



Universidad
de La Laguna

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E
INDUSTRIAL

Trabajo de Fin de Grado

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN
ALIMENTADO MEDIANTE ENERGÍA EÓLICA

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Alumno: Eduardo Andrés Gómez

Tutor: Vicente José Romero Ternero

Septiembre 2015

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Índice General

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN MEDIANTE ENERGÍA
EÓLICA**

AUTOR

Eduardo Andrés Gómez

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

1. Memoria

1. Objetivo.....	11
1.1 Abstract	11
2. Alcance	13
3. Antecedentes	15
3.1 Escasez de recursos hidráulicos	15
3.2 Disponibilidad y distribución de los recursos hídricos	16
3.3 Demanda de recursos hídricos en España	18
3.3.1 Abastecimiento de la población.....	19
3.3.2 La industria	20
3.3.3 El regadío.....	20
3.4 Desalación	21
3.5 Ósmosis inversa.....	23
3.6 Planta desaladora.....	24
3.6.1 Captación	25
3.6.2 Pretratamiento.....	26
3.6.3 Núcleo de la planta	27
3.6.4 Postratamiento	30
3.7 Energía eólica.....	30
3.8 Aerogeneradores.....	31
3.9 Producción de energía eólica.....	34
4. Normas y referencias	37
4.1 Normas	37

4.2 Bibliografía.....	37
4.3 Programas de cálculo y herramientas utilizadas	38
5. Definiciones y abreviaturas.....	41
6. Requisitos de diseño	43
6.1 Emplazamiento y situación	43
6.2 Capacidad de la planta.....	48
6.3 Temperatura del agua	50
6.4 Composición del agua a tratar	52
7. Análisis de soluciones.....	55
7.1 Elección de la membrana y su configuración.....	55
7.2 Elección del sistema de recuperación de energía	57
7.3 Elección de la bomba de alta presión	63
7.4 Elección de la bomba booster.....	64
7.5 Elección de las bombas de captación	65
7.6 Elección de la bomba de distribución	66
7.7 Elección de la bomba de la salmuera	67
7.8 Dimensionado del depósito de producto	68
7.9 Consumo energético y coste de la planta	68
7.10 Elección del aerogenerador	69
8. Resultados finales	73
9. Conclusiones	75
9.1 Conclusions	75
10. Orden de prioridad de los documentos básicos.....	77

2. Anexos

1.	Dimensionado del núcleo de desalación.....	11
1.1	Intercambiador de presión.....	17
1.1.1	Simulaciones variando la temperatura.....	21
1.1.2	Simulaciones variando el pH.....	23
1.1.3	Simulaciones variando la edad de las membranas.....	23
1.1.4	Elección del intercambiador de presión.....	26
1.2	Turbocompresor	31
1.3	Elección de la configuración de membranas.....	32
1.4	Elección de la bomba de alta presión.....	34
1.5	Elección de la bomba booster.....	39
2.	Cálculos hidráulicos	47
2.1	Captación.....	47
2.1.1	Elección de la bomba de captación.....	51
2.2	Distribución.....	56
2.2.1	Elección de la bomba de distribución.....	60
2.3	Depósito de producto	65
2.4	Salmuera.....	66
2.4.1	Elección de la bomba de la salmuera.....	70
3.	Cálculos energéticos	75
3.1	Consumo energético y coste.....	75
3.2	Elección del aerogenerador	76
4.	Resultados del Q+ Projection Software.....	81

4.1 Resultados variando la temperatura del agua	81
4.2 Resultados variando el pH del agua	93
4.3 Resultados variando la edad de la membrana	107

3. Planos

1. Planos.....	5
1.1 Plano nº 1: Situación.....	7
1.2 Plano nº 2: Emplazamiento.....	8

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Memoria

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN MEDIANTE ENERGÍA
EÓLICA

AUTOR

Eduardo Andrés Gómez

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

HOJA DE IDENTIFICACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE ENERGÍA EÓLICA

DATOS DEL COLEGIO

NOMBRE: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

DIRECCIÓN: CAMPUS DE ANCHIETA. AVDA. ASTROFÍSICO FCO. SÁNCHEZ S/N. CÓDIGO POSTAL 38206 EDIFICIO GAROÉ, SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA, TENERIFE, ESPAÑA

TELÉFONO: 922845059

DATOS DEL AUTOR

NOMBRE: EDUARDO ANDRÉS GÓMEZ

DNI: 79060109-R

DATOS DEL TUTOR

NOMBRE: D. VICENTE JOSÉ ROMERO TERNERO

FECHA

SEPTIEMBRE 2015

Índice

1. Objetivo	11
1.1 Abstract.....	11
2. Alcance	13
3. Antecedentes.....	15
3.1 Escasez de recursos hidráulicos	15
3.2 Disponibilidad y distribución de los recursos hídricos	16
3.3 Demanda de recursos hídricos en España	18
3.3.1 Abastecimiento de la población	19
3.3.2 La industria.....	20
3.3.3 El regadío	20
3.4 Desalación.....	21
3.5 Ósmosis inversa	23
3.6 Planta desaladora	24
3.6.1 Captación.....	25
3.6.2 Pretratamiento	26
3.6.3 Núcleo de la planta.....	27
3.6.4 Postratamiento.....	30
3.7 Energía eólica	30
3.8 Aerogeneradores	31
3.9 Producción de energía eólica	34
4. Normas y referencias	37
4.1 Normas.....	37

4.2 Bibliografía.....	37
4.3 Programas de cálculo y herramientas utilizadas.....	38
5. Definiciones y abreviaturas.....	41
6. Requisitos de diseño.....	43
6.1 Emplazamiento y situación	43
6.2 Capacidad de la planta.....	48
6.3 Temperatura del agua	50
6.4 Composición del agua a tratar	52
7. Análisis de soluciones.....	55
7.1 Elección de la membrana y su configuración.....	55
7.2 Elección del sistema de recuperación de energía	57
7.3 Elección de la bomba de alta presión	63
7.4 Elección de la bomba booster.....	64
7.5 Elección de las bombas de captación	65
7.6 Elección de la bomba de distribución.....	66
7.7 Elección de la bomba de la salmuera	67
7.8 Dimensionado del depósito de producto	68
7.9 Consumo energético y coste de la planta	68
7.10 Elección del aerogenerador	69
8. Resultados finales	73
9. Conclusiones	75
9.1 Conclusions	75
10. Orden de prioridad de los documentos básicos.....	77

Índice de figuras

Figura 1. Distribución del agua en la Tierra.....	15
Figura 2. Distribución del agua dulce en la Tierra.....	16
Figura 3. Escorrentía total media anual en España.....	18
Figura 4. Demanda de los recursos hídricos en España.....	18
Figura 5. Distribución de la población en España.....	19
Figura 6. Distribución geográfica de la actividad industrial en España.....	20
Figura 7. Áreas regadas con el origen del agua en España.....	21
Figura 8. Esquema del proceso de la ósmosis inversa.....	23
Figura 9. Esquema de una planta desaladora.....	24
Figura 10. Cántara de captación con sondeos verticales.....	26
Figura 11. Esquema del núcleo de desalación.....	27
Figura 12. Esquema del interior de un intercambiador de presión.....	28
Figura 13. Esquema del interior de una membrana semipermeable.....	29
Figura 14. Mapa de los vientos globales.....	31
Figura 15. Partes de un aerogenerador.....	33
Figura 16. Esquema de los elementos del interior de la góndola de un aerogenerador.....	34
Figura 17. Evolución de la capacidad eólica total instalada en el mundo.....	35
Figura 18. Relación entre el diámetro del aerogenerador y la potencia que produce.....	36
Figura 19. Atlas eólico de España.....	44
Figura 20. Consumo de agua de las Comunidades Autónomas españolas.....	45

Figura 21. Zona donde decidimos situar la planta desaladora.....	46
Figura 22. Referencia catastral de la parcela 1.....	47
Figura 23. Referencia catastral de la parcela 2.....	47
Figura 24. Ejemplo de dato de velocidad del viento del terreno.....	48
Figura 25. Datos de temperaturas máximas y mínimas del agua de Tarifa a lo largo de los años.....	50
Figura 26. Datos de temperaturas medias del agua de Tarifa con los años.....	51
Figura 27. Logo del fabricante de nuestras membranas.....	55
Figura 28. Esquema del núcleo de desalación en su primera iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión.....	58
Figura 29. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la primera iteración.....	59
Figura 30. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la segunda y última iteración.....	60
Figura 31. Esquema del núcleo de desalación en su segunda y última iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión.....	61
Figura 32. Esquema del núcleo de desalación con un turbocharger.....	62
Figura 33. Resultados obtenidos en el software Turbocharger Energy Analisis.....	62
Figura 34. Imagen de un intercambiador de presión de Energy Recovery Inc.....	63
Figura 35. Imagen de la bomba de alta presión elegida.....	64
Figura 36. Imagen de la bomba booster elegida.....	65
Figura 37. Imagen de la bomba de captación elegida.....	66
Figura 38. Imagen de la bomba de distribución elegida.....	67
Figura 39. Fabricantes de aerogeneradores con las mayores cuotas de mercado.....	70
Figura 40. Curva de potencia del aerogenerador elegido.....	71

Índice de tablas

Tabla 1. Países con mayores recursos hídricos.....	17
Tabla 2. Países con menores recursos hídricos.....	17
Tabla 3. Resumen de las distintas tecnologías de desalación.....	22
Tabla 4. Datos de población de Tarifa y su porcentaje de crecimiento con los años.....	49
Tabla 5. Recopilación de los datos de temperatura del agua de Tarifa.....	51
Tabla 6. Composición química que consideraremos como la del agua de mar de Tarifa.....	52
Tabla 7. Comparativa de las membranas con el mínimo número de membranas permitido.....	56
Tabla 8. Comparativa de las membranas con el máximo número de membranas permitido.....	56
Tabla 9. Comparación de todos los modelos de intercambiadores de presión.....	59
Tabla 10. Datos de dimensionado de la bomba de alta presión.....	63
Tabla 11. Comparativa de las bombas de alta presión de distintos fabricantes.....	63
Tabla 12. Datos de dimensionado de la bomba booster.....	64
Tabla 13. Comparativa de las bombas booster de distintos fabricantes.....	64
Tabla 14. Datos de dimensionado de las bombas de captación.....	66
Tabla 15. Comparativa de las bombas de captación de distintos fabricantes.....	66
Tabla 16. Datos de dimensionado de la bomba de distribución.....	67
Tabla 17. Datos de la bomba de distribución elegida.....	67
Tabla 18. Potencias eléctricas consumidas por los equipos y el total.....	68
Tabla 19. Consumo específico de los equipos y el total de la planta.....	69

Tabla 20. Coste del consumo energético anual de la planta y de cada equipo que la conforma.....	69
---	----

1. Objetivo

El objetivo principal de este Trabajo de fin de grado es demostrar los conocimientos y competencias adquiridas a lo largo de los cuatro años correspondientes al Grado de Ingeniería Mecánica y, por consiguiente, finalizarlo.

Dentro de las capacidades que se demostrarán a lo largo del trabajo están la redacción, firma y desarrollo de proyectos, manejo de normativas, reglamentos y datos, la realización de mediciones y cálculos y demostrar un buen criterio en lo que respecta a la elección de las posibles soluciones a adoptar; todos éstos son conocimientos que deberá tener un ingeniero técnico industrial tras completar su formación según la normativa vigente.

Por otro lado, el objetivo específico de este proyecto es el estudio y diseño de un sistema de desalación de agua de mar a través del proceso de la ósmosis inversa, alimentado mediante energía eólica. El análisis se va a centrar en la parte energética tanto del proceso de desalación como de la parte eólica así como en el dimensionado de los principales elementos que conforman la planta desaladora alimentada mediante aerogeneradores.

1.1 Abstract

The main objective of this end-of-degree Project is to demonstrate the knowledge and skills acquired over the four years of the Degree in Mechanical Engineering and thus, finalizing it.

Some of the capabilities that will be demonstrated throughout this project are the writing skills of technical documents, the ability to manage technical regulations, laws, rules and data, to make an estimate of the cost of the project and the previous calculations to arrive to that conclusion and also show good judgment when it comes to choosing the possible solutions to be adopted, all of which are skills that an industrial engineering must have after completing his academic training under current legislation.

On the other hand, the specific objective of this project is the study and design of a reverse osmosis seawater desalination system powered by wind energy. The analysis will be focused on the energetic part of both the desalination and wind process and also choosing the main mechanical elements that conform them.

2. Alcance

En principio la planta desaladora alimentada mediante energía eólica de la que trataremos en el trabajo no tiene una tecnología de desalinización, capacidad o emplazamiento establecido en las condiciones iniciales del trabajo de fin de grado pero, como veremos más adelante, optaremos por una desaladora de 2500 m³/día situada en Andalucía, concretamente en la ciudad de Tarifa, y que realice la desalinización mediante el proceso de la ósmosis inversa.

Formarán como parte de este proyecto los siguientes apartados:

- Situación de la planta
- Capacidad de la planta
- Elección de las membranas y su configuración
- Elección de la bomba de alta presión y la bomba booster
- Elección de las bombas de captación y la bomba de distribución
- Elección de la bomba de la salmuera (en caso de que fuera necesario)
- Elección de las tuberías de captación y distribución
- Elección del sistema de recuperación de energía en el núcleo de desalación
- Dimensionado del depósito de producto
- Cálculo de las potencias consumidas, consumos específicos y coste energético anual de cada elemento que compone la planta desaladora
- Elección del aerogenerador que alimentará energéticamente la planta

Se excluirán de este proyecto los siguientes apartados:

- Instalaciones (eléctricas, climatización, contraincendios, etc.)
- Estudio de seguridad y salud
- Pliego de condiciones
- Conducciones de agua dentro de la planta desaladora
- Elementos de control del agua
- Pretratamiento y postratamiento del agua
- Obra civil de toda la planta en general
- Planificación
- Mediciones y presupuesto

Como se puede observar, el proyecto se centra en el análisis global de la planta desaladora y del sistema de captación energética, si el proyecto se fuera a llevar a cabo, todo lo anterior sería necesario pero tuvo que acotarse por cuestiones de tiempo, aunque esto se deje fuera sigue siendo un estudio de un sistema de desalación alimentado mediante energía eólica por lo que cumpliría con lo que se pedía en un principio.

3. Antecedentes

3.1 Escasez de recursos hidráulicos

El agua es el elemento más abundante en la naturaleza, en el mundo hay aproximadamente 1370 millones de kilómetros cúbicos de agua. Sólo una pequeña parte de estos recursos, 35 millones de kilómetros cúbicos (aproximadamente un 2,5%), corresponde a agua dulce entre ríos, lagos y agua subterránea mientras que el resto es agua marina, subterránea salobre y otras. En los seres vivos, el agua constituye aproximadamente el 80% de sus componentes y en los animales un 60-70%, por lo que además de ser el elemento más abundante es fundamental para la vida.

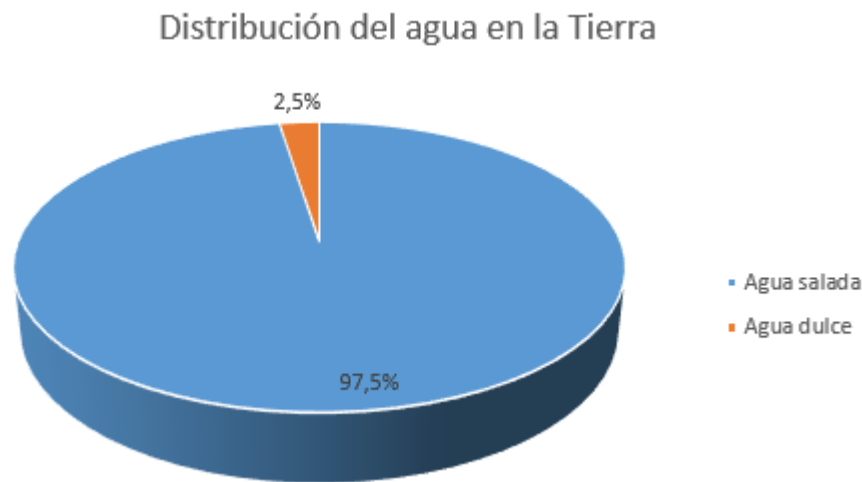


Figura 1. Distribución del agua en la Tierra

Dentro del agua dulce disponible en el planeta el 68,7% se encuentra en los glaciares, principalmente en los casquetes polares, pero también en las altas cumbres nevadas, un 30,1% se encuentra en acuíferos subterráneos, un 0,8% se encuentra en el permafrost, que es una capa de hielo permanente en los niveles superficiales del suelo de las regiones frías y, el último 0,4% corresponde a las aguas superficiales y la de la atmósfera.

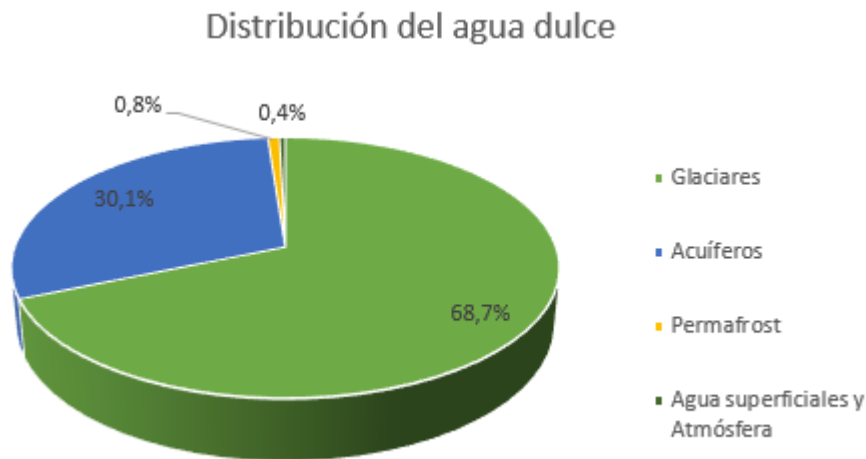


Figura 2. Distribución del agua dulce en la Tierra

La distribución de esta masa de agua dulce en la Tierra es muy heterogénea, existiendo regiones del mundo que están ampliamente dotadas, mientras que otras zonas están sometidas a sequía, siendo incluso imposible mantener la supervivencia de seres vivos en ellas. De forma que se puede decir sin exagerar que los recursos hidráulicos disponibles en el mundo son relativamente escasos, sobre todo si se ponen en relación con la población o con las demandas del tipo agrario o industrial, y lo que es peor, están muy irregularmente distribuidos.

3.2 Disponibilidad y distribución de los recursos hídricos

La cantidad de agua disponible en diversos países del mundo es enormemente variable como se muestra en las siguientes tablas de los países con mayores y menores recursos hídricos.

País	Recursos (km ³ /año)
Brasil	8233
Rusia	4507
Canadá	2902
Indonesia	2838
China	2830
Colombia	2132
Estados Unidos	2071
Perú	1913
India	1908

Tabla 1. Países con mayores recursos hídricos

País	Recursos (km ³ /año)
Israel	1,67
Jordán	0,88
Libia	0,6
Cabo Verde	0,3
Yibuti	0,3
Emiratos Árabes	0,15
Bahréin	0,12
Franja de Gaza	0,06
Malta	0,05
Qatar	0,05
Kuwait	0,02

Tabla 2. Países con menores recursos hídricos

Ciñéndonos al caso de España también hay fuertes contrastes geográficos y climáticos que condicionan la distribución y disponibilidad de los recursos hídricos naturales. Puede afirmarse de forma simplificada que existe un acusado gradiente geográfico entre las zonas con abundantes recursos hídricos del norte y noroeste y las secas del sur y del este como se puede ver en la siguiente figura que representa la escorrentía total media anual en milímetros.

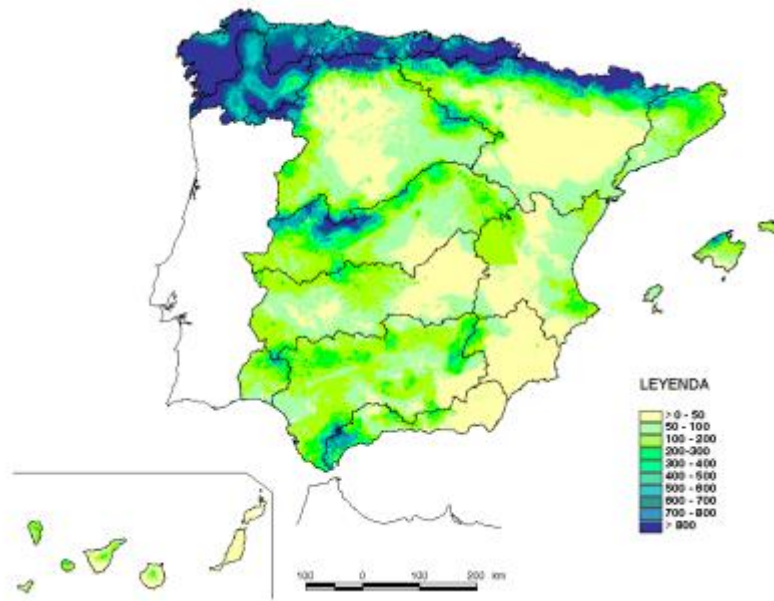


Figura 3. Escorrentía total media anual en España

3.3 Demanda de recursos hídricos en España

Es usual considerar la demanda de agua por tres tipos de usos principales: de abastecimiento a la población, demanda industrial y regadío. Cada tipo de demanda posee unas características diferentes en cuanto a sus requerimientos cualitativos y cuantitativos, su distribución espacial, su evolución previsible, y las modalidades de uso a que dan lugar.

Demandas de los recursos hídricos

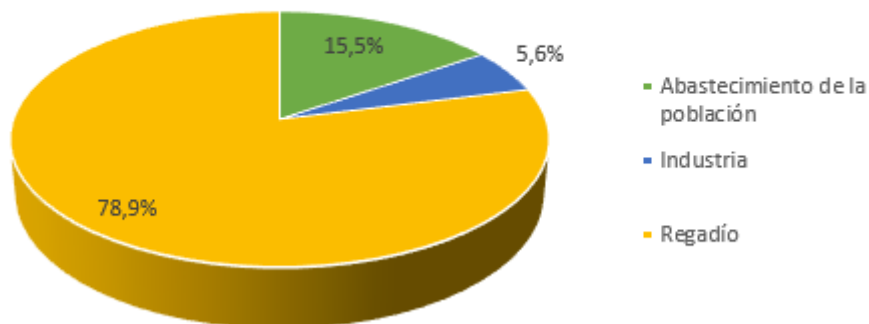


Figura 4. Demanda de los recursos hídricos en España

Dentro de este apartado deben considerarse también aquellos recursos que deben mantenerse para la satisfacción de requerimientos ambientales, dado que dichos requerimientos condicionan los volúmenes disponibles para satisfacer las demandas mencionadas.

3.3.1 Abastecimiento de la población

Esta demanda engloba la originada en los núcleos de población, tanto para satisfacer los consumos domésticos como los vinculados a otras actividades, industriales o de servicios que se asientan en los núcleos urbanos y se abastecen mediante sus redes de distribución y asciende a unos 4700 hm³/año, algo más del 15% de la demanda total. La distribución geográfica está relacionada de forma directa con la densidad de población y esta distribución geográfica de la población sigue una pauta muy marcada de concentración en la periferia litoral, que contrasta con grandes vacíos interiores a excepción de Madrid, el valle del Guadalquivir y algunas zonas centrales del valle del Ebro como se puede ver en la siguiente figura.

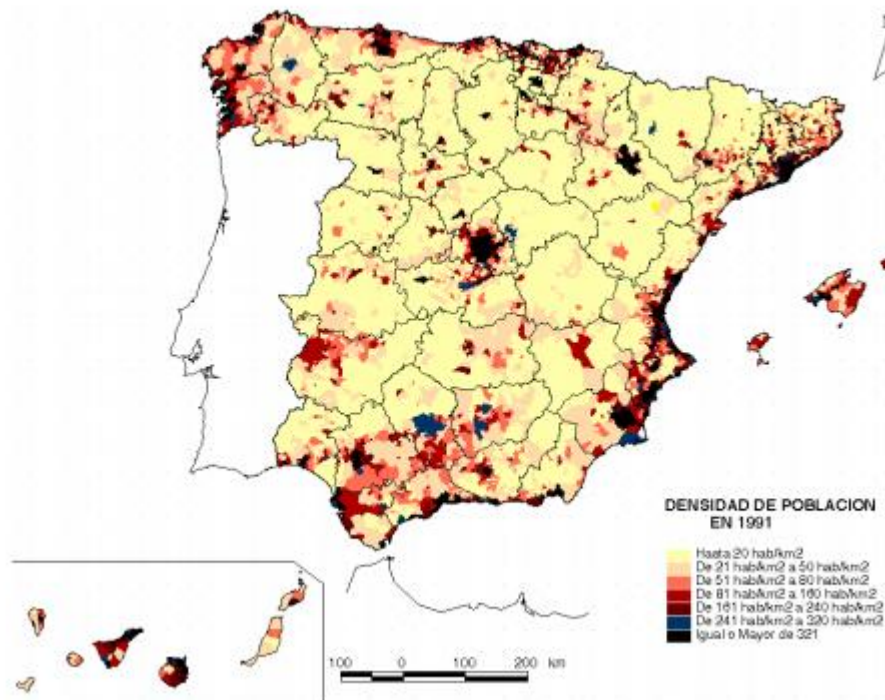


Figura 5. Distribución de la población en España

3.3.2 La industria

Los volúmenes dedicados a usos industriales suponen del orden de 1700 hm³/año en España, aproximadamente el 5% de los consumos totales. Estos consumos no contemplan los abastecidos por las redes de distribución urbanas ni los destinados a la producción energética (refrigeración e hidroelectricidad) cuyos consumos netos son muy escasos. La distribución geográfica de la actividad industrial es en algunos aspectos similar a la de la población, con mayor concentración en el litoral mediterráneo oriental, especialmente en Cataluña, Valencia y Murcia.

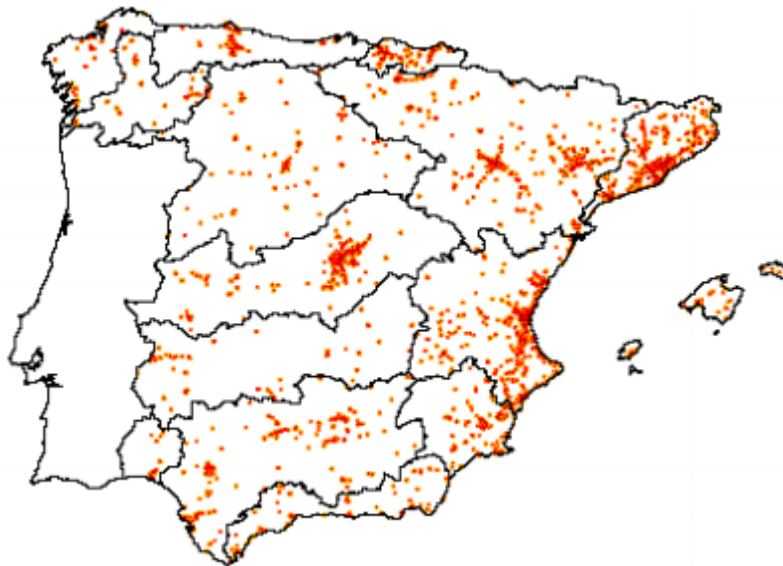


Figura 6. Distribución geográfica de la actividad industrial en España

3.3.3 El regadío

El regadío es el principal uso del agua en España, con una demanda hídrica superior a los 24000 hm³/año, lo que representa casi el 80% de las detracciones totales. Estos recursos abastecen una superficie de 3,4 millones de hectáreas, que son casi el 18% de la superficie total cultivada. La siguiente figura muestra las áreas regadas y el origen del agua (superficial, subterránea o mixta), que pone de manifiesto las importantes diferencias que existen entre los territorios del norte, interior y del mediterráneo.

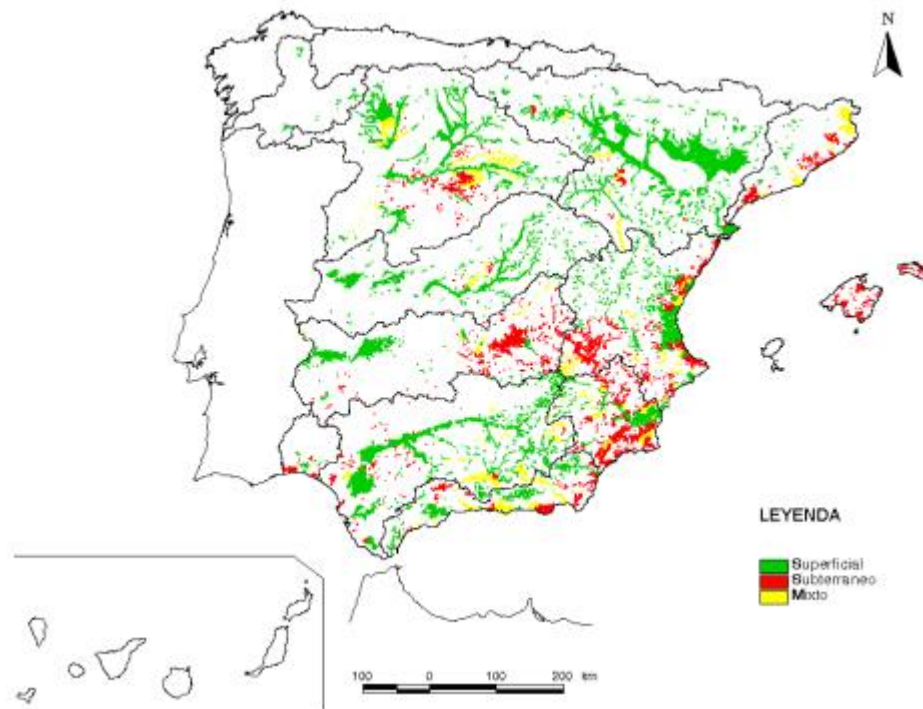


Figura 7. Áreas regadas con el origen del agua en España

3.4 Desalación

La desalación es un proceso de separación de las sales de una disolución o, dicho de otra forma, quitar sales de un líquido, aunque hay que distinguir entre procesos que separan el agua de las sales y los que realmente efectúan la separación de sales de la solución. El proceso de separación de sales del agua en que se encuentran disueltas requiere de una forma u otra energía y es la forma en la que se aplica esta energía el factor diferenciador de estos procesos. En unos procesos se utiliza el vapor como fuente principal para la eliminación de sales, estos procesos son conocidos con el nombre genérico de destilación de los que se han desarrollado tres tecnologías principales: Destilación Súbita Multietapa (MSF), Destilación Multiefecto (MED) y Compresión de Vapor (CV), cada uno de ellos con distintas variantes. En otros casos la energía utilizada es la carga eléctrica, como es el caso de la Electrodiálisis (ED) y, por último, el sistema más divulgado que utiliza la presión y se conoce como Ósmosis Inversa (OI). En la siguiente tabla recogemos todas las tecnologías, tanto de separación de sales del agua como viceversa.

Clase de separación	Energía utilizada	Proceso	Sistema
Separación del agua de las sales	Vapor	Evaporación	Desalación solar
			Destilación súbita simple
			Destilación en tubos sumergidos
			Destilación súbita multietapa
			Destilación multiefecto de tubos horizontales
			Destilación multiefecto de tubos verticales
			Compresión mecánica de vapor
			Termocompresión de vapor
	Frío	Cristalización	Formación de hidratos
			Congelación
Presión	Membrana	Ósmosis Inversa	
Separación de las sales del agua	Carga eléctrica	Membrana selectiva	Electrodiálisis
	Atracción química	Resina	Intercambio iónico

Tabla 3. Resumen de las distintas tecnologías de desalación

Las principales razones por las que elegiremos realizar la desalación del agua mediante la ósmosis inversa son las siguientes:

- Tiene el menor consumo energético y además se puede aprovechar la energía contenida en la salmuera rechazada a alta presión para disminuir aún más el consumo de energía

- La inversión está muy ligada a las características del agua que se pretende desalar, cosa que no ocurre en las tecnologías de evaporación, y, en general, es inferior a la de otros sistemas
- Permite una adaptabilidad mayor que otras plantas a una ampliación de su capacidad si la demanda es creciente en la zona

3.5 Ósmosis inversa

La tecnología de la ósmosis inversa se basa en el proceso de la ósmosis, un fenómeno por el cual dos soluciones de distinta concentración salina puestas en contacto a través de una membrana semipermeable tienden a igualar sus concentraciones, habiendo un movimiento de fluido desde la solución más diluida hacia la más concentrada hasta el estado de equilibrio. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones. La ósmosis inversa se basa, como su propio nombre indica, en invertir el proceso y aplicar una presión suficiente a la solución más concentrada para que el movimiento se produzca desde ésta hacia la más diluida obteniendo así agua libre de sales, que es lo que nos interesa en la desalación.

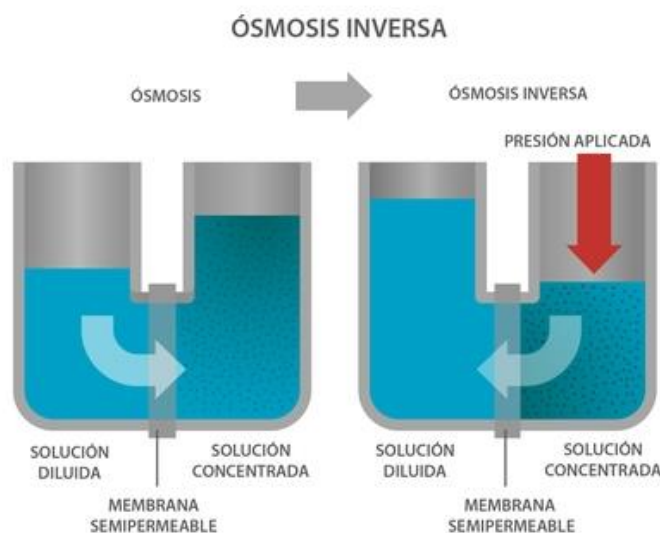


Figura 8. Esquema del proceso de la ósmosis inversa

La presión mínima necesaria para que se produzca la ósmosis inversa es la diferencia de presión osmótica entre la solución de alimentación o concentrada y la solución producto o

diluida y depende de las características del flujo que pasa a través de la membrana y puede variar de cero hasta un límite dado por las características de la membrana.

Los elementos esenciales para poder producir el fenómeno de la ósmosis inversa a escala industrial son una bomba para aplicar la presión necesaria y una membrana capaz de realizar la separación de sales y que además tenga las siguientes características:

- Capaz de resistir las presiones a las que se va a someter la solución para producir la ósmosis inversa
- Suficientemente permeable al fluido para que el flujo producto que proporciona sea elevado
- Debe rechazar un alto porcentaje de sales para que el producto sea de buena calidad

3.6 Planta desaladora

ESQUEMA DE PROCESO

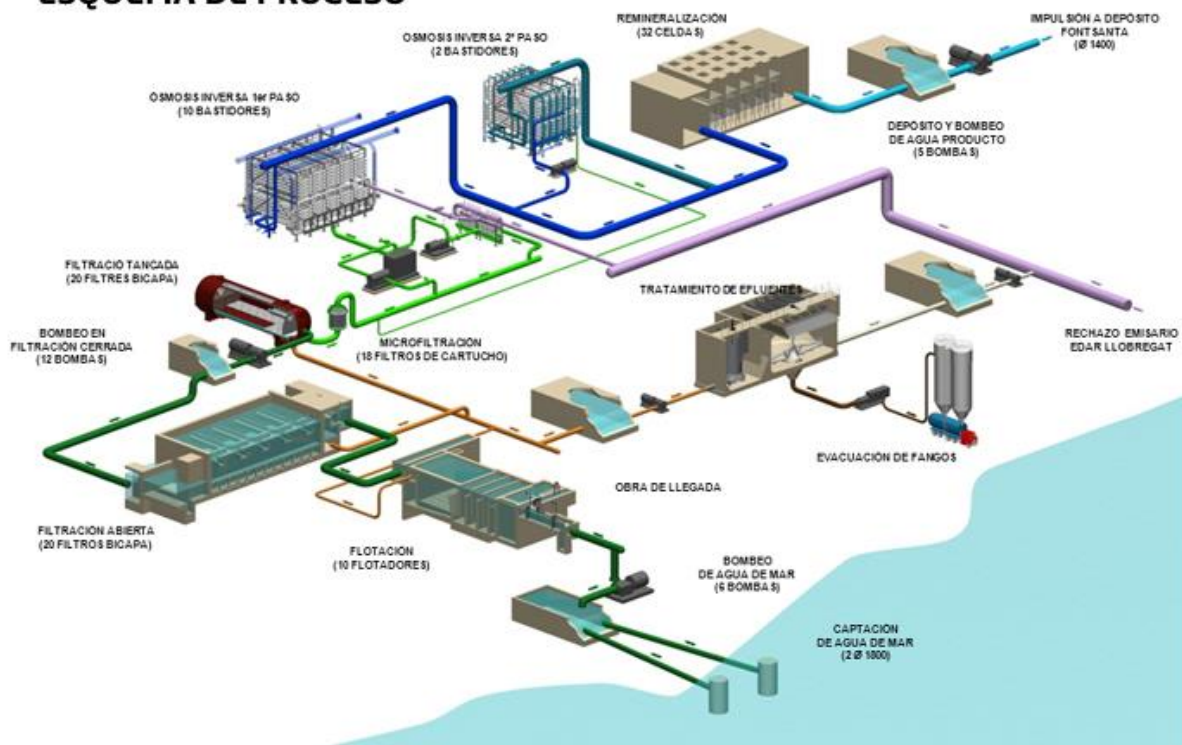


Figura 9. Esquema de una planta desaladora

Una instalación desaladora puede ser más o menos compleja según sea el tamaño y el tipo de agua a tratar y debe contemplar todos los elementos desde la toma de agua hasta el depósito

final para almacenamiento del permeado, para que responda a las prestaciones que deben exigirse a un sistema sofisticado y caro.

