



Universidad
Politécnica
de Cartagena

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas

Diseño de una instalación desalinizadora de agua de mar ubicada en Motril, Granada.

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Autor: Antonio Carlos García Sánchez
Director: Francisco Javier Pérez de la Cruz

2022

Índice general

Documento 1. Memoria descriptiva y anejos

Documento 2. Planos

Documento 3. Pliego de preinscripciones técnicas

Documento 4. Presupuesto



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA**

**DOCUMENTO Nº1
MEMORIA DESCRIPTIVA**





Índice de contenidos

1. Introducción	6
1.1. Los recursos hídricos en el mundo	6
1.2. El agua y la desalinización en España	7
1.2.1. Situación actual de Motril	8
2. Objeto del proyecto	9
3. Ubicación del proyecto	10
4. Tecnología de desalación.....	12
5. Solución adoptada	14
5.1. Demanda urbana	14
5.2. Demanda agrícola.....	15
5.3. Demanda de la ganadería	15
5.4. Demanda industrial.....	15
5.5. Demanda total.....	16
6. Descripción de los equipos y las diferentes fases de proyecto.....	18
6.1. Captación de agua de mar	18
6.2. Pretratamiento químico	19
6.3. Pretratamiento físico	21
6.4. Alimentación de los bastidores de ósmosis inversa	24
6.5. Sistema de ósmosis inversa	27
6.6. Remineralización del agua desalada	29
6.7. Almacenamiento y bombeo del agua producto.....	29
6.8. Evacuación de la salmuera	30
7. Estudio de impacto ambiental	32
8. Estudio de Seguridad y Salud	33
9. Resumen del presupuesto	34
10. Plazo de ejecución de las obras	35
11. Bibliografía y recursos en red consultados.....	36
11.1. Bibliografía	36
11.2. Recursos en red	36



Índice de figuras

Figura 1.1. Localización de las principales plantas desaladoras en España (Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).	7
Figura 3.1. Localización del proyecto en el sudeste de la Península Ibérica. (Fuente: Google Earth).....	10
Figura 3.2. Localización del núcleo urbano Motril, de la IDAM Motril y de la autovía A-7 (Fuente: Google Earth).....	11
Figura 4.1. Descripción del fenómeno de la ósmosis inversa en tres pasos (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).	12
Figura 4.2. Descripción del funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa (Fuente: sefiltra). ..	13
Figura 6.1. Buque especial draga para el acondicionamiento del fondo marino (Fuente: driza.me)	18
Figura 6.2. Filtro de arena horizontal (Fuente: Calplas)	22
Figura 6.4. Esquema del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia)	24
Figura 6.5. Bomba de alta presión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: SULZER)	25
Figura 6.6. Bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)	26
Figura 6.7. Bastidores de ósmosis inversa (Fuente: TecnoAgua).....	27
Figura 6.8. Esquema de funcionamiento de los intercambiadores de presión ERI (Fuente: ERI).....	28
Figura 6.9. Bomba Booster modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos).....	30
Figura 6.10. Esquema del sistema de evacuación de salmuera (Fuente: www.CLA-VAL.com).....	31
Figura 6.11. Válvula de retención pico de pato deslizante modelo RF-DVO (Fuente: www.CLA-VAL.com).	31



Índice de tablas

Tabla 5.1: consumo total de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	16
Tabla 5.2: demanda total en el año horizonte de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	16
Tabla 6.1. Características de la bomba utilizada en el bombeo de impulsión (Fuente: Grundfos)	19
Tabla 6.2. Características de la dosificación de hipoclorito de sodio (Fuente: elaboración propia)	19
Tabla 6.3. Características de la dosificación de cloruro férrico (Fuente: elaboración propia)	20
Tabla 6.4. Características de la dosificación de ácido sulfúrico (Fuente: elaboración propia)	20
Tabla 6.5. Características de la dosificación de bisulfito de sodio (Fuente: elaboración propia)	20
Tabla 6.6. Características de la dosificación de antiescalante (Fuente: elaboración propia)	21
Tabla 6.7. Características del sistema de filtros de arena (Fuente: Calplas)	21
Tabla 6.8. Condiciones del flujo en situación de todos los filtros de arena en pleno funcionamiento y situación de mantenimiento (Fuente: Elaboración propia).	23
Tabla 6.9. Características del lavado con agua y almacenamiento de la salmuera (Fuente: Elaboración propia).	23
Tabla 6.10. Condiciones del flujo en situación de todos los filtros de cartucho en pleno funcionamiento y situación de mantenimiento (Fuente: Elaboración propia).	24
Figura 6.4. Esquema del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia)	24
Tabla 6.11. Características del sistema de alimentación de los bastidores de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)	25
Tabla 6.12. Características del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)	25
Tabla 6.13. Características de la bomba de alta presión (Fuente: Sulzer)	26
Tabla 6.14. Características de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Elaboración propia).	26
Tabla 6.15. Características del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia)	27
Tabla 6.16. Configuración de los bastidores del sistema de ósmosis inversa (Fuente: Dupont).	27
Tabla 6.17. Consumo específico del sistema de ósmosis inversa con el recuperador de energía PX-Q300 para los distintos casos simulados (Fuente: ERI)	28
Tabla 6.18. Características recomendadas para las aguas desaladas con un nivel adecuado de remineralización (Fuente: Hernández-Suárez, 2010)	29
Tabla 6.19. Características de la bomba de impulsión del agua producto (Fuente: Grundfos).	30





1. Introducción

1.1. Los recursos hídricos en el mundo

El agua es un recurso natural que se encuentra repartido por todo el planeta en distintas formas. El 97,5% de todo el agua terrestre se encuentra en los mares y océanos, por lo que la gran mayoría del agua no es apta para su consumo debido a su alta salinidad.

El 2,5% del agua restante es agua dulce; sin embargo, únicamente el 1% del agua dulce es aprovechable por el ser humano ya que el 30% del agua dulce se encuentra como humedad del suelo y el 69% restante está congelada en los polos y en las altas montañas.

El escaso volumen de agua dulce disponible para el consumo humano hace que, a lo largo de la historia, se hayan buscado diferentes métodos para transformar el agua salada en agua dulce.

A pesar de que se tienen referencias de la desalación que se remontan a la antigüedad, se comenzó a desarrollar la desalación de agua en plantas a media y gran escala en el siglo XX, especialmente en la década de 1930 con la utilización de evaporadores MED.

Durante los años 1940 se realizaron ensayos para desalar agua con evaporadores de compresión de vapor, comenzando a utilizarse evaporadores MSF en la década siguiente. Además, en el año 1957 Silver y Frankel patentaron un módulo MSF con un elevado número de etapas; sin embargo, hasta 1960 no se construyó la primera planta desalinizadora con esta tecnología.

Ahora bien, todos estos métodos al ser procesos térmicos suponían un elevado coste energético y, además, la producción no era demasiado elevada. Por esto, la desalinización no estaba muy implantada y desarrollada.

El gran auge de la desalinización ocurre con el desarrollo de la ósmosis inversa. Los primeros referencias de esta técnica aparecen en 1925 con la comercialización de las primeras membranas por parte de la empresa Sartorius. La primera prueba de desalar agua por este método se dio en 1953 en la Universidad de Florida por Charles E. Reid.

A partir del descubrimiento de las membranas de acetato de celulosa, se empezaron a construir las primeras plantas piloto de desalación por ósmosis inversa en torno al año 1962 en Estados Unidos; sin embargo, hasta 1978 no se construyó ninguna gran planta de este tipo (Jedda, Arabia Saudí con una producción de 12.000 m³/día).

La desalinización supone un método de obtener agua potable que está desarrollado por todo el mundo, especialmente por Oriente próximo y el Norte de África. Se han construido más de 20.000 instalaciones y tiene una capacidad total de más de 200 millones de m³ al día.

Actualmente, muchos países se están enfrentando a una gran escasez de recursos hídricos, por lo que la desalación de agua supone una solución para paliar estos efectos. Sin embargo, el elevado coste de los procesos de desalinización hace que esta técnica se relegue a un segundo plano en aquellos territorios donde se puede acceder a agua dulce por otras vías.

1.2. El agua y la desalinización en España

España es el país más meridional de todo el continente europeo y es el que más está sufriendo los efectos del cambio climático con ejemplos como la desertificación o las sequías. El sureste peninsular supone el lugar más seco de toda Europa y cada vez es más difícil disponer de los recursos hídricos necesarios para desarrollar cualquier tipo de actividad industrial.

En contraposición a esta falta de agua, el sureste peninsular supone uno de los mayores exportadores de frutas y verduras del mundo, una actividad que requiere un gran volumen de agua para su desarrollo.

Es por esto por lo que la desalinización puede ejercer un gran papel en la lucha contra el cambio climático y mantener la economía de comunidades como Andalucía o la Región de Murcia.

En España la desalinización constituye una fuente alternativa de agua desde hace más de 40 años. La primera instalación desaladora de agua de mar se construyó en las Islas Canarias, en Lanzarote en el año 1964 con una producción de 2.500 m³ al día. Actualmente hay un total de 765 plantas desaladoras (360 desaladoras de agua de mar y 405 desaladoras de agua salobre).

Aunque las Islas Canarias representan una de las comunidades autónomas con un mayor número de instalaciones desaladoras de agua, el resto se reparten principalmente por la costa mediterráneo, tal y como se muestra en la figura 1.1.

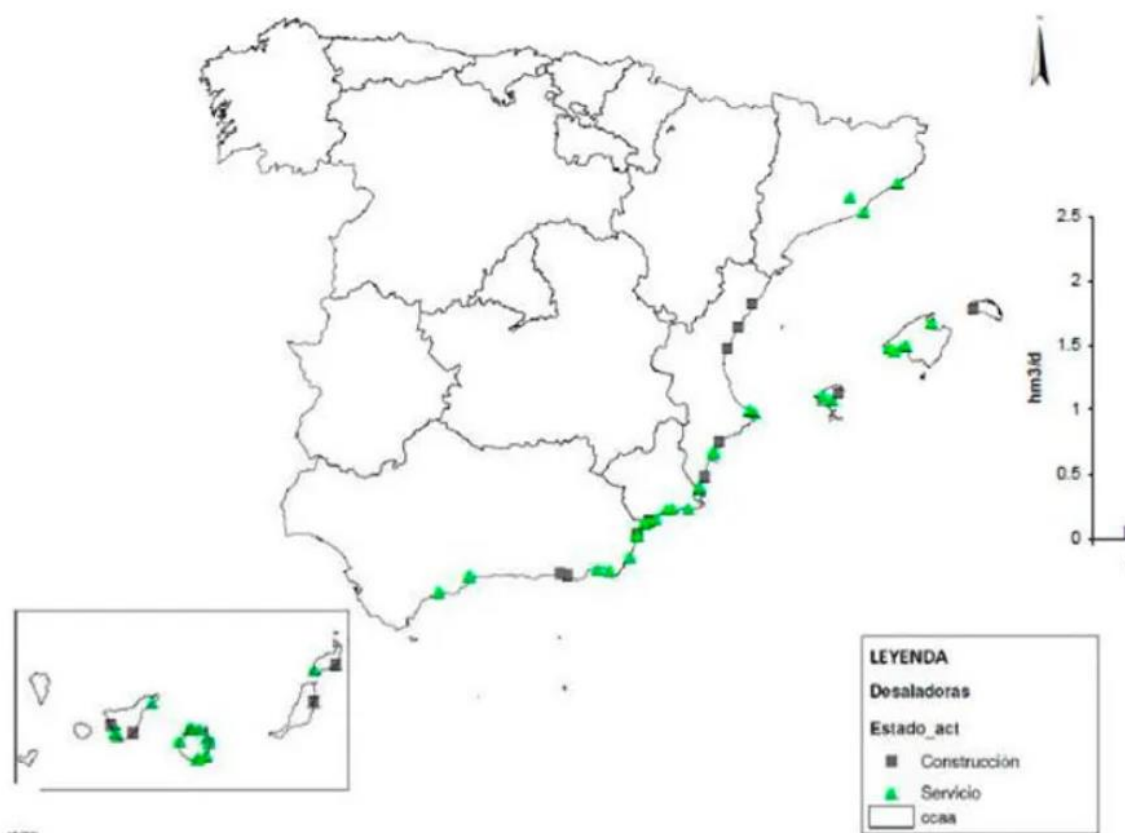


Figura 1.1: localización de las principales plantas desaladoras en España (Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).



1.2.1. Situación actual de Motril

El abastecimiento actual de Motril se lleva a cabo principalmente por dos vías: el 40% del agua captada procede de fuentes de agua superficiales (Río Guadalfeo) mientras que el 60% restante vendría de fuentes de agua subterráneas (Acuífero Detrítico del Delta del Río Guadalfeo).

El Acuífero Detrítico del Delta del Río Guadalfeo es de gran tamaño y con muchos recursos hídricos disponibles. No obstante, la sobreexplotación y el bombeo excesivo podría agravar el fenómeno de intrusión marina.

La intrusión salina es un fenómeno por el cual los acuíferos se conectan con el agua del mar, fluyendo el agua salada hacia el interior del subsuelo y mezclándose con el agua del acuífero. De este modo, el agua del acuífero se contaminaría y dejaría de ser funcional.

Por este motivo, es recomendable reducir el volumen de agua que se extrae anualmente de los acuíferos, buscando otras fuentes de agua.

Por otro lado, el agua que se extrae del Río Guadalfeo viene determinada por el caudal ecológico de dicho cauce, siendo el volumen del agua extraído el máximo posible para permitir cumplir con el caudal ecológico.

Tanto la situación de la intrusión marina en los acuíferos como el mantenimiento del caudal ecológico en el río Guadalfeo, hace necesario paliar estas deficiencias de los sistemas de captación de agua. Por tanto, es recomendable reducir el volumen de agua que se extrae anualmente del subsuelo y mantener el caudal ecológico del Río Guadalfeo.

Para poder mantener el caudal ecológico se va a imponer la condición de captar superficialmente del Río Guadalfeo un máximo de 30.000 m³/día, una cifra muy similar al agua captada por esta vía en 2018. Según la distribución del caudal extraído en función del tipo de captación (tabla 1.13), en el año 2043, superficialmente se debería extraer 36.000 m³/día, siendo esta cantidad superior al máximo extraíble.

