtros se pueden agrupar en dos grandes tipos: los orgánicos y los inorgánicos. En este caso se recomienda el uso de filtros orgánicos.

La segunda etapa (membrana de ósmosis inversa) es la más importante y la más costosa. La vida de la membrana suele estar relacionada sobre todo con la calidad de agua del fluido

(cantidad de sólidos disueltos) y la cantidad de agua a filtrar. El control, limpiado y remplazamiento de la membrana osmótica se realizará en los meses donde el agua sea dulce y no pase agua por la membrana. La salmuera que se rechaza en este proceso está a 70 bar y dicha presión se aprovecha para conseguir una recuperación energética usando el *Energy Recovery Pressure Exchanger (ERI-PX)*. Este dispositivo contiene un rotor cerámico la cual transmite la presión de la salmuera al agua salada.

En la estación también se instalará un laboratorio donde, después de una microfiltración y una diálisis, se obtiene a partir de la salmuera dos componentes muy usados, el hidróxido de sodio y ácido clorhídrico

Como se ha comentado antes, el proceso de ósmosis inversa tiene una gran capacidad para eliminar las sustancias presentes en el agua, entre ellas sales vitales para el consumo humano. Por este motivo el agua ha de tener un posttratamiento donde se remineralice usando un lecho de calcita con dosificador de CO₂

El último paso es la desinfección con cloro, teniendo en cuenta que hay que aportar un 0,2 mg/l más para la desinfección de los patógenos de las tuberías de transporte.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019.”
- [2] “Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales.” <https://www.escr-net.org/es/recursos/observacion-general-no-15-derecho-al-agua-articulos-11-y-12-del-pacto-internacional>.
- [3] Álvaro Francisco MOROTE SEGUIDO, “Los grandes sistemas de abastecimiento de agua en el litoral de Alicante.”
- [4] “Agua,” [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>.
- [5] “Crecimiento demográfico.” <https://ourworldindata.org/future-population-growth>.
- [6] “Cambio Climático.” https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000373611&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_95d4b81a-d273-4c2c-901e-0e719f97fb85%3F_%3D373611spa.pdf&locale=es&multi=true&ark=/ark:/48223/p.
- [7] “Distribución del agua.” <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>.
- [8] “Estrés hídrico.” <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49251961>.
- [9] “Uso del agua.” <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>.
- [10] “Extracción del agua.” <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>.

- [11] “Acceso al agua.” <https://www.iagua.es/blogs/agueda-garcia-de-durango/el-acceso-al-agua-y-saneamiento-en-el-mundo>.
- [12] “Derecho al agua.” <https://www.iagua.es/noticias/onu/13/12/09/el-derecho-humano-al-agua-41658>.
- [13] “Elaboración propia.”
- [14] “MED.” <https://condorchem.com/es/evaporadores-al-vacio-de-multiple-efecto/>.
- [15] “MFS.” National Renewable Energy Laboratory Golden.
- [16] “CV.” <https://es.slideshare.net/frankespulpo/desalacin>.
- [17] “electrodialisis.” <http://www.elaguapotable.com/desalacion.htm>.
- [18] “Ósmosis inversa.” <https://www.carbotecnica.info/aprendizaje/osmosis-inversa/que-es-la-osmosis-inversa-purificador/>.
- [19] “Tabla comparativa.” <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19550/Capitulo3.pdf>.
- [20] Diputación de Alicante, “Manantiales 2.”
- [21] “LA INTRUSIÓN MARINA EN EL SISTEMA DE CUEVAS MORAIG-TOIX. UN ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACUÍFERO DE LA DEPRESIÓN DE BENISSA,” [Online]. Available: http://deco.alc.upv.es/cuevasalicante/PDF-anexos/Intrusion_marina.pdf.
- [22] “Consumo de agua por persona.” <https://www.geografiainfinita.com/2017/11/este-es-el-mapa-interactivo-del-consumo-de-agua-en-espana/>.
- [23] “Diapositivas asignatura de INGENIERÍA MEDIOAMBIENTAL.”
- [24] “Filtros,” *Tema 06 FILTRACIÓN.pdf*.
- [25] C. V. Forte, “Estudio de los Sistemas de Recuperación de Energía en Plantas

- Desaladoras por Ósmosis Inversa.”
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5645/fichero/Proyecto+Sistemas+recuperación+energía+desalación.pdf>.
- [26] “Salmuera.” <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/busca-segunda-vida-residuos-desalinizacion>.
- [27] “Culligan.” https://www.culligan.es/wp-content/uploads/CL_Catalogo_Ultrafiltracion_2012.pdf.
- [28] “ODS.” <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

ANEXO I- METAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas las personas.

Uno de los principales medios tanto como para combatir la pobreza y las enfermedades como para garantizar un desarrollo de la sociedad es garantizar un suministro de agua en calidad y cantidad suficiente.

La gestión del agua supone un reto, que se prevé cada vez mayor en el contexto del cambio climático, y que sitúa a la gestión de los recursos hídricos en un papel destacado en el marco de las políticas públicas españolas. [28]

Según la OMS, 3 de cada 10 personas en el mundo carecen de acceso a servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura.

Objetivo 14. Vida submarina

El océano impulsa los sistemas mundiales que hacen de la Tierra un lugar habitable para el ser humano. Una gestión cuidadosa de este recurso mundial esencial es una característica clave de un futuro sostenible y por eso protegerlo debe de seguir siendo una prioridad. [28]

Según la OMS, más de tres mil millones de personas dependen de la biodiversidad marina y costera para su sustento.

Los océanos son esenciales para la reducción del dióxido de carbono, según la OMS absorben el 30% de nuestras emisiones.

Este TFG ha ayudado a este objetivo proponiendo alternativas para la gestión de los residuos producidos por el proceso de la depuración por osmosis inversa.