En dicha instalación pueden establecerse cuatro zonas o partes, dotadas de equipos que por su cometido e importancia son muy distintos, estas partes son la captación o toma de agua, el pretratamiento físico-químico, el proceso de la ósmosis inversa en sí y el post-tratamiento.

3.6.1 Captación

El diseño de la instalación se inicia con la toma o punto de captación del agua que va a alimentar el sistema. Aunque puede tratarse de instalaciones tan distintas como desalación de agua salobre o de mar, desde el punto de vista de las dificultades que a posteriori van a plantear al proceso, puede hablarse de tomas de agua abiertas o superficiales y cerradas o a través de pozo.

Las tomas de agua mediante pozo son las más favorables y las que siempre hay que intentar construir, sin embargo, ello implica la permeación de caudales, a veces importantes, a través de los distintos estratos del terreno, que no siempre es posible lograr. Supusimos que el terreno era suficientemente permeable para que este tipo de captación fuera posible pero si este proyecto se fuera a llevar a cabo sería necesario hacer un estudio del terreno que afirmara que así es y, en caso contrario, se optaría por tomas de agua abiertas.

Las principales ventajas que ofrece una toma cerrada o en pozo son:

- Limpieza del agua como consecuencia de su filtrado en el terreno, lo que se traduce en unos índices de turbidez y de colmatación bajos
- Ausencia de actividad orgánica y biológica
- Bajo contenido de oxígeno disuelto
- Temperaturas bastante estables

El aprovechamiento de las citadas ventajas, permite abaratar considerablemente los tratamientos, especialmente químicos, de la instalación y en ocasiones incluso de los equipos.

El agua se obtendrá a partir de una cántara de captación que consiste en un depósito que se excava por debajo de la cota del agua en el terreno. Su forma puede variar entre circular, en caso de pozos normales para instalaciones pequeñas, o rectangulares cuando son de mayor

capacidad. Dentro de las cántaras de captación hay dos tipos, normales y con sondeos verticales, estas últimas se realizan cuando la permeabilidad del terreno es insuficiente para aflorar el caudal necesario y por eso se recurre a realizar perforaciones en el fondo de la cántara hasta alcanzar alguna capa de terreno más permeable que incremente el caudal de la captación. Esta fue la cántara por la que nos decantamos ya que esta permite la utilización de bombas verticales o sumergibles, de mayor eficiencia y más fácil mantenimiento.

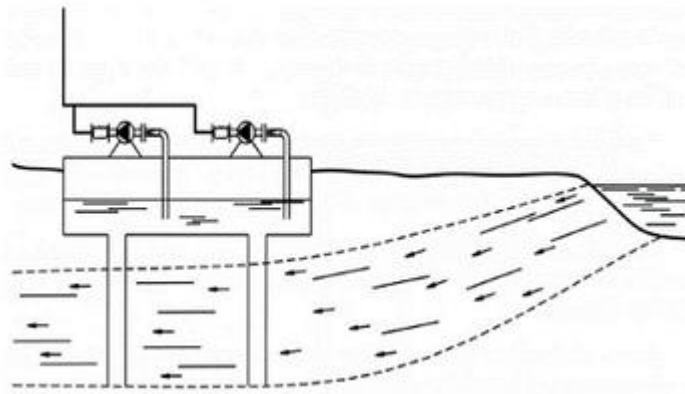


Figura 10. Cántara de captación con sondeos verticales

3.6.2 Pretratamiento

Aunque en el proyecto no nos centraremos demasiado en el pretratamiento o post-tratamiento del agua como aclaramos en el alcance, comentaremos brevemente estos apartados. El pretratamiento se puede dividir en pretratamiento físico y químico, el primero consiste en distintas etapas, primero se hace pasar el agua por los filtros de arena en los que se retienen partículas o sólidos de hasta veinte micras y posteriormente avanza a los filtros de cartuchos donde se garantiza un nivel mínimo de filtración de cinco micras, que es el requerido por las membranas. El pretratamiento químico consiste primero en la desinfección, en la que comúnmente se le añade hipoclorito sódico, un líquido que por lo tanto debe ser almacenado en un depósito y de ser añadido al agua mediante bombas dosificadoras, posteriormente se pasa a la regulación del pH, para lo que se añade ácido sulfúrico, a continuación se le añade el coagulante, cloruro férrico o distintos polímeros, el reductor, bisulfito o metabisulfito sódico, y estabilizantes, en caso de que sea necesario. Los elementos que aseguran que todos estos elementos estén homogéneamente repartidos en el agua son los mezcladores y los agitadores.

3.6.3 Núcleo de la planta

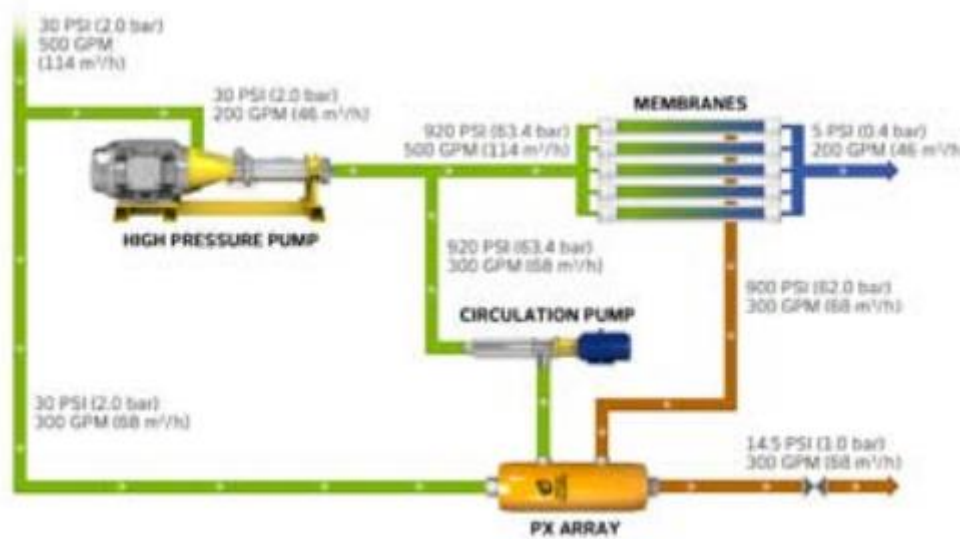


Figura 11. Esquema del núcleo de desalación

El núcleo de desalación está compuesto principalmente por cuatro elementos: la bomba de alta presión, los bastidores con las membranas semipermeables donde ocurre la ósmosis inversa, el elemento de recuperación de energía que como determinamos en el anexo I se hará mediante intercambiadores de presión y, por lo tanto, también es necesaria una bomba booster.

Las bombas de alta presión constituyen una de las partes más importantes del proceso tecnológico de la ósmosis inversa porque deben aportar a la presión osmótica del agua a tratar la presión neta de operación necesaria para obtener la producción calculada. La selección de la bomba obedece en la mayoría de las ocasiones a dos datos: la presión de bombeo necesaria y el caudal de producción deseado. Su representación gráfica es lo que constituye la curva característica de la bomba, no obstante, también hay que tener en cuenta otros aspectos de considerable importancia a la hora de su elección, como son el rendimiento, los materiales de construcción o su coste.

Los intercambiadores de presión son elementos de recuperación de energía en los que la presión del agua de rechazo de las membranas se aporta al agua de alimentación que proviene de la bomba de alta presión. Para ello, se usa el principio de desplazamiento positivo y cámaras isobáricas.

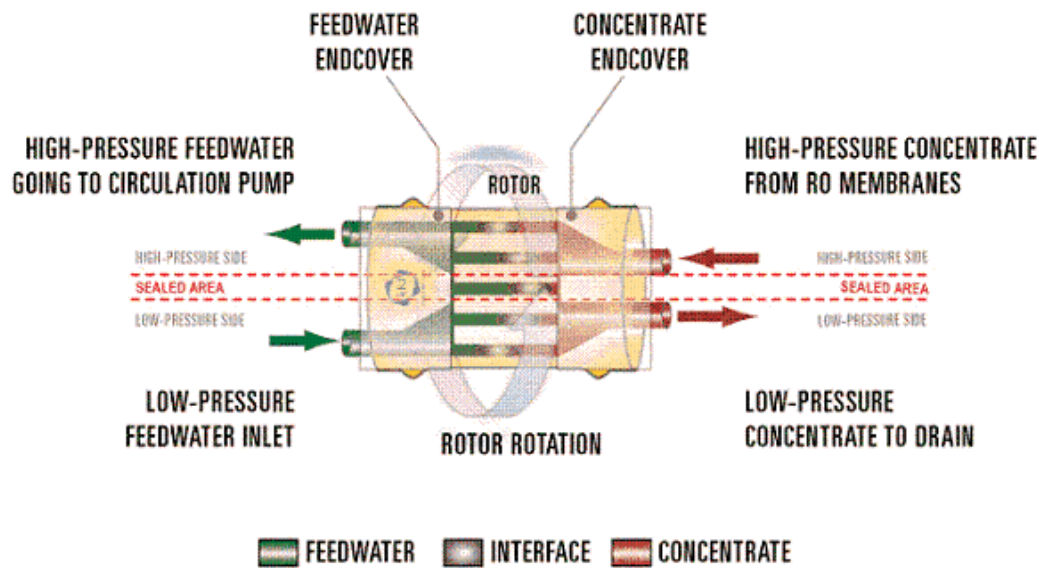


Figura 12. Esquema del interior de un intercambiador de presión

La parte de baja presión del rotor se llena de agua de mar y la de alta presión, de la salmuera y mediante la rotación del rotor en el cual confluyen ambas corrientes, se transmite la presión de la corriente de rechazo a la del agua de alimentación como se observa en la figura.

La bomba booster es una bomba que se encarga de aumentar la presión al agua desde la presión de salida del intercambiador de presión hasta la de salida de la bomba de alta presión ya que tanto en las membranas como en las conducciones y el propio intercambiador de presión hay pérdidas que algún equipo tiene que compensar.

Por último pero no por ello menos importante, las membranas están formadas por láminas rectangulares, que constituyen las membranas propiamente dichas, enrolladas alrededor de un eje cilíndrico provisto de perforaciones que permiten recoger el agua producto. Para el enrollamiento de las láminas desaladoras se disponen éstas alternadas con un separador impermeable y una malla, de forma que en una membrana existen tantas láminas como separadores y mallas.

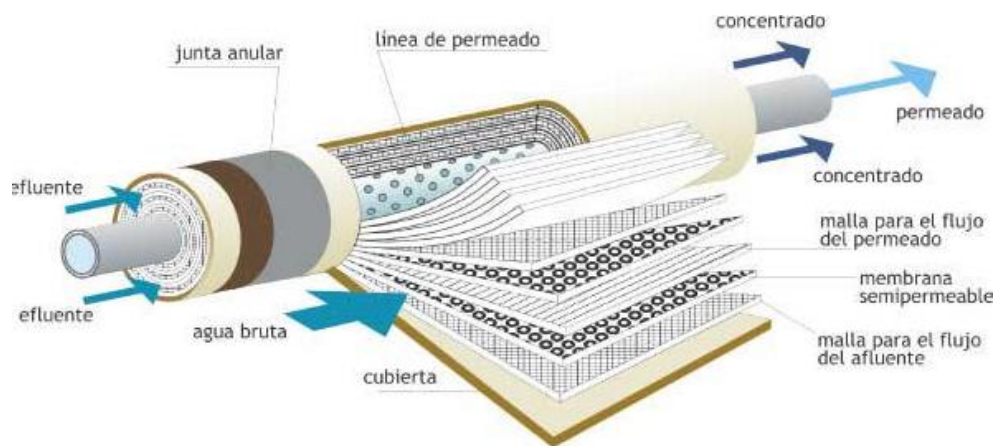


Figura 13. Esquema del interior de una membrana semipermeable

La malla plástica determina los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar y por su forma cuadrículada garantiza un régimen de funcionamiento turbulento lo que reduce las posibilidades de obstrucción por elementos extraños.

El separador impermeable permite aislar el caudal que pasa por cada una de las láminas o membranas y separarlo de la salmuera. El conjunto de membranas, mallas y separadores se sella mediante un pegamento por los tres lados, mientras que por el cuarto lado que constituye la única salida posible para el agua que ha atravesado las membranas y se une al eje perforado. Finalmente se cierra el conjunto con un recubrimiento exterior de poliéster con fibra de vidrio, que permite lograr gran estanquedad.

Las membranas se encuentran una detrás de otra, en el interior de tubos de presión, se suelen utilizar tubos de presión de seis, siete u ocho membranas por cada uno y esto afecta al agua resultante, como veremos en el anexo I. Además también pueden estar colocados en distintas etapas, en el que la salmuera del primer grupo de membranas pasa a su vez por un segundo grupo para obtener más agua pura y una salmuera aún más concentrado, esta opción no se tuvo en cuenta como una posibilidad en el dimensionado del núcleo de desalación pero si se fuera a llevar a cabo el proyecto habría que hacerse para asegurarse que se elige absolutamente la mejor opción posible pero aquí no se hizo por falta de tiempo debido a la infinidad de posibles configuraciones.

3.6.4 Postratamiento

El agua desalada mediante membranas tiene un pH bajo, es pobre en calcio y tiene una baja alcalinidad, debido al elevado rechazo de estos iones por las mismas. Su baja alcalinidad y la presencia de CO₂ la hacen corrosiva pudiendo disolver los precipitados de las tuberías e incluso incumpliendo algunos aspectos de la normativa técnico-sanitaria. Para estabilizarla hay que llevar estos parámetros a su equilibrio de saturación de CaCO₃ y así llevar el pH a un valor de entre 6,5 a 8. La estabilización se consigue por tres procedimientos: la descarbonatación o desgasificación, la adición de productos químicos y la mezcla con otras aguas.

Por último, faltaría la etapa de la post-cloración, como el agua que se va a desalar ha sido desprovista de sus características oxidantes mediante la dosificación de bisulfito sódico, en el producto no existen rastros de cloro residual, por ello si se va a dedicar a abastecimientos urbanos es necesario volverla a clorar para cumplir la normativa sanitaria en cuanto a presencia de cloro residual de la red.

3.7 Energía eólica

La energía eólica es la obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por el efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. El viento se genera por el calentamiento desigual que sufre la tierra, el más intenso cerca del ecuador y durante el día, esto quiere decir que las zonas más calientes se mueven sobre la superficie de la tierra en su movimiento de rotación. Generalmente el aire caliente sube, para después circular por la parte superior de la atmósfera y caer en las zonas más frías, a nivel del suelo la circulación es en sentido inverso. El efecto combinado del desigual calentamiento de la tierra y de las fuerzas centrífugas y de Coriolis debidas a la rotación, da lugar a vientos a escala terráquea, con unas tendencias más o menos permanentes. En la siguiente figura podemos ver un mapa de los vientos globales:

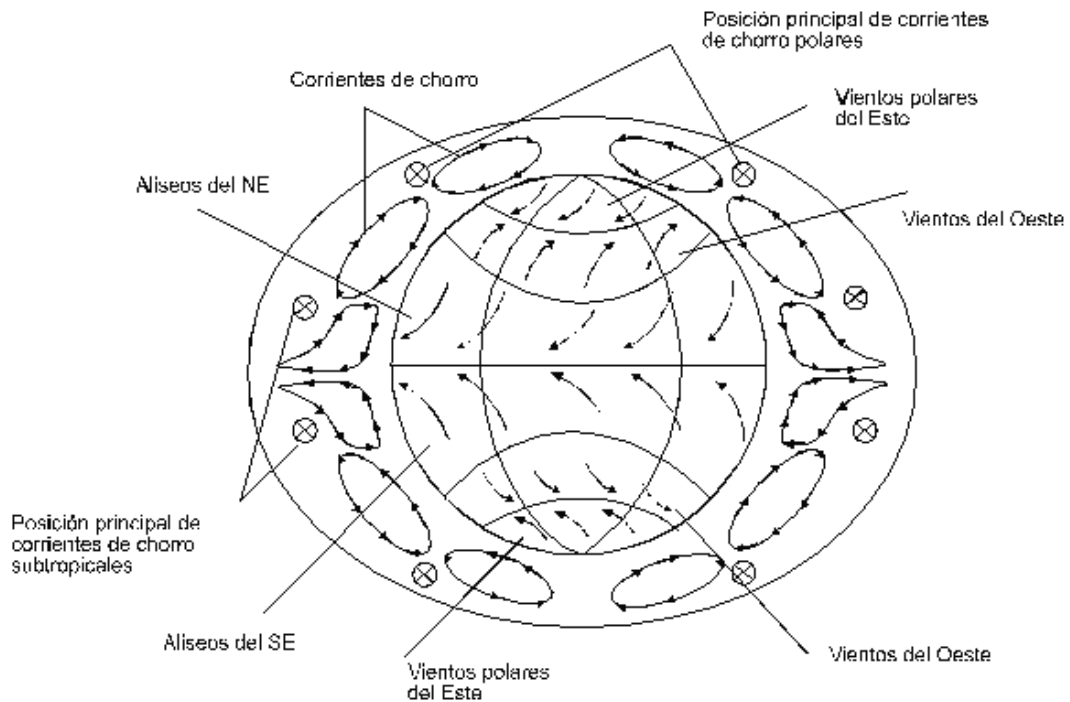


Figura 14. Mapa de los vientos globales

La energía eólica presenta ventajas frente a otras fuentes energéticas convencionales como son:

- Es un tipo de energía renovable ya que, como habíamos comentado, tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la energía del Sol, por lo que además es inagotable.
- Es una energía limpia que no requiere combustión, por lo que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- Puede instalarse en una gran variedad de lugares como zonas desérticas, cercanas a la costa, laderas áridas, prados, o incluso en el mar donde el viento es más fuerte, constante y el impacto social menor.
- Su instalación es rápida, variando de cuatro a nueve meses.
- Cada vez es más barata conforme la tecnología evoluciona.
- Las instalaciones son fácilmente reversibles, no dejan huella.

3.8 Aerogeneradores

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina que aprovecha la energía cinética del viento y la transforma en energía eléctrica. Actualmente, la tecnología de los

aerogeneradores ha evolucionado hacia máquinas de eje horizontal de tres palas orientadas a barlovento y con torre tubular, esta es la configuración más común que ofrece la mayoría de fabricantes.

El funcionamiento de un aerogenerador consiste en que cuando la velocidad del viento que incide sobre este aumenta, también lo hacen las fuerzas que se producen sobre las palas. Estas fuerzas desarrollan un par y esfuerzos sobre los elementos mecánicos del aerogenerador. El par mecánico desarrollado por la turbina, cuando está girando a una determinada velocidad, produce una potencia mecánica que se transmite al generador y se convierte finalmente en energía eléctrica. En este proceso de conversión de energía intervienen fundamentalmente: el rotor eólico que es el elemento que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, el tren de potencia que transmite la potencia mecánica desarrollada por la turbina al generador eléctrico mediante una caja de multiplicación de velocidad, y por último, el generador eléctrico que es el dispositivo encargado de transformar la energía mecánica en eléctrica. Algunos sistemas disponen, entre el generador y la red eléctrica, de convertidores electrónicos cuya función es por una parte controlar la velocidad de giro del generador y por otra acondicionar la energía eléctrica generada.

Durante el proceso de conexión si el aerogenerador dispone de sistema de control de cambio de paso de pala, se optimiza el ángulo de calado de estas con el fin de controlar la aceleración del rotor eléctrico. Una vez que el sistema se ha conectado a la red, la velocidad de giro se mantiene constante o prácticamente constante, ya que ésta depende de la frecuencia de la red y de características constructivas del generador. Esto ocurre en los sistemas denominados de velocidad fija, que carecen de convertidores electrónicos entre el generador y la red, estos dispositivos permiten desacoplar la frecuencia de funcionamiento del generador con la frecuencia de la red, haciendo que puedan funcionar a velocidad variable.

Los procesos que hemos descrito anteriormente, corresponden a la transformación de energía que se produce en el sistema, sin embargo cuando la velocidad del viento incide sobre el aerogenerador se producen esfuerzos sobre los elementos mecánicos (palas, torre y transmisión mecánica) que desgastan o fatigan los componentes y reducen lo que se denomina vida útil del aerogenerador. Este aspecto es muy importante ya que el diseño de un aerogenerador actual debe garantizar una vida útil de sus componentes entorno a los 20 años. Esto hace que la misión de algunos de los sistemas que incorporan los aerogeneradores sea

reducir los esfuerzos mecánicos, así por ejemplo, cuando la velocidad del viento supera la velocidad nominal algunas tecnologías emplean el control por cambio de paso de las palas para limitar la potencia mecánica sobre el rotor eólico y la velocidad de giro en el caso que el sistema sea de velocidad variable.

A continuación se muestran dos figuras, la primera mostrando las distintas partes de un aerogenerador y la segunda los componentes que se encuentran en el interior de la góndola que ya habíamos mencionado previamente.

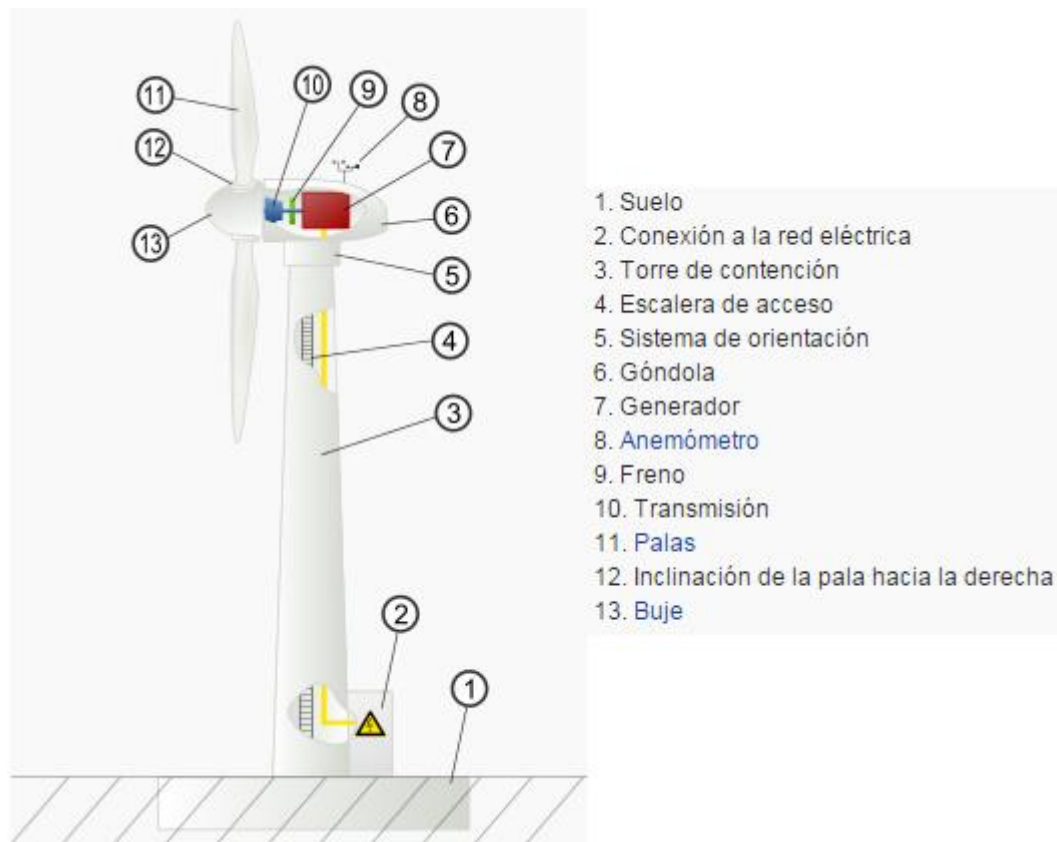


Figura 15. Partes de un aerogenerador

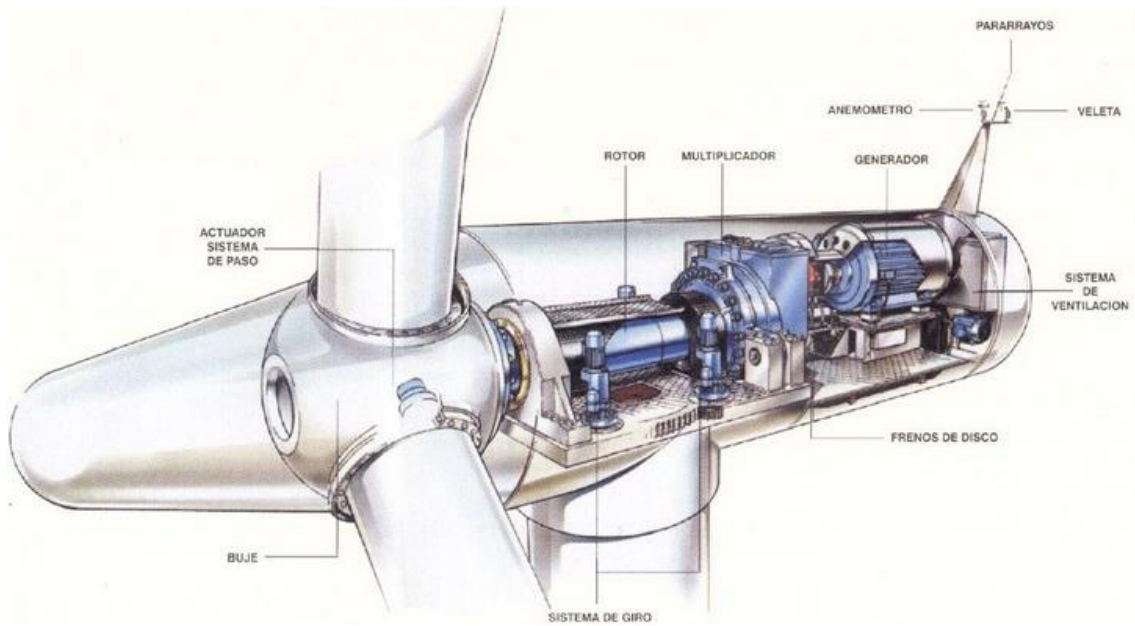


Figura 16. Esquema de los elementos del interior de la góndola de un aerogenerador

3.9 Producción de energía eólica

Existe una gran cantidad de aerogeneradores operando mundialmente, con una capacidad total de 369.597 MW según datos de finales de 2014, de los que Europa cuenta con el 36,3%, China y Estados Unidos representan juntos casi el 50% de la capacidad eólica global, mientras que los primeros cinco países (China, Estados Unidos, Alemania, España e India) representaron el 71,7% de la capacidad eólica mundial en 2014.

En la siguiente gráfica podemos observar cómo ha evolucionado la capacidad eólica total instalada en el mundo desde 1996 hasta 2014 y, como vemos ha aumentado exponencialmente con el paso de los años.

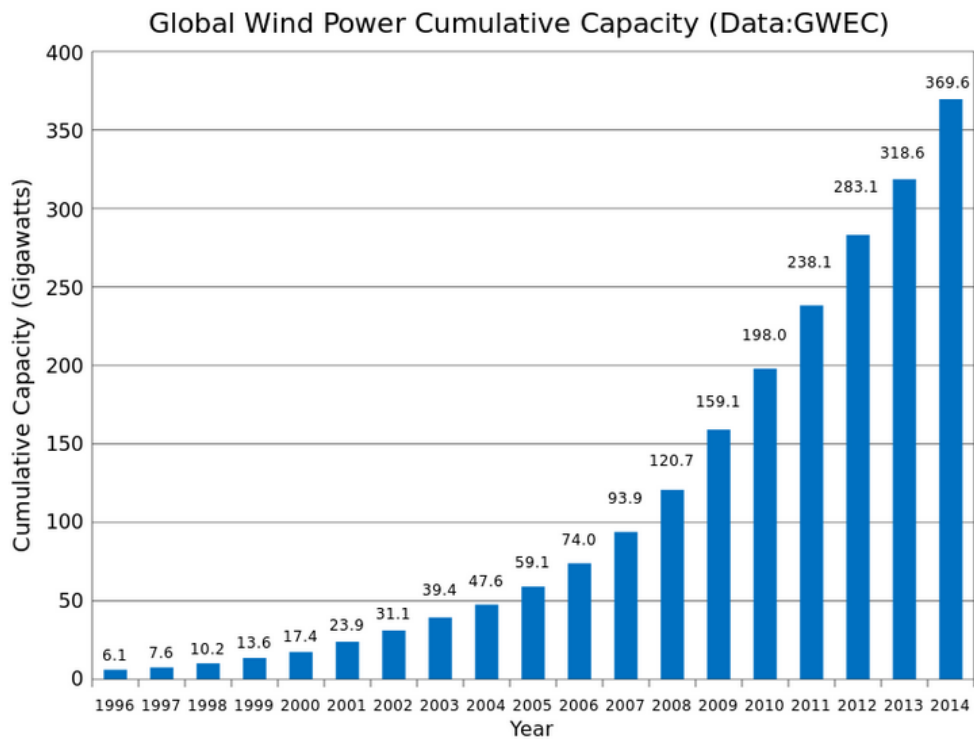


Figura 17. Evolución de la capacidad eólica total instalada en el mundo

España es una de las principales potencias mundiales en lo que respecta a energía eólica, siendo la cuarta en cuanto a potencia eólica total instalada con aproximadamente 23 GW, por detrás de China, Estados Unidos y Alemania; que supone el 21,3% de la capacidad del sistema eléctrico nacional y es la segunda fuente de energía del país por detrás del ciclo combinado con 27,2 GW, por lo que podemos concluir que es una de las industrias más importantes del país especialmente en lo que respecta a la producción de electricidad.

Otra cosa que hay que mencionar es que el diámetro de un aerogenerador está directamente relacionado con la energía que va a poder producir, como se muestra en la siguiente figura.

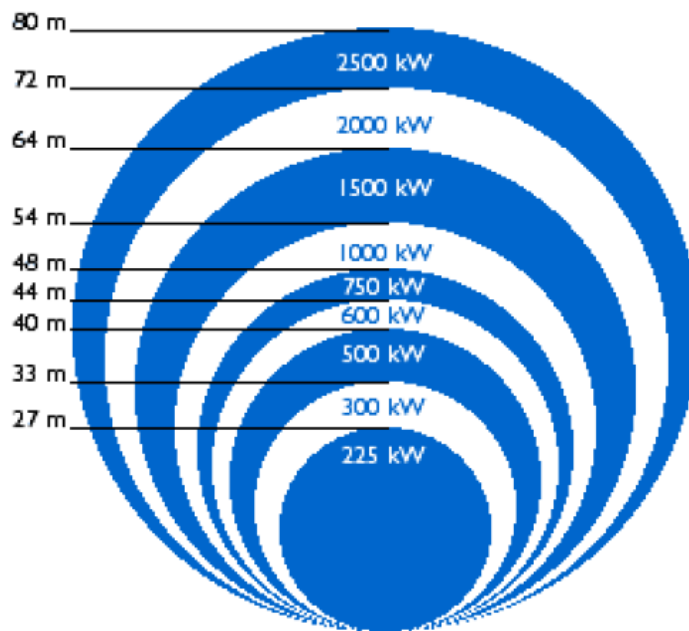


Figura 18. Relación entre el diámetro del aerogenerador y la potencia que produce

4. Normas y referencias

4.1 Normas

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se prueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Orden SSI/304/2013, de 19 de febrero, sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Plan Andaluz de sostenibilidad energética 2007-2013 (PASENER).
- Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía.
- UNE 157001:2002, Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- UNE-EN ISO 5455. Dibujos técnicos: Escalas.
- UNE 1027:1995. Dibujos técnicos: Plegado de planos.

4.2 Bibliografía

- Medina San Juan, José Antonio. Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis inversa. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1999.
- Miguel Veza, José. Introducción a la desalación de aguas. Gran Canaria: Servicio de publicaciones y producción documental de la universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2002.
- Soriano, Jose Agüera. Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas. 5ª Edición actualizada, Madrid: Ciencia 3 S.L, 2002.
- Rodríguez Amenedo, José Luis; Burgos Díaz, Juan Carlos y Arnalte Gómez, Santiago. Sistemas Eólicos. Madrid: Editorial Rueda S.L, 2003.

- Apuntes de la asignatura “Ingeniería Fluidomecánica” impartida en el ETSICI en el curso 2012/2013
- Apuntes de la asignatura “Instalaciones y Máquinas Hidráulicas” impartida en el ETSICI en el curso 2013/2014
- Puertos del Estado (Gobierno de España): <http://www.puertos.es/es-es/Paginas/default.aspx>
- Fabricante de tuberías MASA: <http://www.masa.es/>
- Fabricante de membranas NanoH₂O¹: www.lq-nanoh2o.com/
- Instituto Nacional de Estadística (INE): <http://www.ine.es/>
- Junta de Andalucía: <http://www.juntadeandalucia.es/index.html>
- Sede Electrónica del Catastro (Gobierno de España): <http://www.sedecatastro.gob.es/>
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE, Gobierno de España): <http://www.idae.es/>
- Fabricante de aerogeneradores Suzlon: <http://www.suzlon.com/>
- Fabricante de bombas hidráulicas KSB: <http://www.ksb.com/ksb-en/>
- Fabricante de bombas hidráulicas Grundfos: <http://es.grundfos.com/>

4.3 Programas de cálculo y herramientas utilizadas

- Software de dimensionado de membranas Q+ Projection Software del fabricante NanoH₂O
- Software de dimensionado del intercambiador de presión: ERI PX Power Model del fabricante Energy Recovery Inc.
- Software online de análisis del Turbocharger: Turbocharger Energy Analisis del fabricante Energy Recovery Inc.
- Software online para la selección de bombas de alta presión: Aquabold Selector del fabricante Energy Recovery Inc.
- Software online para la selección de bombas: Grundfos Webcaps del fabricante Grundfos
- Software online para la selección de bombas: KSB EasySelect del fabricante KSB
- Microsoft Office Word 2013

¹ Nota: Durante la realización del proyecto la compañía pasó a llamarse LG Water Solutions

- Microsoft Office Excel 2013
- Excel de elaboración propia para el cálculo de las pérdidas de carga de cada conducción, las potencias consumidas por cada bomba y su consumo específico, así como el de la planta completa
- Google Maps
- Software online para determinar la velocidad del viento de una zona: Atlas eólico del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)
- AutoCAD 2011
- Water Density Calculator de la Universidad de Michigan

5. Definiciones y abreviaturas

En este apartado introduciremos algunos conceptos que se mencionan a lo largo del proyecto con frecuencia y pueden causar confusión, ya sea por desconocimiento o una descripción poco clara.

- Permeado o agua producto: agua desalada que obtenemos a la salida de los bastidores de las membranas
- Salmuera o rechazo: agua rechazada por las membranas con alto contenido en sales
- Conversión o tasa de recuperación: porcentaje que relaciona la cantidad de agua producto con la de alimentación a las membranas
- Mezcla volumétrica: mezcla que se produce entre los caudales de salmuera y de agua de alimentación en el interior del intercambiador de presión
- Consumo específico: parámetro de la planta que indica la relación entre el consumo energético de ésta por m³ de permeado
- Ppm: partes por millón
- TDS: sales totales disueltas
- IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

6. Requisitos de diseño

En este apartado nos centraremos en fijar ciertos parámetros que necesitaremos para realizar los cálculos y las simulaciones con el software de nuestro fabricante de membranas ya que la descripción del proyecto deja abiertos muchos para la elección del autor.