Respecto al agua del acuífero, se prevé que en el año 2043 un total de 54.000 m³/día sean extraídos por vía subterránea. Para paliar los efectos de los bombeos en la intrusión salina, se reducirá al 50% la cantidad de agua que se obtiene del subsuelo.



2. Objeto del proyecto

El objetivo del presente proyecto consiste en el dimensionamiento de una instalación desalinizadora de agua de mar para la población de Motril. Esta planta debe garantizar el abastecimiento de agua para suplir las demandas de la población, de la agricultura, de la ganadería y de la industria.

Con esta planta se pretende aportar una nueva fuente de abastecimiento a Motril y paliar los efectos del cambio climático que se están observando en la disminución de los cauces superficiales.

Se estudiarán las características mecánicas de la planta; sin embargo, el proyecto se centrará en la línea de agua, desde la captación del agua de mar, el pretratamiento, el proceso de desalación, la distribución del producto y la evacuación del rechazo de salmuera.

Además, se plantea optimizar todos los procesos que se producen en la planta con el fin de reducir los costes económicos y limitar el posible impacto ambiental derivado de la operación de desalación.

3. Ubicación del proyecto

El proyecto se ubicará en Motril, un municipio del sureste de la Península Ibérica que pertenece a la Costa Tropical. El municipio está situado en la provincia de Granada a unos 50 kilómetros de la capital.

La costa de Granada está influenciada por la protección de la sierra de Lújar en el norte que frena los vientos fríos de Sierra Nevada. Por el Sur se encuentra el cálido mar de Alborán que sirve de regulador térmico.

Se ha escogido para la ubicación del proyecto un espacio muy cerca de la línea de costa bañada por el Mar Mediterráneo que cumple con las dimensiones necesarias para ubicar la parcela.

Al Norte de la localización se encuentran diversas parcelas cuyo uso principal es la agricultura mientras que al Sur, en la línea de playa cercana a la planta, se encuentra un club de surf y un restaurante que operan mayoritariamente en la época estival.

Además, al Oeste de la ubicación se encuentran tres urbanizaciones residenciales, la Urbanización Mayfosol, la Urbanización El Molino de Playa y la Urbanización Mare Nostrum; sin embargo, están lo suficientemente alejadas de la planta como para ocasionar algún impacto negativo sobre los habitantes.



Figura 3.1: localización del proyecto en el sudeste de la Península Ibérica. (Fuente: Google Earth)

La importancia de situar la instalación cerca de la línea de mar radica en facilitar las obras de los sistemas de captación de agua de mar y emisión de salmuera, haciendo que dichas construcciones sean lo más baratas posibles.

Se debe tener en cuenta que el entorno submarino más próximo no cuenta con especies tanto de flora como de fauna que estén protegidas. De este modo, se facilitará el vertido de la salmuera de rechazo al entorno marino.

En la costa tampoco se encuentran zonas protegidas que vayan a impedir la construcción o la adopción de medidas extraordinarias, más allá de las medidas de impacto ambiental y social que se adopten de forma ordinaria.

La ubicación en cuestión está muy bien comunicada tanto por transporte marítimo como por tierra. La parcela se encuentra conectada con la carretera GR-16 que da acceso desde la autovía A-7.

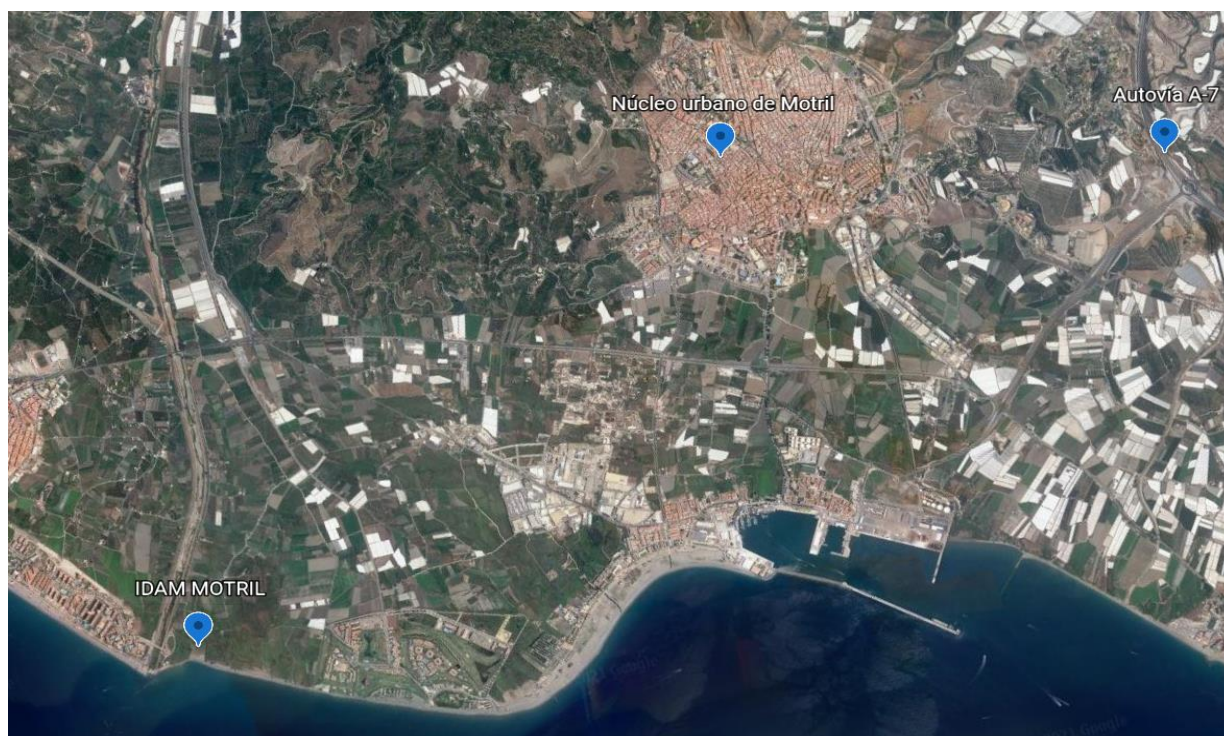


Figura 3.2: localización del núcleo urbano Motril, de la IDAM Motril y de la autovía A-7 (Fuente: Google Earth).

4. Tecnología de desalación

En la actualidad existen numerosas tecnologías de desalinización bien desarrolladas; sin embargo, se ha seleccionado la ósmosis inversa como el método de desalinización debido a que presenta un gran número de ventajas frente a los otros métodos.

La ósmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales donde se busca el equilibrio de dos fluidos en contacto con diferentes concentraciones de sólidos disueltos los cuales se mezclarán hasta igualar las concentraciones de dichos sólidos.

Si se disponen dos fluidos con distintas concentraciones de sales en contacto, pero separados mediante una membrana semipermeable, es decir, una membrana que solo permite el paso de uno de los constituyentes, el solvente (agua) del compartimento menos concentrado pasaría al otro compartimento para equilibrar las concentraciones generando una diferencia de altura en ambos compartimentos llamada presión osmótica.

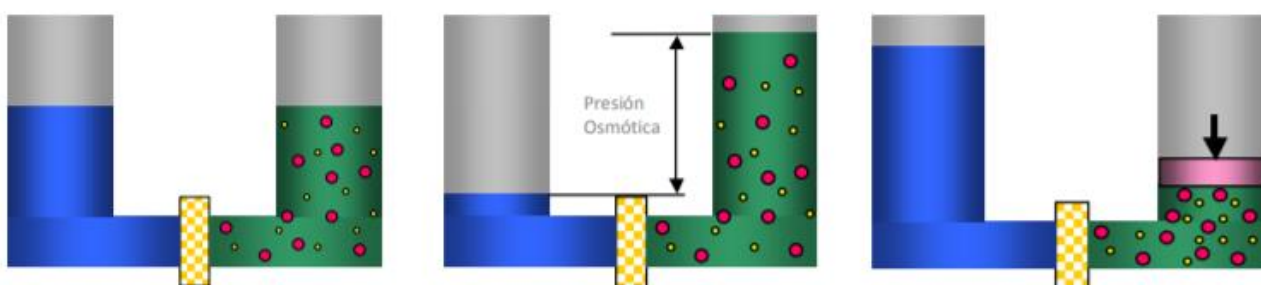


Figura 4.1: Descripción del fenómeno de la ósmosis inversa en tres pasos (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).

Para realizar la desalinización se lleva a cabo un proceso contrario al de ósmosis descrito anteriormente. Aplicando una presión externa superior a la presión osmótica mediante una bomba, se consigue hacer pasar el agua libre de sales a través de la membrana hacia otro compartimento.

Tanto la solución que atraviesa la membrana (agua producto) como la que es rechazada (salmuera) se evacúan de manera continua en sus distintos compartimentos.

El elemento básico de un sistema de ósmosis inversa son las membranas semipermeables dispuestas en una serie de tubos de presión que conforman los distintos bastidores.

El agua circula tangencialmente a la membrana desde un extremo del tubo de presión, de forma que el agua de alimentación traspasa la membrana hacia el colector del permeado y el rechazo cargado de sales sale por el otro extremo del tubo de presión.

Ahora bien, una planta con un método de desalinización de ósmosis inversa requiere una serie de operaciones previas y posteriores para poder trabajar del mejor modo posible.

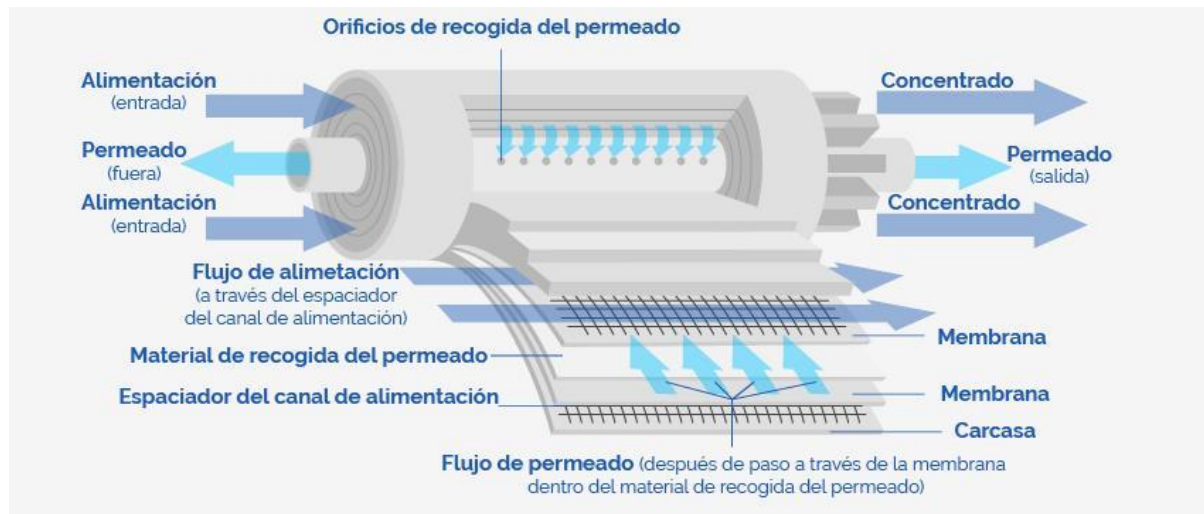


Figura 4.2: descripción del funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa (Fuente: sefiltra).

Las membranas de ósmosis son muy delicadas, es decir, el agua a tratar debe estar lo suficientemente libre de una serie de elementos para que las membranas no se dañen. Para poder realizar esta limpieza, el agua se hace pasar por un sistema de pretratamiento.

El pretratamiento es la operación previa al sistema de ósmosis inversa cuyo objetivo es proteger y dar durabilidad a las membranas. Un sistema con un pretratamiento insuficiente podrá suponer un gran número de problemas en la producción.

Este pretratamiento está compuesto por procesos físicos y procesos químicos. Los primeros consisten en eliminar del agua partículas que pueden ser separadas mediante una barrera física, mientras que los segundos se basan en reducir los riesgos químicos y biológicos mediante la adición de reactivos.

Por otro lado, se encuentra el bombeo de alta presión. Como se ha visto anteriormente, para poder realizar el proceso de desalinización es necesario suministrar al agua de alimentación una gran presión superior a la presión osmótica.

El suministro de esta presión se consigue mediante las bombas de alta presión y es el punto donde se produce un mayor consumo energético.

Finalmente, una operación posterior al proceso de desalación es la remineralización, una operación que consiste en dotar al agua producto de la dureza y alcalinidad necesarias para cumplir los criterios sanitarios relativos a calidad del agua.



5. Solución adoptada

La planta se ha proyectado para suplir las necesidades de agua potable de la población, tanto de la población turística como de la permanente.

Por otro lado, el abastecimiento de la población no es el único uso que va a tener el agua una vez desalinizada, sino que se encuentran otros usos como son la agricultura, la ganadería y la industria.

En definitiva, el proyecto se va a ejecutar para satisfacer la demanda de agua en un horizonte de 25 años, para suplir las necesidades de todos estos grupos demandantes en la actualidad y en el futuro, teniendo en cuenta los posibles crecimientos urbanísticos, agrícolas, ganaderos e industriales.

Para obtener las demandas de los distintos usos del agua se emplearán los datos recopilados en el Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. A partir de este documento, se conocerán los datos de las demandas actuales que se emplearán para estimar las demandas correspondientes al año horizonte 2045.

Ahora bien, la zona en cuestión ya dispone de un suministro de agua potable por lo que será necesario estudiar las fuentes de agua actuales para conocer cuáles son las necesidades que ha de suplir la planta desalinizadora que se proyecta.

5.1. Demanda urbana

El consumo urbano se debe principalmente al abastecimiento de la población; sin embargo, también se incluye la industria conectada (industria con escaso consumo de agua que no requiere de un abastecimiento propio) los comercios y las Instituciones públicas y, por último, las pérdidas del sistema de distribución.

La población de Motril a abastecer se puede dividir en dos grandes grupos. Por un lado, se encuentra la población permanente, es decir, los habitantes empadronados en la localidad y, por otro lado, la población estacional, aquellas personas que en unas épocas determinadas y con motivos turísticos se hospedan en Motril.