6.1 Emplazamiento y situación

Las principales condiciones que tiene que cumplir el lugar que elijamos son las siguientes:

1. Debe estar localizado en España, la principal razón por la que vamos a hacer esta limitación es por las diferencias entre normativas de los distintos países.
2. Tiene que estar cercano al mar o a un río, en nuestro caso elegimos que el agua a tratar sea de mar, por lo que tendrá que ser un lugar bañado por las aguas del océano Atlántico o el mar Mediterráneo.
3. Tiene que ser un lugar ventoso ya que la planta desaladora va a estar alimentada mediante energía eólica.

Para la elección del lugar donde se situará la planta consultaremos el atlas eólico de España que se ve en la siguiente figura:



Figura 19. Atlas eólico de España

Como se puede observar, los lugares que cumplen con las tres condiciones son Girona (Cataluña), A Coruña (Galicia), Almería (Andalucía), Cádiz (Andalucía), Buenavista del Norte (Tenerife, Canarias), Arico (Tenerife, Canarias), San Sebastián de la Gomera (La Gomera, Canarias), La Frontera (El Hierro, Canarias), Garafía (La Palma, Tenerife), La Aldea de San Nicolás (Gran Canaria, Canarias), Agüimes (Gran Canaria, Canarias) y Santa Lucía de Tirajana (Gran Canaria, Canarias). Como vemos, hay bastantes posibles localizaciones por lo que tendremos que seguir un criterio; el criterio que seguiremos es situaremos la planta en la comunidad autónoma que más agua consume de las anteriormente mencionadas, para ello hay que consultar los datos del Instituto Nacional de Estadística de 2012.

	Año 2012	% sobre el total	% variación anual
Andalucía	576.176	17,2	-0,3
Aragón	106.036	3,2	8,8
Asturias, Principado de	77.558	2,3	-6,2
Baleares, Illes	81.979	2,5	10,0
Canarias	162.915	4,9	2,0
Cantabria	50.748	1,5	1,4
Castilla y León	212.398	6,4	-6,8
Castilla-La Mancha	150.879	4,5	-3,4
Cataluña	504.301	15,0	-1,1
Comunitat Valenciana	369.422	11,1	3,7
Extremadura	75.522	2,3	2,0
Galicia	189.873	5,7	3,9
Madrid, Comunidad de	429.556	12,9	-3,8
Murcia, Región de	106.673	3,2	-0,8
Navarra, Comunidad Foral de	55.849	1,7	-7,0
País Vasco	154.880	4,6	-12,1
Rioja, La	24.366	0,7	-14,7
Ceuta y Melilla	8.897	0,3	-32,2
Total nacional	3.338.028	100	-1,3

Figura 20. Consumo de agua de las Comunidades Autónomas españolas

La comunidad autónoma en la que se distribuye más agua es Andalucía con 576.176 miles de metros cúbicos, que representa el 17,2% del total de agua distribuida en España, por lo tanto acotamos la localización a Almería y Cádiz. Ambas soluciones son igualmente válidas, por un lado Almería tiene una mayor escasez de recursos hídricos pero el inconveniente es que ya hay una desaladora con una capacidad de 120.000 metros cúbicos diarios, la desaladora de Carboneras, una de las mayores de Europa. Por esta razón y porque las velocidades del viento son ligeramente mayores en Cádiz, concretamente en Tarifa para ser exactos, elegiremos que esta sea su situación.

La planta desaladora tiene que estar cerca de la costa pero algo alejada de la ciudad, además cerca de Tarifa hay un parque natural, el Parque Natural Del Estrecho, donde no se podría construir, lo que limita aún más las opciones. En la siguiente imagen se muestra la zona donde decidimos situarla.



Figura 21. Zona donde decidimos situar la planta desaladora

Una vez decidimos el área, hay que comprobar qué tipo de terrenos hay en esa zona y para qué tipo de actividades están reservados, para ello buscamos en el registro catastral.

Después de comprobar cada terreno de la zona, observamos que todos ellos estaban reservados para actividades agrarias pero a falta de más opciones tendremos que dar por bueno este resultado; si este proyecto fuera a llevarse a cabo sería necesario por lo tanto recalificar el terreno para que permitan actividades de carácter industrial en él.

Dentro de la zona elegimos dos terrenos contiguos suficientemente grandes para poder tener los pozos de captación, la planta desaladora y el aerogenerador y además estaba algo alejada de la ciudad y de algunas casa de la zona. A continuación incluiremos ambas referencias catastrales de estos.

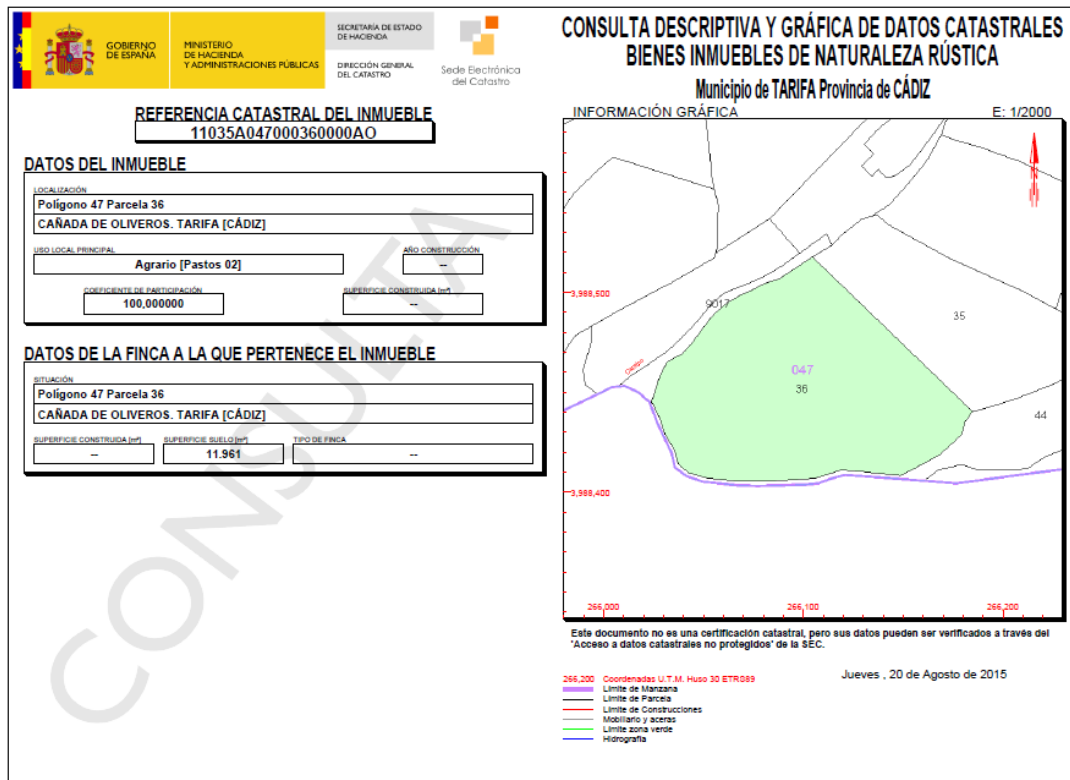


Figura 22. Referencia catastral de la parcela 1

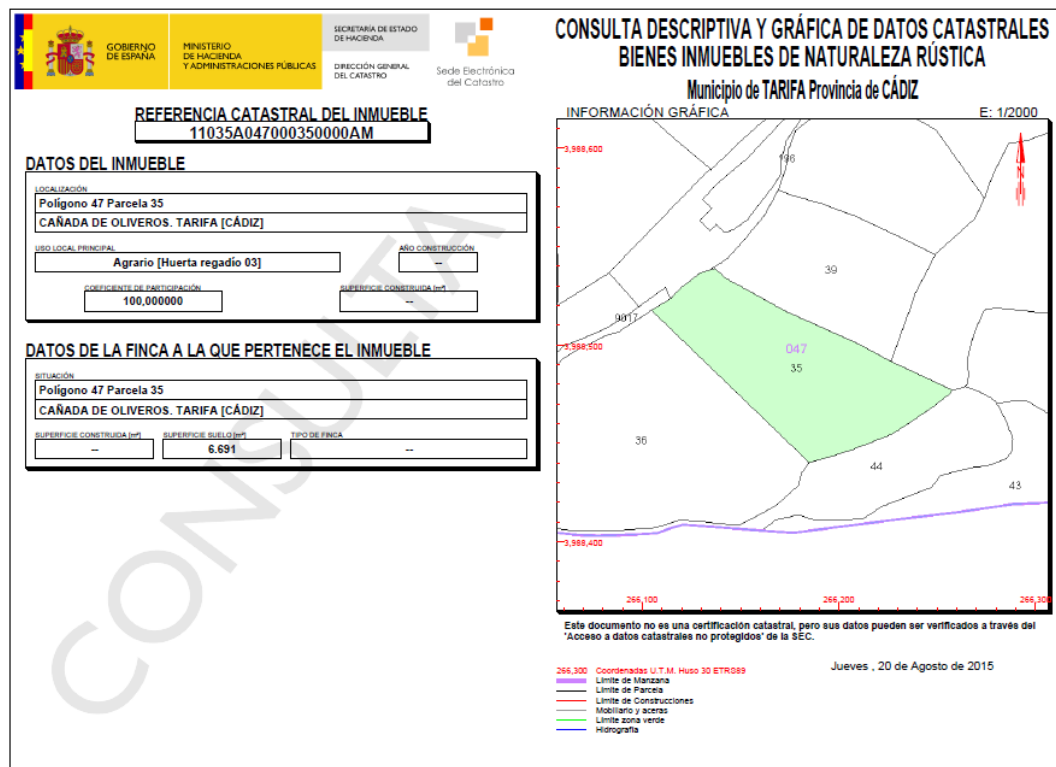


Figura 23. Referencia catastral de la parcela 2

Por último, una vez tenemos ya el emplazamiento fijado, usaremos la aplicación online del atlas eólico del IDAE para obtener la velocidad del viento de la zona.

Coordenadas UTM(m): 267741,3989660
 Elevación (m): 0
 Rugosidad (m): 0.15 | Weibull C (m/s): 11.79 | Weibull K (m/s): 2.172

Figura 24. Ejemplo de dato de velocidad del viento del terreno

Después de medir los valores de la velocidad del viento para diversos puntos de los terrenos podemos afirmar que estarán entre 11 y 12 m/s aunque supondremos 11m/s ya que es lo más desfavorable y un valor bastante conservador.

6.2 Capacidad de la planta

Con la planta desaladora se pretende cubrir el consumo de agua de la población del lugar donde se implante, en nuestro caso como ya habíamos dicho será Tarifa. Para determinar la capacidad de la planta será necesario conocer el consumo de agua por habitante por día y el número de habitantes, ambos datos se obtienen del Instituto Nacional de Estadística, el primero de un estudio realizado en 2012 que dice que el andaluz medio consume 129 litros de agua por día y el segundo de otro que establece que la población es de 17.962 habitantes. Haciendo un simple cambio de unidades de litros a metros cúbicos obtenemos que el consumo de agua por habitante es 0,129 m³ por día.

$$\text{Capacidad} = \text{Consumo de agua/habitante} \cdot \text{Habitantes} = 0,129 \cdot 17962 = 2317 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Como vemos para abastecer a la población de Tarifa necesitamos una planta de al menos 2317,1 m³/día aunque en los meses más calurosos será necesario algo más por lo que redondearemos a una capacidad de nuestra planta de 2500 m³/día. Con el incremento de la población, al cabo de los años, la planta desaladora no logrará cubrir las necesidades de la población y pasará a ser una planta de apoyo para moderar el consumos de agua de los embalses y acuíferos cercanos. Ahora pasaremos a calcular el número de años que pasarán hasta que esto ocurra, para ello tenemos que calcular el número de habitantes para los que los 2500 m³/día no son suficiente, suponiendo que el consumo de agua de cada uno es constante a lo largo de los años.

$$Población\ máxima = \frac{Capacidad}{Consumo\ de\ agua\ por\ habitante} = \frac{2500}{0,129} \approx 19379\ habitantes$$

Lo siguiente que hay que determinar es la tasa de crecimiento media de la población de Tarifa a partir de los datos anuales

Año	Población	% Crecimiento
1996	14.993	
1998	15.118	0,834
1999	15.344	1,495
2000	15.481	0,893
2001	15.764	1,828
2002	16.058	1,865
2003	16.392	2,08
2004	16.743	2,141
2005	17.199	2,724
2006	17.478	1,622
2007	17.619	0,807
2008	17.736	0,664
2009	17.793	0,321
2010	17.768	-0,141
2011	17.856	0,495
2012	17.962	0,594
% Crecimiento medio		1,215

Tabla 4. Datos de población de Tarifa y su porcentaje de crecimiento con los años

Una vez que tenemos ambos parámetros es posible calcular el número de años necesarios para llegar del último año del que tenemos datos al número máximo de habitantes para el que la planta se valdría por sí sola para suministrar el agua mediante la siguiente expresión:

$$Población\ final = Población\ inicial \cdot (1 + \% Crecimiento\ medio\ anual)^{n^o\ años}$$

$$N^o\ años = \frac{\log\left(\frac{Población\ final}{Población\ inicial}\right)}{\log(1 + \% Crecimiento\ medio\ anual)} = \frac{\log\left(\frac{19379}{17962}\right)}{\log(1 + 0,01215)} \approx 6\ años$$

Como vemos, la planta podrá abastecer por completo la ciudad hasta el 2018, a partir de ese año aportará la mayoría del agua pero será necesario el apoyo de los acuíferos y embalses cercanos, que son los que actualmente suministran el agua a la ciudad.

6.3 Temperatura del agua

La temperatura del agua debe tenerse en cuenta ya que juega un papel muy importante en el funcionamiento de las membranas por las siguientes razones:

- La solubilidad de determinadas sales aumenta con la temperatura, haciendo que se reduzcan los riesgos de precipitaciones.
- Influye en la viscosidad del agua y en la dilatación de los materiales que constituyen las membranas por lo que hay que tener en cuenta las que sean más perjudiciales para el proceso, que se corresponden a las temperaturas más elevadas.
- El aumento de la temperatura favorece la actividad biológica de los microorganismos, que ocasionan el ensuciamiento de las membranas.

Los datos de la temperatura del agua de Tarifa se han obtenido de la página web de Puertos del Estado, donde no sólo aparecen las medias mensuales sino las máximas y mínimas también, como podemos ver en las siguientes gráficas:

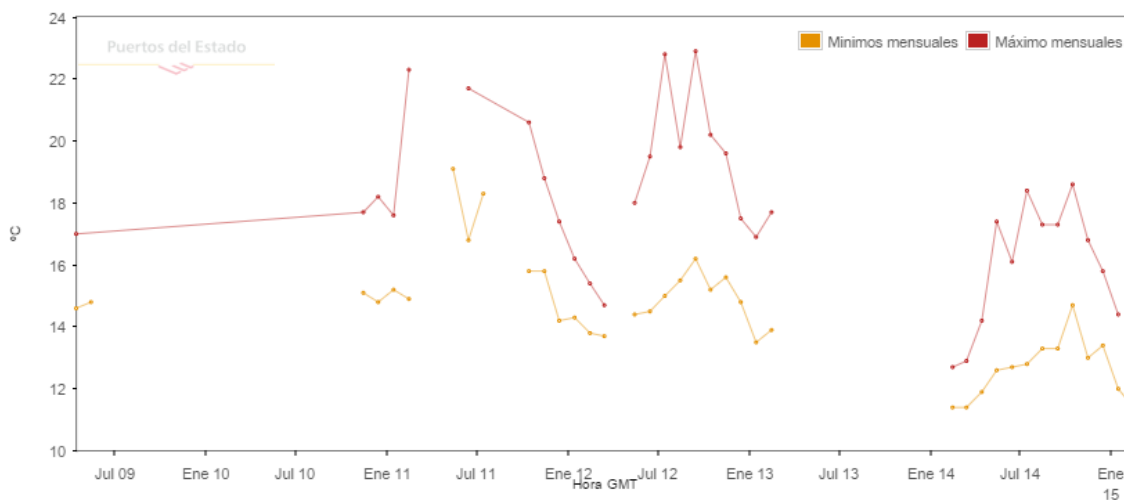


Figura 25. Datos de temperaturas máximas y mínimas del agua de Tarifa con los años

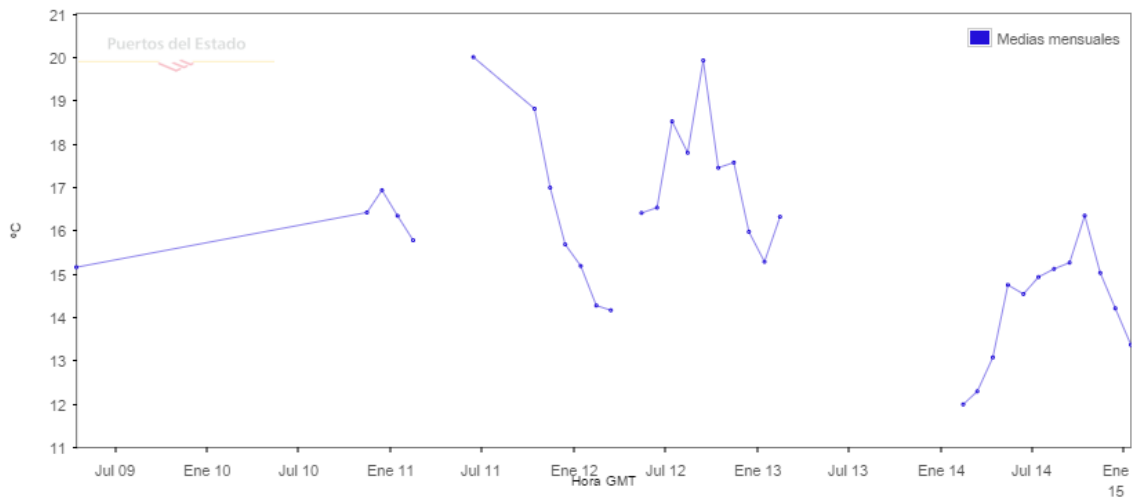


Figura 26. Datos de temperaturas medias del agua de Tarifa con los años

Como se puede observar faltan datos de algunos meses pero hay como mínimo un mes de cada pudiendo hacer la siguiente tabla de las máximas, mínimas y medias de cada uno:

	Máxima	Mínima	Media
Enero	17,6	12	15,05
Febrero	22,3	11,4	14,6
Marzo	14,7	11,4	13,24
Abril	17	11,9	14,12
Mayo	18	12,6	15,58
Junio	21,7	12,7	17,03
Julio	22,8	12,8	16,73
Agosto	19,8	13,3	16,46
Septiembre	22,9	13,3	17,6
Octubre	20,6	14,7	17,54
Noviembre	19,6	13	16,51
Diciembre	18,2	13,4	15,71
Total	22,9	11,4	15,81

Tabla 5. Recopilación de los datos de temperatura del agua de Tarifa

Por lo tanto, la temperatura máxima total es aproximadamente 23°C, la mínima 11°C y la temperatura que vamos a considerar como la del agua de Tarifa es de 16°C, aunque hay que

tener en cuenta también la máxima y la mínima a la hora de usar el software de la membrana ya que estos valores nos van a dar las máximas sales disueltas en el flujo de salida y la presión máxima necesaria por las membranas respectivamente.

6.4 Composición del agua a tratar

Para el diseño de la instalación es necesario conocer la composición química del agua a tratar ya que dependiendo de dónde provenga el agua, va a ser más o menos perjudicial para las membranas de ósmosis inversa, es decir, que hará que sea necesario reemplazarlas antes, necesitarán más presión a la entrada, entre otras cosas. Como el lugar donde pensamos situar la planta es Tarifa, esta ciudad tiene la peculiaridad de que separa las aguas del mar Mediterráneo y el océano Atlántico por lo que comprobaremos para ambas composiciones y elegiremos la más desfavorable para las membranas. La composición del mar Mediterráneo, que es la más desfavorable, se obtuvo a partir del Medina San Juan y del propio programa que ofrece aguas de mar con distintas salinidades por lo que sabiendo que la del Mediterráneo es de aproximadamente 36.000 ppm elegimos la más cercana de 36.000 ppm, siendo la composición final:

Elemento	Concentración (ppm)
Sodio (Na)	11177
Potasio (K)	478
Magnesio (Mg)	1355
Calcio (Ca)	471
Estroncio (Sr)	7,37
Bario (Ba)	0,01
Flúor (F)	1,29
Cloro (Cl)	20530
Sulfato (SO ₄)	2488
Carbonato (CO ₃)	3,43
Bicarbonato (HCO ₃)	208
Boro (B)	4,78

Tabla 6. Composición química que consideraremos como la del agua de mar de Tarifa

La salinidad total y el contenido de sales concretas de un agua de mar es menos variable que el de un agua salobre, las variaciones se producen fundamentalmente en el contenido total de sales entre unas y otras zonas del planeta aunque no en el tipo de iones, especialmente en los mares cerrados de las regiones cálidas, sin embargo para un lugar determinado las características del agua de mar varían muy poco no sólo según la época del año, sino a lo largo de los años.

7. Análisis de soluciones

7.1 Elección de la membrana y su configuración

Lo primero que hay determinar a la hora de elegir el modelo de membranas que utilizaremos en nuestra planta desaladora así como su configuración es el fabricante de membranas. Los principales fabricantes de membranas semipermeables para ósmosis inversa son Hydranautics, Toray y Dow Filmtec, aun así optamos por no usar ninguna membrana de estos fabricantes por dos razones, la primera para no repetir fabricantes con alguno de los otros tres compañeros que hacían el mismo proyecto y que así se diferencien lo más posible y segundo, encontramos un fabricante que, aunque menos conocido, afirma ser el que tiene las membranas que permiten realizar la desalación con el menor coste del mercado. El fabricante se llama NanoH₂O, es una empresa estadounidense situada en Los Ángeles, California, que fue adquirida en 2014 por LG Chem.



Figura 27. Logo del fabricante de nuestras membranas

Lo ideal si este proyecto se fuera a llevar a cabo de verdad sería comparar las membranas de distintos fabricantes para así asegurar la elección de la mejor opción pero este es el criterio que seguimos dadas las circunstancias.

Ahora que ya hemos elegido el fabricante, pasamos a utilizar su programa de dimensionado de membranas “Q+ Projection Software” introduciendo los datos de temperatura del agua, pH, edad de las membranas, procedencia del agua, capacidad de la planta, conversión, parámetros de empeoramiento de las membranas y composición química del agua del Mar Mediterráneo, como se muestra más detalladamente en el anexo I y suponiendo en un principio un rendimiento de la bomba perfecto, ningún sistema de recuperación de energía y seis tubos por cada tubo de presión. Una vez introducidos estos parámetros, se hicieron una serie de simulaciones en las que se comprobó que había tanto un número máximo como mínimo de tubos de presión para el cual el programa nos daba algún error, por lo que se

compararon ambos casos extremos para cada modelo de membranas fabricada y se obtuvieron los siguientes resultados:

	Número de tubos	Número de membranas por tubo	Número de membranas	Consumo específico (kWh/m ³)
LG SW 400 R	22	6	132	3,71
LG SW 440 R	20	6	120	3,7
LG SW 400 SR	18	6	108	4,49
LG SW 440 SR	17	6	102	4,42
LG SW 400 GR	20	6	120	4
LG SW 440 GR	18	6	108	4,01

Tabla 7. Comparativa de las membranas con el mínimo número de membranas permitido

	Número de tubos	Número de membranas por tubo	Número de membranas	Consumo específico (kWh/m ³)
LG SW 400 R	42	6	252	3,27
LG SW 440 R	38	6	228	3,27
LG SW 400 SR	43	6	258	3,46
LG SW 440 SR	43	6	258	3,39
LG SW 400 GR	43	6	258	3,34
LG SW 440 GR	43	6	258	3,28

Tabla 8. Comparativa de las membranas con el máximo número de membranas permitido

De estos resultados se pudieron sacar dos conclusiones, la primera es que el número de tubos de presión es inversamente proporcional al consumo específico de la planta, es decir, a mayor número de tubos, menor será en consumo específico; y lo segundo es que como vemos el modelo de membrana LG SW 440 R es el que consigue un menor consumo específico para el caso del número de membranas mínimo y consigue el mismo que la membrana LG SW 400 R cuando son máximas pero, al tener una mayor superficie es necesario un menor número para obtener el mismo resultado por lo que sería la más favorable en ambos casos, siempre y cuando la diferencia entre los precios de ambas no sean muy grandes. Otra información que se obtuvo de las simulaciones fue que al aumentar en número de membranas, también aumenta

el número de sales en el flujo de permeado, por lo que habrá que cambiarlas con mayor frecuencia, esto hará que para estudiar la configuración ideal haya que fijar un rango de años de operación porque para algunos casos las membranas duraban un año escaso antes de no cumplir el Real Decreto 140/2003, cosa que es inaceptable. Optamos por fijar que la vida útil de la configuración que elijamos deberá tener entre tres y cinco años y comparamos el coste total, teniendo en cuenta membranas, consumo específico y coste del kWh, a los cinco años de distintas configuraciones de 6 membranas por tubo y 7 membranas por tubo. Las configuraciones que se estudiaron fueron aquellas con una longevidad exacta de tres, cuatro y cinco años y se tuvo que tener en cuenta que, al hacer el estudio para cinco años, en configuraciones de tres y cuatro es necesario añadir cierto valor de las membranas una segunda vez. Una vez hecho esto, que está explicado más detalladamente en el Anexo I, llegamos a la conclusión que la mejor configuración es 32 tubos de presión de 6 membranas cada uno y será necesario cambiarlos cada 5 años.

7.2 Elección del sistema de recuperación de energía

Se compararon dos sistemas de recuperación de energía para la planta desaladora, el primero mediante intercambiadores de presión y el segundo mediante un Turbocompresor. Empezamos con intercambiadores de presión y lo primero que hicimos fue fijar el rendimiento de la bomba de alta presión en un 75%, un valor algo conservador pero dentro del rango habitual de valores y, una vez hecho esto, introdujimos tres valores para los parámetros característicos de los intercambiadores de presión que son la pérdida de presión, la mezcla volumétrica y el porcentaje de fuga pero esto no va a influir ya que, aunque sean ligeramente distintos, posteriormente realizamos un proceso iterativo con los valores reales y obtener resultados lo más cercanos a la realidad. Por último, antes de hacer las simulaciones supondremos una presión de salida de las membranas de 1 bar. Ahora que ya tenemos todos los datos, hicimos una serie de simulaciones variando individualmente la temperatura, el pH y la edad de las membranas, dentro del rango en el que se pueden encontrar, para introducir en el software de Energy Recovery “ERI PX Power Model” los datos más desfavorables de presión de alimentación, presión del rechazo y sales disueltas del permeado, que serán los que afecten a los resultados. Desde un principio decidimos usar los intercambiadores de presión de esta empresa ya que es la más reconocida mundialmente en este aspecto por lo que sólo faltaría el modelo de los distintos que disponen.

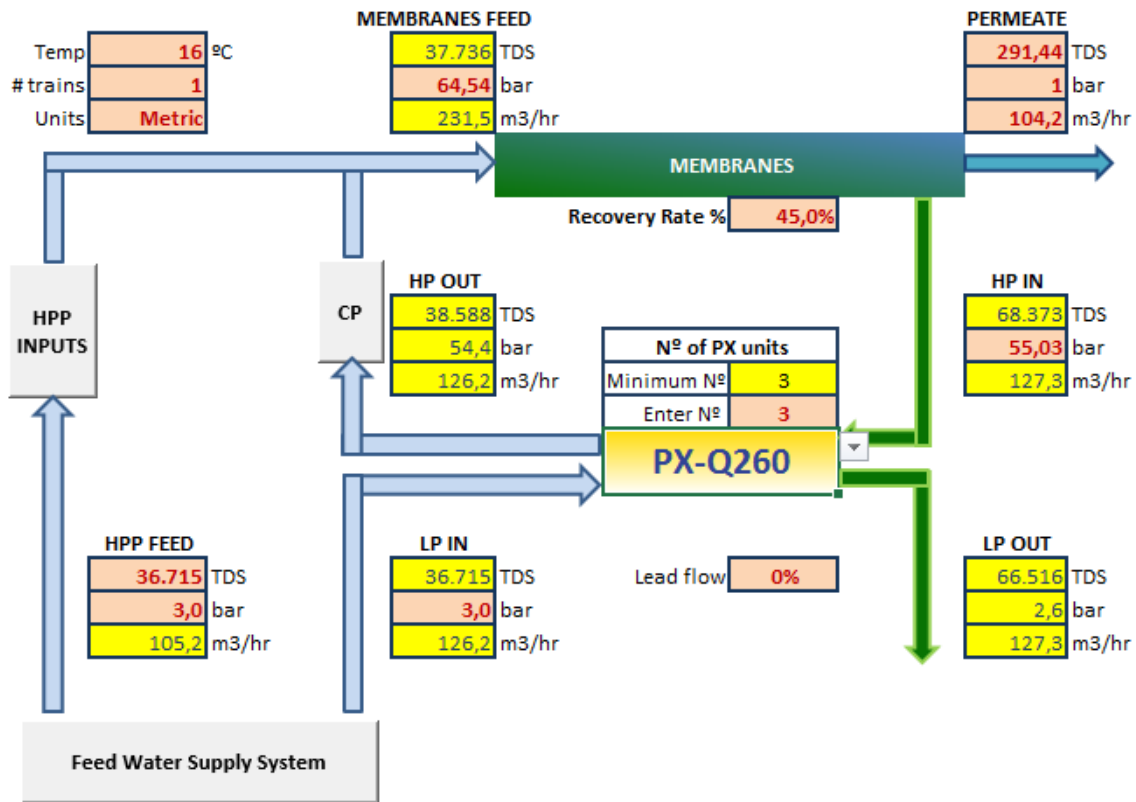


Figura 28. Esquema del núcleo de desalación en su primera iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión

Una vez introducidos todos los datos en el software, se pueden seleccionar los distintos modelos de intercambiadores de presión y los resultados fueron los siguientes:

	Número (uds)	Consumo específico (kWh/m ³)	Rendimiento (%)
PX-30S	19	2,85	93,91
PX-45S	13	2,84	94,48
PX-70S	9	2,82	95,48
PX-90S	7	2,82	95,36
PX-140S	5	2,83	94,77
PX-180	4	2,78	97,22
PX-220	3	2,77	96,74
PX-260	3	2,76	97,06
PX-Q260	3	2,76	97,53
PX-300	2	2,77	95,88
PX-Q300	2	2,77	96,31

Tabla 9. Comparación de todos los modelos de intercambiadores de presión

A partir de estos resultados podemos concluir que los modelos PX-260 y PX-Q260 son con los que se obtiene un menor consumo específico, por lo ambos serían perfectamente válidos pero optaremos por el PX-Q260 por el mayor rendimiento. Hay que mencionar que los modelos PX-300 y PX-Q300 tienen un consumo específico ligeramente mayor pero es necesario una unidad menos, aun así elegimos lo anteriormente mencionado porque el precio de los intercambiadores de presión es despreciable. Los resultados que aparecen en el software son los siguientes para el modelo PX-Q260:

PX Technology Performance	
PX unitary flow	42,4 m ³ /hr
Salinity Increase at membranes	2,8%
Volumetric mixing VM	5,9%
Lubrication flow (LF) per PX array	1,1 m ³ /hr
LF as % of concentrate flow	0,8%
HP DP	0,6 bar
LP DP	0,4 bar
RO Specific Energy **	2,76 kWh/m ³
Efficiency	97,53%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 29. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la primera iteración

Estos resultados serían los iniciales, como vemos entre estos aparecen los parámetros del intercambiador de presión que en un principio habíamos supuesto, pérdida de presión, mezcla volumétrica y porcentaje de fuga, por lo que ahora los volveremos a introducir estos valores y hacer un proceso iterativo hasta obtener los resultados finales, que son los siguientes:

PX Technology Performance	
PX unitary flow	42,4 m ³ /hr
Salinity Increase at membranes	2,8%
Volumetric mixing VM	5,9%
Lubrication flow (LF) per PX array	1,1 m ³ /hr
LF as % of concentrate flow	0,8%
HP DP	0,6 bar
LP DP	0,4 bar
RO Specific Energy **	2,77 kWh/m ³
Efficiency	97,54%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 30. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la segunda y última iteración

Y el esquema final del proceso de desalación de nuestra planta quedaría de la siguiente manera:

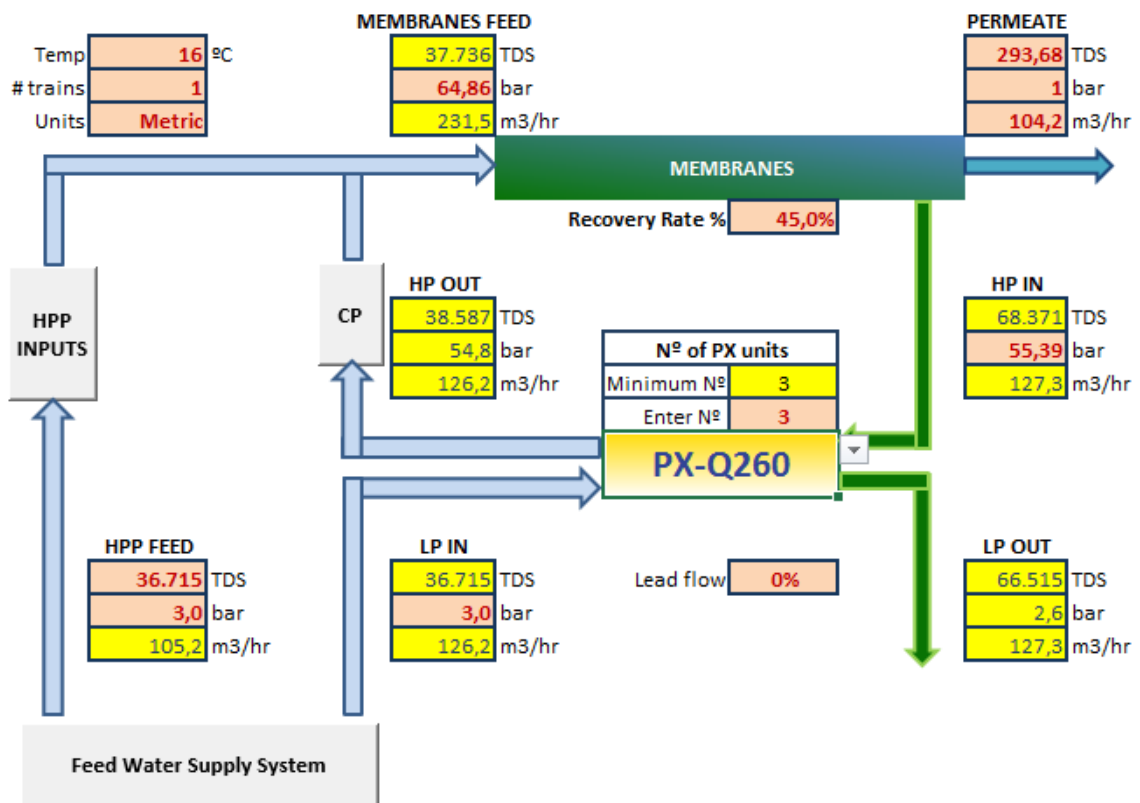


Figura 31. Esquema del núcleo de desalación en su segunda y última iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión

Ahora que ya tenemos los resultados de la planta desaladora con intercambiadores de presión como sistema de recuperación de energía pasamos al turbocompresor, para ello utilizaremos un software que nos ofrece Energy Recovery en su web para determinar el consumo específico con éste elemento introduciendo los valores del caudal de alimentación, el de rechazo, la presión de succión de la bomba de alta presión, la requerida por la membrana y la del rechazo, todos estos ya los habíamos obtenido previamente.