Los datos acerca de la población estacional y permanente se han extraído del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas andaluzas. Se partirá de una población estacional en el año 2018 de 21.592 habitantes y una población permanente en dicho año de 107.611 habitantes.

La dotación para la población permanente es de 180 L/Hab/día, mientras que la correspondiente a la población estacional depende del tipo de alojamiento.

Ahora bien, para estimar la demanda urbana en el año horizonte se estudia la evolución y se utilizará el método de la tasa de crecimiento, con una tasa de crecimiento del 6,23%.

Aplicando dicho método, se obtiene una demanda de agua urbana en el año horizonte de 14,13 hm³/año.



5.2. Demanda agrícola

La Costa Tropical está bañada por el Mar mediterráneo y protegida del viento del norte por Sierra Nevada y Sierra Lújar. Además, está influenciada por los vientos del norte de África que ofrecen un microclima subtropical.

De este modo, se dan más de 300 días de sol al año y temperaturas anuales de 20 grados que hacen del invierno de Motril uno de los más cálidos de Europa. Estas extraordinarias condiciones climáticas hacen que la economía de Motril se basa en gran parte en la agricultura por lo que mantener un abastecimiento adecuado para los regadíos es de vital importancia.

Los últimos estudios elaborados por el Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas andaluzas describen que la zona de estudio dispone, para el año 2018, 1941 ha de superficie regable.

Se puede asimilar que la evolución de la demanda agrícola sigue un crecimiento geométrico, por lo que se calculará la demanda bruta agrícola para el año horizonte (2045) según el modelo de la tasa de crecimiento con una tasa de crecimiento del 9,37%.

De este modo, aplicando dicho método se obtiene una demanda en el año horizonte de 15,92 hm³/año.

5.3. Demanda de la ganadería

La ganadería en el municipio de Motril es escasa pero no deja de ser una fuente de sustento económico para los ganaderos que viven de ella.

Según los datos obtenidos del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas andaluzas, la evolución de la ganadería tiene una tendencia decreciente, por lo que se estimará la demanda de agua de la ganadería según los últimos datos acerca del consumo de agua en el año 2018.

Por tanto, la demanda de ganadería en 2045 será de 0.025 hm³/año.

5.4. Demanda industrial

En Motril distinguimos 4 principales zonas o polígonos industriales: Zona Industrial Puerto de Motril, Polígono Industrial El Vadillo, Polígono Industrial Alborán y Polígono Industrial Carretera Celulosa.

La industria que destaca entre todas ellas es Torraspapel, S.A. Una industria dedicada a la fabricación de papel y cartón que precisa de la mayor parte del agua destinada a este uso. Después de esta, encontramos otras industrias menores dedicadas principalmente a la generación de energía como puede ser Cogeneración, S.A. o La Palma.

Según los datos extraídos del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas andaluzas, la industria tiene una tendencia algo similar a la ganadería, es decir, la demanda industrial tiene una tendencia decreciente por lo que la demanda industrial en el año horizonte se asimila con la actual.

Por lo tanto, la demanda bruta industrial en 2045 será de 1.80 hm³/año.

5.5. Demanda total

Para finalizar, el consumo total de los años estudiados se obtendrá como la suma de los consumos relativos a los distintos usos del agua, tal y como se muestra en la tabla 1.10:

AÑO	CONSUMO ABASTECIMIENTO (hm ³ /año)	CONSUMO AGRICULTURA (hm ³ /año)	CONSUMO INDUSTRIAL (hm ³ /año)	CONSUMO GANADERÍA (hm ³ /año)	CONSUMO TOTAL (hm ³ /año)	CONSUMO TOTAL (m ³ /día)
1998	9,86	10,55	2,25	0,0630	22,73	62.267,19
2001	10,03	10,82	2,24	0,0536	23,14	63.410,64
2004	10,65	11,10	2,22	0,0473	24,02	65.808,56
2007	11,31	11,19	2,16	0,0340	24,69	67.654,79
2010	11,61	11,47	2,02	0,0295	25,13	68.839,18
2013	11,81	11,81	1,92	0,0270	25,57	70.042,19
2015	11,97	12,24	1,84	0,0260	26,08	71.441,10
2018	12,10	12,62	1,80	0,0250	26,55	72.731,51

Tabla 5.1: consumo total de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

La demanda total en el año horizonte se obtendrá sumando la demanda en el año horizonte calculada para cada uno de los usos del agua establecidos, mostrada en la tabla 1.11:

AÑO	DEMANDA ABASTECIMIENTO (hm ³ /año)	DEMANDA AGRICULTURA (hm ³ /año)	DEMANDA INDUSTRIAL (hm ³ /año)	DEMANDA GANADERÍA (hm ³ /año)	DEMANDA TOTAL (hm ³ /año)	DEMANDA TOTAL (m ³ /día)
2043	14,13	15,9169	1,8000	0,025	31,88	87.331,01

Tabla 5.2: demanda total en el año horizonte de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

Se puede observar que la demanda de agua actual es de aproximadamente 75.000 m³/día, mientras que en el año horizonte aumentará hasta casi los 90.000 m³/día.

Ahora bien, teniendo en cuenta la situación hídrica actual y el abastecimiento que se da en la zona en cuestión, no toda la demanda de agua será asumida por la planta desaladora.

Tanto la situación de la intrusión marina en los acuíferos como el mantenimiento del caudal ecológico en el río Guadalfeo, hace necesario paliar estas deficiencias de los sistemas de captación de agua. Por tanto, es recomendable reducir el volumen de agua que se extrae anualmente del subsuelo y mantener el caudal ecológico del Río Guadalfeo.

De este modo, la planta desalinizadora deberá asumir 6.000 m³/día que no se pueden extraer del Río Guadalfeo para poder asegurar el caudal ecológico.

Respecto al agua del acuífero, se prevé que en el año 2043 será necesario reducir al 50% la cantidad de agua que se obtiene del subsuelo. Por tanto, esta cantidad que no se bombea, 27.000 m³/día, deberá ser asimilado por la planta desalinizadora.

En total, considerando la reducción de los bombeos y manteniendo el caudal ecológico, la planta desalinizadora deberá tener la capacidad de tratar un total de 33.000 m³/día. Ahora bien, esta capacidad de tratamiento es relativa al año horizonte. En el año actual (2018) el caudal de agua a tratar es inferior.



Para el año 2018, el agua extraída superficialmente cumple con la condición máxima para mantener el caudal ecológico del Río Guadalfeo, por lo que únicamente trabajará para paliar la reducción de los bombeos.

Puesto que la extracción subterránea equivale al 60% del agua total extraída y se quiere reducir la mitad, la cantidad de agua que se necesita suplir será de, aproximadamente, 22.000 m³/día.

Finalmente, cabe destacar que la tecnología de desalinización será ósmosis inversa y que la capacidad de la planta será de 33.000 m³/día, aunque en la actualidad trabajará únicamente con 22.000 m³/día.

6. Descripción de los equipos y las diferentes fases de proyecto

6.1. Captación de agua de mar

La planta desaladora tendrá una producción de 33.000 m³/día y trabajará con un factor de conversión del 45%, por lo que la planta deberá captar 73.333 m³/día.

El sistema de captación estará formado por una torre de toma de 2 metros de diámetro y 1,20 metros de altura. Esta torre de toma se encontrará al final del emisario submarino de 900 m que transporta el agua desde la captación hasta el interior de la instalación.

En este punto del fondo marino hay una profundidad de 5 metros y las condiciones adecuadas para situar la captación.

Para poder construir la captación será necesario llevar a cabo una serie de actuaciones previas en el fondo marino como el dragado mediante un buque especial draga que alcance tal profundidad. De este modo, el terreno estará listo para situar tanto la torre de toma descrita como el emisario submarino.



Figura 6.1. Buque especial draga para el acondicionamiento del fondo marino (Fuente: driza.me)

La torre de toma presenta una serie de rejillas verticales que impiden el paso de sólidos de gran tamaño y la formación de corrientes. Por otro lado, la tubería se anclará al fondo marino mediante durmientes de hormigón.

Una vez el agua ha sido transportada al interior de la instalación, entra a la cámara de captación, un tanque de hormigón que estará conectado directamente a través de unos canales de hormigón con la cántara de impulsión. Entre la cántara de captación y la de impulsión se colocarán una serie de rejillas de desbaste para realizar un filtrado preliminar de los sólidos de mayor tamaño que hayan podido entrar.

La cántara de impulsión será el lugar donde se coloquen el primer bombeo de toda la instalación, encargado de dotar al agua de alimentación de la suficiente energía como para atravesar las diferentes instalaciones previas al siguiente bombeo, el bombeo antes del sistema de ósmosis inversa.

El bombeo de impulsión estará formado por 5 bombas capaces de suministrar una altura manométrica de 55 mca a un caudal de agua de alimentación de 640 m³/h cada una. Como fabricante de estas bombas se utilizará a la empresa Grundfos, específicamente el modelo NB 150-400/431.



CARACTERÍSTICAS BOMBA DE IMPULSIÓN	
Modelo	NB 150-400/431
Potencia de la bomba	122,4 kW
Rendimiento	85,7 %
Altura manométrica de la bomba	55,00 mca

Tabla 6.1. Características de la bomba utilizada en el bombeo de impulsión (Fuente: Grundfos)

6.2. Pretratamiento químico

Esta fase del proceso consiste en la dosificación de una serie de reactivos que facilitarán el proceso del pretratamiento físico y también protegerán a las membranas de posibles daños accidentales. Entre los distintos reactivos que se van a dosificar, destacan:

6.2.1. Hipoclorito sódico (NaClO)

El hipoclorito sódico es el reactivo que se va a encargar de la desinfección del agua de alimentación, evitar el crecimiento biológico no deseado en toda la instalación.

CARACTERÍSTICAS DE LA DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO SÓDICO	
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h
Densidad	1,24 Kg/L
Riqueza del producto	12 %
Dosis en choque	5 ppm
Dosis en continuo	1 ppm
Caudal en choque	102,67 L/h
Caudal en continuo	20,53 L/h
Sistema de dosificación	Bomba de medición
Sistema de almacenamiento	Tanque de 9 m ³

Tabla 6.2. Características de la dosificación de hipoclorito de sodio (Fuente: elaboración propia)

6.2.2. Cloruro férrico (FeCl_3)

La dosificación de cloruro férrico actuará como coagulante y facilitará la coagulación y floculación de las partículas para ser más fácilmente eliminadas en el proceso de filtración.



CARACTERÍSTICAS DE LA DOSIFICACIÓN DE CLORURO FÉRRICO	
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h
Densidad	1,42 Kg/L
Riqueza del producto	40 %
Dosis	5 ppm
Caudal en continuo	26,90 L/h
Sistema de dosificación	Bomba de medición
Sistema de almacenamiento	Tanque de 6 m ³

Tabla 6.3. Características de la dosificación de cloruro férrico (Fuente: elaboración propia)

6.2.3. Ácido sulfúrico (H₂SO₄)

El agua bruta presenta un pH demasiado básico para las membranas. Por este motivo, se dosificará ácido sulfúrico para acidificar el agua bruta y rebajar el pH a valores entre 7,5 y 8.

CARACTERÍSTICAS DE LA DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO	
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h
Densidad	1,84 Kg/L
Riqueza del producto	98 %
Dosis	20 ppm
Caudal en continuo	33,89 L/h
Sistema de dosificación	Bomba de medición
Sistema de almacenamiento	Tanque de 2 m ³

Tabla 6.4. Características de la dosificación de ácido sulfúrico (Fuente: elaboración propia)

6.2.4. Bisulfito sódico (NaHSO₃)

Después de la dosificación de hipoclorito sódico es posible que quede una cierta concentración de cloro, llamada cloro residual, que puede afectar al correcto funcionamiento de las membranas. Para evitar que el cloro residual perjudique a las membranas se llevará a cabo la dosificación de bisulfito sódico que reacciona con el cloro residual.

CARACTERÍSTICAS DE LA DOSIFICACIÓN DE BISULFITO SÓDICO	
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h
Densidad	1,40 Kg/L
Riqueza del producto	30 %
Dosis	10 ppm
Caudal en continuo	72,75 L/h
Sistema de dosificación	Bomba de medición
Sistema de almacenamiento	Tanque de 9 m ³

Tabla 6.5. Características de la dosificación de bisulfito de sodio (Fuente: elaboración propia)



6.2.5. Antiescalante

Algunos componentes del agua bruta como los carbonatos de calcio y magnesio o los sulfatos de calcio, bario y estroncio pueden precipitar sobre las membranas, dificultando el correcto funcionamiento de estas. Para evitar estas incrustaciones se dosificará un antiescalante.

CARACTERÍSTICAS DE LA DOSIFICACIÓN DE ANTIESCALANTE	
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h
Densidad	1,11 Kg/L
Riqueza del producto	100 %
Dosis	2 ppm
Caudal en continuo	5,51 L/h
Sistema de dosificación	Bomba de medición
Sistema de almacenamiento	Tanque de 1 m ³

Tabla 6.6. Características de la dosificación de antiescalante (Fuente: elaboración propia)

6.3. Pretratamiento físico

Además de la dosificación de reactivos, se hará pasar el agua por un sistema de filtros de arena y antracita y un sistema de filtros de cartucho para eliminar aquellas impurezas que puedan atacar a las membranas de ósmosis inversa.

Este sistema formado por filtros multimedia (arena y antracita) y filtros de cartucho es lo que se conoce como pretratamiento.

6.3.1. Filtros de arena

La filtración multimedia se llevará a cabo mediante unos filtros horizontales de la empresa Calplas con dos capas filtrantes formadas por arena y antracita y una capa de drenaje compuesta por grava.

Se dispondrá un sistema de filtros multimedia formado por 8 unidades de filtración, planteadas para poder trabajar con un máximo de 2 unidades de filtros en mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE FILTROS DE ARENA	
Diámetro del filtro (φ)	2800 mm
Longitud del filtro (L)	7040 mm
Área de filtración	18,5 mm
Número de filtros	8
Área total de filtración	148 mm

Tabla 6.7. Características del sistema de filtros de arena (Fuente: Calplas)



Figura 6.2. Filtro de arena horizontal (Fuente: Calplas)

Respecto al material filtrante, los tres materiales presentes en el filtro tendrán características y propiedades diferentes ya que cada uno de los materiales llevarán a cabo una función.