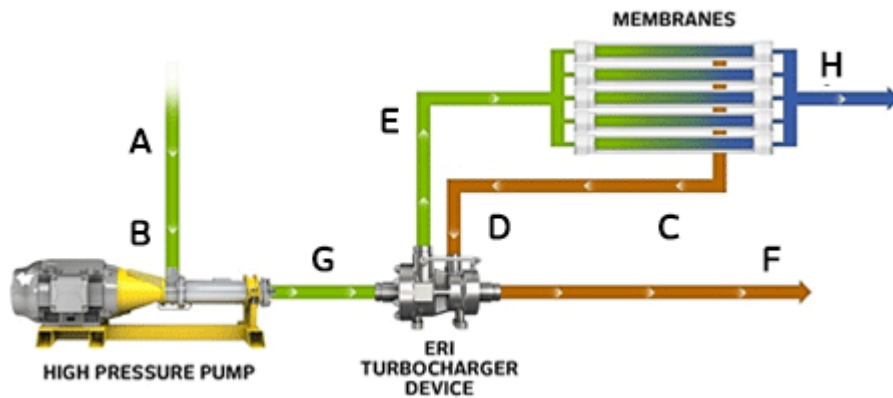


Figura 32. Esquema del núcleo de desalación con un turbocharger

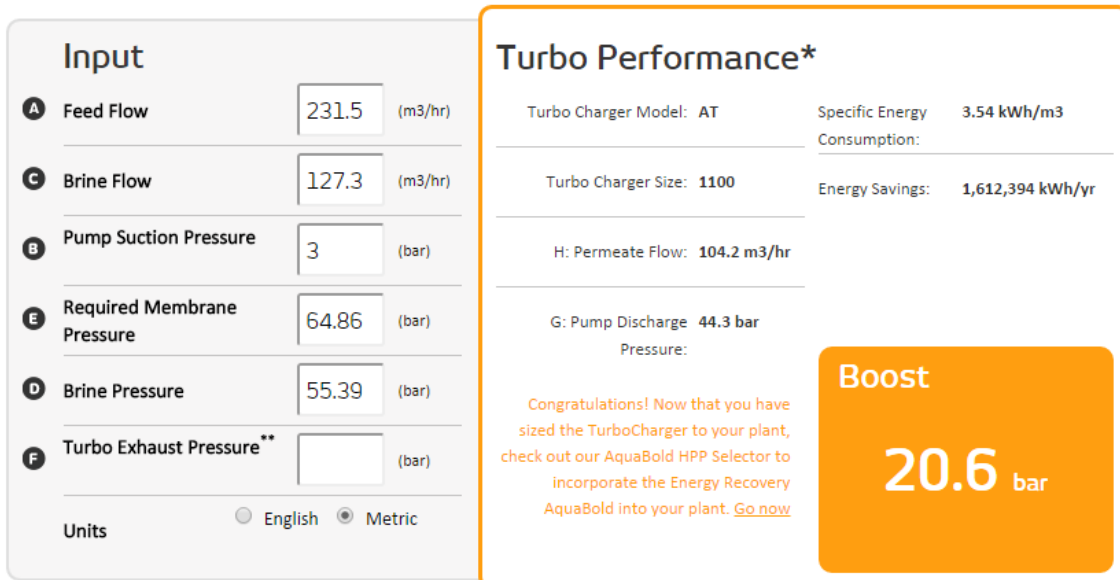


Figura 33. Resultados obtenidos en el software Turbocharger Energy Analysis

Como podemos observar, esta alternativa tiene un consumo específico de 3,54 kWh/m³, que es mayor que los 2,77 kWh/m³ que obtendremos con intercambiadores de presión por lo que ésta última es más rentable y es la que utilizaremos.



Figura 34. Imagen de un intercambiador de presión de Energy Recovery Inc.

7.3 Elección de la bomba de alta presión

Para elegir la bomba de alta presión es necesario conocer tanto la altura manométrica que va a suministrar al agua así como el caudal que va a mover, el caudal ya lo tenemos del software de Energy Recovery del intercambiador de presión y la altura manométrica se calcula haciendo un balance de energía sabiendo la presión de entrada a la bomba, la necesaria a la salida y supondremos que no hay pérdidas de presión en el proceso. Los parámetros a partir de los cuales se dimensionó la bomba son los siguientes:

Datos de la bomba	Presión (bar)	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
de alta presión	61,86	613,95	105,2

Tabla 10. Datos de dimensionado de la bomba de alta presión

Ahora que tenemos estos datos, usaremos las aplicaciones online de dos fabricantes de bombas, Energy Recovery y KSB, para elegir el modelo más recomendado de cada uno y compararlos entre sí para llegar al resultado final. Hay que mencionar que también se utilizó la aplicación del fabricante Grundfos pero no tenían ninguna bomba que cumpliera las características anteriores.

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
Aquabold 3x4x7-B	77,22	73,36
Multitec GA 100-7.1	74,70	70,97

Tabla 11. Comparativa de las bombas de alta presión de distintos fabricantes

Como vemos la de Energy Recovery de modelo Aquabold 3x4x7-B de veinte etapas tiene un rendimiento mayor, lo que se traduce en una menor potencia consumida, y cuesta aproximadamente 70.000€. Aquí tenemos una imagen de la bomba:



Figura 35. Imagen de la bomba de alta presión elegida

7.4 Elección de la bomba booster

Al igual que en la bomba de alta presión, lo primero que hay que hacer es calcular la altura manométrica a partir de los datos de presión de entrada y salida que aparecen en el software del intercambiador de presión y se despreciarán las pérdidas de presión.

Datos de la bomba booster	Presión (bar)	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
	10,06	99,7	126,2

Tabla 12. Datos de dimensionado de la bomba booster

Para la elección de la bomba booster se compararán las bombas de dos fabricantes, KSB y Grundfos, ambas empresas tienen aplicaciones online para facilitar la elección del modelo de bomba a utilizar. Hay que mencionar que se hubieran comparado también con las de Energy Recovery pero no dan esa información a menos que la pida una empresa, por lo que si este proyecto se fuera a llevar a cabo habría que añadirlos a la comparación.

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
CR 120-4-1		73,1
Multitec GA 125-9.2	77,46	73,59

Tabla 13. Comparativa de las bombas booster de distintos fabricantes

Como vemos Grundfos ofrece los rendimientos de bomba y motor combinados mientras que KSB solamente los de la bomba por lo que tomamos la medida de suponer un rendimiento del motor del 95%, en caso de que fuera menor habría que reconsiderar la elección, pero elegimos la bomba Multitec GA 125-9.2 como bomba booster.



Figura 36. Imagen de la bomba booster elegida

7.5 Elección de las bombas de captación

La captación se decidió realizarse con dos bombas sumergidas y otra de reserva en caso de que alguna tenga un problema o se esté inspeccionando y así no tener que parar la producción de la planta. A diferencia de la bomba de alta presión y la booster para elegir estas bombas si se van a tomar en consideración las pérdidas en las conducciones, para ello usando Google Maps fijamos que las tuberías tendrían 150 metros y serán de polietileno y dimensionamos su diámetro de acuerdo al criterio de Bonnet a partir del caudal. Una vez que tenemos la tubería de PE, DN 250, PN 6 del fabricante de tuberías MASA, calculamos el número de Reynolds, la rugosidad relativa y usando la ecuación de Colebrook, hacemos un proceso iterativo para obtener el coeficiente de fricción y calcular las pérdidas de carga en las conducciones; además en la captación hay tres codos de 90°, uno por cada tubería, que también tendremos en cuenta. Una vez hemos calculado las pérdidas de carga, haremos el balance de energía, en este tendremos en cuenta además del aumento de presión, el de energía cinética y de potencial, que dependen de la velocidad del fluido y de la cota. Las consideraciones que hicimos están explicadas detalladamente en el anexo II y los resultados fueron los siguientes:

Bombas de captación	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
	65,22	115,74

Tabla 14. Datos de dimensionado de las bombas de captación

Al igual que con la bomba booster se compararán las bombas de pozo de los fabricantes KSB y Grundfos a partir del caudal que tienen que mover y la altura manométrica que tienen que proporcionar.

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
SP 160-3N		61,6
UPAB 250C-120	80,28	76,27

Tabla 15. Comparativa de las bombas de captación de distintos fabricantes

Como ya habíamos comentado en la bomba booster, Grundfos ofrece los valores de rendimiento de bomba y motor combinados mientras que KSB lo de la bomba únicamente, por lo que consideramos un rendimiento del motor del 95%, aun así la bomba UPAB 250C-120 es claramente superior, por lo que es la que elegiremos.

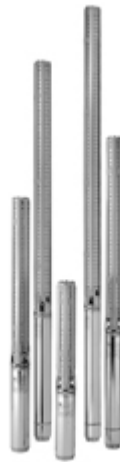


Figura 37. Imagen de la bomba de captación elegida

7.6 Elección de la bomba de distribución

La distribución del producto se va a realizar con una bomba cuya función es llevar el agua desde las membranas hasta el depósito regulador de nuestra planta. Seguimos el mismo proceso que para las bombas de captación aunque supusimos una longitud de tubería de 50

metros, un valor algo elevado pero así tenemos cierto margen a la hora de situarlo, y la tubería que utilizaremos será de PE, DN 225, PN 6 del fabricante MASA. En esta etapa no hay ningún elemento como los codos de 90° en la captación pero supondremos unas pérdidas en las conducciones del 10% de las pérdidas de carga y, a partir de esto y el balance de energía en el que supondremos una variación de cota de 5 metros, un valor algo elevado pero seguro. Los resultados de las pérdidas y del balance son los siguientes:

Bomba de distribución	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
	5,23	104,17

Tabla 16. Datos de dimensionado de la bomba de distribución

A diferencia de en el resto de casos, Grundfos no fabrica bombas para estas características por lo que elegiremos el modelo con más rendimiento de KSB.

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
Etanorm 125-100-200	83,52	79,34

Tabla 17. Datos de la bomba de distribución elegida

La bomba que nos recomienda la aplicación del fabricante KSB es la Etanorm 125-100-200 con un rendimiento de aproximadamente un 80%, teniendo en cuenta ambos bomba y motor.



Figura 38. Imagen de la bomba de distribución elegida

7.7 Elección de la bomba de la salmuera

Después de hacer los cálculos pertinentes se comprobó que no es necesaria una bomba que lleve el rechazo desde la planta al mar debido a que tiene suficiente energía potencial para contrarrestar las pérdidas de carga y en las conducciones. Hay que mencionar que el agua se

verterá en un lugar suficientemente alejado y en el que la corriente no haga que la captación se contamine ya que esto cambiaría los datos iniciales del agua y por lo tanto los cálculos hechos no serían fiables.

7.8 Dimensionado del depósito de producto

En este depósito se va a almacenar el agua potable obtenida tras el proceso de desalación, su función es simplemente de regulación y por lo tanto no se precisa de una gran capacidad, siendo suficiente que cubra la producción de la instalación durante de 2 a 4 horas, este tiempo se considera suficiente para atender contingencias imprevistas en las bombas de impulsión y permitir su reparación sin necesidad de tener que parar la instalación. Después de hacer los cálculos para 4 horas, que es el valor más desfavorable del rango, obtenemos que necesitaremos un depósito de unos 420 m³.

7.9 Consumo energético y coste de la planta

Una vez que hemos elegido todos los equipos, sabiendo sus rendimientos podemos calcular todas las potencias eléctricas que consumirán que serían las que se muestran en la siguiente tabla:

Equipo	Potencia (kW)
Bombas de captación	55,4
Bomba de alta presión	246,42
Bomba booster	47,92
Bomba de distribución	1,87
Total	351,61

Tabla 18. Potencias eléctricas consumidas por los equipos y el total

Una vez que tenemos las potencias de los equipos, podemos calcular el consumo específico sabiendo que es la relación entre la potencia eléctrica consumida y la capacidad de la planta.

Equipo	Consumo específico (kWh/m ³)
Bombas de captación	0,532
Bomba de alta presión	2,366
Bomba booster	0,460
Bomba de distribución	0,018
Total	3,375

Tabla 19. Consumo específico de los equipos y el total de la planta

Por último con el consumo específico ya podemos calcular tanto el coste de cada m³ de producto así como el coste anual energético, para ello supondremos una disponibilidad de la planta del 90% y un coste de 0,08€ el kWh.

Equipo	Coste del m ³ (€/m ³)	Coste energético anual (€)
Bombas de captación	0,0425	34464,06
Bomba de alta presión	0,1892	153290,76
Bomba booster	0,0368	29812,61
Bomba de distribución	0,0014	1162,65
Total	0,27	218730,09

Tabla 20. Coste del consumo energético anual de la planta y de cada equipo que la conforma

7.10 Elección del aerogenerador

Como ya sabemos la potencia eléctrica máxima que consume la planta desaladora, buscamos de entre aproximadamente 160 fabricantes de aerogeneradores aquellos que cumplan una producción de entre 300 y 600 kW para que cumpla total o parcialmente las necesidades energéticas de nuestra planta. Los aerogeneradores que cumplían nuestro criterio fueron los siguientes:

- S52-600 kW (Suzlon, India)
- Windflow 500 (Windflow, Nueva Zelanda)

- WTN 500 (Wind Technik Nord, Alemania)
- T400-34 (Turbowinds, Bélgica)
- Norwin 47-ASR-500 kW (Norwin, Dinamarca)
- AW 500 kW (Aeronautica Windpower, Estados Unidos)
- DW52/54 – 500kW (EWT, Países bajos)

Se puede observar que hay escasos modelos que produzcan entre 300 y 600 kW, esto se debe a que la mayoría de empresas optan por fabricar aerogeneradores más grandes que produzcan de 1 a 5 MW. Si el proyecto se fuera a realizar de verdad se optaría por el aerogenerador más económico, siempre y cuando el fabricante al que pertenezca tenga buena reputación, pero en este caso se optó por elegir el modelo del fabricante que tuviera una mayor cuota de mercado de entre todos los de la lista.

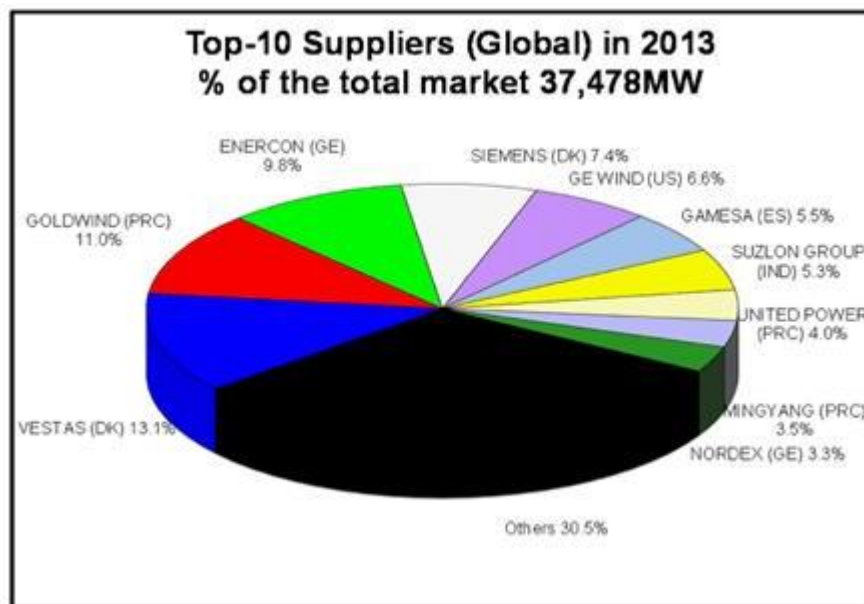


Figura 39. Fabricantes de aerogeneradores con las mayores cuotas de mercado

Como se puede observar, la única empresa con una de las mayores cuotas de mercado es Suzlon Group, una empresa india que es el mayor fabricante de turbinas eólicas de Asia y en términos de valor neto es la compañía eólica líder en el mundo. Por lo tanto concluimos que elegiremos el modelo S52 de 600 kW fabricado por Suzlon Group, la potencia que genera es algo mayor de la que necesita nuestra planta desaladora pero la energía podrá usarse con otros fines o incluso servir en caso de que en el futuro se haga una ampliación de esta ya que con el crecimiento de población de la ciudad tarde o temprano podría acabar obsoleta.

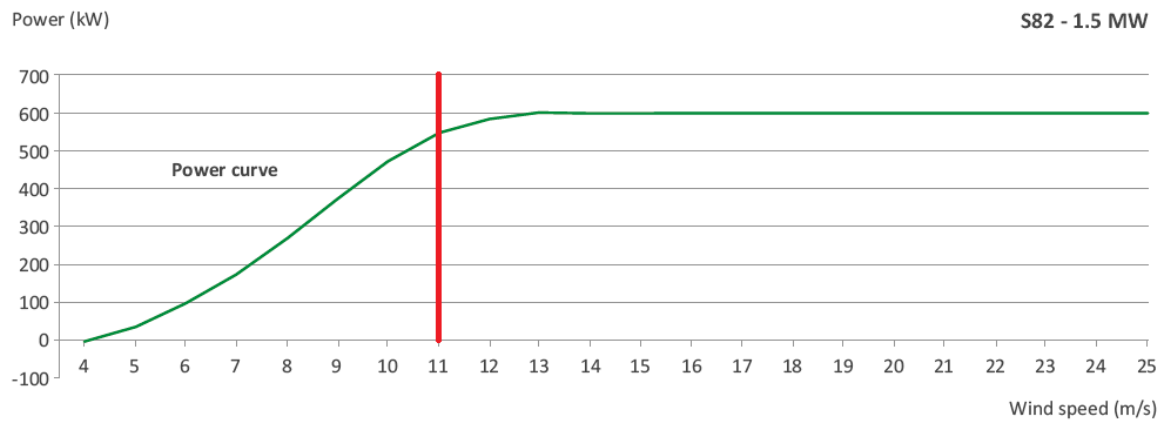


Figura 40. Curva de potencia del aerogenerador elegido

Como vemos para un viento con una velocidad de 11 m/s, que era la velocidad del viento donde situamos nuestra planta obtenemos una potencia de 550 kW aproximadamente según la curva de potencia que nos proporciona el fabricante, que es más de lo que necesitábamos, por lo que damos el resultado por bueno.

8. Resultados finales

En éste apartado haremos un resumen de todo lo que hemos hablado hasta ahora a lo largo del proyecto en lo que respecta a la planta desaladora alimentada energéticamente mediante energía eólica.

Al resultado final que hemos llegado es a una planta desaladora de ósmosis inversa situada a las afueras de Tarifa, en la provincia de Cádiz, Andalucía, España, con una capacidad de 2500 m³/día debido a su población y a su consumo de agua. La captación del agua se realizará mediante una toma cerrada, concretamente mediante una cámara de captación con tres sondeos verticales, para que haya dos bombas siempre en funcionamiento, independientemente que una de ellas deje de funcionar o esté en proceso de mantenimiento. Las bombas de captación son del fabricante KSB y serán los modelos UPAB 250C-120. La bomba de alta presión necesaria para el proceso de la ósmosis inversa será el modelo Aquabold 3x4x7-B del fabricante Energy Recovery Inc., de éste fabricante son también los tres intercambiadores de presión que se utilizarán como tecnología de recuperación de energía de modelo PX-Q260. Tanto la bomba booster como la de distribución del producto son del fabricante de bombas KSB, al igual que las de captación, y son los modelos Multitec GA 125-9.2 y Etanorm 125-100-200 respectivamente. El caudal de rechazo será llevado al mar, sin necesidad de bomba debido, a un lugar donde no pueda contaminar la captación ya que esto cambiaría los resultados que hemos obtenido. El pozo del agua producto deberá poder contener de 2 a 4 horas de producción, haciendo que el depósito deba ser de 420 m³. Por último, el aerogenerador que alimentará a nuestra planta será del fabricante Suzlon Group, concretamente el modelo S52 de 600 kW, que proporciona una potencia superior a la que consume el proceso, pero la ventaja de esto es que a la larga la planta podría ampliarse en el futuro con relativa facilidad.

9. Conclusiones

Como mencionábamos al principio de este proyecto, el principal objetivo de este trabajo de fin de grado es demostrar los conocimientos y competencias adquiridas a lo largo de los cuatro años correspondientes al Grado de Ingeniería Mecánica, especialmente en la rama de la hidráulica, aunque también se han tocado las de oficina técnica, informática y gráfica, entre otras. Dentro de las capacidades que demostramos a lo largo del proyecto se encuentran la redacción, el manejo de normativas, reglamentos, datos y cálculos, hay que mencionar que al final no se pudo hacer un presupuesto debido a la falta de colaboración por parte de algunas empresas a la hora de proporcionar precios de elementos que seleccionamos para nuestra planta desaladora por el hecho de ser estudiantes en lugar de una empresa.

Además de estos objetivos generales también se intentó hacer el estudio de las diferentes alternativas posibles, eligiendo la más óptima en cada caso y así obtener el resultado con la mejor eficiencia energética para las características de operación.

Como conclusión, el proyecto es un ejemplo de un sistema que combina la tecnología de desalación por ósmosis inversa y la energía eólica, aprovechada mediante un aerogenerador, para reducir los costes energéticos derivados de éste primer proceso y promover la utilización de fuentes de energía renovables, concretamente la eólica, que, como comentamos en el proyecto, es bastante utilizada en España.

9.1 Conclusions

As mentioned at the beginning of this project, the main objective of this end-of-degree project is to demonstrate the knowledge and skills acquired over the four years of the degree of Mechanical Engineering, especially in the field of hydraulics, but we have also touched the field of technical office, computing and graphics, among others. Among the capabilities demonstrated during the project include the drafting, regulations and data management, and calculations, we should mention that in the end we couldn't make a budget due to lack of cooperation from some companies to provide the prices of elements we selected for our desalination plant.

In addition to these general objectives we also attempted to study the various possible alternatives, choosing the optimal in each case to get the result with the best energy efficiency for our initial data.

In conclusion, the project is an example of a system that combines the technology of reverse osmosis desalination and wind energy, harnessed by a wind turbine, to reduce energy costs for the first process and promote the use of renewable energy, specifically wind energy, which, as we mentioned in the project, is quite used in Spain.

10. Orden de prioridad de los documentos básicos

Para evitar posibles inconcordancias en los documentos que conforman este proyecto, a continuación se establece el orden de prioridad de estos:

1. Planos
2. Anexos
3. Memoria

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Anexos

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN MEDIANTE ENERGÍA
EÓLICA

AUTOR

Eduardo Andrés Gómez

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

Índice

1.	Dimensionado del núcleo de desalación.....	11
1.1	Intercambiador de presión.....	17
1.1.1	Simulaciones variando la temperatura	21
1.1.2	Simulaciones variando el pH	23
1.1.3	Simulaciones variando la edad de las membranas	23
1.1.4	Elección del intercambiador de presión.....	26
1.2	Turbocompresor.....	31
1.3	Elección de la configuración de membranas.....	32
1.4	Elección de la bomba de alta presión.....	34
1.5	Elección de la bomba booster	39
2.	Cálculos hidráulicos	47
2.1	Captación.....	47
2.1.1	Elección de la bomba de captación	51
2.2	Distribución	56
2.2.1	Elección de la bomba de distribución.....	60
2.3	Depósito de producto.....	65
2.4	Salmuera.....	66
2.4.1	Elección de la bomba de la salmuera	70
3.	Cálculos energéticos.....	75
3.1	Consumo energético y coste	75
3.2	Elección del aerogenerador.....	76
4.	Resultados del Q+ Projection Software.....	81
4.1	Resultados variando la temperatura del agua	81

4.2 Resultados variando el pH del agua.....	93
4.3 Resultados variando la edad de la membrana.....	107

Índice de figuras

Figura 1. Interfaz de Q+ Projection Software: general.....	12
Figura 2. Interfaz de Q+ Projection Software: información del proyecto.....	12
Figura 3. Interfaz de Q+ Projection Software: unidades.....	12
Figura 4. Interfaz de Q+ Projection Software: datos del agua de mar.....	13
Figura 5. Interfaz de Q+ Projection Software: datos de la planta desaladora.....	13
Figura 6. Interfaz de Q+ Projection Software: composición química del agua de mar....	14
Figura 7. Interfaz de Q+ Projection Software: error de flux máximo.....	15
Figura 8. Interfaz de Q+ Projection Software: error de rechazo mínimo y recuperación máxima.....	16
Figura 9. Interfaz de Q+ Projection Software: rendimiento de la bomba de alta presión y elección del sistema de recuperación de energía.....	17
Figura 10. Interfaz de Q+ Projection Software: datos del intercambiador de presión.....	18
Figura 11. Interfaz de Q+ Projection Software: configuración de membranas, modelo las membranas y presión de salida de los tubos de presión.....	19
Figura 12. Interfaz de Q+ Projection Software: cálculos en tandas.....	20
Figura 13. Gráfica de la relación del cloro y el total de sales disueltas en el agua producto con respecto a la temperatura del agua de captación.....	21
Figura 14. Gráfica de la relación del boro en el agua producto con respecto a la temperatura del agua de captación.....	21
Figura 15. Gráfica de la relación de la presión de entrada a las membranas y la del rechazo con respecto a la temperatura del agua de captación.....	22

Figura 16. Gráfica de la relación de la cantidad de boro en el agua producto con respecto al pH del agua de captación.....	23
Figura 17. Gráfica de la relación de la cantidad de cloro y el total de sales disueltas en el agua producto con respecto a la edad de las membranas.....	23
Figura 18. Gráfica de la relación de la cantidad de boro en el agua producto con respecto a la edad de las membranas.....	24
Figura 19. Gráfica de la relación de la presión de entrada a las membranas y la del rechazo con respecto a la edad de las membranas.....	25
Figura 20. Esquema del núcleo de desalación con intercambiadores de presión.....	27
Figura 21. Esquema del núcleo de desalación en su primera iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión.....	27
Figura 22. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la primera iteración.....	28
Figura 23. Interfaz de Q+ Projection Software: introducción de nuevo de los datos del intercambiador de presión.....	29
Figura 24. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la segunda y última iteración.....	30
Figura 25. Esquema del núcleo de desalación en su segunda y última iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión.....	30
Figura 26. Esquema del núcleo de desalación con un turbocharger.....	31
Figura 27. Resultados obtenidos en el software Turbocharger Energy Analisis.....	31
Figura 28. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba de alta presión.....	35
Figura 29. Interfaz de Aquabold Selector para nuestros datos de la bomba de alta presión.....	35
Figura 30. Imagen de una bomba del tipo Aquabold.....	36

Figura 31. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de la bomba de alta presión.	37
Figura 32. Imagen de una bomba del tipo Multitec.	38
Figura 33. Curva característica de la bomba de alta presión con el punto de operación.	39
Figura 34. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba booster.	40
Figura 35. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de la bomba booster.	41
Figura 36. Imagen de una bomba del tipo Multitec.	42
Figura 37. Interfaz de Grundfos Webcaps para nuestros datos de la bomba booster.	42
Figura 38. Imagen de una bomba del tipo CR.	43
Figura 39. Curva característica de la bomba booster con el punto de operación.	44
Figura 40. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de las bombas de captación.	53
Figura 41. Imagen de una bomba del tipo UPAB.	54
Figura 42. Interfaz de Grundfos Webcaps para nuestros datos de las bombas de captación.	54
Figura 43. Imagen de una bomba del tipo SP.	55
Figura 44. Curva característica de las bombas de captación con el punto de operación.	56
Figura 45. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba de distribución.	61
Figura 46. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de la bomba de distribución.	61
Figura 47. Imagen de una bomba del tipo Etanorm.	64
Figura 48. Curva característica de la bomba de distribución con el punto de operación.	65
Figura 49. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba de salmuera.	71
Figura 50. Imagen de las corrientes marinas del mar mediterráneo.	72

Figura 51. Fabricantes de aerogeneradores con las mayores cuotas de mercado.....77

Figura 52. Curva de potencia del aerogenerador elegido.....78

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa de las membranas con el mínimo número de membranas permitido.....14

Tabla 2. Comparativa de las membranas con el máximo número de membranas permitido.....15

Tabla 3. Resultados para nuestro agua con intercambiadores de presión.....18

Tabla 4. Resultados más desfavorables para nuestro agua con intercambiadores de presión.....25

Tabla 5. Comparación de todos los modelos de intercambiadores de presión.....27

Tabla 6. Resultados más desfavorables para nuestro agua con intercambiadores de presión después de introducir los nuevos datos.....28

Tabla 7. Comparación del coste de distintas configuraciones de membranas.....32

Tabla 8. Datos de dimensionado de la bomba de alta presión.....34

Tabla 9. Comparativa de las bombas de alta presión de distintos fabricantes.....37

Tabla 10. Datos de dimensionado de la bomba booster.....39

Tabla 11. Comparativa de las bombas booster de distintos fabricantes.....42

Tabla 12. Viscosidades cinemáticas del agua a distintas temperaturas.....46

Tabla 13. Valores de coeficientes de fricción en la captación para cada iteración.....48

Tabla 14. Datos de dimensionado de las bombas de captación.....50

Tabla 15. Comparativa de las bombas de captación de distintos fabricantes.....53

Tabla 16. Viscosidades cinemáticas del agua a distintas temperaturas.....56

Tabla 17. Valores de coeficientes de fricción en la distribución para cada iteración.....57

Tabla 18. Datos de dimensionado de la bomba de distribución.....	60
Tabla 19. Datos de la bomba de distribución elegida.....	62
Tabla 20. Viscosidades cinemáticas del agua a distintas temperaturas.....	65
Tabla 21. Valores de coeficientes de fricción en el rechazo para cada iteración.....	67
Tabla 22. Potencias eléctricas consumidas por los equipos y el total.....	72
Tabla 23. Consumo específico de los equipos y el total de la planta.....	72
Tabla 24. Coste del consumo energético anual de la planta y de cada equipo que la conforma.....	73

ANEXO I

DIMENSIONADO DEL

NÚCLEO DE

DESALACIÓN

1. Dimensionado del núcleo de desalación

El dimensionado de las membranas se va a realizar con el software “Q+ Projection Software” de diseño de sistemas de ósmosis inversa, del fabricante de membranas NanoH₂O.

Una vez se abre el programa nos exige una serie de parámetros iniciales que necesitamos introducir para el posible cálculo de los resultados que buscamos, dichos parámetros son los siguientes:

- Nombre del proyecto, nombre de la compañía, nombre del autor y el nombre de la persona que aprueba el diseño (Opcionales).
- Unidades (Opcional pero en ese caso habría que hacer las conversiones de unidades).
- Propiedades del agua de alimentación que incluye pH, temperatura, composición química y la procedencia (de la superficie, del mar, de un pozo, etc.)
- Caudales de diseño y tasa de recuperación (Sólo hay que rellenar dos casillas y las otras se completan automáticamente).
- Rendimiento de la bomba de alta presión.
- Parámetros de eficiencia del sistema de recuperación de energía en el caso de que se use alguno.
- Datos de la membrana que incluye número de tubos de presión, número de membranas por tubo, modelo, parámetros de empeoramiento con el paso de los años y edad.
- Presión del flujo de salida de la membrana.

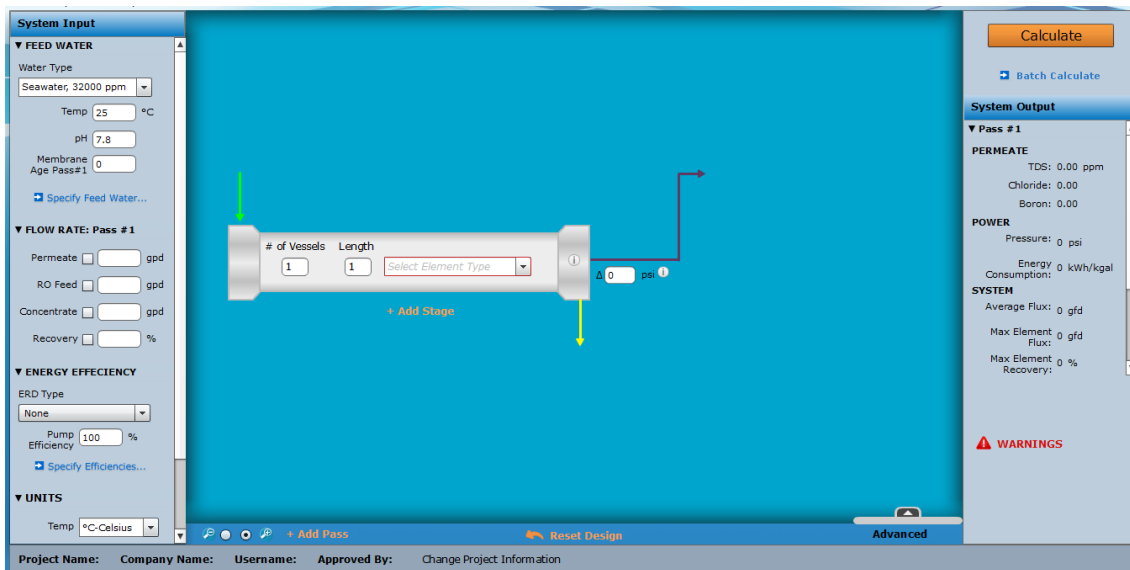


Figura 1. Interfaz de Q+ Projection Software: general

Empezamos rellenando la información del proyecto (nombre del proyecto, nombre de la compañía, nombre del autor y empresa que aprueba el diseño), el proyecto lo llamaremos a modo de simplificación “Desaladora Tarifa” y tanto el nombre de la compañía como el de la empresa que aprueba el diseño se llamará “ULL”.

Project Name: Desaladora Tarifa **Company Name:** ULL **Username:** Eduardo Andrés Gómez **Approved By:** ULL

Figura 2. Interfaz de Q+ Projection Software: información del proyecto

Después hay que cambiar las unidades en las que trabaja el programa ya que por defecto utiliza unidades usadas en los países anglosajones como el galón o la libra por pulgada cuadrado.

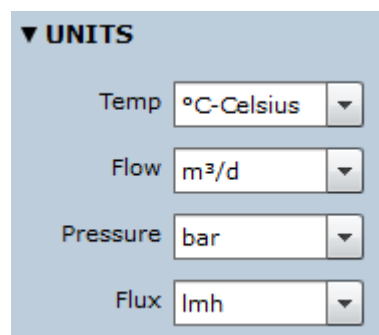
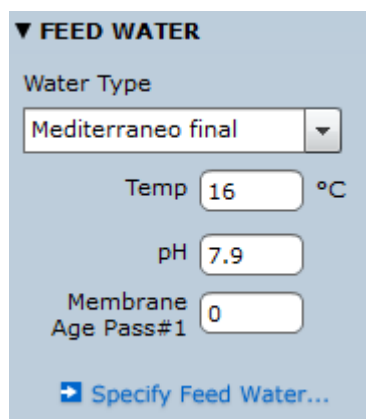


Figura 3. Interfaz de Q+ Projection Software: unidades

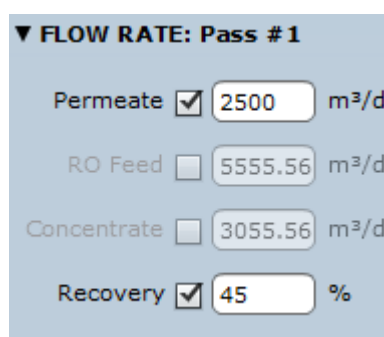
A continuación introducimos la temperatura media del agua de Tarifa que la habíamos considerado como 16°C, el pH del mar Mediterráneo que es 7,9 y como edad de la membrana consideramos que está en su primer año de funcionamiento.



The screenshot shows the 'FEED WATER' configuration panel. It includes a dropdown menu for 'Water Type' set to 'Mediterraneo final', a temperature input field set to '16 °C', a pH input field set to '7.9', and a 'Membrane Age Pass#1' input field set to '0'. A blue button labeled 'Specify Feed Water...' is located at the bottom.

Figura 4. Interfaz de Q+ Projection Software: datos del agua de mar

Lo siguiente que hay que hacer es fijar el valor del caudal de permeado, que en nuestro caso es 2500 m³/día, que se usará para abastecer la ciudad de Tarifa y una tasa de recuperación del 45%, que es un valor habitual para el agua de mar. La tasa de recuperación o conversión es la relación entre el caudal de permeado o salida y el necesario de captación o entrada y la diferencia entre ambos es el de rechazo.



The screenshot shows the 'FLOW RATE: Pass # 1' configuration panel. It features four rows of settings: 'Permeate' with a checked checkbox and a value of '2500 m³/d'; 'RO Feed' with an unchecked checkbox and a value of '5555.56 m³/d'; 'Concentrate' with an unchecked checkbox and a value of '3055.56 m³/d'; and 'Recovery' with a checked checkbox and a value of '45 %'.

Figura 5. Interfaz de Q+ Projection Software: datos de la planta desaladora

Una vez introducidos los datos anteriores pasamos a los de la composición, procedencia del agua y los parámetros de empeoramiento de la membrana con el paso del tiempo. La composición será la del mar Mediterráneo y la procedencia será de un pozo de captación, por último consideraremos una pérdida de flujo anual del 7%, un incremento de salinidad anual del 10% y un factor de seguridad de 1,05; valores que son bastante conservadores.

Una vez introducidos los datos de la composición habrá que hacer el balance iónico para equilibrar las cargas eléctricas.

The screenshot shows the Q+ Projection Software interface. At the top, there are dropdown menus for 'Water Source' (Seawater-Well (SDI<3)) and 'Water Type' (Mediterraneo final). Below this is a table of ion concentrations and a 'Feed Parameters' panel.

Ion	ppm	Balanced ppm
Ammonium(NH4)	0	0
Sodium(Na)	11177	11185.79
Potassium(K)	478	478.38
Magnesium(Mg)	1355	1356.07
Calcium(Ca)	471	471.37
Strontium(Sr)	7.37	7.38
Barium(Ba)	0.01	0.01
Fluoride(F)	1.29	1.29
Chloride(Cl)	20530	20513.88
Sulfate(SO4)	2488	2486.05
Nitrate(NO3)	0	0
Carbonate(CO3)	3.43	3.98
Bicarbonate(HCO3)	208	203.4
Boron(B)	4.78	4.78
Bromide(Br)	0	0
Silica(SiO2)	0	0

Feed Parameters

Temperature: 23 °C
 pH: 7.9

Total Dissolved Solids: 36715.16 ppm
 Total Osmotic Pressure: 26.97 bar
 Charge Balance: 0

Buttons: Balance, Ion Selection...