- **Capa filtrante superior**

Esta capa estará compuesta por antracita con un tamaño de grano entre 0,8 y 1,6 mm, una densidad aparente de 0,71 t/m³ y se dispondrá una altura de la capa de antracita de 0,60 m.

De este modo, cada uno de los 8 filtros tendrán un volumen de 12 m³ de antracita, sumando un total de 96 m³.

- **Capa filtrante inferior**

Esta capa estará compuesta por arena con un tamaño de grano entre 0,4 y 0,8 mm, una densidad aparente de 1,5 t/m³ y se dispondrá una altura de la capa de arena de 0,30 m.

De este modo, cada uno de los 8 filtros tendrán un volumen de 6 m³ de arena, sumando un total de 48 m³.

- **Capa drenante**

Esta capa estará compuesta por grava con un tamaño de grano entre 2 y 3,15 mm, una densidad aparente de 1,50 t/m³ y se dispondrá una altura de la capa de antracita de 0,10 m.

De este modo, cada uno de los 8 filtros tendrán un volumen de 2 m³ de antracita, sumando un total de 16 m³.



Ahora bien, esta tipología de filtros requiere una limpieza periódica. Para esta limpieza se utilizará un lavado con ráfagas de agua y ráfagas de aire a presión.

Para poder llevar a cabo la limpieza de los filtros, durante dicho lavado el filtro debe estar fuera de servicio, por lo que el resto de los filtros deben ser capaces de asumir el caudal que está dejando de ser filtrado.

De este modo, para el dimensionamiento se ha tenido en cuenta una situación de un máximo de 2 filtros en mantenimiento, asegurándose el funcionamiento del sistema de filtración.

Flujo por filtro en condiciones normales (8 filtros)	381,94	m ³ /h
Flujo por filtro en condiciones de contra lavado (6 filtros)	509,26	m ³ /h

Tabla 6.8. Condiciones del flujo en situación de todos los filtros de arena en pleno funcionamiento y situación de mantenimiento (Fuente: Elaboración propia).

La carrera del filtro es el tiempo en el cual un filtro alcanza una alta colmatación y dejar de filtrar de forma adecuada, por lo que necesita ser lavado. Esta carrera será de 60 horas, por lo que se lavará una media de 3 filtros cada día.

El lavado con agua utilizará como aporte de agua el procedente del rechazo de ósmosis inversa, por lo que será necesario almacenar el volumen necesario para el correcto lavado.

ALMACENAMIENTO SALMUERA	
Agua en el enjuague	133,33 m ³
Agua en el relleno	66,67 m ³
Volumen total de agua	200 m ³

Tabla 6.9. Características del lavado con agua y almacenamiento de la salmuera (Fuente: Elaboración propia).

Respecto al lavado con aire a presión, se utilizarán boquillas de tipo pistón rotatorio colocadas en el fondo del filtro. Estas boquillas emitirán una serie de ráfagas de aire que eliminarán posibles impurezas. Se utilizarán 57 boquillas por cada metro cuadrado de superficie de filtración, haciendo un total de 1727 boquillas en cada uno de los filtros.

6.3.2. Filtros de cartucho

Después del filtrado preliminar que se ha realizado en los filtros de arena, los sólidos de mayor tamaño ya se han quedado retenidos en ellos. Ahora bien, es necesario un filtrado más exhaustivo con la finalidad de eliminar aquellas partículas de un tamaño inferior a 25 micras.

Para llevar a cabo esta filtración, se utilizarán filtros de cartucho y se conseguirá un agua libre de impurezas que puedan dañar las membranas de ósmosis inversa.

Se utilizarán filtros de cartucho verticales de 2 cuerpos fabricados en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) de la empresa TREPOVI ya que tienen un buen comportamiento para este uso.

El sistema de filtros de cartucho estará formado por 5 unidades de filtros con 313 cartuchos cada una de estas unidades. Se ha dimensionado de forma que este sistema de filtración funcione de forma correcta en la situación en la que un filtro esté en lavado.

FLUJO CIRCULANTE POR LOS FILTROS DE CARTUCHO	
Flujo a tratar	3.055,56 m ³ /h
Flujo a tratar cada filtro (5 en servicio)	611,11 m ³ /h
Flujo a tratar cada filtro (4 en servicio)	763,89 m ³ /h

Tabla 6.10. Condiciones del flujo en situación de todos los filtros de cartucho en pleno funcionamiento y situación de mantenimiento (Fuente: Elaboración propia).

6.4. Alimentación de los bastidores de ósmosis inversa

Cuando el agua de alimentación ha terminado todas las etapas del pretratamiento, es decir, tanto la dosificación de reactivos como la filtración por filtros de arena y de cartuchos, el agua ya se ha desprovisto de aquellas partículas sólidas de gran tamaño y también de las de menor tamaño. En este momento, el agua esta lista para hacerla pasar a la nave de ósmosis inversa y acceder a las membranas.

No obstante, para que el agua pueda atravesar las membranas se debe dotar de cierta presión y esto se consigue mediante un sistema de bombeo.

Este sistema estará formado por dos bombes. Por un lado, habrá un bombeo de alta presión para presurizar el caudal de alimentación que entra en el bastidor de OI y, por otro lado, un bombeo de refuerzo de alta presión que se encarga de conferir la presión necesaria al agua de alimentación que ha aprovechado la energía del rechazo de salmuera mediante los intercambiadores de energía.

El caudal de alimentación que se va a derivar para el intercambiador va a ser igual al caudal de salmuera rechazado de la ósmosis inversa. Es por esto, que el 45% del caudal de alimentación del sistema de ósmosis inversa procede del bombeo de alta presión mientras que el 55% restante procederá del bombeo de refuerzo de alta presión.

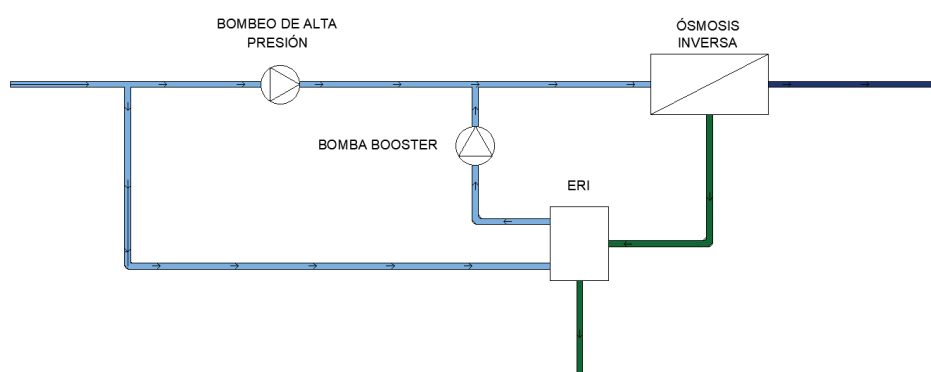


Figura 6.4. Esquema del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia)

ALIMENTACIÓN DE BASTIDORES DE ÓSMOSIS INVERSA	
Flujo de agua producto	33.000 m ³ /día
Factor de conversión	45 %
Flujo de agua de alimentación	73.333,33 m ³ /día
Flujo de agua de alimentación	3.055,56 m ³ /h
Flujo de agua de alimentación de cálculo	3200 m ³ /h
Número de líneas de OI	6
Flujo de alimentación por línea de OI	533,33 m ³ /h
Con bombas de alta presión	240,00 m ³ /h
Con recuperadores de energía	293,33 m ³ /h

Tabla 6.11. Características del sistema de alimentación de los bastidores de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)

6.4.1. Bombeo de alta presión

El agua de alimentación debe disponer de la presión necesaria para poder filtrarse a través del sistema de ósmosis inversa. Por esto, es necesario disponer de un bombeo de alta presión y hacer circular al agua de alimentación por él para conferirle el aporte energético suficiente.

BOMBEO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo de alimentación por línea de OI	240 m ³ /h
Número total de bombas	6
Número de bombas por bastidor	1
Altura manométrica de la bomba	564,00 mca

Tabla 6.12. Características del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).

Para este bombeo se utilizará el modelo de bomba MBN RO 150-320 E de la empresa SULZER ya que está especialmente indicada para la aplicación en desalación por ósmosis inversa.



Figura 6.5. Bomba de alta presión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: SULZER)

CARACTERÍSTICAS BOMBA ALTA PRESIÓN	
Modelo	MBN RO 150-320 E
Potencia nominal de la bomba	472 kW
Eficiencia	78,09 %
Altura manométrica	564 mca

Tabla 6.13. Características de la bomba de alta presión (Fuente: Sulzer)

6.4.2. Bombeo de refuerzo de alta presión.

El rechazo de salmuera que se obtiene de la ósmosis inversa se hace pasar por los intercambiadores de energía para proporcionar a una parte del agua de alimentación una alta presión. Sin embargo, esa agua de alimentación no goza de la presión necesaria por lo que será necesario un bombeo de refuerzo que, en este caso, se llevará a cabo mediante las bombas booster.

Para la bomba de refuerzo de alta presión se escogió a la empresa Grundfos como suministradora, específicamente el modelo NK 150-500/513 ya que era el que mostraba un menor consumo energético y un mayor rendimiento.



Figura 6.6. Bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)

CARACTERÍSTICAS BOMBA BOOSTER	
Modelo	NK 150-500/513
Potencia de la bomba	46,12 kW
Rendimiento	73,4 %
Altura manométrica	40 mca

Tabla 6.14. Características de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Elaboración propia).

6.5. Sistema de ósmosis inversa

El sistema de ósmosis inversa se instalará en la nave de ósmosis distribuido en un total de 6 bastidores.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA	
Número de bastidores	6
Producción total del paso de ósmosis	33.000 m ³ /día
Producción unitaria por cada bastidor	5.500 m ³ /día
Producción unitaria por cada bastidor	229,17 m ³ /h

Tabla 6.15. Características del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia).



Figura 6.7. Bastidores de ósmosis inversa (Fuente: TecnoAgua)

La empresa escogida como distribuidora de membranas es DOW – Filmtec debido a su amplia experiencia en el sector de la desalinización.

Esta empresa tiene una amplia gama de membranas, entre las que se ha seleccionado la membrana enrollada en espiral modelo SW30XLE – 400i, ya que se trata del modelo que mejor se adapta a las necesidades de la planta y presenta un buen comportamiento con el agua de alimentación captada. Se propone sistema de ósmosis inversa con 6 bastidores de 6 membranas por cada tubo de presión.

CONFIGURACIÓN DE LOS BASTIDORES	
Número de tubos de presión por bastidores	80
Número total de tubos de presión	480
Número de membranas por tubo de presión	6
Conversión	45%
Empresa suministradora	DOW - Filmtec
Modelo	SW30XLE - 400i
Capacidad de producción de la planta	1.375 m ³ /h

Tabla 6.16. Configuración de los bastidores del sistema de ósmosis inversa (Fuente: Dupont).

6.5.1. Sistema de recuperación de energía

Tras el paso del agua de alimentación por las membranas de ósmosis inversa, se genera el flujo de salmuera que contiene el agua cargada de las sales disueltas. Este flujo de salmuera que abandona los bastidores del sistema de ósmosis inversa tiene altas presiones y posee un potencial energético.

Para poder aprovechar este potencial energético se instalarán intercambiadores de presión (ERI), cuyo correcto dimensionamiento supone una gran importancia ya que permiten optimizar el consumo energético al máximo pudiendo aprovechar una energía que, en caso de no instalar estos dispositivos, se desaprovecharía.

Se utilizarán 6 intercambiadores de presión, modelo PX-Q300, por cada línea de ósmosis inversa, lo que hace un total de 36 intercambiadores de presión en toda la instalación.



Figura 6.8. intercambiadores de presión ERI (Fuente: ERI).

La empresa suministradora de los recuperadores de energía pone a disposición del usuario un programa Excel, llamado ERI Power Model, para simular el sistema de recuperación energética y poder dimensionarlo de la mejor forma posible.

Se llevarán a cabo dos simulaciones para estudiar el consumo específico del sistema de ósmosis inversa utilizando dichos recuperadores, para una temperatura de 24,4°C (Caso 1) y para una temperatura de 14,2°C (Caso 2), arrojando los siguientes resultados:

CASO	CONSUMO ESPECÍFICO
Caso 1	2,29 Kwh/m ³
Caso 2	2,45 Kwh/m ³

Tabla 6.17. Consumo específico del sistema de ósmosis inversa con el recuperador de energía PX-Q300 para los distintos casos simulados (Fuente: ERI)



6.6. Remineralización del agua desalada

Una vez el agua de alimentación ha pasado por los bastidores de ósmosis inversa, el agua producto presenta una composición química con únicamente algo de sodio disuelto. Los procesos de membrana eliminan la gran mayoría de sales disueltas en el agua haciendo que no se cumplan los parámetros de la legislación vigente en relación con la calidad del agua de consumo humano (RD 140/2003).

Es por esto por lo que será necesario llevar a cabo un postratamiento al agua producto que le aporte una serie de sustancias como calcio, magnesio o bicarbonatos. Este procedimiento es el que se llama remineralización.

Se considerará adecuada la calidad del agua y el grado de remineralización si se cumple lo dispuesto en la tabla 3.40.

PARÁMETRO	RANGO
pH	$8,2 \pm 0,1$
Alcalinidad total	56 ± 3 mg de CaCO_3 /L
HCO_3^-	68 ± 3 mg / L
Ca^{2+}	21 ± 2 mg / L
CO_2 libre	$0,7 \pm 0,1$ mg / L
LSI	$\pm 0,15$

Tabla 6.18. Características recomendadas para las aguas desaladas con un nivel adecuado de remineralización
(Fuente: Hernández-Suárez, 2010)

Para el postratamiento se utilizará una técnica de remineralización basada en carbonato cálcico (CaCO_3) y dióxido de carbono (CO_2). Este tratamiento emplea el carbonato cálcico para neutralizar el dióxido de carbono produciendo bicarbonato (HCO_3^-), aumentando la dureza y la alcalinidad del agua desalada.

La dosificación de dióxido de carbono se realizará mediante un disolvedor de CO_2 a baja presión de la empresa DrinTec, con una dosis de 23 mg/L.

Respecto a la dosificación de carbonato cálcico, se utilizarán 4 lechos de calcita, es decir, depósitos rectangulares de hormigón armado que confiere una dosis de carbonato cálcico de 52,31 mg/L.

6.7. Almacenamiento y bombeo del agua producto

El agua remineralizada ya posee todas las características necesarias para poder ser almacenada y bombeada hasta los puntos de consumo.

El almacenamiento se dimensionará teniendo en cuenta las dimensiones comerciales de la empresa suministradora de depósitos TANKEROS y que el agua va a permanecer en ellos durante 12 horas, por lo que debe tener un volumen de 16.500 m³. De este modo, se utilizarán 2 tanques de 12 metros de altura y un diámetro de 30,50 metros.

Respecto al bombeo del agua producto, hay que tener en cuenta que el agua debe alcanzar el lugar de su consumo, es decir, el núcleo urbano de motril. La altura media de la zona de suministro es de 70 m.s.n.m, por lo que la bomba deberá elevar el agua producto 70 metros.

Para el bombeo del agua producto se escogió a la empresa Grundfos como suministradora, específicamente el modelo NB 150-315.2/262 ya que era el modelo que proporcionaba un mayor rendimiento para el menor consumo específico posible.



Figura 6.9. Bomba Booster modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos)

CARACTERÍSTICAS BOMBA DE AGUA PRODUCTO	
Modelo	NB 150-315.2/262
Potencia de la bomba	188,1 kW
Rendimiento	78,1 %
Altura manométrica de la bomba	70,00 mca

Tabla 6.19. Características de la bomba de impulsión del agua producto (Fuente: Grundfos).

6.8. Evacuación de la salmuera

El vertido del rechazo de ósmosis inversa se realizará a una distancia de 1500 metros desde la instalación y de la línea de costa, en un puto del mar con una profundidad de 8 metros. La selección de este punto en concreto para la evacuación de la salmuera se debe a que presenta unas condiciones adecuadas para producir la menor afección posible sobre el ecosistema marino.

Además, el punto de descarga de salmuera se encuentra a una distancia suficientemente alejada del punto de captación como para que la salmuera no vuelva a ser captada por la torre de toma.

Respecto a la configuración del sistema de descarga, este está formado por un conjunto de difusores a través de los que se realizará el vertido, un emisario submarino y un emisario de tierra. Previamente a la evacuación de la salmuera, se dispondrá una cámara de carga de salida de salmuera donde, en el caso de ser necesario, se instalará una bomba para impulsar el rechazo al mar.

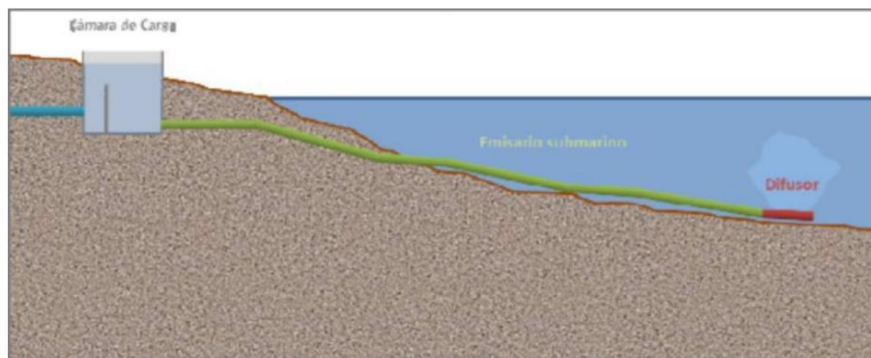


Figura 6.10. Esquema del sistema de evacuación de salmuera (Fuente: www.CLA-VAL.com)

El emisario subterráneo se caracteriza por:

- Flujo circulante: 1.900 m³/h
- Diámetro: 700 mm
- Longitud de la tubería: 100 m
- Material de la conducción: polietileno de alta densidad (HDPE)

El emisario submarino se caracteriza por:

- Flujo circulante: 1.900 m³/h
- Diámetro: 700 mm
- Longitud de la tubería: 1390 m
- Material de la conducción: poliéster reforzado de fibra de vidrio (PRFV)

Finalmente, la salmuera se evacuará a través de unos difusores proporcionados por la empresa CLA-VAL, específicamente se utilizará la válvula de retención de pico de pato deslizante RF-DBO, de 12" de diámetro.

Esta válvula de retención permite que la salmuera vaya saliendo poco a poco al mar y su disolución sea más sencilla y produciendo una menor afección al medio marino.



Figura 6.11. Válvula de retención pico de pato deslizante modelo RF-DVO (Fuente: www.CLA-VAL.com)



7. Estudio de impacto ambiental

En este apartado se ha realizado una Evaluación de Impacto Ambiental sobre la ubicación del proyecto en el municipio de Motril. La evaluación se ha realizado conforme a la ley 21/2019, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental y el real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

En el estudio que se encuentra detallado en el Anejo 7 se procede a analizar el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Identificación de los componentes sociales y ambientales que se pueden ver afectados en la región de Motril por la realización del proyecto en sus diferentes fases.
- Identificación y cuantificación de las fuentes de emisión y la importancia de sus correspondientes impactos.
- Tratamiento de los impactos ambientales negativos con el desarrollo de medidas de mitigación con la finalidad de minimizar la contaminación ambiental y perturbaciones.

El estudio también contará con un inventario ambiental, es decir, una descripción medioambiental detallada de la región de Motril donde se ha realizado un análisis del ambiente marino y terrestre, las diferentes especies de flora y fauna susceptibles de sufrir algún tipo de impacto.

La fase más importante a tener en cuenta durante la evaluación de impacto ambiental es la presentación e identificación de los impactos potenciales y los componentes principales asociados a ellos, así como la presentación de medidas preventivas, correctoras y compensatorias en los siguientes aspectos:

- Impactos en la calidad del aire
- Impactos de ruido
- Impactos relacionados con la generación de residuos

Finalmente, se realizará un análisis de alternativas para escoger la mejor opción en cuanto a la ubicación del proyecto, la tecnología de desalación empleada y el método para la evacuación de la salmuera.



8. Estudio de Seguridad y Salud

Se ha realizado un Estudio de Seguridad y Salud, dispuesto en el Anejo 9, con la finalidad de asegurar la prevención de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales durante la construcción y operación de la instalación desalinizadora.

De acuerdo con el Real Decreto 555/1986, de 21 de febrero se implanta la obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en obras, limitando su vigencia a aquéllas en que concurran determinadas condiciones referidas a volumen de contratación, número de trabajadores o existencia de características específicas en cuanto a riesgos, complejidad y número de empresas que pudieran participar en los trabajos.

De acuerdo con el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción y se implanta la obligatoriedad de un Estudio de Seguridad y Salud en los proyectos de obras de construcción.

Además, se tendrá en cuenta el cumplimiento de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, con el fin de identificar, evitar y paliar los efectos de los posibles riesgos laborales a los que los trabajadores de la instalación se someterán. El presente Estudio de Seguridad e Higiene establece, durante la construcción de la obra, las previsiones respecto a prevención de riesgos de accidentes y enfermedades y mantenimiento, y las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores.



9. Resumen del presupuesto

El presupuesto de ejecución material de la Instalación Desalinizadora de Agua de Mar ubicada en Motril, Granada asciende a un valor de VEINTICUATRO MILLONES TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA EUROS CON SETENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

A esta cantidad se debe añadir los costes derivados a gastos Generales que corresponden a un 14% del presupuesto de ejecución material, costo de beneficio industrial que corresponde al 6% del presupuesto de ejecución material y costo del IVA que corresponde a 21% del presupuesto de ejecución material.

El presupuesto total asciende a un valor de TREINTA Y CINCO MILLONES TRESCIENTOS SESENTA Y TRES MIL CUATROCIENTOS DOS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS.



10. Plazo de ejecución de las obras

El desarrollo de las obras se realizará en diferentes fases, cada una con unos plazos diferentes:

- Fase 1: acondicionamiento del terreno y construcción de obras civiles: 9 meses
- Fase 2: obras marinas relacionadas con la captación de agua de mar y la evacuación de la salmuera a través del emisario submarino: 12 meses
- Fase 3: montaje de los equipos electromecánicos: 10 meses después de la finalización de primera fase
- Fase 4: pruebas finales y puesta en funcionamiento: 5 meses después de la finalización de la tercera fase.

En definitiva, la construcción del proyecto tendrá una duración total estimada de 24 meses.



11. Bibliografía y recursos en red consultados

11.1. Bibliografía

1. FARIÑAS IGLESIAS, M., 1999. *Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones*. Editorial: Ed. McGraw Hill, 1999.
2. IBRAHIM PERERA, J.C., 1999. *Desalación de aguas*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Senior nº23.
3. VOUTCHKOV, N., 2012. *Desalination engineering: planning and design*. Editorial: McGraw Hill.
4. VOUTCHKOV, N., 2012. *Desalination engineering: operation and maintenance*. Editorial: McGraw Hill.
5. HERNÁNDEZ MUÑOZ, A., 2001. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Senior nº9.

11.2. Recursos en red

1. <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>
2. <http://www.motril.es>
3. <https://www.trepovi.com>
4. <https://www.lenntech.es>
5. <https://www.tecnoaqua.es>
6. <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/09/21/con>
7. <https://www.cidelsa.com/es/lp/tuberia/>
8. <https://blogdeagua.es/reja-de-desbaste/>
9. <https://aedyr.com>



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA**

**Anejo Nº1
JUSTIFICACIÓN DE SOLUCIÓN ADOPTADA**





Índice de contenidos

1	Introducción	6
2	Ubicación del proyecto	6
2.1	Justificación de la ubicación.....	7
3	Tecnología a utilizar	10
3.1	Destilación	10
3.1.1	Destilación Flash Multietapa (MSF).	10
3.1.2	Destilación por Efecto Múltiple (MED)	11
3.1.3	Destilación por compresión de vapor (CV).....	12
3.2	Electrodialisis (ED)	13
3.3	Ósmosis inversa	13
3.4	Comparativa y elección de la tecnología	14
4	Capacidad de la instalación	15
4.1	Demanda urbana	16
4.2	Demanda agrícola.....	18
4.3	Demanda de la ganadería	21
4.4	Demanda industrial.....	21
4.5	Demanda total.....	22
4.6	Situación actual	23
5	Conclusión	24



Índice de figuras

Figura 1.1. Localización del proyecto en España (Fuente: Google Earth)	6
Figura 1.2. Localización del proyecto en el sudeste de la Península Ibérica. (Fuente: Google Earth).....	7
Figura 1.3. Localización del núcleo urbano Motril, de la IDAM Motril y de la autovía A-7 (Fuente: Google Earth).....	8
Figura 1.4. Emplazamiento del proyecto (Fuente: Google Earth).....	8
Figura 1.5. Diagrama de flujo del proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).....	10
Figura 1.6. Diagrama de flujo del proceso de Evaporación Multiefecto (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).	11
Figura 1.7. Diagrama de flujo del proceso de Compresión Mecánica de Vapor (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).	12
Figura 1.8. Diagrama de flujo del proceso de Electrodialisis (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).	13
Figura 1.9. Descripción del fenómeno de la ósmosis inversa en tres pasos (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).	14
Figura 1.10. Evolución del consumo urbano en Motril (Fuente: elaboración propia)	17
Figura 1.11. Evolución del consumo agrícola	19
Figura 1.12. Evolución del consumo de ganadería (Fuente: Elaboración propia)	21
Figura 1.13. Evolución del consumo bruto industrial de Motril (Fuente: Elaboración propia)	22



Índice de tablas

Tabla 1.1: Comparación de las características de los métodos de desalación de agua (Fuente: elaguapotable/desalación, 2015)	14
Tabla 1.2: Comparación de los costes de los métodos de desalación de agua (Fuente: elaguapotable/desalación, 2015)	15
Tabla 1.3: Distribución de la población de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	16
Tabla 1.4: Dotación de la población permanente según el rango de población (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	16
Tabla 1.5: Dotación de la población estacional según el tipo de alojamiento (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	16
Tabla 1.6: Consumo bruto urbano en Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	17
Figura 1.10: Evolución del consumo urbano en Motril (Fuente: elaboración propia)	17
Tabla 1.7: Consumo bruto de la agricultura en Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	19
Figura 1.11: Evolución del consumo agrícola	19
Tabla 1.8: Consumo bruto de la ganadería en Motril según el tipo de ganado (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	21
Figura 1.12: Evolución del consumo de ganadería (Fuente: Elaboración propia)	21
Tabla 1.9: Consumo bruto industrial de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	22
Figura 1.13: Evolución del consumo bruto industrial de Motril (Fuente: Elaboración propia)	22
Tabla 1.10: Consumo total de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	22
Tabla 1.11: Demanda total en el año horizonte de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)	23
Tabla 1.12: Distribución del caudal extraído en función del tipo de captación (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009).	23
Tabla 1.13: Distribución del caudal extraído en función del tipo de captación (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009).	24



1 Introducción

La península ibérica ha albergado distintas civilizaciones a lo largo de sus años de historia convirtiéndose en un territorio rico en diferentes culturas, desde el Imperio Romano, pasando por el Imperio Islámico hasta los Reinos Cristianos de los que deriva la situación actual.

Estos distintos pueblos supieron aprovechar las riquezas de la agricultura de esta zona geográfica, supliendo las necesidades hídricas mediante la construcción de numerosas obras hidráulicas con el fin de enfrentarse a los períodos de sequía.

En el sureste peninsular, la escasez de agua es un grave problema actual y es de vital importancia reducir sus efectos a corto y largo plazo. Estos efectos se ven cada año incrementados por el cambio climático, viendo los períodos de sequía más largos y duros.

Aunque la Península Ibérica goza de grandes fuentes fluviales como son el río Ebro, el río Tago o el río Guadalquivir, resulta interesante buscar otras fuentes de agua alternativas en aquellos lugares donde hay menores recursos hídricos disponibles, como son las instalaciones desalinizadoras.