Pass # 1

Flow Loss: 7.00000 %
 Salt Passage Increase: 10 %
 Safety Factor: 1.05
 Years Of Operation: 0
 Fouling Factor: 1

Figura 6. Interfaz de Q+ Projection Software: composición química del agua de mar

Hay que mencionar que Tarifa tiene la peculiaridad de ser la línea divisoria entre las aguas del mar Mediterráneo y el océano Atlántico pero al comprobar ambas composiciones bajo las mismas condiciones, para la del mar Mediterráneo era necesario más presión de entrada, el permeado tenía más cantidad de boro, cloro y sales disueltas y además tenía un mayor consumo específico, por lo que pudimos concluir que el agua del mar Mediterráneo es la más perjudicial para nuestras membranas y es por eso por lo que la elegimos.

Ahora pasamos a elegir el modelo de membrana que usaremos, para ello consideramos un rendimiento de la bomba del 100% y ningún sistema de recuperación de energía y el criterio que seguiremos será que elegiremos la membrana con menor consumo específico. El número de membranas en cada tubo de presión lo fijaremos en 6 y el número de tubos dependerá de las restricciones del programa ya que permite como mucho un flux máximo de 35,7 lmh para agua procedente de un pozo, lo que hace que haya un mínimo de

membranas para las cuales el programa no nos da avisos. El flux es la cantidad de sales disueltas que pasan por el área de la membrana por unidad de tiempo.

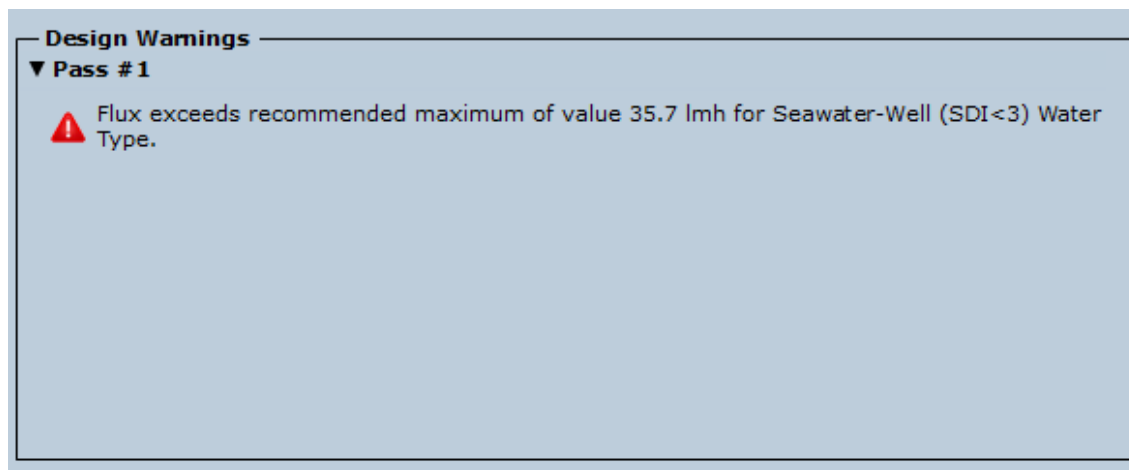


Figura 7. Interfaz de Q+ Projection Software: error de flux máximo

El flux máximo varía con la temperatura y con la edad de las membranas siendo mayor cuanto mayor sea la temperatura y menor la edad, por lo tanto el mínimo número de membranas se obtendrá con la temperatura máxima, que en nuestro caso es 23°C, y en el primer año de funcionamiento.

	Número de tubos	Número de membranas por tubo	Número de membranas	Consumo específico (kWh/m ³)
LG SW 400 R	22	6	132	3,71
LG SW 440 R	20	6	120	3,7
LG SW 400 SR	18	6	108	4,49
LG SW 440 SR	17	6	102	4,42
LG SW 400 GR	20	6	120	4
LG SW 440 GR	18	6	108	4,01

Tabla 1. Comparativa de las membranas con el mínimo número de membranas permitido

Por otro lado, también hay un número máximo de membranas para el cual el programa no nos da avisos, que está delimitado por la conversión máxima permitida para cada membrana, que es de un 16% para agua procedente de un pozo y, al igual que con el flux, éste valor será mayor cuanto mayor sea la temperatura y menor la edad. Además de la

conversión máxima por membrana el programa también nos limita el flujo de rechazo a un mínimo de 70,86 m³/día tanto para membranas de 400 ft² como 440 ft² de área, a diferencia de las otras limitaciones, ésta no depende de la temperatura o la edad membrana pero aun así utilizaremos los mismos datos para que los resultados de consumo específico sean comparables y así además de saber la membrana a elegir sabremos si es más rentable usar el máximo número de membranas o el mínimo, considerando que el precio de las membranas es despreciable comparado con el ahorro energético como ya demostraremos más adelante y que además las empresas tienden a hacer descuentos al comprar un gran número de unidades.

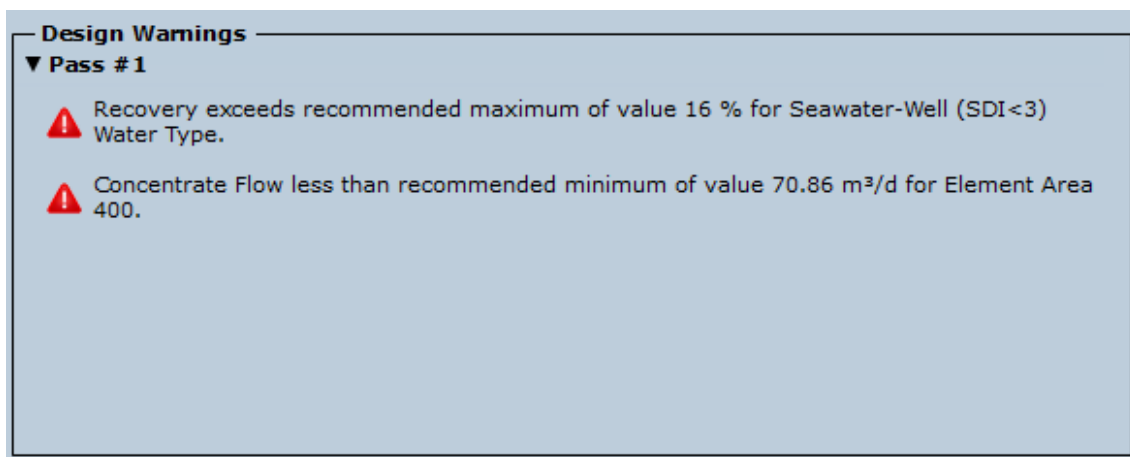


Figura 8. Interfaz de Q+ Projection Software: error de rechazo mínimo y recuperación máxima

	Número de tubos	Número de membranas por tubo	Número de membranas	Consumo específico (kWh/m ³)
LG SW 400 R	42	6	252	3,27
LG SW 440 R	38	6	228	3,27
LG SW 400 SR	43	6	258	3,46
LG SW 440 SR	43	6	258	3,39
LG SW 400 GR	43	6	258	3,34
LG SW 440 GR	43	6	258	3,28

Tabla 2. Comparativa de las membranas con el máximo número de membranas permitido

Como podemos observar, la membrana que parece ser más rentable es la LG SW 440 R porque tiene un consumo específico similar a la LG SW 400 R pero al tener más superficie es necesario un menor número de unidades, por lo que a menos que la diferencia entre sus precios sea muy grande, la LG SW 440 R es la que elegiremos para nuestra desaladora. Otra cosa que podemos concluir es que a medida que aumenta el número de membranas, disminuye el consumo específico por lo que una vez introduzcamos un valor de rendimiento de la bomba habitual y un sistema de recuperación de energía pondremos el mayor número de membranas posible, el único inconveniente es que cuanto mayor sea el número de membranas, mayor será el número de sales en el flujo de permeado, por lo que habrá que cambiarlas con más frecuencia, esto hará que al estudiar la configuración más barata haya que fijar un rango de años de operación porque para algunos casos las membranas duran un año escaso.

Lo último que nos falta por fijar antes de pasar a los sistemas de recuperación de energía es el rendimiento de la bomba que lo consideraremos un 75%, un valor algo conservador pero dentro del rango habitual.

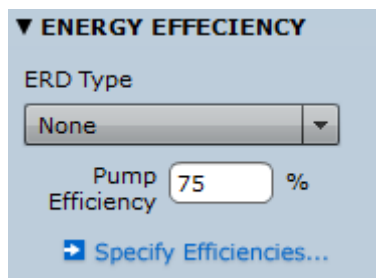


Figura 9. Interfaz de Q+ Projection Software: rendimiento de la bomba de alta presión y elección del sistema de recuperación de energía

1.1 Intercambiador de presión

Si elegimos usar un intercambiador de presión como sistema de recuperación de energía nos pide que introduzcamos el porcentaje de fuga, el de mezcla volumétrica y la diferencia de presión, usaremos valores habituales pero después de elegir la configuración de membranas final, haremos una iteración con los datos reales del fabricante que obtendremos a partir de su programa para reducir el error que puede haber al suponer

datos. El porcentaje de fuga lo fijaremos en un 1%, el de mezcla volumétrica en un 5% y, por último, la diferencia de presión en 1 bar.

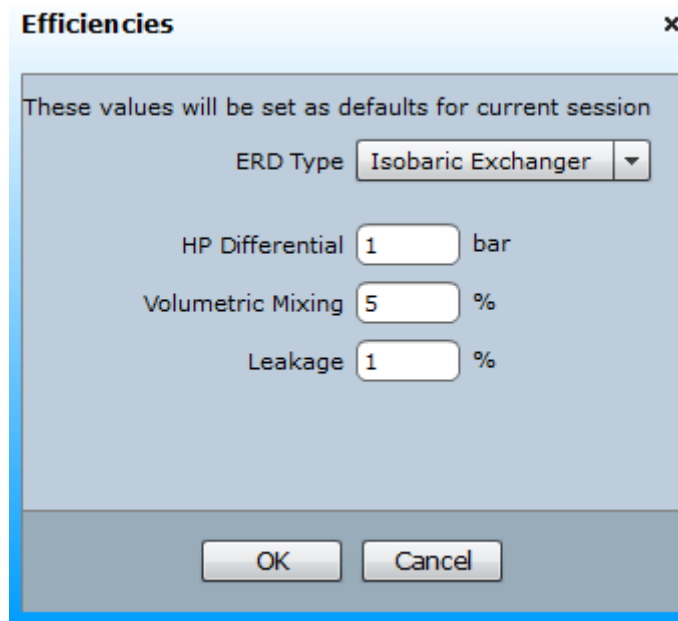


Figura 10. Interfaz de Q+ Projection Software: datos del intercambiador de presión

Una vez realizado el estudio de rentabilidad para diversas configuraciones de membranas del apartado 1.3 de este anexo, un poco más adelante, obtuvimos que la más barata a los 5 años es la de 32 tubos de presión de 6 membranas cada uno, haciendo un total de 192 membranas y habrá que cambiarlas al acabar el quinto año de funcionamiento. Por último tenemos que establecer la presión de salida de las membranas que supondremos 1 bar, ya que no se recomienda que la presión de salida del permeado de las membranas supere este valor.

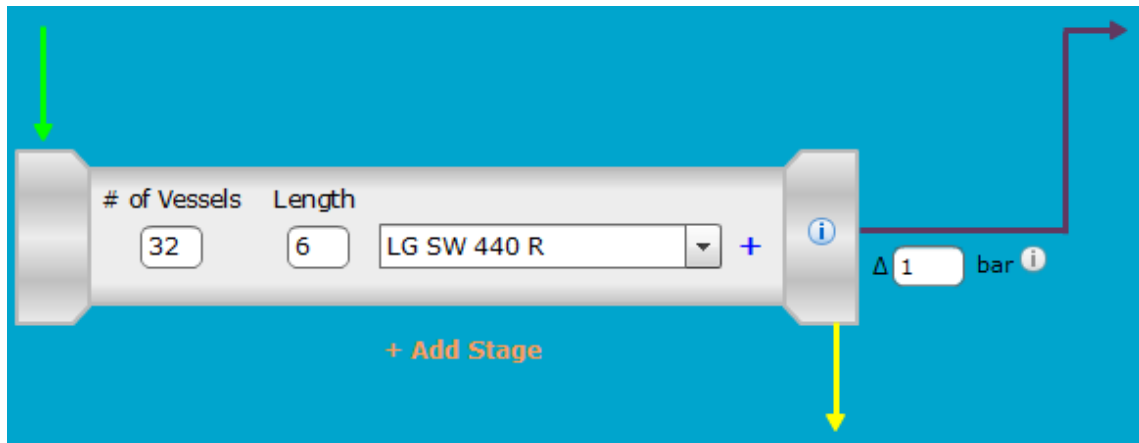


Figura 11. Interfaz de Q+ Projection Software: configuración de membranas, modelo las membranas y presión de salida de los tubos de presión

Los resultados obtenidos para todos los parámetros que hemos mencionado hasta ahora son los siguientes:

Consumo específico (kWh/m ³)	2,28
Presión alimentación (bar)	57,28
Presión rechazo (bar)	56,42
Caída de presión por tubo (bar)	0,86
Boro en permeado (ppm)	0,68
Cloro en permeado (ppm)	72,37
Sales disueltas en permeado (ppm)	122,35

Tabla 3. Resultados para nuestro agua con intercambiadores de presión

Ahora que ya tenemos los resultados para la temperatura media del agua de Tarifa, el pH simbólico del mar Mediterráneo y una edad de las membranas de 0 años (momento inicial), vamos a variar cada una de estas variables dejando las otras dos fijas para ver cómo varían los resultados, para ello vamos a usar una función del programa que llama “Batch Calculate” que nos permite obtener los resultados de forma simple poniendo los valores inicial, final y el incremento. Los valores de temperatura variarán del mínimo, 11°C, y el máximo de 23°C; los valores de pH variarán de 7,1 a 8,4 que es el rango de valores que suele tener el pH para el mar Mediterráneo y la edad que variará de 0 a 5 años, es decir un total de 5 años.

The image shows a software dialog box with three main sections: **Input**, **Output**, and **Calculation**.
Input Section: Contains three radio buttons for 'Temperature' (selected), 'pH', and 'Membrane Age'. Below them are three checkboxes for 'Pass1', 'Pass2', and 'Pass3'. A 'Specify Range:' section includes three input fields: 'Start From' (11 °C), 'End At' (23), and 'Increment' (1).
Output Section: Features an 'Output Folder' text box containing 'C:\Users\Eduardo\Desktop\R' and a 'Browse' button.
Calculation Section: Includes a checked checkbox for 'Batch Calculation'.
At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 12. Interfaz de Q+ Projection Software: cálculos en tandas

1.1.1 Simulaciones variando la temperatura

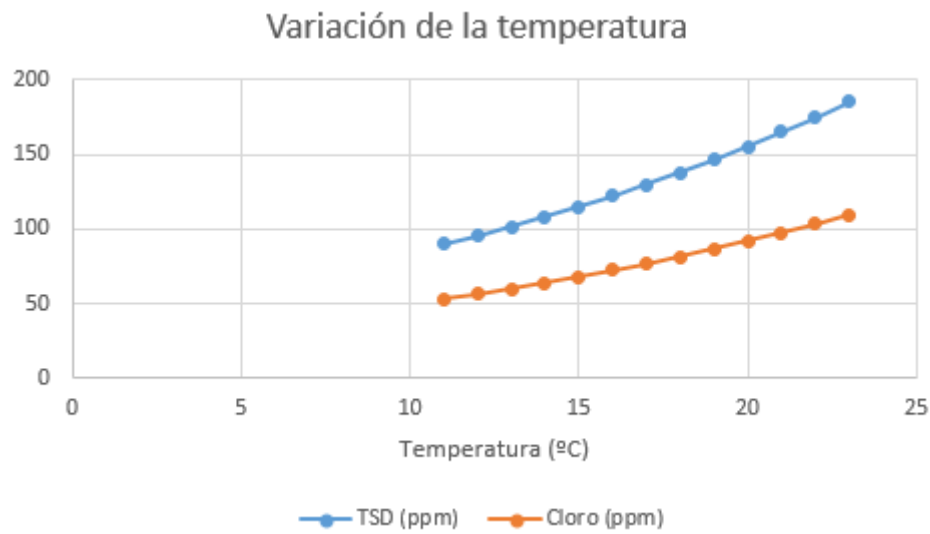


Figura 13. Gráfica de la relación del cloro y el total de sales disueltas en el agua producto con respecto a la temperatura del agua de captación

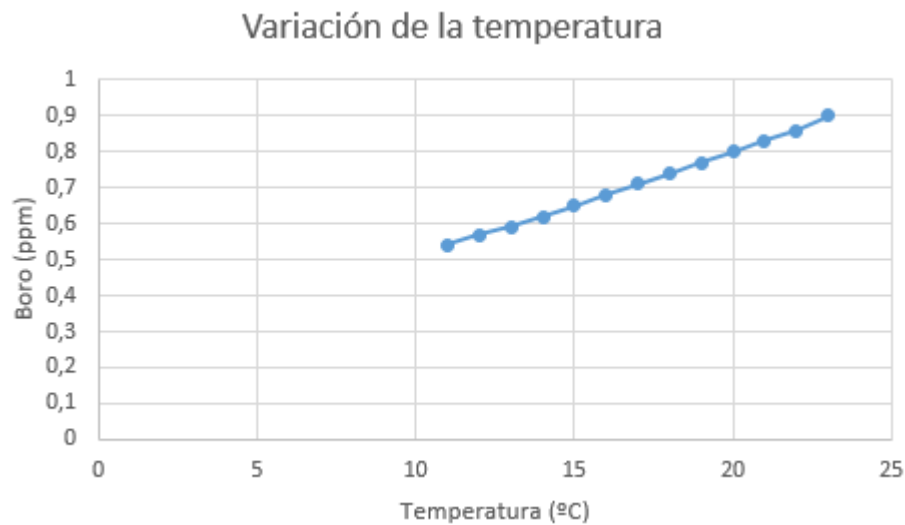


Figura 14. Gráfica de la relación del boro en el agua producto con respecto a la temperatura del agua de captación

Como se puede observar, al aumentar la temperatura del agua aumenta también el número de sales que deja pasar la membrana por lo que si la temperatura media del agua aumentara considerablemente habría que cambiar las membranas más a menudo, de hecho, vemos que la cantidad de boro del permeado si la temperatura fuera 23°C es muy cercana a la máxima que nos permite el Real Decreto 140/2003 de 1 mg/L, pero no

debería haber problemas porque esa temperatura es la máxima puntual de un mes por lo que no es común que el agua alcance esa temperatura.

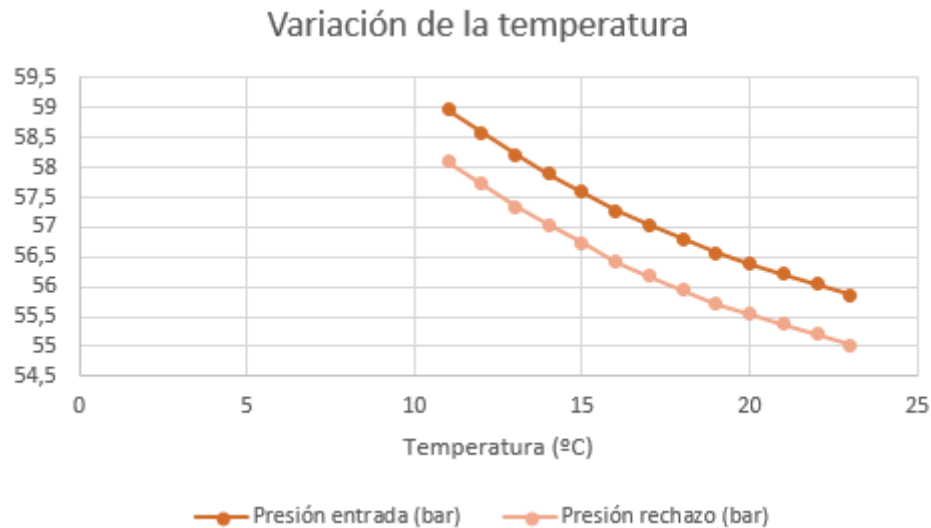


Figura 15. Gráfica de la relación de la presión de entrada a las membranas y la del rechazo con respecto a la temperatura del agua de captación

De la gráfica anterior podemos concluir que la temperatura del agua y la presión de entrada a la membrana y la del rechazo son inversamente proporcionales, por lo que la máxima presión ocurrirá cuando la temperatura sea la mínima, esto lo tendremos en cuenta para más adelante cuando usemos el programa del fabricante de intercambiadores de presión ya que tendremos que usar los datos de presión más desfavorables, es decir, la presión más alta de entrada a las membranas y la más baja del rechazo.

1.1.2 Simulaciones variando el pH

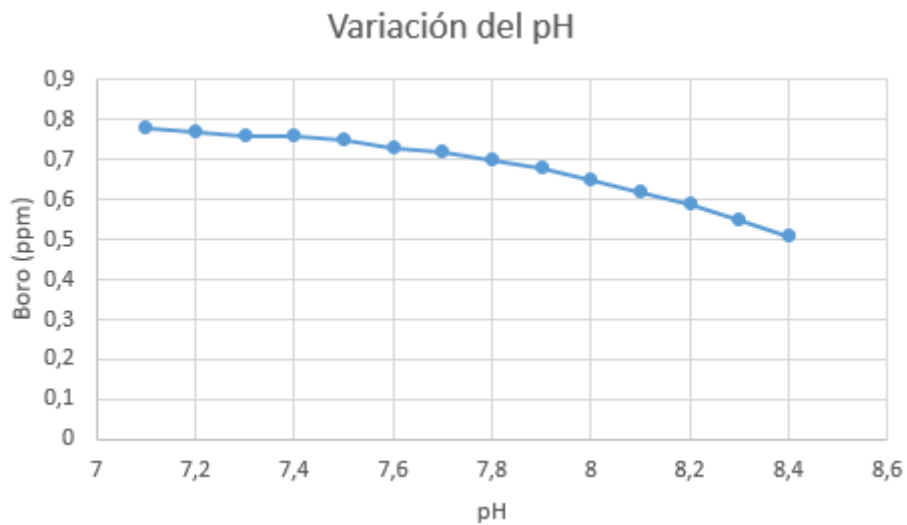


Figura 16. Gráfica de la relación de la cantidad de boro en el agua producto con respecto al pH del agua de captación

En el caso del pH, la variación sólo afecta significativamente a la cantidad de boro del agua producto siendo mayor cuanto menor sea el pH y viceversa, a pesar de esto, el pH mínimo no alcanza la cantidad máxima permitida de boro en el agua de 1 mg/L.

1.1.3 Simulaciones variando la edad de las membranas

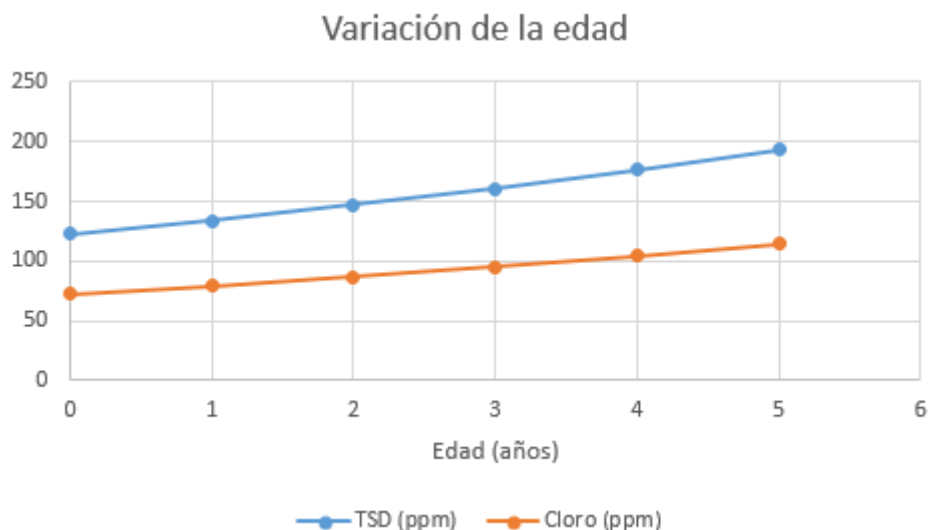


Figura 17. Gráfica de la relación de la cantidad de cloro y el total de sales disueltas en el agua producto con respecto a la edad de las membranas

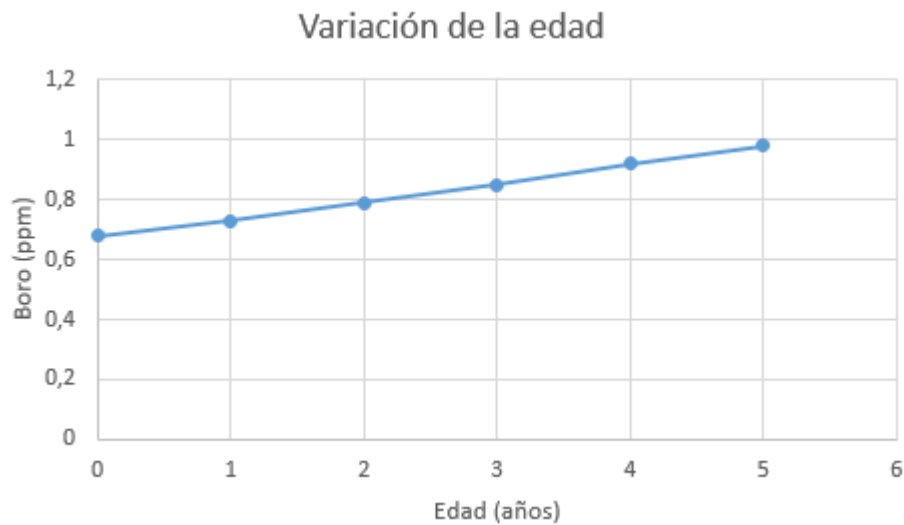


Figura 18. Gráfica de la relación de la cantidad de boro en el agua producto con respecto a la edad de las membranas

Como podemos observar, con el paso de los años las membranas permiten el paso de un número mayor de sales, cloro y boro, cosa lógica por otra parte ya que se van acumulando suciedad y partículas y además si no ocurriera esto no habría razón de cambiar las membranas. La cantidad máxima de boro permitida para el agua de consumo es 1 mg/L, que es el valor que alcanza el permeado al final del cuarto año, por lo que la vida útil de las membranas antes de que haya que cambiarlas es cuatro años aunque convendría cambiarlas algo antes por cuestiones de seguridad.

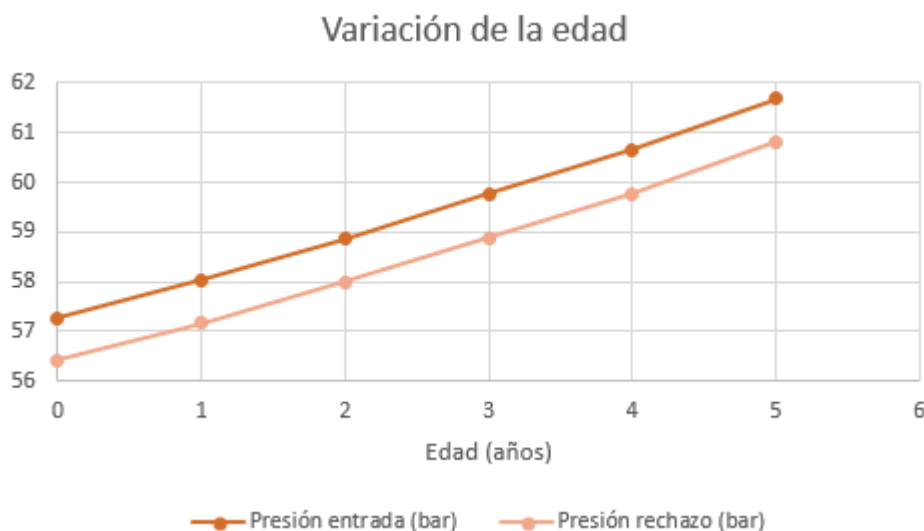


Figura 19. Gráfica de la relación de la presión de entrada a las membranas y la del rechazo con respecto a la edad de las membranas

Según la gráfica anterior cada año es necesario una presión de entrada mayor y por consiguiente también es mayor la de rechazo, la razón de que ocurra esto es, como dijimos previamente, la acumulación de suciedad y partículas, esto significa que la presión máxima necesaria ocurrirá en el cuarto año.

Hay que mencionar que si se juntaran a la vez las condiciones más desfavorables de temperatura y pH, el producto no cumpliría el Real Decreto 140/2003 de 1 mg/L de boro pero sería muy improbable que se cumplan ambas condiciones más desfavorables al mismo tiempo.

Sintetizando todo lo que hemos visto hasta ahora la presión de entrada máxima absoluta ocurrirá cuando la temperatura sea mínima y sea el final del quinto año de funcionamiento, la presión del rechazo mínima, que será la presión para la que el intercambiador de presión podrá recuperar menos energía, ocurrirá cuando la temperatura sea máxima y la edad mínima y, las sales del permeado no van a afectar al intercambiador de presión pero consideraremos las máximas porque sí afectará a la bomba de distribución de producto, que ocurrirá cuando la temperatura y edad sean máximas, para lo que obtenemos los siguientes resultados que usaremos para dimensionar los intercambiadores de presión:

Presión máxima de alimentación (bar)	64,54
Presión mínima del rechazo (bar)	55,03
TSD máximo del permeado (ppm)	291,44

Tabla 4. Resultados más desfavorables para nuestro agua con intercambiadores de presión

1.1.4 Elección del intercambiador de presión

El fabricante de intercambiadores de presión Energy Recovery nos proporciona un Excel en el que a partir de unos datos iniciales nos permite elegir entre distintos modelos de intercambiadores de presión y nos recomienda el número necesario, el criterio que seguiremos, al igual que con las membranas, es escoger el modelo con un menor consumo específico porque aunque haya que comprar más unidades el precio es despreciable comparado con el ahorro anual, aunque esto lo comprobaremos más adelante. Los parámetros iniciales a introducir son:

- Sales disueltas en el agua de mar: 36.715 ppm
- Presión del agua de entrada a la bomba de alta presión: la presión de captación la consideramos 5 bares, las pérdidas de carga en los filtros de arena 1 bar y en los filtros de cartuchos 1 bar también, por lo que la presión a la entrada de la bomba la consideramos 3 bares.
- Temperatura del agua: 16°C
- Número de líneas: 1
- Presión a la entrada de la membrana: 64,54 bar
- Conversión o recuperación: 45%
- Sales disueltas en el agua producto: 291,44 ppm
- Presión del agua producto: 1 bar
- Capacidad de la planta: 2500 m³/día = 104,17 m³/h
- Presión del rechazo: 55,03 bar
- Rendimiento de la bomba de alta presión: 75%
- Rendimiento de la bomba booster: 75%

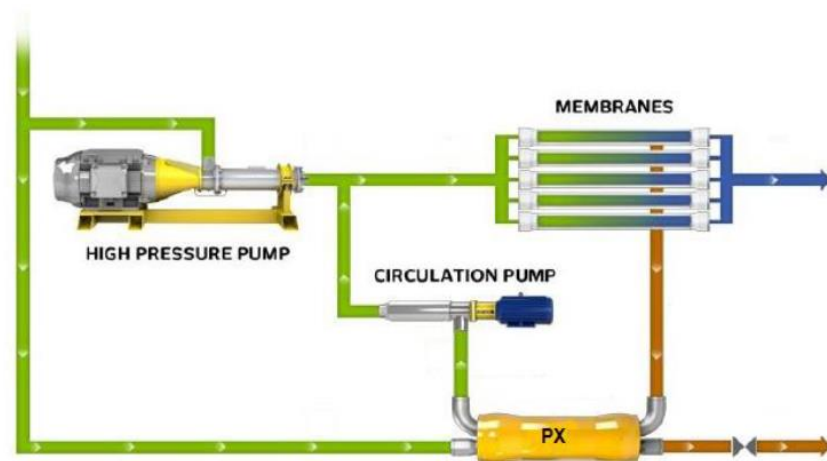


Figura 20. Esquema del núcleo de desalación con intercambiadores de presión

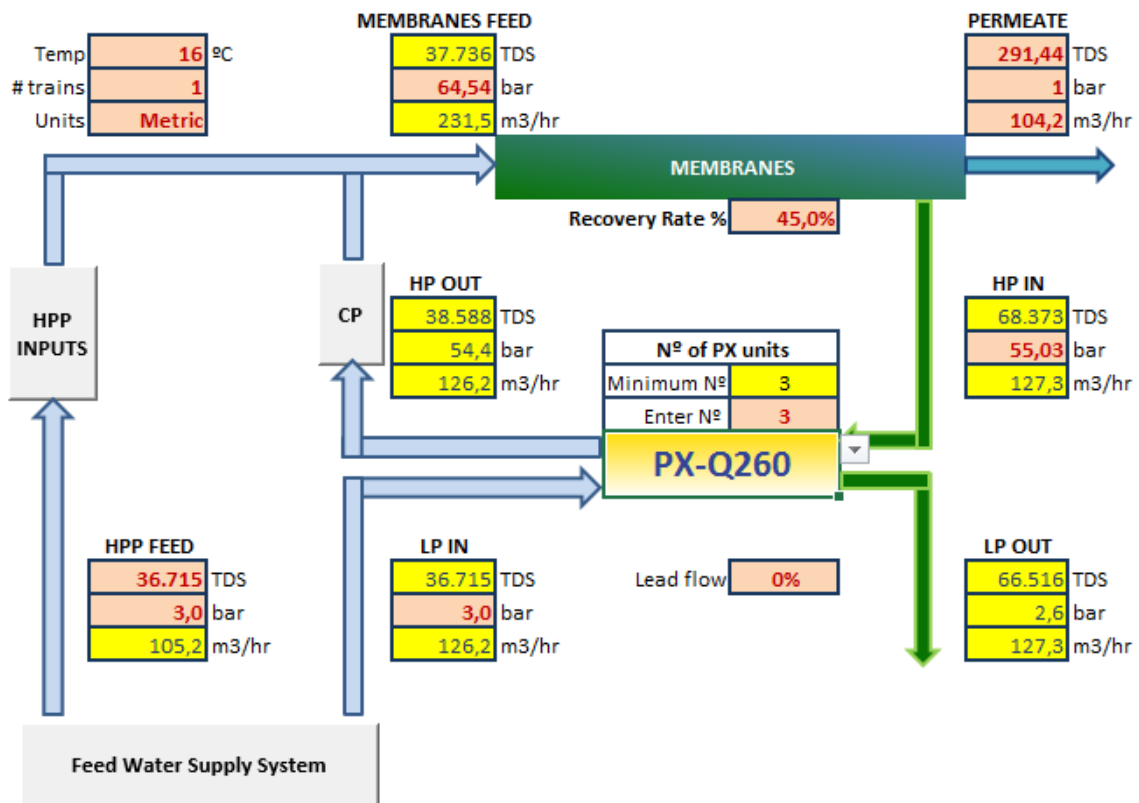


Figura 21. Esquema del núcleo de desalación en su primera iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión

Una vez que hemos introducido estos datos podemos seleccionar distintos modelos de intercambiadores de presión y los resultados de número de unidades necesarias, consumos específicos y rendimientos son los siguientes:

	Número (uds)	Consumo específico (kWh/m ³)	Rendimiento (%)
PX-30S	19	2,85	93,91
PX-45S	13	2,84	94,48
PX-70S	9	2,82	95,48
PX-90S	7	2,82	95,36
PX-140S	5	2,83	94,77
PX-180	4	2,78	97,22
PX-220	3	2,77	96,74
PX-260	3	2,76	97,06
PX-Q260	3	2,76	97,53
PX-300	2	2,77	95,88
PX-Q300	2	2,77	96,31

Tabla 5. Comparación de todos los modelos de intercambiadores de presión

A partir de los resultados obtenidos, vemos que los modelos PX-260 y PX-Q260 son con los que se obtiene un menor consumo específico pero el segundo tiene un mayor rendimiento por lo que es el que vamos a utilizar en nuestra instalación, a pesar de que hay que comprar una unidad más que, por ejemplo, en el caso del PX-Q300 ya que el ahorro del coste energético es mayor a la larga que el precio de un intercambiador de presión, no son demasiado caros. Los resultados del Excel son los siguientes:

PX Technology Performance	
PX unitary flow	42,4 m ³ /hr
Salinity Increase at membranes	2,8%
Volumetric mixing VM	5,9%
Lubrication flow (LF) per PX array	1,1 m ³ /hr
LF as % of concentrate flow	0,8%
HP DP	0,6 bar
LP DP	0,4 bar
RO Specific Energy **	2,76 kWh/m ³
Efficiency	97,53%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 22. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la primera iteración

Lo siguiente que tenemos que hacer es sustituir algunos de estos datos, que en un principio habíamos supuesto, en el programa de nuevo para obtener resultados más precisos, tenemos que cambiar el porcentaje de mezcla volumétrica, el de fuga y la diferencia de presión.