2 Ubicación del proyecto

El proyecto se ubicará en Motril, un municipio del sureste de la Península Ibérica que pertenece a la Costa Tropical. El municipio motrileño está situado en la provincia de Granada a unos 50 kilómetros de la capital

La costa de Granada está influenciada por la sierra de Lújar en el norte que la protege de los vientos fríos de Sierra Nevada. Por el Sur se encuentra el cálido mar de Alborán que sirve de regulador térmico.



Figura 1.1: Localización del proyecto en España (Fuente: Google Earth)

Estas características hacen que el principal motor económico motrileño sea la agricultura, especialmente de ciertos tipos de frutas tropicales; sin embargo, debido a la escasez de precipitaciones, las necesidades hídricas de los cultivos se están supliendo a partir de fuentes de aguas subterráneas.

De este modo, la desalinización puede llegar a ser una vía de escape ante el cambio climático y mejorar la situación agrícola, haciendo que aumente la economía.

2.1 Justificación de la ubicación

Se ha seleccionado como lugar del proyecto una parcela que se encuentra en las proximidades de la desembocadura del río Guadalfeo en el Mar Mediterráneo, coincidiendo con las coordenadas 448503.03 E; 4064464.92 N.

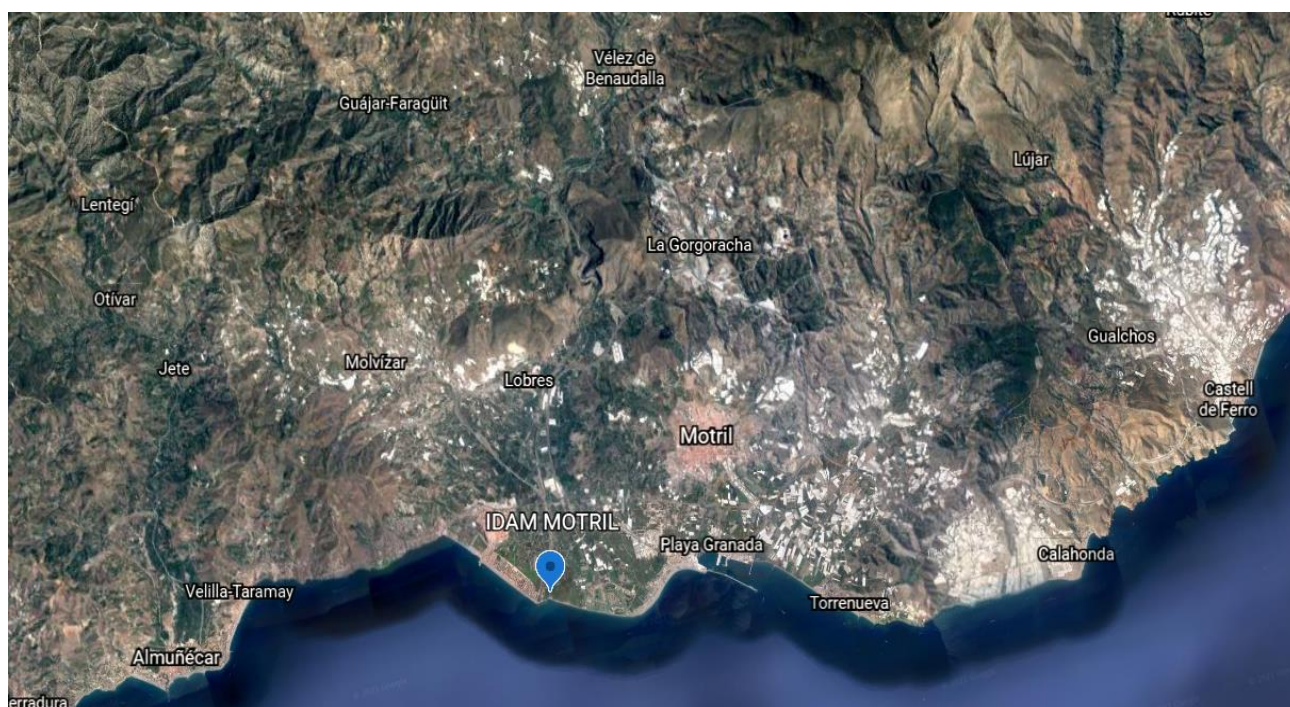


Figura 1.2: Localización del proyecto en el sudeste de la Península Ibérica. (Fuente: Google Earth)

La importancia de situar la instalación cerca de la línea de mar radica en facilitar las obras de los sistemas de captación de agua de alimentación de la planta y el vertido de salmuera, haciendo que dichas construcciones sean lo más baratas posibles.

Se debe tener en cuenta que el entorno submarino más próximo no cuenta con especies protegidas de flora ni fauna sensibles de sufrir cualquier impacto ambiental, facilitando el vertido de salmuera en el entorno submarino.

En la costa tampoco se encuentran zonas protegidas que vayan a impedir la construcción o la adopción de medidas extraordinarias, aparte de las medidas que se tomen de manera ordinaria para reducir el impacto ambiental y social.

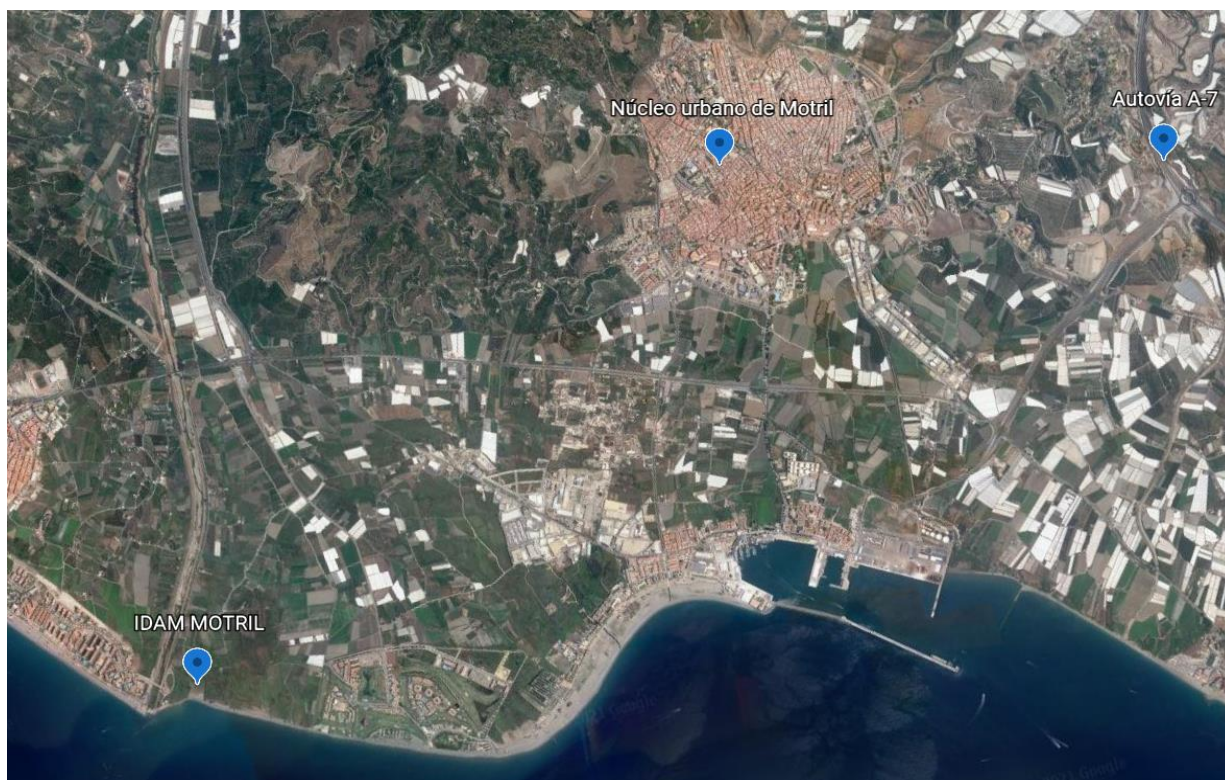


Figura 1.3: Localización del núcleo urbano Motril, de la IDAM Motril y de la autovía A-7 (Fuente: Google Earth).

La ubicación en cuestión está muy bien comunicada tanto por transporte marítimo como por tierra. La parcela se encuentra conectada con la carretera GR-16 que da acceso desde la autovía A-7.

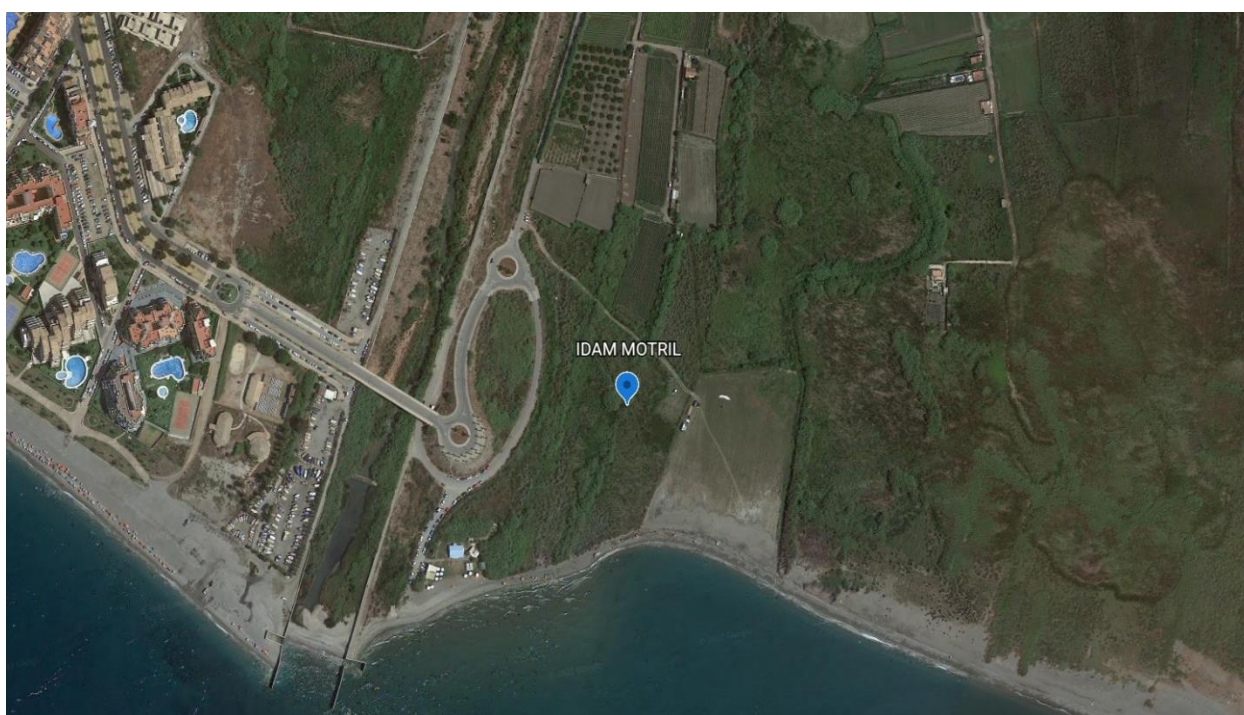


Figura 1.4: Emplazamiento del proyecto (Fuente: Google Earth).

La parcela en cuestión se clasifica urbanísticamente como suelo urbanizable, por lo que estaría aceptado la construcción en dicha parcela.

Al Norte de la localización se encuentran diversas parcelas cuyo uso principal es la agricultura mientras que al Sur, en la línea de playa cercana a la planta, se encuentra un club de surf y un restaurante que operan mayoritariamente en la época estival.

Además, al Oeste de la ubicación se encuentran tres urbanizaciones residenciales, la Urbanización Mayfosol, la Urbanización El Molino de Playa y la Urbanización Mare Nostrum. De entre las tres urbanizaciones la más cercana a la planta es la Urbanización Mayfosol, un complejo vacacional mayoritariamente turístico con numerosos edificios turísticos y comerciales; sin embargo, se encuentra suficientemente alejado de la planta como para ocasionar cualquier perjuicio a la salud de los habitantes.



Figura 1.5: Paisaje interior del emplazamiento del proyecto (Fuente: GoogleEarth)



Figura 1.6: Paisaje de la línea de costa en el emplazamiento del proyecto (Fuente: GoogleEarth)

3 Tecnología a utilizar

A continuación, se van a exponer las principales tecnologías que se pueden utilizar para realizar el proceso, escogiendo las más adecuada a nuestras necesidades.

3.1 Destilación

La destilación de agua constituye el método inicial de desalinización y se fundamenta en la atribución de calor sobre un cuerpo de agua para así poder provocar la evaporación de dicha masa de agua y su posterior condensación, obteniendo de este modo el agua producto.

Esta técnica ha evolucionado e innovado según la forma de aplicar la energía térmica al proceso. Inicialmente, la energía térmica procedía directamente de la luz solar; sin embargo, esta técnica era un proceso lento y bastante limitado en cuanto a cantidad de agua producto.

Esta metodología se limitó a aquellos lugares aislados y áridos donde la inexistencia de fuentes de agua dulce era un gran problema.

La destilación alcanzó una gran evolución cuando se consiguió industrializar el proceso, apareciendo diferentes técnicas de desalinización de gran similitud entre ellas. Estas técnicas variaban unas de otras principalmente en dos aspectos: la aportación de calor al proceso y la recuperación del calor latente de vapor de agua al condensarse.

A continuación, se describen los distintos procedimientos existentes de destilación.

3.1.1 Destilación Flash Multietapa (MSF).

Este método de desalinización se fundamenta en la ebullición del agua a desalar en un evaporador de considerables estancias o cámaras que trabajan a presiones y temperaturas progresivamente menguantes. De este modo se logra evaporar agua en cada una de las cámaras para conformar el conjunto del agua dulce producto.

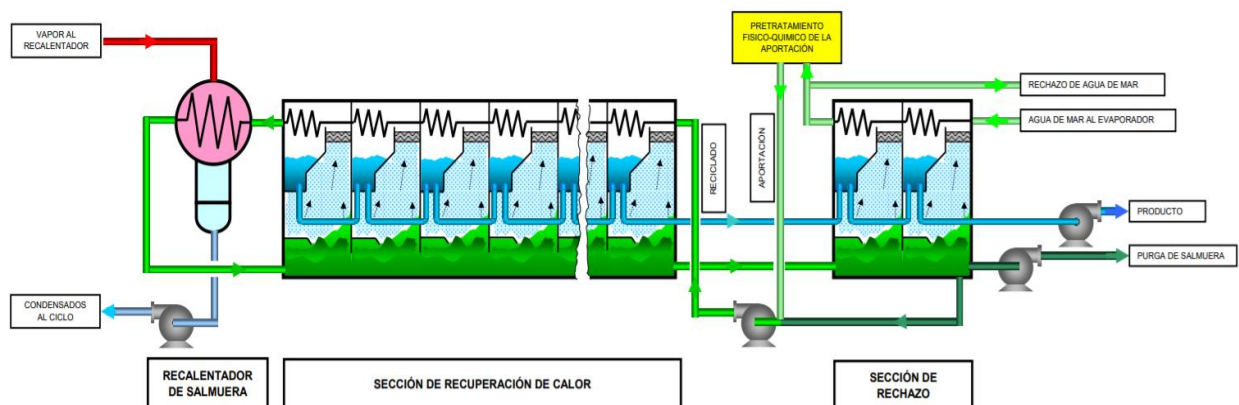


Figura 1.5: Diagrama de flujo del proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).

Saliendo del recalentador, el agua a desalar se encuentra a una temperatura llamada temperatura máxima admisible del ciclo y esta agua se hace pasar por la parte inferior en la primera etapa del evaporador. Cuando el agua se introduce en la cámara, se encuentra una presión inferior a la correspondiente con la de saturación de su temperatura y evaporándose una parte del agua de manera inmediata (equilibrándose y ajustando su temperatura a la presión existente).

El vapor desprendido, cuando toca la superficie exterior de los tubos del condensador de dicha etapa, se condensa y gotea a unas bandejas situadas debajo de los tubos del condensador y se recoge.

La salmuera que no ha alcanzado la temperatura suficiente para pasar a vapor, se introduce en la siguiente etapa donde, al encontrarse de nuevo a una presión inferior a la de saturación para su temperatura, se evapora de manera instantánea repitiéndose el ciclo anterior.

Este proceso tiene dos posibles configuraciones: con recirculación o sin recirculación. En la configuración con recirculación, la salmuera de la última etapa se divide en dos partes, una se devuelve al mar mientras que la otra se aporta al ciclo tras ser tratada químicamente.

Las plantas de esta tipología tienen un parámetro de operación básico, el Gain Output Ratio (GOR) que compara el agua dulce producida (kg) con el vapor necesario para calentar dicha agua (kg). Los valores normales de GOR oscilan entre los 8 y los 10 kg/kg. Esta técnica de desalinización produce una pureza del agua casi total aun cuando se parte de aguas con grandes concentraciones de sal.

3.1.2 Destilación por Efecto Múltiple (MED)

El proceso de evaporación por efecto múltiple está basado en la evaporación del agua de mar, condensación del vapor obtenido y la posterior recuperación del calor procedente de la condensación para poder repetir el ciclo.

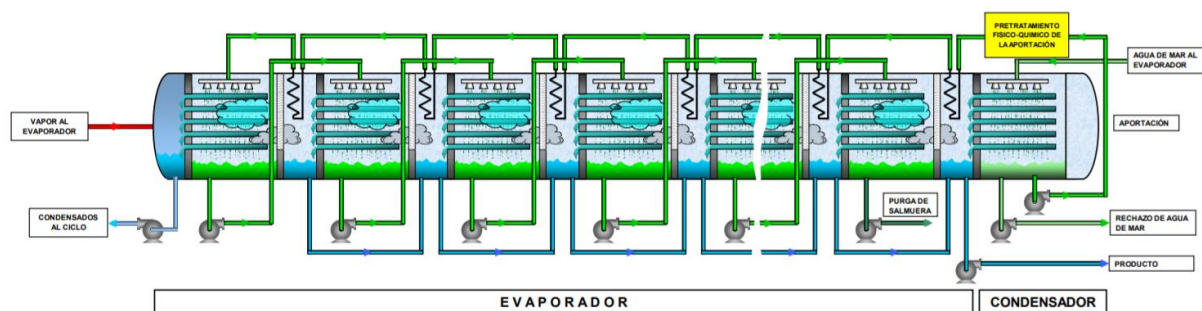


Figura 1.6: Diagrama de flujo del proceso de Evaporación Multiefecto (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).

El vapor aportado como fuente energética se condensa en el interior de los tubos mientras que se está rociando agua de mar por el exterior de estos para disminuir la temperatura.

El vapor producido entra en el interior de los tubos del siguiente efecto donde se condensará evaporando una parte de agua de mar que se ha rociado por el exterior de los tubos.

El agua que se actúa de fluido frío y procede del agua cargada de sales no evaporada del efecto anterior y se produce una evaporación instantánea al encontrarse con unas condiciones de menor presión que en el efecto anterior.

El evaporador se compone de dos partes: el condensador (punto más frío) y los efectos o etapas (el primer efecto es el foco caliente del ciclo térmico).

Encontramos dos disposiciones según sean los tubos verticales u horizontales. Al igual que en la destilación flash multietapa, el parámetro de operación básico es el GOR, alcanzo en este tipo de plantas MED hasta un valor de 15.

3.1.3 Destilación por compresión de vapor (CV)

Este método se basa en un aumento de la temperatura inicial del agua de mar para conseguir vapor de agua que servirá para usarlo de nuevo en el calentamiento de agua de alimentación y producir más vapor que al condensarse se extrae como agua dulce.

La destilación por este método puede llevarse a cabo por dos vías: compresión mecánica de vapor (MVC) y compresión térmica de vapor (TVC).

La compresión mecánica de vapor se consigue mediante el suministro de energía mecánica al vapor de agua, comprimiéndose para así aumentar su temperatura; por otro lado, la compresión térmica de vapor se produce gracias a un eyecto-compresor, movido por un vapor de media presión.

Este procedimiento de desalinización es la que supone un coste específico de las instalaciones más bajo de todos sus procesos.

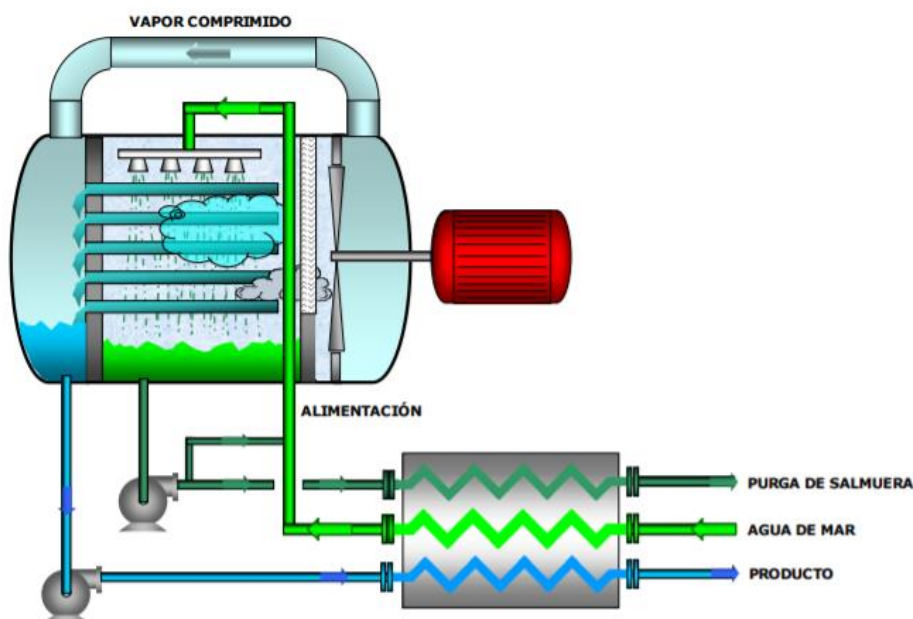


Figura 1.7: Diagrama de flujo del proceso de Compresión Mecánica de Vapor (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).

3.2 Electrodiálisis (ED)

Esta metodología de desalinización es un proceso de separación electroquímica en el que los iones se transfieren a través de membranas selectivas como consecuencias de una diferencia de potencial que se consigue mediante corriente continua. La unidad de trabajo básica del sistema ED es la pila de membranas, que se subdivide en unidades inferiores llamadas pares de células

Una pila de membranas suele tener entre 400 y 600 pares de células donde cada una de ellas está constituida por una membrana de transferencia de cationes, un espaciador de flujo de agua desmineralizada, una membrana de transferencia de aniones y un espaciador de flujo de agua concentrada.

El agua entra en la pila en dos corrientes, una a través de la cámara de desalinización y otra a través de la cámara de concentración. El agua fluye a través de la membrana y los iones se transfieren eléctricamente desde la corriente de desmineralización a la corriente de concentrado bajo el potencial aplicado.

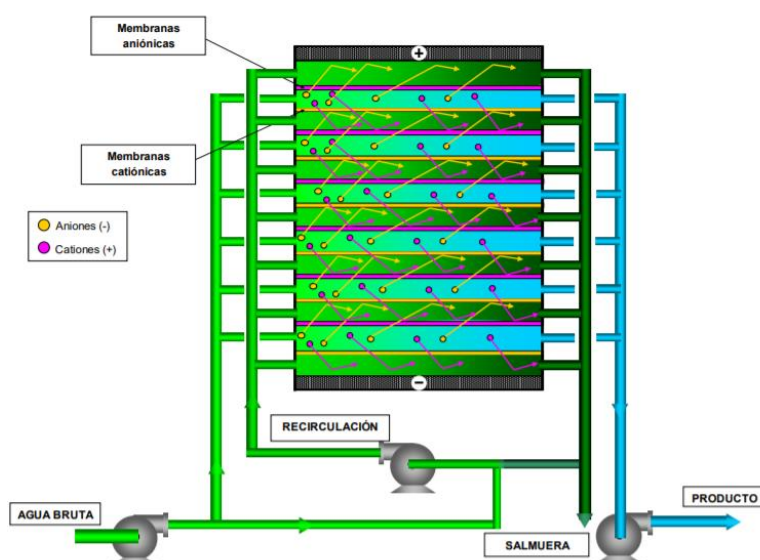


Figura 1.8: Diagrama de flujo del proceso de Electrodiálisis (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).

3.3 Ósmosis inversa

La ósmosis consiste en un proceso natural que ocurre tanto en plantas como en animales que busca el equilibrio de dos fluidos en contacto que presentan distintas concentraciones de sales disueltas que se irán mezclando hasta igualar las concentraciones de dichos sólidos.

Si se disponen dos fluidos con distintas concentraciones de sales en contacto, pero separados mediante una membrana semipermeable, es decir, una membrana que solo permite el paso de uno de los constituyentes, el solvente (agua) del compartimento menos concentrado pasaría al otro compartimento para equilibrar las concentraciones generando una diferencia de altura en ambos compartimentos llamada presión osmótica.

Para realizar la desalinización se lleva a cabo un proceso contrario al de ósmosis descrito anteriormente. Si se aplica una presión externa superior a la presión osmótica mediante una bomba, se consigue hacer pasar el agua libre de sales a través de la membrana hacia otro compartimento.

Tanto la solución que atraviesa la membrana (agua producto) como la que es rechazada (salmuera) se evacuan de manera continua en sus distintos compartimentos.

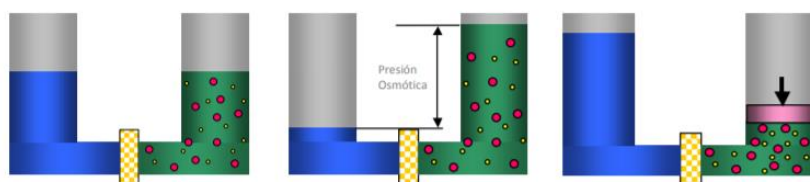


Figura 1.9: Descripción del fenómeno de la ósmosis inversa en tres pasos (Fuente: Ecoagua Ingenieros, 2009).

3.4 Comparativa y elección de la tecnología

A continuación, se van a presentar algunos de los aspectos más importantes para tener en cuenta en la implantación de una tecnología de desalinización u otra.

Como se puede observar en la tabla 1.1, la ósmosis inversa es el método que presenta más ventajas entre las que destacamos su alto porcentaje en la conversión neta del agua del mar (del orden de un 45%), el factor de producción y su alto desarrollo a nivel mundial, con más de 5.140 plantas en todo el mundo.

	ESME (MSF)	ED	CV	O.I.	
				1 PASO	2 PASOS
TECNOLOGÍA	EVAPORACIÓN	EVAPORACIÓN	EVAPORACIÓN	MEMBRANAS	
ESTADO COMERCIAL	Completamente desarrollado	Desarrollo más reciente	Desarrollo en evolución	Desarrollado	
CAPACIDAD	8 millones m ³ /d	0.73 millones m ³ /d	0.58 millones m ³ /d	5 millones m ³ /d	
PRODUCCIÓN INSTALADA	1.086 plantas	605 plantas	700 plantas	5.140 plantas	
CAPACIDAD MÁXIMA INSTALADA	45.000 m ³ /d	10.000-18.000 m ³ /d	3.000 m ³ /d	8-9.000 m ³ /d	
PLAZOS INSTALACIÓN	24 meses	18-24 meses	12 meses	18 meses	
FABRICANTES	Numerosos. Amplia competencia	Escasos. Reducida capacidad de elección	Escasos	Numerosos suministradores de plantas y fabricantes de membranas	
CONSUMO ENERGÍA: VAPOR	110-125°C	60-70°C	-	-	-
ELECTRICIDAD	3-6 kWh/m ³	1.5-2.5 kWh/m ³	8-12 kWh/m ³	5-6 kWh/m ³	6-7 kWh/m ³
RELACIÓN PRODUCCIÓN AGUA/VAPOR	8-12 m ³ /t	6-12 m ³ /t	-	-	-
TEMPERATURA MÁXIMA PROCESO	90-110-120° C	70-75°C	70-75°C	-	-
CALIDAD AGUA DESALADA	< 40 ppm	< 40 ppm	< 40 ppm	400 ppm (espiral) 200 ppm (fibra hueca)	< 40 ppm
CONVERSIÓN NETA DE AGUA DE MAR (PRODUCTO/AGUA MAR BOMBEADA)	10-25 %	15-30 %	40-50 %	35-45 %	35-45 %
FACTOR DE PRODUCCIÓN	Elevado. Condicionado a planta eléctrica.	Elevado. Condicionado a planta eléctrica	Elevado. Independiente planta eléctrica.	Elevado. Independiente planta eléctrica.	
FLEXIBILIDAD PLANTA	60-100 %	30-100 %	-	Por módulos	
NECESIDADES DE MANTENIMIENTO	Limpiezas periódicas 2-4 veces/año	Limpiezas periódicas 0.5-2 veces/año	Limpiezas periódicas 0.5-2 veces/año	Limpiezas periódicas 1-2 veces/año	
SENSIBILIDAD A CONDICIONES DEL AGUA DE MAR	Media	Reducida	Reducida	Alta. Control vital vida de membranas.	
PRETRATAMIENTO	Moderado	Simple	Simple	Exigente	
INFLUENCIA CONDICIONES OPERACIÓN	Alta incidencia. Corrosión/Incrustación	Baja-Media	Baja	Alta incidencia vida de membranas.	