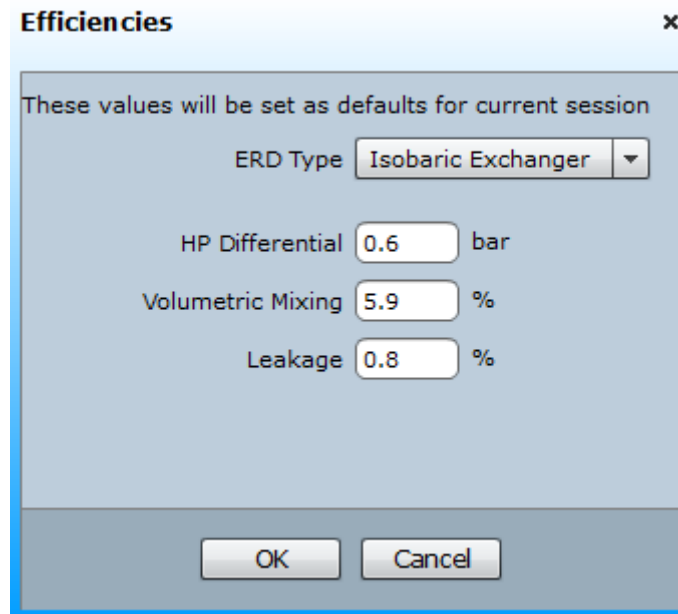


Figura 23. Interfaz de Q+ Projection Software: introducción de nuevo de los datos del intercambiador de presión

Una vez cambiamos esos parámetros por los que aparecen arriba obtenemos:

Presión alimentación (bar)	64,86
Presión del rechazo (bar)	55,39
TSD del permeado(ppm)	293,68

Tabla 6. Resultados más desfavorables para nuestro agua con intercambiadores de presión después de introducir los nuevos datos

Una vez que sustituimos estos datos de nuevo en el Excel del fabricante de intercambiadores de presión tenemos los siguientes resultados:

PX Technology Performance	
PX unitary flow	42,4 m3/hr
Salinity Increase at membranes	2,8%
Volumetric mixing VM	5,9%
Lubrication flow (LF) per PX array	1,1 m3/hr
LF as % of concentrate flow	0,8%
HP DP	0,6 bar
LP DP	0,4 bar
RO Specific Energy **	2,77 kWh/m3
Efficiency	97,54%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 24. Resultados obtenidos en el software de dimensionado de intercambiadores de presión en la segunda y última iteración

Como vemos, ningún valor de los que habría que introducir de nuevo en el programa ha variado en absoluto por lo que ya no hacen falta más iteraciones y damos el resultado por definitivo y aquí tenemos una imagen con el esquema final:

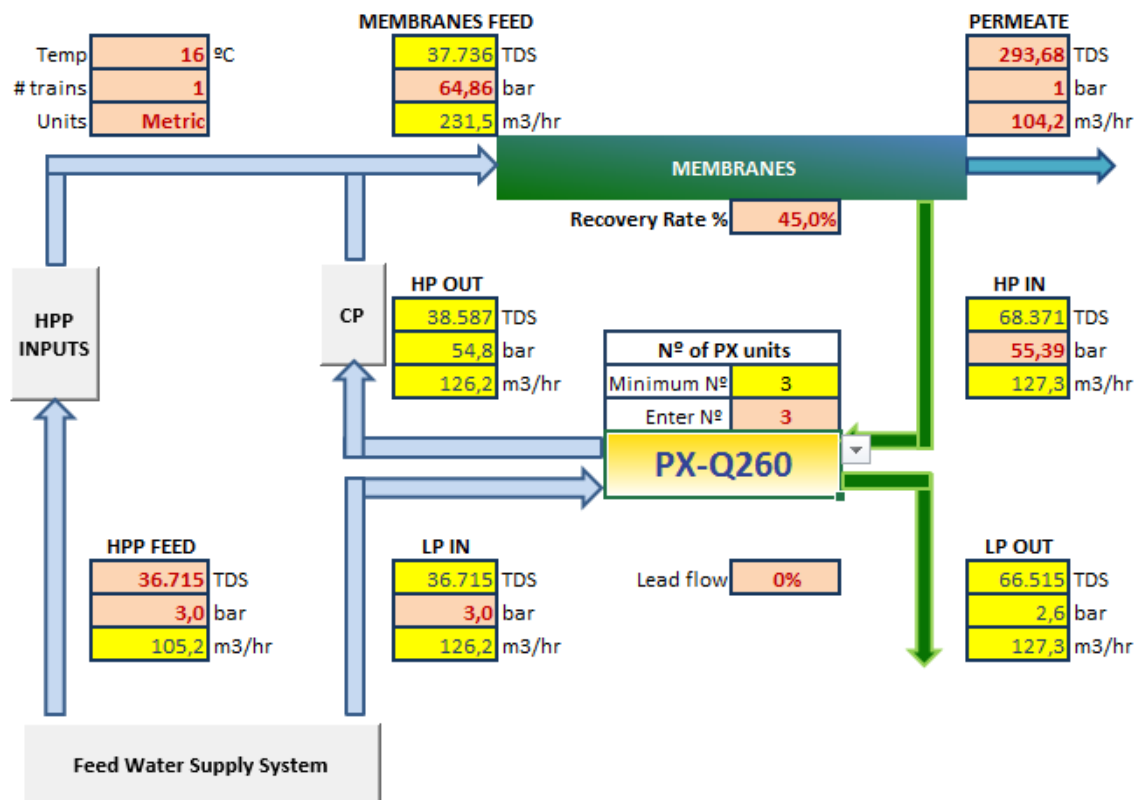


Figura 25. Esquema del núcleo de desalación en su segunda y última iteración hecho con el software de dimensionado de intercambiadores de presión

1.2 Turbocompresor

Introducimos los valores del caudal de alimentación, el del rechazo, la presión de succión de la bomba de alta presión, la requerida por la membrana y la del rechazo que usamos para los intercambiadores de presión en el software que nos ofrece Energy Recovery para determinar el consumo específico que tendría este sistema de recuperación de energía y compararlo con los resultados obtenidos del anterior.

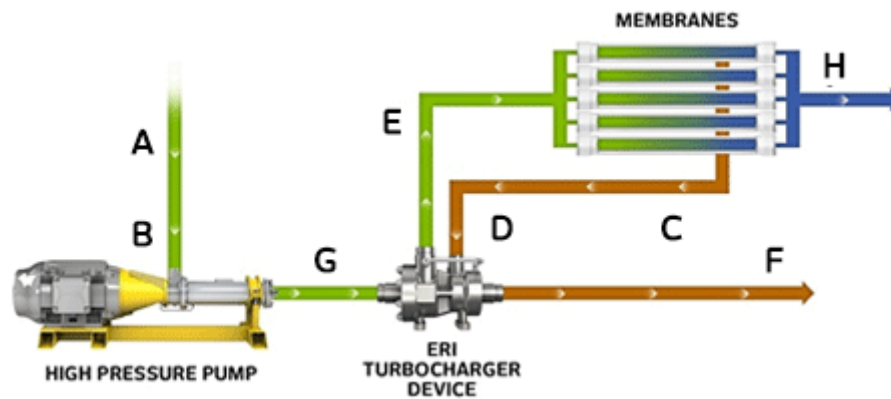


Figura 26. Esquema del núcleo de desalación con un turbocharger

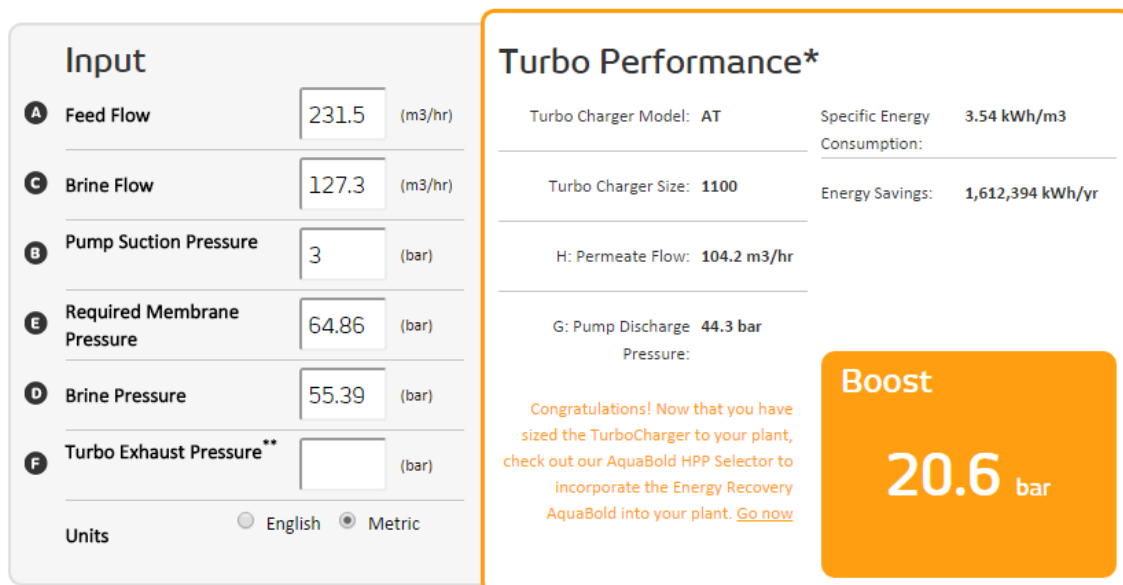


Figura 27. Resultados obtenidos en el software Turbocharger Energy Analysis

Como se puede observar, esta alternativa tiene un consumo específico de 3,54 kWh/m³, que es mayor que los 2,77 kWh/m³ que obtenemos con intercambiadores de presión por lo que ésta última es más rentable y por lo tanto es la que utilizaremos. Por último, hay que aclarar que los datos de presión usados en el software del turbocompresor son los obtenidos del software de las membranas usando intercambiadores de presión como sistema de recuperación de energía por lo que estos valores variarán ligeramente pero la diferencia entre consumos específicos es demasiado grande como para que afecte en el resultado.

1.3 Elección de la configuración de membranas

En este apartado vamos a hacer un estudio de la mejor configuración de membranas, como habíamos dicho estableceremos una vida útil de las membranas de entre 3 y 5 años, valores de duración habituales, y los casos que estudiaremos serán cinco, los dos primeros para 6 membranas por tubo y el número máximo de membranas que cumple para una duración de 4 y 5 años, para 3 años no es posible ya que, como habíamos visto antes, había un número máximo de membranas para el que el programa nos da avisos, y las tres últimas para 7 membranas por tubo y una duración de 3, 4 y 5 años. La configuración que elegiremos será aquella cuyo coste sea menor al cabo de 5 años, para ello hay que establecer algunos parámetros:

$$CM = T \cdot MPT \cdot PM \cdot \left(1 + \frac{5 - n}{n}\right)$$

$$CE = \sum_{i=1}^5 CES_i \cdot C \cdot D \cdot DA \cdot PE$$

$$CT = CM + CE$$

Donde:

- CM: Coste de las membranas en 5 años en €.
- T: Tubos de presión.
- MPT: Membranas por tubo.
- PM: Precio individual de una membrana, en el caso de nuestro fabricante el precio de las membranas varía de 650€ a 1550€, consideraremos que cada una vale

1100€ ya que es el valor medio y además tiene en cuenta que los fabricantes suelen hacer descuento al hacer compras en grandes cantidades en el caso de que sus precios sean más cercanos al valor superior.

- n: Número de años que durará la configuración.
- CE: Coste de la energía consumida en 5 años en €.
- CES: Consumo específico en un año en kWh/m³.
- C: Capacidad de la planta que es 2500 m³/día.
- D: Disponibilidad de la planta que la consideraremos de un 90%, es decir, que va a estar funcionando el 90% del año.
- DA: Días en un año que supondremos 365.
- PE: Precio de la energía que en España es 0,08 €/kWh, este valor se obtuvo de la factura de la luz además de otro proyecto de desalación realizado por la Escuela de Organización Industrial (EOI).
- CT: Coste total de las membranas y la energía eléctrica consumida en €, este es valor que va a decidir la configuración que elegiremos.

Hay que aclarar que los valores de consumo específico son los obtenidos previos a las iteraciones, es decir a partir de las suposiciones hechas inicialmente para el rendimiento de la bomba de alta presión y los parámetros del intercambiador de presión. Además también hay que mencionar que las configuraciones que no llegan a 5 años, tendremos en cuenta en el coste de las membranas que hay que cambiarlas pero también hay que tener en cuenta que el consumo específico a partir del año en el que se cambian vuelve a ser el inicial.

	MPT	T	CM	CES ₁	CES ₂	CES ₃	CES ₄	CES ₅	CE	CT
n=3	7	34	436.333	2,21	2,23	2,255	2,21	2,23	731.570	1.167.903
n=4	7	31	298.375	2,245	2,275	2,305	2,33	2,245	748.980	1.047.355
n=5	7	28	215.600	2,295	2,325	2,36	2,395	2,43	775.589	991.189
n=4	6	36	297.000	2,24	2,265	2,295	2,325	2,24	746.681	1.043.681
n=5	6	32	211.200	2,295	2,33	2,365	2,4	2,435	776.903	988.103

Tabla 7. Comparación del coste de distintas configuraciones de membranas

Como podemos ver, la configuración más rentable al cabo de 5 años es la de 32 tubos de presión de 6 membranas cada uno, que dura 5 años antes de que sea necesario cambiarlas debido a que superan en límite permitido del boro en el agua potable. Lo siguiente que hacemos es variar el precio de las membranas dentro del rango de 650 a 1550 y obtenemos que para cualquier valor, la elección tomada es la mejor. Por otro lado, si variamos el precio de la energía obtenemos que si fuera entre 0 y 0,22 €/kWh, la mejor configuración es la de 32 tubos de 6 membranas, por lo que podemos concluir también que para cualquier precio de energía, la configuración elegida es la mejor, al menos para una vida útil entre los 3 y 5 años. Comparando el coste energético con el de las membranas vemos que éste último es algo más del doble del primero en la mayoría de los casos, es por eso por lo que elegimos el máximo número de membranas que cumple para cada caso de vida útil ya que esto reducirá el consumo específico, que es como vemos lo que más afecta al coste total.

1.4 Elección de la bomba de alta presión

Una vez introducidos los datos necesarios en el Excel de Energy Recovery, a excepción de los rendimientos de la bomba de alta presión y la booster que se han supuesto, aparecen los caudales que pasarán por cada bomba, que es un dato que necesitamos para su elección, además hay que calcular la altura manométrica que debe suministrar como ya veremos más adelante así como la presión que se deberá suministrar, es decir, la diferencia entre la de salida y la de entrada.

$$Hb_{alta} = \frac{P_s - P_e}{\gamma} = \frac{(64,86 - 3) \cdot 100000}{1027,096 \cdot 9,81} = 613,95 \text{ m}$$

La altura manométrica depende sólo de las presiones de entrada y salida porque las variaciones de energía potencial y cinética son despreciables en comparación.

La densidad se obtuvo a partir de una aplicación online desarrollada por la Universidad de Michigan en la que introduciendo la temperatura del agua y su salinidad calcula su densidad.

Required Data Entry	
Water Temperature in Degrees	C 16 F 60.8
Water Salinity (TDS)	36715 mg/L or PPM
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Clear Values"/>	
Calculated Results	
Water Density	1027.096 kg/m ³

Figura 28. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba de alta presión

Datos de la bomba de alta presión	Presión (bar)	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
	61,86	613,95	105,2

Tabla 8. Datos de dimensionado de la bomba de alta presión

Ahora que tenemos estos datos pasamos a comparar bombas de dos fabricantes de bombas de alta presión, Energy Recovery y KSB, ambos tienen aplicaciones online para facilitar el proceso de elección del modelo adecuado, “Aquabold Selector” y “KSB EasySelect” respectivamente.

Figura 29. Interfaz de Aquabold Selector para nuestros datos de la bomba de alta presión

Una vez introducidas la presión que aportará la bomba de alta presión y el caudal que moverá, buscamos las distintas bombas que cumplen estas condiciones, dentro de la lista de opciones elegiremos aquella con mayor rendimiento ya que mayor rendimiento equivale a menor potencia consumida y, por lo tanto, un ahorro económico a largo plazo ya que las bombas con los mayores rendimientos cuestan aproximadamente lo mismo. El modelo elegido es el Aquabold 3x4x7-B de 20 etapas que cuesta aproximadamente 70.000€ y tiene un rendimiento de 77,22%.



Figura 30. Imagen de una bomba del tipo Aquabold

KSB EasySelect® 7.0

Selección de producto

Diseño técnico | Opciones | Posición de cons...

Aplicación

Segmento: Abastecimiento de agua *

Aplicación general: Transporte de agua *

Aplicación: Elevador de presión *

Medio

agua, Agua limpia

Temperatura de trabajo: 16,0 °C *

Punto de trabajo

Caudal Q: 105,20 m³/h *

Altura de elevación H: 613,95 m *

Condiciones de funcionamiento

Altura estática: 0,00 m

NPSH disponible: m

Presión máxima de: 0,00 bar.r

Acepta derivación

Ejecución

Diseño: Bomba individual 1 x 100%

Tipo de impulsor preferido: Otras

Figura 31. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de la bomba de alta presión

A diferencia de Aquabold Selector en KSB EasySelect es necesario introducir el uso que se le va a dar a la bomba además de la altura manométrica calculada previamente y el caudal, en el caso de la bomba de alta presión es elevar la presión del agua. Seguiremos considerando el mismo criterio que para el anterior fabricante de bombas y la bomba con el mayor rendimiento es la Multitec GA 100-7.1 con un 74,70%.



Figura 32. Imagen de una bomba del tipo Multitec

Agrupamos los resultados obtenidos en la siguiente tabla y para hallar el rendimiento total de la bomba y el motor suponemos un rendimiento de este último del 95% a falta de datos de los fabricantes.

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
Aquabold 3x4x7-B	77,22	73,36
Multitec GA 100-7.1	74,70	70,97

Tabla 9. Comparativa de las bombas de alta presión de distintos fabricantes

Como vemos la bomba de Energy Recovery es la que tiene un mayor rendimiento por lo que es la que vamos a usar, una vez lo sabemos, obtenemos su punto de funcionamiento gráficamente a partir de su curva característica:

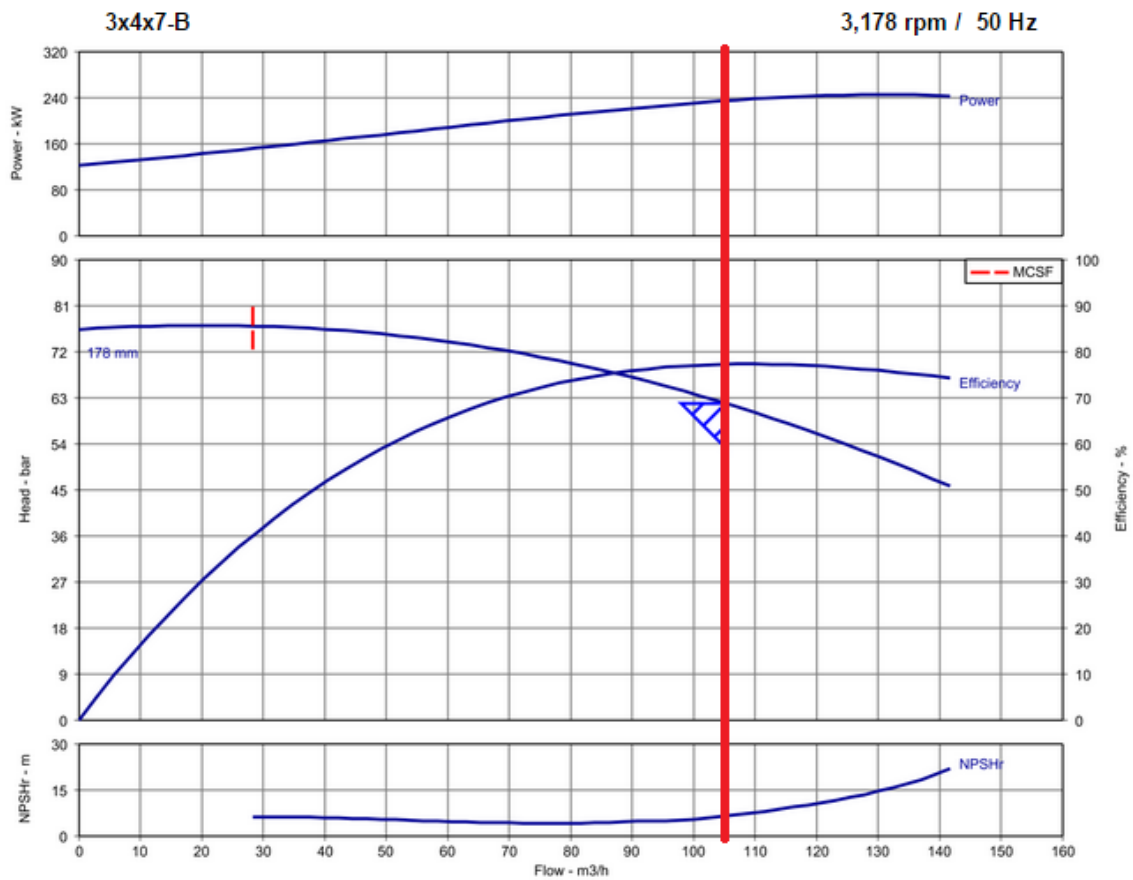


Figura 33. Curva característica de la bomba de alta presión con el punto de operación

Por último sólo nos queda calcular la potencia eléctrica que consume a partir de la siguiente expresión:

$$P_{b_{alta}} = \frac{H_{b_{alta}} \cdot \gamma \cdot Q}{\eta} = \frac{613,95 \cdot 1027,096 \cdot 9,81 \cdot 0,0292}{0,7336} = 246416,5 \text{ W} = 246,42 \text{ kW}$$

1.5 Elección de la bomba booster

Al igual que con la bomba de alta presión, lo primero que vamos a hacer es calcular la altura manométrica que necesita suministrar la bomba porque lo vamos a necesitar para las aplicaciones de los fabricantes de bombas además de para calcular la potencia eléctrica consumida.

$$H_{b_{booster}} = \frac{P_s - P_e}{\gamma} = \frac{(64,86 - 54,8) \cdot 100000}{1028,538 \cdot 9,81} = 99,7 \text{ m}$$

Al igual que en la bomba de alta presión, la altura manométrica depende sólo de las presiones de entrada y salida porque las variaciones de energía potencial y cinética son despreciables en comparación y la densidad la obtenemos de la aplicación de la Universidad de Michigan.

Required Data Entry	
Water Temperature in Degrees	C 16 <input type="text"/> F 60.8 <input type="text"/>
Water Salinity (TDS)	38587 <input type="text"/> mg/L or PPM
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Clear Values"/>	
Calculated Results	
Water Density	1028.538 <input type="text"/> kg/m ³

Figura 34. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba booster

Datos de la bomba booster	Presión (bar)	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
	10,06	99,7	126,2

Tabla 10. Datos de dimensionado de la bomba booster

Para la elección de la bomba booster se compararán las bombas de dos fabricantes, KSB y Grundfos, ambas tienen aplicaciones online para facilitar la elección del modelo de bomba a utilizar, la de Grundfos se llama “Grundfos Webcaps” y la de KSB ya la habíamos visto para la bomba de alta presión.

KSB EasySelect® 7.0

Selección de producto

Diseño técnico | Opciones | Posición de cons...

Aplicación

Segmento Abastecimiento de agua *
 Aplicación general Transporte de agua *
 Aplicación Elevador de presión *

Medio

agua, Agua limpia

Temperatura de trabajo *

Punto de trabajo

Caudal Q *
 Altura de elevación H * €

Condiciones de funcionamiento

Altura estática H_{geo} ?
 NPSH disponible
 Presión máxima de
 Acepta derivación

Ejecución

Diseño Bomba individual 1 x 100%
 Tipo de impulsor preferido Otras ?

Figura 35. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de la bomba booster

De toda la lista de resultados, la bomba de KSB con el mayor rendimiento para estos datos es la Multitec GA 125-9.2 con un 77,46%.



Figura 36. Imagen de una bomba del tipo Multitec

Al igual que el KSB EasySelect, en Grundfos Webcaps es necesario aclarar la aplicación para la que vamos a utilizar la bomba que, para el caso de la booster, es un aumento de presión y si dentro de este tipo de bombas elegimos las centrífugas verticales multicelulares, nos aparece una ventana en la que hay que introducir el caudal que va a tener que transportar y la altura manométrica que va a tener que suministrar.

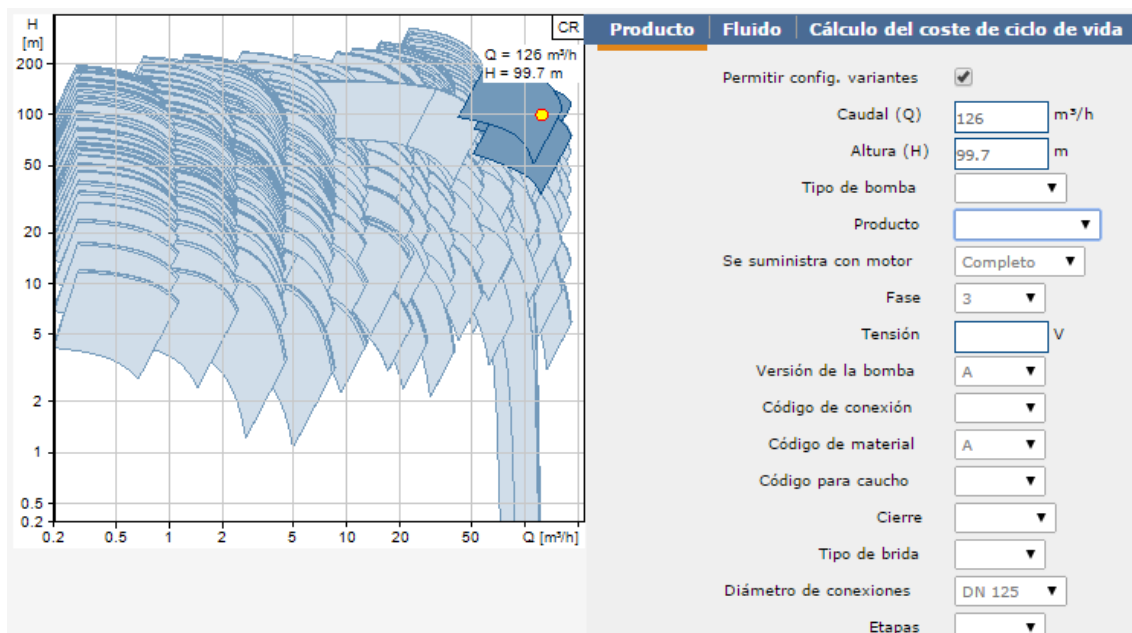


Figura 37. Interfaz de Grundfos Webcaps para nuestros datos de la bomba booster

Dentro de todas las bombas que cumplían estos datos, el modelo con mayor rendimiento es el CR 120-4-1 con un 73,1% pero a diferencia que con las bombas de KSB, éste rendimiento es el combinado de la bomba y el motor, mientras que para la de KSB supondremos un rendimiento del motor del 95%.



Figura 38. Imagen de una bomba del tipo CR

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
CR 120-4-1		73,1
Multitec GA 125-9.2	77,46	73,59

Tabla 11. Comparativa de las bombas booster de distintos fabricantes

Como vemos la bomba con mayor rendimiento es la Multitec GA 125-9.2, por lo que es la que elegiremos, siempre y cuando el rendimiento del motor sea igual o mayor del 95%, es decir, si fuera menor de este valor elegiríamos la CR 120-4-1 ya que tendría un mayor rendimiento combinado, su punto de funcionamiento obtenido a partir de su curva característica se muestra en la siguiente figura:

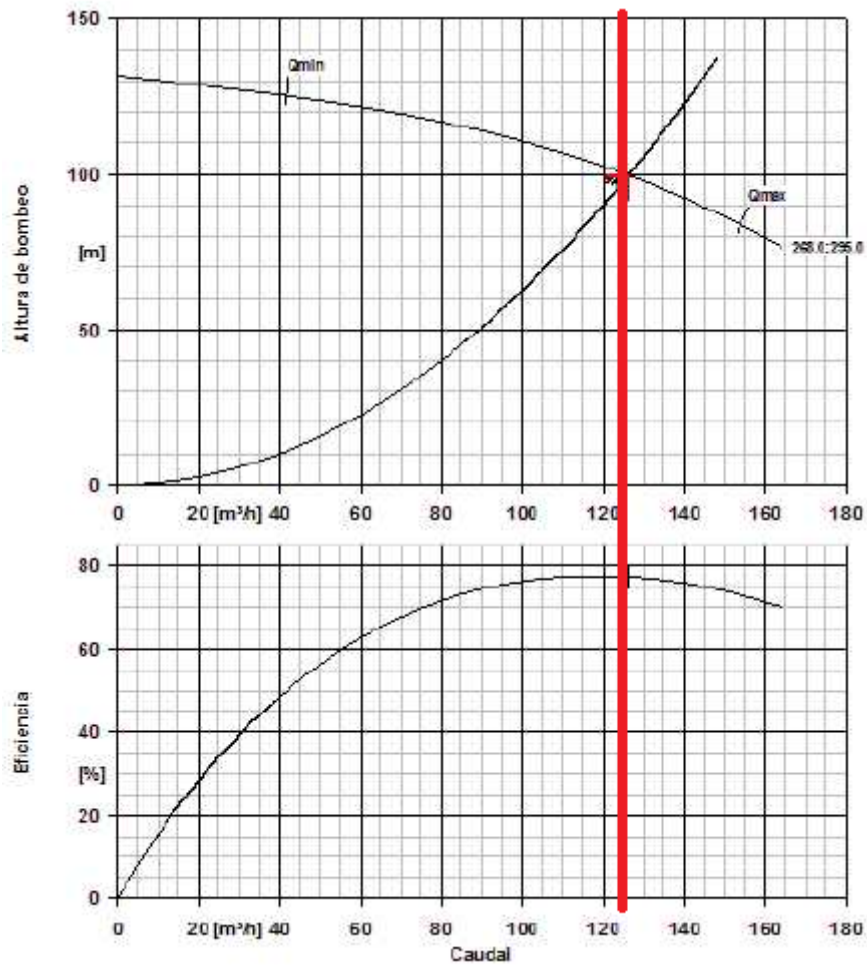


Figura 39. Curva característica de la bomba booster con el punto de operación

Por último, nos queda calcular la potencia eléctrica que consume la bomba booster mediante la siguiente expresión:

$$P_{b_{booster}} = \frac{H_{b_{booster}} \cdot \gamma \cdot Q}{\eta} = \frac{99,7 \cdot 1028,538 \cdot 9,81 \cdot 0,035}{0,7359} = 47924,07 \text{ W} = 47,92 \text{ kW}$$

ANEXO II

CÁLCULOS

HIDRÁULICOS

2. Cálculos hidráulicos

2.1 Captación

La captación se va a realizar con dos bombas sumergidas y habrá otra más de reserva, por lo que el caudal que transporta cada una será el de captación entre el número de bombas.

$$Q_{captación} = \frac{2500}{0,45} = 5555,56 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{bomba\ 1} = Q_{bomba\ 2} = \frac{Q_{captación}}{n^{\circ} \text{ de bombas}} = \frac{5555,56}{2} = 2777,78 \text{ m}^3$$

Ahora pasamos a calcular las pérdidas de carga en las conducciones que tiene que compensar cada bomba.

Datos:

- Caudal: $2777,78 \text{ m}^3/\text{día} = 115,74 \text{ m}^3/\text{hora} = 0,0322 \text{ m}^3/\text{s}$
- Longitud: 150 m
- Material de las tuberías: PE (Polietileno).
- Aceleración de la gravedad: $9,81 \text{ m/s}^2$.

Lo que pretendemos calcular son las pérdidas de carga en las tuberías de captación, tanto las primarias como las secundarias, para posteriormente obtener la altura manométrica que necesitan suministrar las bombas de captación para transportar el agua hasta la planta de desalación. Para calcular el número de Reynolds usamos la siguiente expresión:

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \phi_{int} \cdot \nu}$$

Donde:

- Q = caudal de captación en m^3/s .
- ϕ_{int} = diámetro interior de la tubería en m.
- ν = viscosidad cinemática del agua en m^2/s .

El valor de la viscosidad cinemática del agua lo sacaremos de la tabla 4 del libro Agüera Soriano de 2002 en la que además aparecen otras propiedades físicas del agua a 1 bar de

presión. Todas las propiedades varían en función de la temperatura y va a ser necesario interpolar para obtener el valor para nuestra temperatura media de 16°C.

Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (m ² /s)
15	1,14 · 10 ⁻⁶
20	1,003 · 10 ⁻⁶
16	1,113 · 10 ⁻⁶

Tabla 12. Viscosidades cinemáticas del agua a distintas temperaturas

Lo siguiente que vamos a calcular es el diámetro mínimo según el criterio de Bonnet, para lo que sólo nos hace falta el caudal, que lo tenemos, y una vez calculado elegiremos la tubería de PE de un fabricante con el diámetro interior inmediatamente superior y apuntaremos además el valor de rugosidad ya que será necesario para calcular el coeficiente de fricción.

$$\phi_{min} = 0,835 \cdot Q^{\frac{2}{5}} = 0,835 \cdot (0,0322)^{\frac{2}{5}} = 0,211 \text{ m} = 211 \text{ mm}$$

La primera tubería de PE que supera éste diámetro interior mínimo tiene un diámetro nominal o exterior de 250 mm, una presión nominal de 6 bares, que debería ser suficiente ya que habíamos considerado la presión de captación como 5 bares, un espesor de la pared de 9,6 mm, resultando en un diámetro interior de 230,8 mm y una rugosidad absoluta de 0,007 mm. Todos estos datos fueron mirados en el catálogo del fabricante de tuberías MASA, en el que además se incluye el precio del metro lineal.

Ahora que tenemos la tubería elegida pasamos a calcular la velocidad máxima recomendada para nuestra tubería según el criterio de Bonnet, que viene dada por la siguiente fórmula:

$$V_{m\acute{a}x} = 2 \cdot \sqrt{\phi_{int}} = 2 \cdot \sqrt{0,2308} = 0,961 \text{ m/s}$$

Como ya tenemos el diámetro interior de la tubería y la viscosidad cinemática calcularemos el número de Reynolds de la forma previamente explicada.

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \phi_{int} \cdot \nu} = \frac{4 \cdot 0,0322}{\pi \cdot 0,2308 \cdot 1,113 \cdot 10^{-6}} = 159411,27$$

Como el número de Reynolds es mayor de 4000 el agua se mueve en régimen turbulento, esto hay que tenerlo en cuenta ya que dependiendo del tipo de régimen y de la rugosidad relativa de la tubería hay que usar una ecuación u otra para obtener el coeficiente de fricción.

La rugosidad relativa es la relación entre la rugosidad de la tubería y el diámetro interior de esta, es decir:

$$\frac{k}{\phi_{int}} = \frac{0,007}{230,8} = 3,033 \cdot 10^{-5}$$

Donde:

- k = rugosidad absoluta en mm

Una vez que ya tenemos el número de Reynolds y la rugosidad relativa podemos calcular el coeficiente de fricción con la ecuación de Colebrook, para ello hay que suponer un valor inicial que suele considerarse 0,015 y realizar un proceso iterativo hasta obtener el final que cumpla que el error sea menor que cierto valor, en nuestro caso daremos el valor por válido cuando los seis primeros dígitos de iteraciones continuas sean iguales.

$$\frac{1}{\sqrt{f_{n+1}}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\frac{k}{\phi_{int}}}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f_n}} \right)$$

Donde:

- Re = número de Reynolds, adimensional.
- k/ϕ_{int} = rugosidad relativa, adimensional.
- f = coeficiente de fricción, adimensional.
- n = número de la iteración.

n	f_n	f_{n+1}
0	0,015	0,016744
1	0,016744	0,016551
2	0,016551	0,016571
3	0,016571	0,016569
4	0,016569	0,016569

Tabla 13. Valores de coeficientes de fricción en la captación para cada iteración

Por último, una vez que tenemos el coeficiente de fricción, que como vemos lo consideramos 0,016569, usamos la ecuación de Darcy-Weissback para determinar la altura manométrica correspondiente a las pérdidas de carga en las conducciones.

$$Hr_1 = f \cdot \frac{L}{\phi_{int}} \cdot \frac{V_{m\acute{a}x}^2}{2 \cdot g} = 0,016569 \cdot \frac{150}{0,2308} \cdot \frac{0,961^2}{2 \cdot 9,81} = 0,507 \text{ m}$$

Donde:

- L = longitud de la tubería en m.
- $V_{m\acute{a}x}$ = velocidad del agua en m/s.
- g = aceleración de la gravedad en m/s^2 .

Como ya tenemos las pérdidas de carga debido a las conducciones pasamos a calcular las pérdidas de carga debido a los accesorios, en nuestro caso sólo tendremos un codo de 90° por cada bomba por lo que las pérdidas debido a los accesorios son:

$$Hr_2 = K \cdot \frac{V_{m\acute{a}x}^2}{2 \cdot g} = 0,9 \cdot \frac{0,961^2}{2 \cdot 9,81} = 0,0423 \text{ m}$$

Donde:

- K = coeficiente de pérdida, adimensional y sacado de la tabla 12 del libro Agüera Soriano de 2002.

Finalmente sumamos ambas pérdidas para obtener la total que tendrá que superar la bomba, además de la variación de cota y el aumento de presión.

$$Hr_{total} = Hr_1 + Hr_2 = 0,507 + 0,0423 = 0,549 \text{ m}$$

2.1.1 Elección de la bomba de captación

Una vez se conoce el caudal que mueve cada bomba y las pérdidas de carga totales, pasamos a calcular la altura manométrica total que tienen que aportar, para ello hay que tener en cuenta que la bomba proporcionará al fluido la diferencia energética entre los estados final e inicial, eso incluye energía cinética, potencial y presión, además de las pérdidas calculadas previamente.

$$Hb_{captación} = \frac{P_s - P_e}{\gamma} + \frac{v_s^2 - v_e^2}{2 \cdot g} + (z_s - z_e) + Hr_{total}$$

Donde:

- P_s = presión después de que el agua pase por la bomba, como habíamos dicho la consideramos 5 bares, que pasado al Sistema Internacional de Unidades son 500.000 Pa.
- P_e = presión del agua de mar que consideramos nula al estar trabajando con presiones manométricas.
- V_s = velocidad del agua después del pase por la bomba, como habíamos calculado antes será 0,961 m/s.
- V_e = velocidad del agua en el pozo de captación, que la consideramos nula porque es el valor más desfavorable, es una buena aproximación y la energía cinética no afecta demasiado al resultado.
- z_s = cota que necesita alcanzar el fluido al salir de la bomba que supondremos 5 m, un valor conservador teniendo en cuenta que la planta estará situada cerca de la orilla.
- z_e = cota a la que se encuentran las bombas sumergibles, que consideramos como - 10 m, es decir, a 10 metros de profundidad.
- Hr_{total} = Pérdidas de carga totales que ya hemos calculado y valen 0,549 m.
- γ = Peso específico del agua en kg/m^2s^2 , que es el producto de la densidad, obtenida ya previamente en el núcleo de desalación, y la gravedad.

$$\gamma = 1027,096 \cdot 9,81 = 10075,81 \text{ kg/m}^2\text{s}^2$$

Ahora que ya tenemos todos los datos pasamos a calcular la altura manométrica y la potencia de cada bomba de captación.

$$Hb_{captación} = \frac{500000 - 0}{10075,81} + \frac{0,961^2 - 0^2}{2 \cdot 9,81} + (5 - (-10)) + 0,549 = 65,22 \text{ m}$$

Resumiendo todo de lo que hemos hablado hasta ahora, tenemos que el punto de operación de cada bomba de captación será:

Bombas de captación	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
	65,22	115,74

Tabla 14. Datos de dimensionado de las bombas de captación

Como ya tenemos el punto de trabajo de la bomba, usamos la aplicación web “KSB EasySelect” en la que introduciendo el uso que se le va a dar a la bomba, el tipo, la temperatura del agua y el punto de trabajo, como se muestra en la siguiente figura, nos proporciona una lista de bombas que cumplan con las condiciones especificadas de la que elegiremos la que más eficiencia tenga, ya que ésta será la que menos potencia consumirá.

User-ID ANONYMOUS

KSB EasySelect®
7.0

lr

Selección de producto

Diseño técnico
 Opciones
 Posición de consi

Aplicación

Segmento	<input checked="" type="checkbox"/> Abastecimiento de agua	*
Aplicación general	<input checked="" type="checkbox"/> Extracción	*
Aplicación	<input checked="" type="checkbox"/> Pozo/bombas de pozo	*

Medio

agua, Agua limpia

Temperatura de trabajo 16,0 °C *

Punto de trabajo

Caudal Q 115,74 m³/h *

Altura de elevación H 65,22 m * €

Ejecución

Frecuencia de red	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz
Tensión de la red	<input checked="" type="checkbox"/> Otras
Selección de la velocidad	<input checked="" type="checkbox"/> Solo revoluciones sincroniza
Adaptación de la velocidad	<input checked="" type="checkbox"/> ninguno
Dimensionamiento del	<input checked="" type="checkbox"/> Punto de trabajo
Reserva de potencia	<input checked="" type="checkbox"/> sin reserva de potencia
Grupo general de material	<input checked="" type="checkbox"/> Otras

Figura 40. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de las bombas de captación

De todas las bombas sumergibles que recomienda la aplicación, elegiremos la de mayor rendimiento, que corresponde a la UPAB 250C-120 con un rendimiento de un 80,28%, sin tener en cuenta el del motor, que consideraremos un 95%.

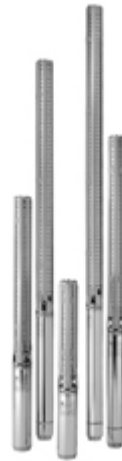


Figura 41. Imagen de una bomba del tipo UPAB

Si usamos la aplicación “Grundfos Webcaps”, en la que hay que establecer la aplicación para la que se usarán las bombas, que será una aplicación industrial y seleccionar el apartado de bombas sumergibles. Una vez hecho esto hay que introducir la altura manométrica que aportará la bomba y el caudal que pasará por cada una como se ve en la siguiente imagen:

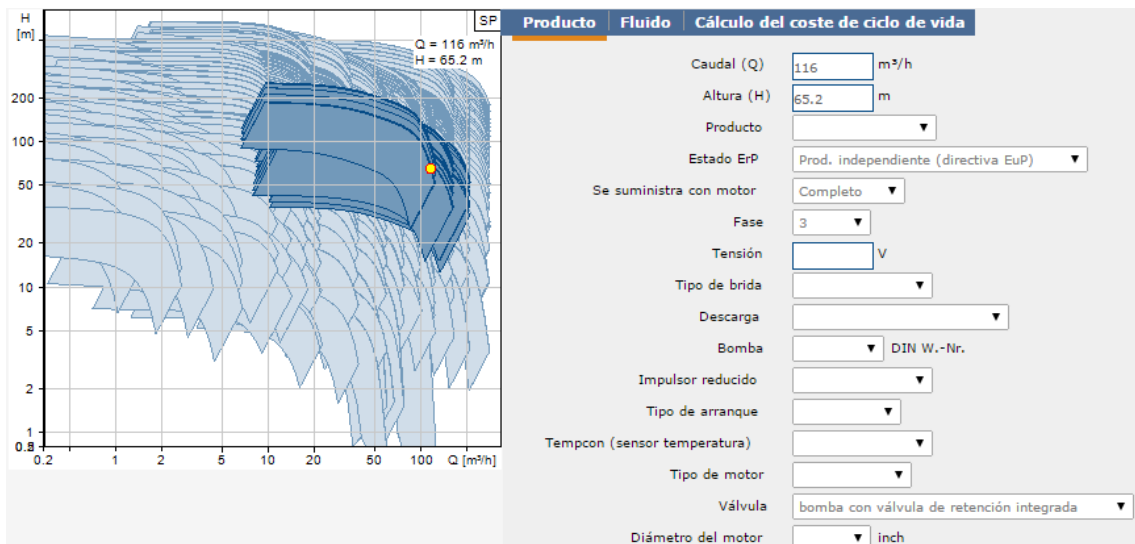


Figura 42. Interfaz de Grundfos Webcaps para nuestros datos de las bombas de captación

De todos los modelos que cumplen para este punto de funcionamiento, el que tiene mayor rendimiento es el SP 160-3N con un 61,6%, aunque hay que tener en cuenta que este valor es combinado de bomba y motor.



Figura 43. Imagen de una bomba del tipo SP

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
SP 160-3N		61,6
UPAB 250C-120	80,28	76,27

Tabla 15. Comparativa de las bombas de captación de distintos fabricantes

Como vemos la bomba con mayor rendimiento es la UPAB 250C-120, siempre y cuando el rendimiento del motor sea mayor de 80% aproximadamente y su punto de funcionamiento obtenido a partir de su curva característica se muestra en la siguiente figura:

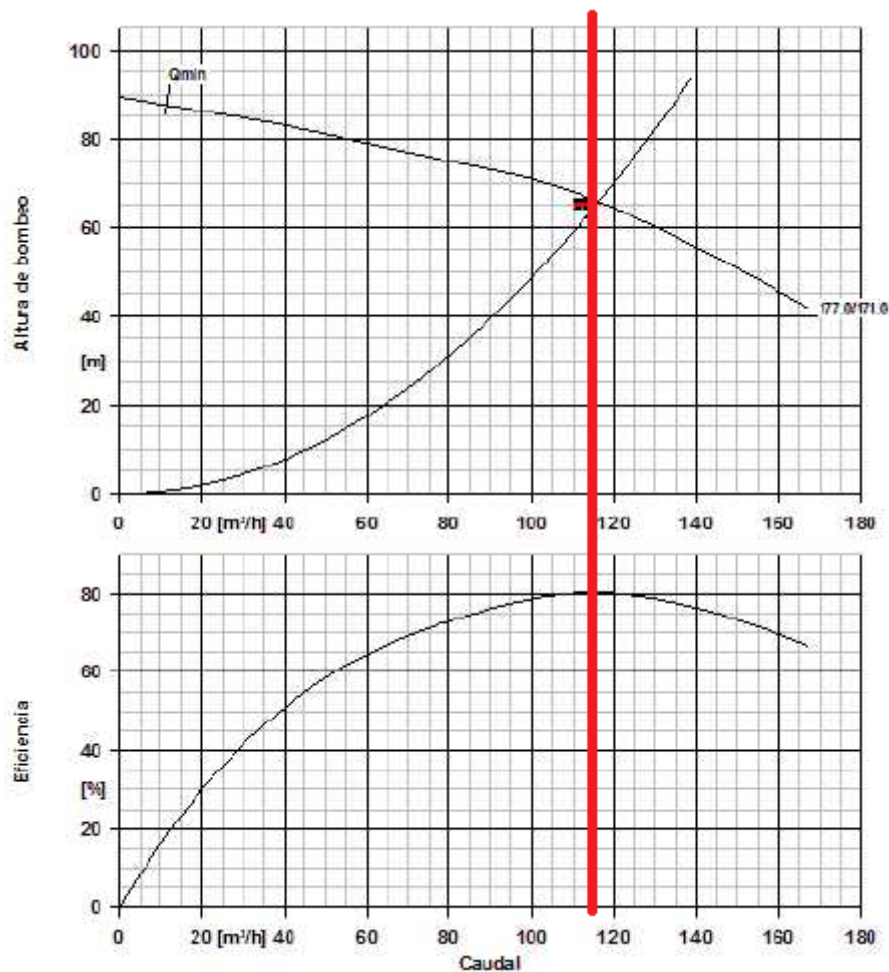


Figura 44. Curva característica de las bombas de captación con el punto de operación

Por último, nos queda calcular la potencia eléctrica que consumen las bombas de captación mediante la siguiente expresión:

$$P_{b_{captación}} = \frac{H_{b_{captación}} \cdot \gamma \cdot Q}{\eta} = \frac{65,22 \cdot 10075,81 \cdot 0,0322}{0,7627} = 27700,66 \text{ W} = 27,7 \text{ kW}$$

$$P_{b_{captación \text{ total}}} = n^{\circ} \text{ bombas de captación} \cdot P_{b_{captación}} = 2 \cdot 27,7 = 55,4 \text{ kW}$$

2.2 Distribución

La distribución del producto se va a realizar con una bomba cuya función es llevar el agua desde las membranas hasta el depósito regulador de nuestra planta desaladora del cual se bombeará al depósito del que se abastece la ciudad de Tarifa.

$$Q_{distribución} = 2500 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora pasamos a calcular las pérdidas de carga en las conducciones que tiene que compensar la bomba, que serán prácticamente despreciables como vimos en la captación ya que la longitud de la tubería es muy pequeña.

Datos:

- Caudal: $2500 \text{ m}^3/\text{día} = 104,17 \text{ m}^3/\text{hora} = 0,0289 \text{ m}^3/\text{s}$
- Longitud: 50 m
- Material de las tuberías: PE (Polietileno).
- Aceleración de la gravedad: $9,81 \text{ m/s}^2$.

Lo que pretendemos calcular son las pérdidas de carga en la tubería de distribución, a diferencia de en la captación consideramos que las pérdidas secundarias son un 10% de las primarias, para posteriormente obtener la altura manométrica que necesita suministrar la bomba de distribución para transportar el agua hasta el depósito regulador. Para calcular el número de Reynolds usamos la siguiente expresión:

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \phi_{int} \cdot \nu}$$

Donde:

- Q = caudal de captación en m^3/s .
- ϕ_{int} = diámetro interior de la tubería en m.
- ν = viscosidad cinemática del agua en m^2/s .

El valor de la viscosidad cinemática del agua lo sacaremos de la tabla 4 del libro Agüera Soriano de 2002 en la que además aparecen otras propiedades físicas del agua a 1 bar de presión. Todas las propiedades varían en función de la temperatura y va a ser necesario interpolar para obtener el valor para nuestra temperatura media de 16°C .

Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (m ² /s)
15	1,14·10 ⁻⁶
20	1,003·10 ⁻⁶
16	1,113·10 ⁻⁶

Tabla 16. Viscosidades cinemáticas del agua a distintas temperaturas

Lo siguiente que vamos a calcular es el diámetro mínimo según el criterio de Bonnet, para lo que sólo nos hace falta el caudal, que lo tenemos, y una vez calculado elegiremos la tubería de PE de un fabricante con el diámetro interior inmediatamente superior y apuntaremos además el valor de rugosidad ya que será necesario para calcular el coeficiente de fricción.

$$\phi_{min} = 0,835 \cdot Q^{\frac{2}{5}} = 0,835 \cdot (0,0289)^{\frac{2}{5}} = 0,202 \text{ m} = 202 \text{ mm}$$

La primera tubería de PE que supera éste diámetro interior mínimo tiene un diámetro nominal o exterior de 225 mm, una presión nominal de 6 bares, que debería ser suficiente ya que habíamos considerado la presión de salida de las membranas como 1 bar, un espesor de la pared de 8,6 mm, resultando en un diámetro interior de 207,8 mm y una rugosidad absoluta de 0,007 mm. Todos estos datos fueron mirados en el catálogo del fabricante de tuberías MASA, en el que además se incluye el precio del metro lineal.

Ahora que tenemos la tubería elegida pasamos a calcular la velocidad máxima recomendada para nuestra tubería según el criterio de Bonnet, que viene dada por la siguiente fórmula:

$$V_{m\acute{a}x} = 2 \cdot \sqrt{\phi_{int}} = 2 \cdot \sqrt{0,2078} = 0,912 \text{ m/s}$$

Como ya tenemos el diámetro interior de la tubería y la viscosidad cinemática calcularemos el número de Reynolds de la forma previamente explicada.

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \phi_{int} \cdot \nu} = \frac{4 \cdot 0,0289}{\pi \cdot 0,2078 \cdot 1,113 \cdot 10^{-6}} = 159349,9$$

Como el número de Reynolds es mayor de 4000 el agua se mueve en régimen turbulento, esto hay que tenerlo en cuenta ya que dependiendo del tipo de régimen y de la rugosidad

relativa de la tubería hay que usar una ecuación u otra para obtener el coeficiente de fricción.

La rugosidad relativa es la relación entre la rugosidad de la tubería y el diámetro interior de esta, es decir:

$$\frac{k}{\phi_{int}} = \frac{0,007}{207,8} = 3,369 \cdot 10^{-5}$$

Donde:

- k = rugosidad absoluta en mm

Una vez que ya tenemos el número de Reynolds y la rugosidad relativa podemos calcular el coeficiente de fricción con la ecuación de Colebrook, para ello hay que suponer un valor inicial que suele considerarse 0,015 y realizar un proceso iterativo hasta obtener el final que cumpla que el error sea menor que cierto valor, en nuestro caso daremos el valor por válido cuando los seis primeros dígitos de iteraciones continuas sean iguales.

$$\frac{1}{\sqrt{f_{n+1}}} = -2 \cdot \log \left(\frac{k}{\phi_{int}} \frac{1}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f_n}} \right)$$

Donde:

- Re = número de Reynolds, adimensional.
- k/ϕ_{int} = rugosidad relativa, adimensional.
- f = coeficiente de fricción, adimensional.
- n = número de la iteración.

N	f_n	f_{n+1}
0	0,015	0,016770
1	0,016770	0,016576
2	0,016576	0,016596
3	0,016596	0,016594
4	0,016594	0,016594

Tabla 17. Valores de coeficientes de fricción en la distribución para cada iteración

Por último, una vez que tenemos el coeficiente de fricción, que como vemos lo consideramos 0,016594, usamos la ecuación de Darcy-Weissback para determinar la altura manométrica correspondiente a las pérdidas de carga en las conducciones.

$$Hr_1 = f \cdot \frac{L}{\phi_{int}} \cdot \frac{V_{m\acute{a}x}^2}{2 \cdot g} = 0,016594 \cdot \frac{50}{0,2078} \cdot \frac{0,912^2}{2 \cdot 9,81} = 0,169 \text{ m}$$

Donde:

- L = longitud de la tubería en m.
- $V_{m\acute{a}x}$ = velocidad del agua en m/s.
- g = aceleración de la gravedad en m/s².

Como ya tenemos las pérdidas de carga debido a las conducciones pasamos a calcular las pérdidas de carga debido a los accesorios que, como ya habíamos dicho las consideraremos el 10% de las primarias:

$$Hr_2 = 0,1 \cdot Hr_1 = 0,1 \cdot 0,169 = 0,0169 \text{ m}$$

Finalmente sumamos ambas pérdidas para obtener la total que tendrá que superar la bomba, además de la variación de cota y el aumento de presión.

$$Hr_{total} = Hr_1 + Hr_2 = 0,169 + 0,0169 = 0,186 \text{ m}$$

2.2.1 Elección de la bomba de distribución

Una vez se conoce el caudal que mueve la bomba y las pérdidas de carga totales, pasamos a calcular la altura manométrica total que tienen que aportar, para ello hay que tener en cuenta que la bomba proporcionará al fluido la diferencia energética entre los estados final e inicial, eso incluye energía cinética, potencial y presión, además de las pérdidas calculadas previamente.

$$Hb_{distribuci\acute{o}n} = \frac{P_s - P_e}{\gamma} + \frac{v_s^2 - v_e^2}{2 \cdot g} + (z_s - z_e) + Hr_{total}$$

Donde:

- P_s = presión después de que el agua pase por la bomba, la consideraremos la misma que la de entrada, 1 bar, por lo que la diferencia entre ambas es 0.
- P_e = presión del agua de mar a la salida de las membranas, que habíamos considerado el valor habitual de 1 bar.
- V_s = velocidad del agua después del pase por la bomba, como habíamos calculado antes será 0,912 m/s.
- V_e = velocidad del agua a la salida de las membranas que consideramos nula ya que además de ser el valor más desfavorable es una aproximación que se ajusta a la realidad.
- z_s = cota que necesita alcanzar el fluido al salir de la bomba que supondremos 10 m, un valor bastante conservador teniendo en cuenta la cercanía del depósito pero así aseguramos que no haya problemas en las conducciones.
- z_e = cota a la que se encuentra la bomba que, como habíamos dicho en los cálculos de captación, supondremos 5 m, la altura máxima a la que podrá encontrarse la planta.
- $H_{r_{total}}$ = Pérdidas de carga totales que ya hemos calculado y valen 0,186 m.
- γ = Peso específico del agua en $\text{kg/m}^2\text{s}^2$, que es el producto de la densidad, que la obtendremos con la aplicación de la Universidad de Michigan, y la gravedad.

Required Data Entry	
Water Temperature in Degrees	C <input type="text" value="16"/> F <input type="text" value="60.8"/>
Water Salinity (TDS)	<input type="text" value="294"/> mg/L or PPM
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Clear Values"/>	
Calculated Results	
Water Density	<input type="text" value="999.199"/> kg/m^3

Figura 45. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba de distribución

$$\gamma = 999,199 \cdot 9,81 = 9802,14 \text{ kg/m}^2\text{s}^2$$

Ahora que ya tenemos todos los datos pasamos a calcular la altura manométrica y la potencia de la bomba de distribución.

$$Hb_{distribución} = \frac{100000 - 100000}{9802,14} + \frac{0,912^2 - 0^2}{2 \cdot 9,81} + 10 - 5 + 0,186 = 5,23 \text{ m}$$

Resumiendo todo de lo que hemos hablado hasta ahora, tenemos que el punto de operación de la bomba será:

Bomba de	Altura manométrica (m)	Caudal (m ³ /h)
distribución	5,23	104,17

Tabla 18. Datos de dimensionado de la bomba de distribución

Como ya tenemos el punto de trabajo de la bomba, usamos la aplicación web “KSB EasySelect” en la que introduciendo el uso que se le va a dar a la bomba, el tipo, la temperatura del agua y el punto de trabajo, como se muestra en la siguiente figura, nos proporciona una lista de bombas que cumplan con las condiciones especificadas de la que elegiremos la que más eficiencia tenga, ya que ésta será la que menos potencia consumirá.

The screenshot shows the KSB EasySelect 7.0 software interface. The main window is titled 'KSB EasySelect® 7.0' and has a user profile 'USER: ANONIMOUS'. The interface is divided into several sections:

- Aplicación:**
 - Segmento: Abastecimiento de agua *
 - Aplicación general: Transporte de agua *
 - Aplicación: Elevador de presión *
- Medio:**
 - agua, Agua limpia
 - Temperatura de trabajo: 16,0 °C *
- Punto de trabajo:**
 - Caudal Q: 104,17 m³/h *
 - Altura de elevación H: 5,23 m *
- Condiciones de funcionamiento:**
 - Altura estática: 0,00 m
 - NPSH disponible: m
 - Presión máxima de: 0,00 bar.r
- Ejecución:**
 - Diseño: Bomba individual 1 x 100% *
 - Tipo de impulsor preferido: Otras *

Figura 46. Interfaz de KSB EasySelect para nuestros datos de la bomba de distribución

De todas las bombas que recomienda la aplicación, elegiremos la de mayor rendimiento, que corresponde a la Etanorm 125-100-200 con un rendimiento de un 83,52%, sin tener en cuenta el del motor, que consideraremos un 95%.



Figura 47. Imagen de una bomba del tipo Etanorm

Modelo	Rendimiento bomba (%)	Rendimiento bomba y motor (%)
Etanorm 125-100-200	83,52	79,34

Tabla 19. Datos de la bomba de distribución elegida

Su punto de funcionamiento obtenido a partir de su curva característica se muestra en la siguiente figura:

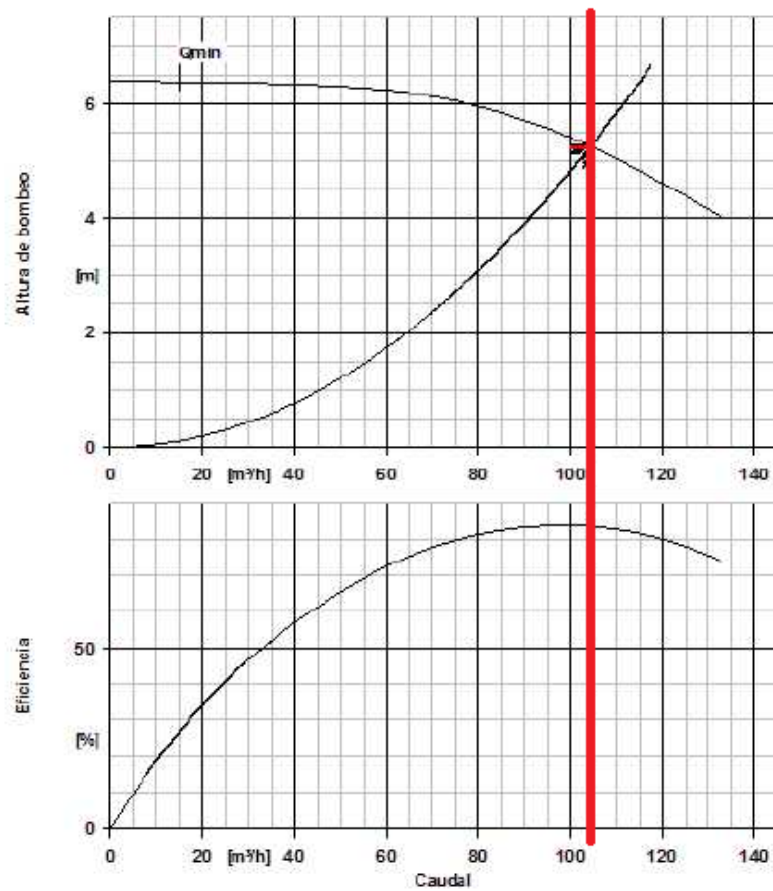


Figura 48. Curva característica de la bomba de distribución con el punto de operación

Por último, nos queda calcular la potencia eléctrica que consume la bomba de distribución mediante la siguiente expresión:

$$P_{b_{distribución}} = \frac{H_{b_{distribución}} \cdot \gamma \cdot Q}{\eta} = \frac{5,23 \cdot 9802,14 \cdot 0,0289}{0,7934} = 1868,98 \text{ W} = 1,87 \text{ kW}$$

2.3 Depósito de producto

En este depósito se va a almacenar el agua potable obtenida tras el proceso de desalación, su función es simplemente de regulación y por lo tanto no se precisa de una gran capacidad, siendo suficiente que cubra la producción de la instalación durante de 2 a 4 horas, este tiempo se considera suficiente para atender contingencias imprevistas en las bombas de impulsión y permitir su reparación sin necesidad de tener que parar la

instalación. Si consideramos un depósito que almacene 4 horas de producto su volumen debe ser el siguiente:

$$V = 2500 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \cdot 4 \text{ horas} = 416,67 m^3 \approx 420 m^3$$

Hay que mencionar que si la desaladora tuviera menos capacidad y se usara como un apoyo para los acuíferos y embalses que proporcionan el agua a Tarifa, sería una mejor opción un depósito más grande porque dada la variación de las tarifas eléctricas a lo largo del día podría almacenar la producción de agua en horas de tarifas altas e impulsarla en las de menor precio.

2.4 Salmuera

La evacuación del rechazo se va a realizar con una bomba cuya función es llevar el agua desde la planta desaladora hasta un lugar del mar suficientemente alejado de donde se produce la captación y además hay que tener en cuenta las corrientes marinas porque no podemos permitir que la captación se zona de captación se contamine.

$$Q_{salmuera} = 2500 \cdot \frac{1 - 0,45}{0,45} = 3055,56 m^3/día$$

Ahora pasamos a calcular las pérdidas de carga en las conducciones que tiene que compensar la bomba.

Datos:

- Caudal: $3055,56 m^3/día = 127,31 m^3/hora = 0,0354 m^3/s$
- Longitud: $2 \text{ km} = 2000 \text{ m}$
- Material de las tuberías: PE (Polietileno).
- Aceleración de la gravedad: $9,81 m/s^2$.

Lo que pretendemos calcular son las pérdidas de carga en la tubería de distribución, a diferencia de en la captación consideramos que las pérdidas secundarias son un 10% de las primarias, para posteriormente obtener la altura manométrica que necesita suministrar la bomba del rechazo para transportar el agua hasta el mar. Para calcular el número de Reynolds usamos la siguiente expresión:

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \phi_{int} \cdot \nu}$$

Donde:

- Q = caudal de captación en m³/s.
- ϕ_{int} = diámetro interior de la tubería en m.
- ν = viscosidad cinemática del agua en m²/s.

El valor de la viscosidad cinemática del agua lo sacaremos de la tabla 4 del libro Agüera Soriano de 2002 en la que además aparecen otras propiedades físicas del agua a 1 bar de presión. Todas las propiedades varían en función de la temperatura y va a ser necesario interpolar para obtener el valor para nuestra temperatura media de 16°C.

Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (m ² /s)
15	1,14 · 10 ⁻⁶
20	1,003 · 10 ⁻⁶
16	1,113 · 10 ⁻⁶

Tabla 20. Viscosidades cinemáticas del agua a distintas temperaturas

Lo siguiente que vamos a calcular es el diámetro mínimo según el criterio de Bonnet, para lo que sólo nos hace falta el caudal, que lo tenemos, y una vez calculado elegiremos la tubería de PE de un fabricante con el diámetro interior inmediatamente superior y apuntaremos además el valor de rugosidad ya que será necesario para calcular el coeficiente de fricción.

$$\phi_{min} = 0,835 \cdot Q^{\frac{2}{5}} = 0,835 \cdot (0,0354)^{\frac{2}{5}} = 0,219 \text{ m} = 219 \text{ mm}$$

La primera tubería de PE que supera éste diámetro interior mínimo tiene un diámetro nominal o exterior de 250 mm, una presión nominal de 6 bares, que debería ser suficiente ya que en el Excel de Energy Recovery aparece que el rechazo abandona los intercambiadores de presión a 2,6 bares, un espesor de la pared de 9,6 mm, resultando en un diámetro interior de 230,8 mm y una rugosidad absoluta de 0,007 mm. Como podemos observar, es la misma que utilizamos en la captación, por lo que las de repuesto servirán tanto para captación como para la evacuación del rechazo.

Ahora que tenemos la tubería elegida pasamos a calcular la velocidad máxima recomendada para nuestra tubería según el criterio de Bonnet, que viene dada por la siguiente fórmula:

$$V_{m\acute{a}x} = 2 \cdot \sqrt{\phi_{int}} = 2 \cdot \sqrt{0,2308} = 0,961 \text{ m/s}$$

Como ya tenemos el diámetro interior de la tubería y la viscosidad cinemática calcularemos el número de Reynolds de la forma previamente explicada.

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \phi_{int} \cdot \nu} = \frac{4 \cdot 0,0354}{\pi \cdot 0,2308 \cdot 1,113 \cdot 10^{-6}} = 175352,39$$

Como el número de Reynolds es mayor de 4000 el agua se mueve en régimen turbulento, esto hay que tenerlo en cuenta ya que dependiendo del tipo de régimen y de la rugosidad relativa de la tubería hay que usar una ecuación u otra para obtener el coeficiente de fricción.

La rugosidad relativa es la relación entre la rugosidad de la tubería y el diámetro interior de esta, es decir:

$$\frac{k}{\phi_{int}} = \frac{0,007}{230,8} = 3,033 \cdot 10^{-5}$$

Donde:

- k = rugosidad absoluta en mm

Una vez que ya tenemos el número de Reynolds y la rugosidad relativa podemos calcular el coeficiente de fricción con la ecuación de Colebrook, para ello hay que suponer un valor inicial que suele considerarse 0,015 y realizar un proceso iterativo hasta obtener el final que cumpla que el error sea menor que cierto valor, en nuestro caso daremos el valor por válido cuando los seis primeros dígitos de iteraciones continuas sean iguales.

$$\frac{1}{\sqrt{f_{n+1}}} = -2 \cdot \log \left(\frac{k}{3,7 \phi_{int}} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f_n}} \right)$$

Donde:

- Re = número de Reynolds, adimensional.
- k/ϕ_{int} = rugosidad relativa, adimensional.
- f = coeficiente de fricción, adimensional.
- n = número de la iteración.

n	f_n	f_{n+1}
0	0,015	0,016413
1	0,016413	0,016260
2	0,016260	0,016276
3	0,016276	0,016274
4	0,016274	0,016274

Tabla 21. Valores de coeficientes de fricción en el rechazo para cada iteración

Por último, una vez que tenemos el coeficiente de fricción, que como vemos lo consideramos 0,016274, usamos la ecuación de Darcy-Weissback para determinar la altura manométrica correspondiente a las pérdidas de carga en las conducciones.

$$Hr_1 = f \cdot \frac{L}{\phi_{int}} \cdot \frac{V_{m\acute{a}x}^2}{2 \cdot g} = 0,016274 \cdot \frac{2000}{0,2308} \cdot \frac{0,961^2}{2 \cdot 9,81} = 6,636 \text{ m}$$

Donde:

- L = longitud de la tubería en m.
- $V_{m\acute{a}x}$ = velocidad del agua en m/s.
- g = aceleración de la gravedad en m/s^2 .

Como ya tenemos las pérdidas de carga debido a las conducciones pasamos a calcular las pérdidas de carga debido a los accesorios que, como ya habíamos dicho las consideraremos el 10% de las primarias:

$$Hr_2 = 0,1 \cdot Hr_1 = 0,1 \cdot 6,636 = 0,6636 \text{ m}$$

Finalmente sumamos ambas pérdidas para obtener la total que tendrá que superar la bomba, además de la variación de cota y el aumento de presión.

$$Hr_{total} = Hr_1 + Hr_2 = 6,636 + 0,6636 = 7,3 \text{ m}$$

2.4.1 Elección de la bomba de la salmuera

Una vez se conoce el caudal que mueve la bomba y las pérdidas de carga totales, pasamos a calcular la altura manométrica total que tienen que aportar, para ello hay que tener en cuenta que la bomba proporcionará al fluido la diferencia energética entre los estados final e inicial, eso incluye energía cinética, potencial y presión, además de las pérdidas calculadas previamente.

$$Hb_{salmuera} = \frac{P_s - P_e}{\gamma} + \frac{v_s^2 - v_e^2}{2 \cdot g} + (z_s - z_e) + Hr_{total}$$

Donde:

- P_s = presión del rechazo al llegar al mar que supondremos como 1 bar, se podría considerar nula pero podría haber problemas en las conducciones
- P_e = presión del rechazo a la salida del intercambiador de presión que en el Excel de Energy Recovery nos indica que es 2,6 bares.
- V_s = velocidad del agua después del pase por la bomba, como habíamos calculado antes será 0,961 m/s.
- V_e = velocidad del agua a la salida de las membranas que consideramos nula ya que además de ser el valor más desfavorable es una aproximación que se ajusta a la realidad.
- z_s = cota que necesita alcanzar el fluido al salir de la bomba que supondremos 0 m ya que la tubería va a parar al mar.
- z_e = cota a la que se encuentra la bomba que, como habíamos dicho en los cálculos de captación y distribución, supondremos 5 m, la altura máxima a la que podrá encontrarse la planta.
- Hr_{total} = Pérdidas de carga totales que ya hemos calculado y valen 7,3 m.
- γ = Peso específico del agua en $\text{kg/m}^2\text{s}^2$, que es el producto de la densidad, que la obtendremos con la aplicación de la Universidad de Michigan, y la gravedad.

Required Data Entry	
Water Temperature in Degrees	C <input type="text" value="16"/> F <input type="text" value="60.8"/>
Water Salinity (TDS)	<input type="text" value="66515"/> mg/L or PPM
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Clear Values"/>	
Calculated Results	
Water Density	<input type="text" value="1050.251"/> kg/m ³

Figura 49. Interfaz de Water Density Calculator: densidad del agua que circula por la bomba de salmuera

$$\gamma = 1050,251 \cdot 9,81 = 10302,96 \text{ kg/m}^2\text{s}^2$$

Ahora que ya tenemos todos los datos pasamos a calcular la altura manométrica y la potencia de la bomba de distribución.

$$Hb_{distribución} = \frac{100000 - 260000}{10302,96} + \frac{0,961^2 - 0^2}{2 \cdot 9,81} + 0 - 5 + 7,3 = -13,18 \text{ m}$$

Como vemos no es necesario utilizar una bomba para la salmuera, con la presión que tiene a la salida del intercambiador de presión y la cota, es suficiente para llevarlo a dos kilómetros de distancia y, de hecho, todavía podría ser más larga, el problema es que a tal profundidad la tubería no aguantaría la presión del agua que tiene encima, por lo que habrá que reducirlo a unos 300 metros a lo máximo.

Para saber hacia qué dirección habría que mandar la salmuera para que la corriente no la traiga de vuelta a la captación, contaminándola, hay que ver un mapa con las corrientes marinas del mar mediterráneo, concretamente encontramos uno animado hecho por la NASA en el que se ve que en esa zona el agua va en dirección hacia el este, por lo tanto el rechazo será necesario verterlo al este de la posición de los pozos de captación y preferiblemente a unos 300 metros de estos para estar lo más seguro posible.

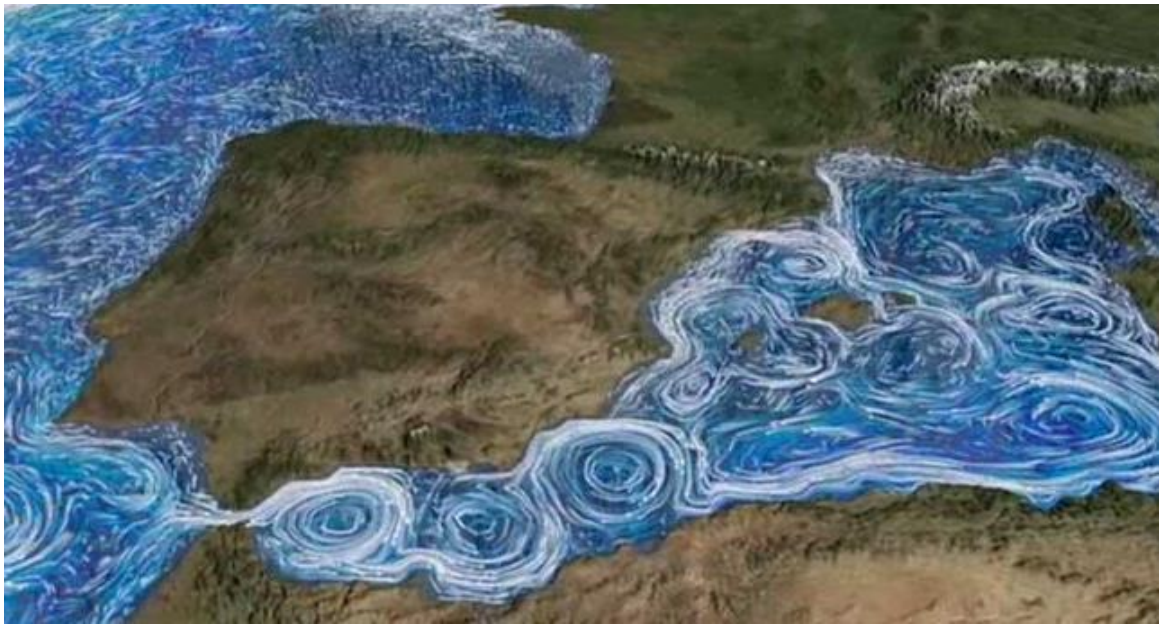


Figura 50. Imagen de las corrientes marinas del mar mediterráneo

ANEXO III

CÁLCULOS

ENERGÉTICOS

3. Cálculos energéticos

3.1 Consumo energético y coste

Una vez que hemos elegido todos los equipos y calculadas todas las potencias eléctricas que consumirán pasamos a calcular el consumo específico, hay que recordar que el consumo específico que obtengamos es el máximo, es decir, que sin importar las condiciones de temperatura del agua o edad de las membranas siempre será menor ya que elegimos el máximo valor de presión de entrada a las membranas y el menor de presión de rechazo, condiciones que no pueden cumplirse a la vez. En la siguiente tabla se recogen todas las potencias necesarias por los equipos:

Equipo	Potencia (kW)
Bombas de captación	55,4
Bomba de alta presión	246,42
Bomba booster	47,92
Bomba de distribución	1,87
Total	351,61

Tabla 22. Potencias eléctricas consumidas por los equipos y el total

Una vez que tenemos las potencias de los equipos ya podemos calcular el consumo específico sabiendo que es la relación entre la potencia eléctrica consumida y la capacidad de la planta. El consumo específico tiende a medirse en kWh/m³ por lo que habrá que expresar la capacidad en m³/hora.

$$\text{Consumo específico} = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Capacidad}}$$

Equipo	Consumo específico (kWh/m ³)
Bombas de captación	0,532
Bomba de alta presión	2,366
Bomba booster	0,460
Bomba de distribución	0,018
Total	3,375

Tabla 23. Consumo específico de los equipos y el total de la planta

Ahora que tenemos el consumo específico ya podemos calcular tanto el coste de cada m³ de producto así como el coste anual energético, para ello supondremos, al igual que en el apartado de elección de la configuración de membranas, una disponibilidad del 90%, años de 365 días y un precio de 0,08 €/kWh.

$$\text{Coste del m}^3 = \text{Consumo específico} \cdot \text{Precio energía}$$

$$\text{Coste energético anual} = \text{Coste del m}^3 \cdot \text{Disponibilidad} \cdot \text{Capacidad}$$

Equipo	Coste del m ³ (€/m ³)	Coste energético anual (€)
Bombas de captación	0,0425	34464,06
Bomba de alta presión	0,1892	153290,76
Bomba booster	0,0368	29812,61
Bomba de distribución	0,0014	1162,65
Total	0,27	218730,09

Tabla 24. Coste del consumo energético anual de la planta y de cada equipo que la conforma

3.2 Elección del aerogenerador

Como ya tenemos la potencia máxima que consumirá la planta desaladora, lo siguiente que tenemos que hacer es buscar modelos de aerogeneradores de distintos fabricantes que cumplan sus necesidades energéticas o que, en su defecto, cubran la mayor parte de estas. Como la potencia máxima que consume nuestra planta desaladora es de aproximadamente 350 kW, consideraremos sólo aquellos aerogeneradores que produzcan entre 300 y 600 kW. Dentro de una lista de aproximadamente 160 fabricantes de aerogeneradores de todo el mundo únicamente los siguientes modelos cumplían con las condiciones establecidas:

- S52-600 kW (Suzlon, India)
- Windflow 500 (Windflow, Nueva Zelanda)
- WTN 500 (Wind Technik Nord, Alemania)
- T400-34 (Turbowinds, Bélgica)
- Norwin 47-ASR-500 kW (Norwin, Dinamarca)
- AW 500 kW (Aeronautica Windpower, Estados Unidos)

- DW52/54 – 500kW (EWT, Países bajos)

Que haya tan pocos modelos que produzcan entre 300 y 600 kW se debe a que la mayoría de las empresas optan por fabricar aerogeneradores más grandes que produzcan entre 1 y 5 MW. Lo siguiente que tenemos que hacer es elegir uno de estos modelos, en teoría en condiciones normales optaríamos por el más económico, siempre y cuando todos los fabricantes tengan una buena reputación, pero como la mayoría de estas no dan información acerca del precio seguiremos otro criterio, buscaremos las empresas con mayor cuota de mercado para tomar la decisión.

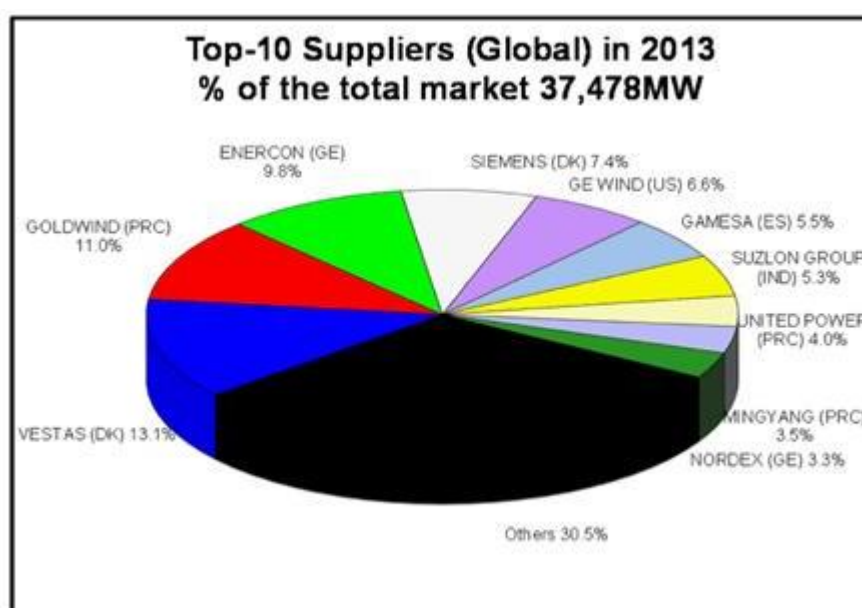


Figura 51. Fabricantes de aerogeneradores con las mayores cuotas de mercado

Como podemos observar la única empresa con una de las mayores cuotas de mercado en lo que respecta a la fabricación de aerogeneradores y que además fabrica uno de los de la lista es Suzlon Group, una empresa de la India que se centra en la producción de energía eólica que es el mayor fabricante de turbinas eólicas de Asia y en términos de valor neto es la compañía eólica líder del mundo. Por lo tanto concluimos que elegiremos el modelo S52 de 600 kW fabricado por Suzlon Group, la potencia que genera es algo mayor de la que necesita nuestra planta desaladora pero la energía podrá usarse con otros fines o incluso servir en caso de que en el futuro se haga una ampliación de esta ya que con el crecimiento de población de la ciudad tarde o temprano podría acabar obsoleta.

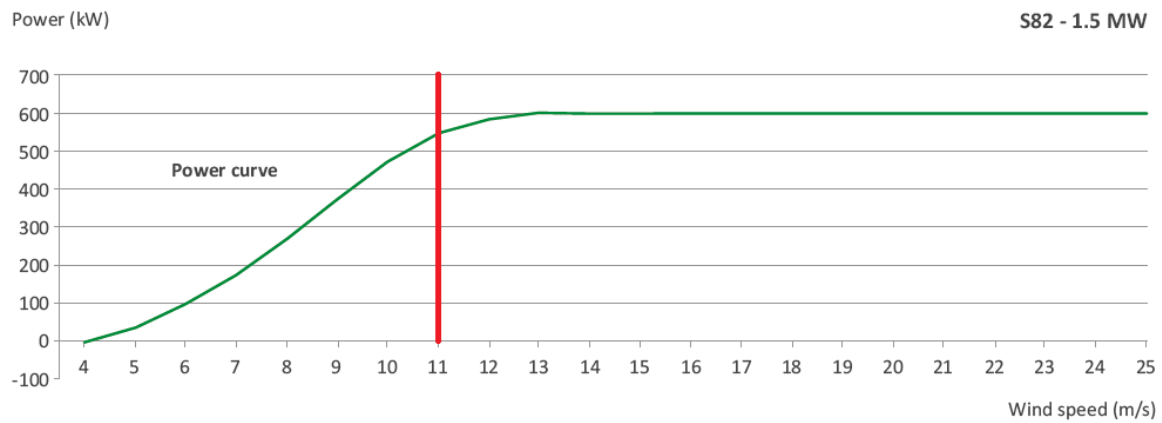


Figura 52. Curva de potencia del aerogenerador elegido

Como vemos para un viento con una velocidad de 11 m/s, que era la velocidad del viento donde situamos nuestra planta obtenemos una potencia de 550 kW aproximadamente según la curva de potencia que nos proporciona el fabricante, que es más de lo que necesitábamos, por lo que damos el resultado por bueno.

ANEXO IV

RESULTADOS DEL

Q+ PROJECTION

SOFTWARE

4. Resultados del Q+ Projection Software

En este anexo se recogerán los resultados de las simulaciones del software de nuestro fabricante de membranas a partir de los que se hicieron las gráficas de los apartados del anexo 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3. Hay que mencionar que aunque el rendimiento de la bomba de alta presión supuesto es distinto al real de la bomba elegida, esto sólo afectará al consumo específico, que se calculó manualmente una vez ya se habían elegido todos los componentes de la planta.

4.1 Resultados variando la temperatura del agua

Como vimos en la memoria, la temperatura del agua en Tarifa puede variar desde los 11,4 °C hasta los 22,9 °C, por lo que las simulaciones irán desde los 11 °C hasta los 23 °C.

NanoH₂O Q1 Projection Software V2.1	Aug 4 10:41:07 2015	
Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1**System - Pass 1**

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 11.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 15.98 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.35 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 26.94 bar	Feed Pressure: 58.97 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 48.92 bar	Permeate TDS: 89.87 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,500	3,056	58.97	58.10	0.88	0.00	1.00	13.29	89.87

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00		
Sodium	11,185	11,643	21,142	31.96		
Potassium	478.36	497.93	903.96	1.61		
Magnesium	1,356	1,411	2,565	0.93		
Calcium	471.35	490.64	891.75	0.32		
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.00		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.44	0.00		
Chloride	20,515	21,354	38,780	53.13		
Sulfate	2,496	2,588	4,704	0.65		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	3.02	3.14	5.71	0.00		
Bicarbonate	203.57	211.89	384.66	0.72		
Boron	4.78	4.98	8.25	0.54		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,715	38,217	69,402	89.87		
pH	7.90	7.90	7.89	6.81		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Decaborsa Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 12.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 15.43 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.34 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.03 bar	Feed Pressure: 58.59 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.10 bar	Permeate TDS: 95.64 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,500	3,056	58.59	57.72	0.87	0.00	1.00	13.29	95.64

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,185	11,643	21,144	34.02
Potassium	478.36	497.93	904.04	1.71
Magnesium	1,356	1,411	2,566	0.99
Calcium	471.35	490.64	891.89	0.34
Strontium	7.38	7.68	13.96	0.00
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.44	0.00
Chloride	20,515	21,354	38,784	56.55
Sulfate	2,486	2,588	4,705	0.69
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.09	3.21	5.84	0.00
Bicarbonate	203.57	211.90	384.69	0.76
Boron	4.78	4.98	8.23	0.57
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,409	95.64
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V2.1	Aug 4 10:41:15 2015	
Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1**System - Pass 1**

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 13.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 14.90 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.32 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.13 bar	Feed Pressure: 58.21 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.25 bar	Permeate TDS: 101.78 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,056	58.21	57.34	0.87	0.00	1.00	13.29	101.78

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00		
Sodium	11,185	11,643	21,135	36.20		
Potassium	478.36	497.93	903.63	1.82		
Magnesium	1,356	1,411	2,565	1.06		
Calcium	471.36	490.64	891.56	0.36		
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01		
Chloride	20,515	21,354	38,767	60.18		
Sulfate	2,496	2,588	4,703	0.74		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	3.16	3.29	5.98	0.00		
Bicarbonate	203.57	211.90	384.51	0.81		
Boron	4.78	4.98	8.20	0.59		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,715	38,217	69,380	101.78		
pH	7.90	7.90	7.89	6.81		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Decaborsa Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 14.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 14.40 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.31 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.22 bar	Feed Pressure: 57.90 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.44 bar	Permeate TDS: 108.24 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,501	3,055	57.90	57.04	0.87	0.00	1.00	13.29	108.24

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,185	11,643	21,144	38.50
Potassium	478.36	497.93	904.02	1.93
Magnesium	1,356	1,412	2,566	1.13
Calcium	471.36	490.64	892.02	0.39
Strontium	7.38	7.68	13.96	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.44	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,784	64.00
Sulfate	2,486	2,588	4,706	0.78
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.23	3.37	6.12	0.00
Bicarbonate	203.57	211.89	384.67	0.86
Boron	4.78	4.98	8.19	0.62
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,412	108.24
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V2.1	Aug 4 04:10:00 2015	
Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1**System - Pass 1**

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 15.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.92 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.30 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.32 bar	Feed Pressure: 57.59 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.61 bar	Permeate TDS: 115.09 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,501	3,055	57.59	56.73	0.87	0.00	1.00	13.29	115.09

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,138	40.95		
Potassium	478.36	497.93	903.76	2.06		
Magnesium	1,356	1,412	2,566	1.20		
Calcium	471.36	490.64	891.85	0.41		
Strontium	7.38	7.68	13.96	0.01		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01		
Chloride	20,514	21,354	38,774	68.07		
Sulfate	2,486	2,588	4,705	0.83		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	3.31	3.45	6.26	0.00		
Bicarbonate	203.56	211.89	384.54	0.92		
Boron	4.78	4.98	8.16	0.65		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,715	38,217	69,394	115.09		
pH	7.90	7.90	7.89	6.81		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V20.1	Aug 9 04:10:17 2015	
Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1**System - Pass 1**

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.35 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.35

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,125	43.54
Potassium	478.37	497.93	903.17	2.19
Magnesium	1,356	1,412	2,564	1.27
Calcium	471.36	490.64	891.35	0.44
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,749	72.37
Sulfate	2,486	2,588	4,702	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.39	3.53	6.41	0.00
Bicarbonate	203.55	211.88	384.27	0.98
Boron	4.78	4.98	8.13	0.68
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,351	122.35
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V20.1 Aug 9 04:16:26 2015

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 17.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.01 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.51 bar	Feed Pressure: 57.04 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.94 bar	Permeate TDS: 129.98 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,500	3,055	57.04	56.18	0.86	0.00	1.00	13.29	129.98

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00		
Sodium	11,186	11,643	21,134	46.25		
Potassium	478.37	497.94	903.55	2.32		
Magnesium	1,356	1,412	2,566	1.35		
Calcium	471.36	490.64	891.81	0.46		
Strontium	7.38	7.68	13.96	0.01		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01		
Chloride	20,514	21,354	38,766	76.88		
Sulfate	2,486	2,588	4,705	0.94		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	3.47	3.61	6.56	0.00		
Bicarbonate	203.54	211.86	384.41	1.04		
Boron	4.78	4.97	8.11	0.71		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,715	38,217	69,382	129.98		
pH	7.90	7.90	7.89	6.81		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V2.1	May 9 9:54:16 AM 2015	
Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 18.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 12.58 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.27 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.60 bar	Feed Pressure: 56.80 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 50.10 bar	Permeate TDS: 138.06 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,500	3,056	56.80	55.94	0.86	0.00	1.00	13.29	138.06

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,128	49.14
Potassium	478.37	497.94	903.27	2.47
Magnesium	1,356	1,412	2,565	1.44
Calcium	471.36	490.65	891.63	0.49
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,353	38,755	81.68
Sulfate	2,486	2,588	4,704	1.00
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.55	3.69	6.71	0.00
Bicarbonate	203.52	211.85	384.26	1.10
Boron	4.78	4.97	8.09	0.74
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,363	138.06
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com



CGI Engineering Software
V20.1

July 9, 2016 09:20:15

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factors: 1.00
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 19.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 12.17 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.26 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.70 bar	Feed Pressure: 56.56 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 50.25 bar	Permeate TDS: 146.61 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	56.56	55.71	0.85	0.00	1.00	13.28	146.61

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,118	52.18
Potassium	478.37	497.94	902.83	2.62
Magnesium	1,356	1,412	2,564	1.53
Calcium	471.36	490.65	891.29	0.52
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,353	38,737	86.74
Sulfate	2,496	2,588	4,702	1.06
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.63	3.78	6.87	0.00
Bicarbonate	203.51	211.83	384.03	1.17
Boron	4.78	4.97	8.06	0.77
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,331	146.61
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH2O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH2O Design. Further, LG NanoH2O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH2O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V20.1	May 9, 2023 10:15	
Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 11.79 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.25 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.79 bar	Feed Pressure: 56.39 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 50.44 bar	Permeate TDS: 155.58 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,500	3,056	56.39	55.54	0.85	0.00	1.00	13.29	155.58

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,127	55.38
Potassium	478.37	497.94	903.18	2.78
Magnesium	1,356	1,412	2,565	1.62
Calcium	471.37	490.65	891.74	0.56
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,353	38,754	92.06
Sulfate	2,486	2,588	4,705	1.13
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.72	3.87	7.03	0.00
Bicarbonate	203.48	211.81	384.14	1.24
Boron	4.78	4.97	8.04	0.80
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,361	155.58
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software Ver. 1.1 (July 9, 2014) © 2013

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
User Name: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 22.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 11.06 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.24 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.98 bar	Feed Pressure: 56.04 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 50.78 bar	Permeate TDS: 175.06 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,501	3,055	56.04	55.20	0.84	0.00	1.00	13.29	175.06

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00		
Sodium	11,186	11,643	21,125	62.32		
Potassium	478.37	497.94	903.06	3.13		
Magnesium	1,356	1,412	2,566	1.82		
Calcium	471.37	490.65	891.85	0.63		
Strontium	7.38	7.68	13.96	0.01		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01		
Chloride	20,514	21,353	38,751	103.59		
Sulfate	2,486	2,588	4,705	1.27		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	3.89	4.05	7.37	0.00		
Bicarbonate	203.43	211.76	383.98	1.40		
Boron	4.78	4.97	7.99	0.86		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,715	38,217	69,358	175.06		
pH	7.90	7.90	7.89	6.81		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

4.2 Resultados variando el pH del agua

Lo siguiente que haremos será variar el valor del pH del agua, a falta de un rango de valores para nuestra zona, haremos simulaciones para todos los valores de pH que puede tener el agua de mar que, por lo que hemos encontrado, puede valer de 7,1 a 8,4.

Project Name: Decaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
User Name: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,214 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.40 bar	Feed Pressure: 57.27 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.73 bar	Permeate TDS: 122.37 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.27	56.40	0.86	0.00	1.00	13.28	122.37

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,182	11,639	21,118	43.52		
Potassium	478.20	497.76	902.86	2.18		
Magnesium	1,356	1,411	2,563	1.27		
Calcium	471.20	490.47	891.04	0.44		
Strontium	7.37	7.67	13.94	0.01		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01		
Chloride	20,521	21,361	38,763	72.39		
Sulfate	2,487	2,589	4,704	0.89		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	0.49	0.51	0.93	0.00		
Bicarbonate	185.93	193.54	351.02	0.89		
Boron	4.78	4.98	8.05	0.78		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,713	38,214	69,318	122.37		
pH	7.10	7.10	7.09	6.01		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,215 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.40 bar	Feed Pressure: 57.27 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.73 bar	Permeate TDS: 122.38 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.27	56.41	0.86	0.00	1.00	13.28	122.38

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,182	11,640	21,119	43.52
Potassium	478.23	497.79	902.92	2.18
Magnesium	1,356	1,411	2,564	1.27
Calcium	471.23	490.50	891.10	0.44
Strontium	7.37	7.68	13.94	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,520	21,360	38,760	72.39
Sulfate	2,487	2,589	4,704	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	0.63	0.66	1.20	0.00
Bicarbonate	190.43	198.22	359.51	0.91
Boron	4.78	4.98	8.06	0.77
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,714	38,215	69,326	122.38
pH	7.20	7.20	7.19	6.11

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V2.1.1 (Aug 4 10:47:22 2015)

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,215 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.40 bar	Feed Pressure: 57.27 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.74 bar	Permeate TDS: 122.39 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.27	56.41	0.86	0.00	1.00	13.28	122.39

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,183	11,640	21,120	43.53
Potassium	478.26	497.82	902.97	2.19
Magnesium	1,356	1,411	2,564	1.27
Calcium	471.25	490.53	891.15	0.44
Strontium	7.37	7.68	13.94	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,519	21,358	38,758	72.38
Sulfate	2,487	2,588	4,703	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	0.81	0.84	1.53	0.00
Bicarbonate	194.10	202.04	366.44	0.93
Boron	4.78	4.98	8.06	0.76
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,714	38,215	69,332	122.39
pH	7.30	7.30	7.29	6.21

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O LG Projection Software V20.1 May 9 10:42:00 2015

Project Name: Decaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,216 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.74 bar	Permeate TDS: 122.40 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.41	0.86	0.00	1.00	13.28	122.40

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,184	11,641	21,121	43.53
Potassium	478.28	497.85	903.01	2.19
Magnesium	1,356	1,411	2,564	1.27
Calcium	471.28	490.55	891.19	0.44
Strontium	7.37	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,518	21,357	38,756	72.38
Sulfate	2,487	2,588	4,703	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	1.04	1.08	1.96	0.00
Bicarbonate	197.05	205.11	372.00	0.94
Boron	4.78	4.98	8.07	0.76
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,216	69,337	122.40
pH	7.40	7.40	7.39	6.31

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V20.1 Aug 4 10:20:20 2015

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,216 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.74 bar	Permeate TDS: 122.40 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.40

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,184	11,642	21,122	43.53
Potassium	478.30	497.87	903.05	2.19
Magnesium	1,356	1,411	2,564	1.27
Calcium	471.30	490.58	891.23	0.44
Strontium	7.37	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,517	21,356	38,755	72.38
Sulfate	2,496	2,588	4,703	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	1.32	1.37	2.50	0.00
Bicarbonate	199.36	207.51	376.36	0.96
Boron	4.78	4.98	8.08	0.75
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,216	69,341	122.40
pH	7.50	7.50	7.49	6.41

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O LG Projection Software V20.1 May 9 10:07:47 2015

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.39 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.39

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,184	11,642	21,123	43.53
Potassium	478.32	497.88	903.08	2.19
Magnesium	1,356	1,411	2,564	1.27
Calcium	471.31	490.59	891.26	0.44
Strontium	7.37	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,516	21,356	38,753	72.37
Sulfate	2,486	2,588	4,703	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	1.68	1.75	3.17	0.00
Bicarbonate	201.10	209.33	379.65	0.96
Boron	4.78	4.98	8.09	0.73
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,345	122.39
pH	7.60	7.60	7.59	6.51

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software Ver. 1.1 (Aug 9, 10) / © 1999-2015

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1**System - Pass 1**

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.38 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.38

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,185	11,642	21,124	43.53
Potassium	478.33	497.90	903.11	2.19
Magnesium	1,356	1,411	2,564	1.27
Calcium	471.33	490.61	891.29	0.44
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,516	21,355	38,752	72.37
Sulfate	2,496	2,588	4,703	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	2.12	2.21	4.02	0.00
Bicarbonate	202.35	210.63	382.02	0.97
Boron	4.78	4.98	8.10	0.72
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,347	122.38
pH	7.70	7.70	7.69	6.61

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.37 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.37

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,185	11,643	21,124	43.54
Potassium	478.35	497.92	903.14	2.19
Magnesium	1,356	1,411	2,564	1.27
Calcium	471.34	490.63	891.32	0.44
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,515	21,354	38,751	72.37
Sulfate	2,486	2,588	4,703	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	2.69	2.80	5.08	0.00
Bicarbonate	203.16	211.47	383.54	0.97
Boron	4.78	4.98	8.11	0.70
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,349	122.37
pH	7.80	7.80	7.79	6.71

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.35 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.35

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00		
Sodium	11,186	11,643	21,125	43.54		
Potassium	478.37	497.93	903.17	2.19		
Magnesium	1,356	1,412	2,564	1.27		
Calcium	471.36	490.64	891.35	0.44		
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01		
Chloride	20,514	21,354	38,749	72.37		
Sulfate	2,496	2,588	4,702	0.89		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	3.39	3.53	6.41	0.00		
Bicarbonate	203.55	211.88	384.27	0.98		
Boron	4.78	4.98	8.13	0.68		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,715	38,217	69,351	122.35		
pH	7.90	7.90	7.89	6.81		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.33 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.33

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,644	21,126	43.54
Potassium	478.38	497.95	903.20	2.19
Magnesium	1,356	1,412	2,564	1.27
Calcium	471.38	490.66	891.38	0.44
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,353	38,748	72.37
Sulfate	2,486	2,588	4,702	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	4.26	4.44	8.07	0.00
Bicarbonate	203.54	211.87	384.26	0.98
Boron	4.78	4.97	8.15	0.65
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,352	122.33
pH	8.00	8.00	7.99	6.91

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V2.1.1 Aug 4 10:00:00 2015

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.30 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.30

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,644	21,126	43.54
Potassium	478.40	497.97	903.24	2.19
Magnesium	1,356	1,412	2,564	1.27
Calcium	471.39	490.68	891.41	0.44
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,513	21,352	38,747	72.37
Sulfate	2,496	2,588	4,702	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	5.36	5.58	10.13	0.00
Bicarbonate	203.14	211.45	383.49	0.97
Boron	4.78	4.97	8.18	0.62
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,353	122.30
pH	8.10	8.10	8.09	7.01

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Desaladora Tonto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,216 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.27 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.27

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,187	11,644	21,127	43.54
Potassium	478.42	497.99	903.27	2.19
Magnesium	1,356	1,412	2,565	1.27
Calcium	471.41	490.70	891.45	0.44
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,512	21,351	38,745	72.38
Sulfate	2,486	2,588	4,702	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	6.72	6.99	12.71	0.00
Bicarbonate	202.31	210.59	381.94	0.97
Boron	4.78	4.97	8.20	0.59
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,216	69,353	122.27
pH	8.20	8.20	8.19	7.11

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software Ver. 1.1 Aug 4 10:00:07 2015

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,216 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.23 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.23

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate		Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,187	11,645	21,128	43.54		
Potassium	478.44	498.01	903.31	2.19		
Magnesium	1,356	1,412	2,565	1.27		
Calcium	471.43	490.72	891.49	0.43		
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01		
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00		
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01		
Chloride	20,511	21,350	38,744	72.38		
Sulfate	2,486	2,587	4,702	0.89		
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00		
Carbonate	8.40	8.75	15.90	0.00		
Bicarbonate	201.05	209.27	379.55	0.96		
Boron	4.78	4.97	8.23	0.55		
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00		
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00		
TDS	36,714	38,216	69,353	122.23		
pH	8.30	8.30	8.29	7.21		

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

4.3 Resultados variando la edad de la membrana

Como vimos en el anexo I, la vida útil de nuestra configuración de membranas es de 5 años ya que a partir de ese punto el agua producto deja de contener una cantidad permitida de boro, según el Real Decreto 140/2003, es por esto por lo que las simulaciones se harán de 0 a 5 años.

NanoH₂O Q1 Projection Software Ver. 1.1 Aug 9 16:49:00 2015

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 0
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1**System - Pass 1**

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 13.44 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.28 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 57.28 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.75 bar	Permeate TDS: 122.35 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 1

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,057	57.28	56.42	0.86	0.00	1.00	13.28	122.35

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,125	43.54
Potassium	478.37	497.93	903.17	2.19
Magnesium	1,356	1,412	2,564	1.27
Calcium	471.36	490.64	891.35	0.44
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,749	72.37
Sulfate	2,496	2,588	4,702	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.39	3.53	6.41	0.00
Bicarbonate	203.55	211.88	384.27	0.98
Boron	4.78	4.98	8.13	0.68
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,351	122.35
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Decoladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 1
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 14.39 bar
Concentrate Flow: 3,055 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.31 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 58.04 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.77 bar	Permeate TDS: 133.95 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 0.93

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,500	3,055	58.04	57.17	0.87	0.00	1.00	13.29	133.95

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,133	47.67
Potassium	478.37	497.93	903.49	2.40
Magnesium	1,356	1,412	2,566	1.39
Calcium	471.36	490.64	891.79	0.48
Strontium	7.38	7.68	13.96	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,765	79.23
Sulfate	2,486	2,588	4,705	0.97
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.39	3.53	6.41	0.00
Bicarbonate	203.55	211.88	384.40	1.07
Boron	4.78	4.98	8.09	0.73
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,378	133.95
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software (v.1.1) Aug 9 16:49:03 2015

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 2
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 l/mh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 15.45 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.35 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 58.87 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.71 bar	Permeate TDS: 146.71 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,497	3,058	58.87	58.00	0.87	0.00	1.00	13.28	146.71

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,110	52.20
Potassium	478.37	497.93	902.50	2.62
Magnesium	1,356	1,412	2,563	1.53
Calcium	471.36	490.64	890.96	0.52
Strontium	7.38	7.68	13.94	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,724	86.78
Sulfate	2,496	2,588	4,701	1.06
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.39	3.53	6.40	0.00
Bicarbonate	203.55	211.88	383.98	1.17
Boron	4.78	4.98	8.04	0.79
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,306	146.71
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software V2.1	May 9, 2019 10:00 AM
Project Name: Desaladora Tonto Company Name: ULL User name: Eduardo Andrés Gómez	Water Type: Seawater-Well Flux Loss per Year: 7.00 % Approved By: ULL
	Membrane Age: 3 Safety Factor: 1.05 Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 16.53 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.38 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 59.77 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.71 bar	Permeate TDS: 160.69 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 0.8

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,498	3,058	59.77	58.89	0.88	0.00	1.00	13.28	160.69

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,106	57.19
Potassium	478.37	497.93	902.29	2.87
Magnesium	1,356	1,412	2,563	1.67
Calcium	471.36	490.64	890.92	0.57
Strontium	7.38	7.68	13.94	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,717	95.06
Sulfate	2,486	2,588	4,701	1.16
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.39	3.53	6.40	0.00
Bicarbonate	203.55	211.88	383.89	1.28
Boron	4.78	4.98	7.99	0.85
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,295	160.69
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

NanoH₂O Q1 Projection Software July 9, 2019 10:26:20 AM

Project Name: Desaladora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 4
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.00
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 17.57 bar
Concentrate Flow: 3,056 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.42 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 60.66 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.73 bar	Permeate TDS: 176.04 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 0.75

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,499	3,056	60.66	59.78	0.88	0.00	1.00	13.29	176.04

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,113	62.66
Potassium	478.37	497.93	902.55	3.15
Magnesium	1,356	1,412	2,564	1.83
Calcium	471.36	490.64	891.35	0.63
Strontium	7.38	7.68	13.95	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,730	104.16
Sulfate	2,496	2,588	4,703	1.28
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.39	3.53	6.41	0.00
Bicarbonate	203.55	211.88	383.99	1.40
Boron	4.78	4.98	7.94	0.92
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,319	176.04
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

Project Name: Decabolora Tinto	Water Type: Seawater-Well	Membrane Age: 3
Company Name: ULL	Flux Loss per Year: 7.00 %	Safety Factor: 1.05
Username: Eduardo Andrés Gómez	Approved By: ULL	Salt Passage Increase: 10.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 2,500 m ³ /d	Average Flux: 13.29 lmh	Temperature: 16.00 °C
RO Feed Flow: 5,556 m ³ /d	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 18.76 bar
Concentrate Flow: 3,055 m ³ /d	Feed TDS: 38,217 ppm	Specific Energy: 2.45 kWh/m ³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 27.41 bar	Feed Pressure: 61.69 bar
Number Of Elements: 192	Osmotic Pressure Concentrate: 49.74 bar	Permeate TDS: 192.84 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 75.00 %	Fouling Factor: 0.7

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	32	6	5,556	2,501	3,055	61.69	60.81	0.89	0.00	1.00	13.29	192.84

Water Analysis - Pass 1

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentra Stage 1	Permeate Stage 1
Ammonium	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodium	11,186	11,643	21,119	68.64
Potassium	478.37	497.93	902.78	3.45
Magnesium	1,356	1,412	2,566	2.01
Calcium	471.36	490.64	891.78	0.69
Strontium	7.38	7.68	13.96	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0.00
Fluoride	1.29	1.34	2.43	0.01
Chloride	20,514	21,354	38,743	114.10
Sulfate	2,486	2,588	4,705	1.40
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	3.39	3.53	6.41	0.00
Bicarbonate	203.55	211.88	384.09	1.54
Boron	4.78	4.98	7.89	0.98
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	36,715	38,217	69,343	192.84
pH	7.90	7.90	7.89	6.81

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. The projections and specific energy calculations obtained with LG NanoH₂O Design are the expected system performance measures based upon the average, nominal element-performance and are not automatically guaranteed. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using LG NanoH₂O Design. Further, LG NanoH₂O does not assume any obligation or liability for results obtained or from damages incurred from information produced by LG NanoH₂O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@nanoh2o.com

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Planos

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN MEDIANTE ENERGÍA
EÓLICA

AUTOR

Eduardo Andrés Gómez

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

Índice

1. Planos	5
1.1 Plano nº 1: Situación.....	7
1.2 Plano nº 2: Emplazamiento.....	8

1. Planos

En este documento se recogen los planos de la situación y el emplazamiento de la planta desaladora así como los pozos de captación y el aerogenerador que alimentará ésta. Los dos planos estarán en formato de papel A3 y plegados de acuerdo a la norma UNE 1027:1995.

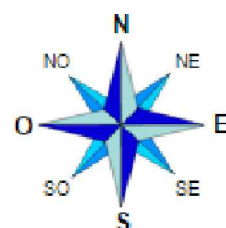
- Plano nº 1: Situación
- Plano nº 2: Emplazamiento



Tarifa



Cádiz



Andalucía



España

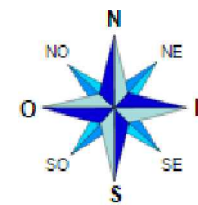
Estudio de un sistema de desalación mediante energía eólica			
Autor			E.S.I.C.I. Grado Ingeniería Mecánica Industrial Universidad de La Laguna
Dibujado	EDUARDO ANDRÉS GÓMEZ		
Fecha	09/2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: S/E	SITUACIÓN		Nº PLANO : 1



E 1:10000



E 1:3000



Estudio de un sistema de desalación alimentado mediante energía eólica			
	Autor		E.S.I.C.I. Grado Ingeniería Mecánica Industrial Universidad de La Laguna
Dibujado	EDUARDO ANDRÉS GÓMEZ		
Fecha	09/2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	EMPLAZAMIENTO		Nº PLANO : 2
ESCALA:			