Tabla 1.1: Comparación de las características de los métodos de desalación de agua (Fuente: elaguapotable/desalación, 2015)

Por otro lado, en la tabla 1.2 se aprecia que la ósmosis inversa (OI) es el proceso más barato. A pesar de ser el único método que presenta el coste añadido de las membranas es también el que menor coste energético supone.

Por tanto, por ser el método que tiene más ventajas y menos costes, la técnica de desalinización que se planteará en la instalación en cuestión será la ósmosis inversa.

Método de desalinización	MSF	MED	CV	OI
Coste de energía (fuel) (EU/m ³)	0,44	0,29	0	0
Coste de energía (electricidad) (EU/m ³)	0,17 - 0,18	0,08 - 0,09	0,56 - 0,61	0,25 - 0,30
Coste de mano de obra (EU/m ³)	0,036 - 0,04	0,036 - 0,04	0,06 - 0,09	0,02 - 0,09
Coste de productos químicos (EU/m ³)	0,036 - 0,05	0,03 - 0,04	0,024 - 0,04	0,024 - 0,06
Coste de productos químicos (EU/m ³)	0	0	0	0,01 - 0,04
Coste de limpiezas químicas (EU/m ³)	0,001 - 0,002	0,001 - 0,002	0,001 - 0,002	0,001 - 0,002
Coste de mantenimiento (EU/m ³)	0,02 - 0,036	0,02 - 0,036	0,018 - 0,03	0,02 - 0,036
Total coste de operación (EU/m ³)	0,71 - 0,74	0,46 - 0,50	0,66 - 0,78	0,34 - 0,54
Amortización (EU/m ³)	0,38 - 0,39	0,38 - 0,40	0,40 - 0,42	0,17 - 0,25
Costes medios totales (EU/m ³)	1,09 - 1,15	0,85 - 0,90	1,07 - 1,20	0,50 - 1,79

Tabla 1.2: Comparación de los costes de los métodos de desalación de agua (Fuente: elaguapotable/desalación, 2015)

4 Capacidad de la instalación

La instalación se ha proyectado para suplir los requerimientos de agua potable de la población, tanto de la población turística como de la permanente.

Por otro lado, el abastecimiento de la población no es el único uso que va a tener el agua una vez desalinizada, sino que se encuentran otros usos como son la industria o la agricultura.

En definitiva, el proyecto satisfará la demanda de agua en un año horizonte de 25 años, para suplir las necesidades de todos estos grupos demandantes en la actualidad y en el futuro, teniendo en cuenta los posibles crecimientos urbanísticos, agrícolas, ganaderos e industriales.

Para obtener las demandas de los distintos usos del agua se emplearán los datos recopilados en el Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. A partir de este documento, se conocerán los datos de las demandas actuales que se emplearán para estimar las demandas correspondientes al año horizonte 2045.

Ahora bien, la zona en cuestión ya dispone de un suministro de agua potable y se requiere estudiar el suministro actual de agua para conocer cuáles son las necesidades que ha de suplir la planta desalinizadora que se proyecta.

4.1 Demanda urbana

El consumo urbano se debe principalmente al abastecimiento de la población; sin embargo, también se incluye la industria conectada (industria con escaso consumo de agua que no requiere de un abastecimiento propio) los comercios y las Instituciones públicas y, por último, las pérdidas del sistema de distribución.

La población de Motril a abastecer se puede dividir en dos grandes grupos. Por un lado, se encuentra la población permanente, es decir, los habitantes empadronados en la localidad y, por otro lado, la población estacional, aquellas personas que en unas épocas determinadas y con motivos turísticos se hospedan en Motril.

AÑO	POBLACIÓN ESTACIONAL (habitantes)	POBLACIÓN PERMANENTE (habitantes)	POBLACIÓN TOTAL (habitantes)
1998	9.299	83.466	92.765
2001	9.456	84.877	94.333
2004	10.042	90.136	100.178
2007	10.569	94.868	105.437
2010	15.482	98.254	113.736
2013	18.938	99.947	118.885
2015	20.394	101.640	122.034
2018	21.592	107.611	129.203

Tabla 1.3: Distribución de la población de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

Para el cálculo del consumo de la población se ha tenido en cuenta los criterios expuestos en las tablas 1.4 y 1.5. De este modo, el consumo se obtiene con el producto de la dotación y el número de habitantes.

La dotación para la población permanente es de 180 L/Hab/día, mientras que la correspondiente a la población estacional depende del tipo de alojamiento.

RANGO DE POBLACIÓN	VALOR DE REFERENCIA (L/hab/día)	RANGO ADMISIBLE (L/hab/día)
Menos de 50.000	180	100 - 330
De 50.000 a 100.000	180	100 - 270
De 100.000 a 500.000	140	100 - 190
Más de 500.000	140	100 - 160

Tabla 1.4: Dotación de la población permanente según el rango de población (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

TIPO DE ALOJAMIENTO	DOTACIÓN (L/hab/día)
Hoteles	240
Apartamentos	150
Turismo rural	150
Campings	120
Más de 500.000	140

Tabla 1.5: Dotación de la población estacional según el tipo de alojamiento (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

A continuación, teniendo en cuenta los datos expuestos, se muestran recopilados los consumos brutos correspondientes a la población, tanto permanente como estacional, la industria conectada, los comercios e instituciones y las pérdidas para los años de estudio.

AÑO	CONSUMO BRUTO SEGÚN EL TIPO DE CONSUMIDOR (hm³/año)					CONSUMO BRUTO TOTAL (hm³/año)
	POBLACIÓN PERMANENTE	POBLACIÓN ESTACIONAL	INDUSTRIA CONECTADA	COMERCIAL E INSTITUCIONAL	PÉRDIDAS	
1998	4,88	0,81	0,47	1,53	2,18	9,86
2001	4,96	0,83	0,48	1,55	2,21	10,03
2004	5,27	0,88	0,50	1,65	2,35	10,65
2007	5,53	0,99	0,53	1,78	2,48	11,31
2010	5,69	1,03	0,54	1,82	2,53	11,61
2013	5,76	1,08	0,55	1,85	2,57	11,81
2015	5,83	1,10	0,56	1,89	2,59	11,97
2018	5,95	0,92	0,83	1,75	2,65	12,10

Tabla 1.6: Consumo bruto urbano en Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

Por otro lado, para estimar la demanda urbana en el año horizonte se estudia la evolución, observándose un cambio en la tendencia. De este modo, se distinguen, por un lado, el grupo de años 1998 – 2007 y, por otro lado, el grupo 2007 – 2018.

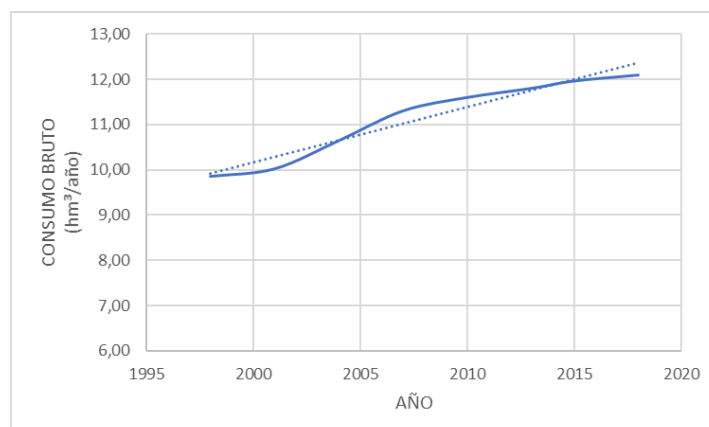


Figura 1.10: Evolución del consumo urbano en Motril (Fuente: elaboración propia)

Por tanto, se aplicará el modelo de la tasa de crecimiento. Para ello se emplearán los últimos 4 periodos que siguen la misma tendencia, calculándose la tasa de crecimiento para así poder calcular una tasa de crecimiento media.

$$\alpha = \left(\sqrt[n]{\frac{D}{D_a}} \right) - 1$$

Donde:

- n es el número de años del periodo
- D es la demanda en el último año del periodo (hm³/año)
- Da es la demanda en el primer año del periodo (hm³/año)



- Periodo 1: 2007 - 2010

$$\alpha_1 = \left(\sqrt[3]{\frac{11,61}{10,31}} \right) - 1$$

$$\alpha_1 = 0,008672$$

- Periodo 2: 2010 - 2013

$$\alpha_2 = \left(\sqrt[3]{\frac{11,81}{11,61}} \right) - 1$$

$$\alpha_2 = 0,005757$$

- Periodo 3: 2013 - 2015

$$\alpha_3 = \left(\sqrt[3]{\frac{11,97}{11,81}} \right) - 1$$

$$\alpha_3 = 0,006819$$

- Periodo 4: 2015 - 2018

$$\alpha_4 = \left(\sqrt[8]{\frac{12,10}{11,97}} \right) - 1$$

$$\alpha_4 = 0.003662$$

Por tanto, la tasa de crecimiento promedio sería $\alpha = 0,0062288$. Una vez obtenida la tasa de crecimiento ya se puede obtener la demanda urbana en el año 2045 mediante la siguiente expresión:

$$D(t) = D_a(\alpha + 1)^n$$

$$D(2045) = 12,10 * (1 + 0,006228)^{25}$$

$$D(2045) = 14,13 \text{ hm}^3/\text{año}$$

4.2 Demanda agrícola

La Costa Tropical está bañada por el Mar mediterráneo y protegida del viento del norte por Sierra Nevada y Sierra Lújar. Además, está influenciada por los vientos del norte de África que ofrecen un microclima subtropical.

De este modo, encontramos más de 300 días de sol al año y temperaturas anuales de 20 grados que hacen del invierno de Motril de los más cálidos de Europa.

Estas extraordinarias condiciones climáticas convierten a esta zona en una gran productora de frutas tropicales de calidad tales como mango, aguacate o nísperos. Así pues, la economía de Motril se basa en gran parte en la agricultura por lo que mantener un abastecimiento adecuado para los regadíos es de vital importancia.

Los últimos estudios elaborados por el Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas andaluzas describen que la zona de estudio dispone, para el año 2018, 1941 ha de superficie regable.

AÑO	SUPERFICIE REGABLE (ha)	SUPERFICIE REGADA (ha)	NECESIDADES NETAS (m³/ha)	EEFICIENCIA	CONSUMO BRUTO (hm³/año)
1998	1843	1825	4907	83%	10,55
2001	1879	1872	4921	85%	10,82
2004	1901	1894	4953	85%	11,1
2007	1914	1909	4963	85%	11,19
2010	1922	1918	4979	85%	11,47
2013	1949	1938	4991	85%	11,81
2015	1957	1952	5075	85%	12,24
2018	2160	2160	5075	87%	12,62

Tabla 1.7: Consumo bruto de la agricultura en Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

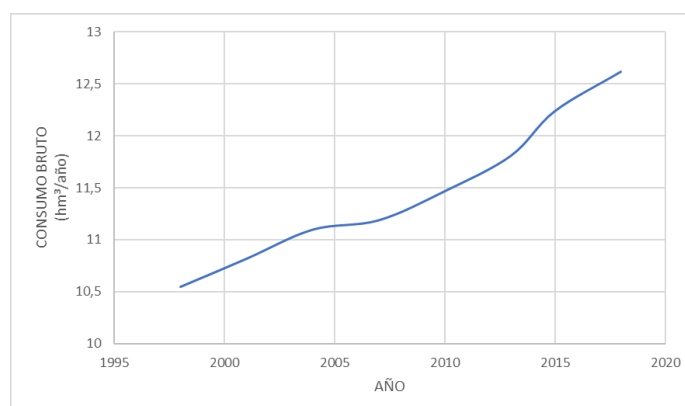


Figura 1.11: Evolución del consumo agrícola

Se puede asimilar que la evolución de la demanda agrícola sigue un crecimiento geométrico, por lo que se calculará la demanda bruta agrícola para el año horizonte (2045) según el modelo de la tasa de crecimiento. Para ello, distinguimos cuatro períodos de los que se calculará la tasa de crecimiento:

$$\alpha = \left(\sqrt[n]{\frac{D}{D_a}} \right) - 1$$

Donde:

- n es el número de años del periodo
- D es la demanda en el último año del periodo (hm³/año)
- Da es la demanda en el primer año del periodo (hm³/año)



- Periodo 1: 1998 - 2004

$$\alpha = \left(\sqrt[3]{\frac{11,10}{10,55}} \right) - 1$$

$$\alpha = 0,008506$$

- Periodo 2: 2004 – 2010

$$\alpha = \left(\sqrt[3]{\frac{11,47}{11,10}} \right) - 1$$

$$\alpha = 0,005480$$

- Periodo 3: 2010 – 2015

$$\alpha = \left(\sqrt[3]{\frac{12,24}{11,47}} \right) - 1$$

$$\alpha = 0,01308$$

- Periodo 4: 2015 – 2018

$$\alpha = \left(\sqrt[3]{\frac{12,62}{12,24}} \right) - 1$$

$$\alpha = 0,01024$$

Para obtener la demanda en el año horizonte se utilizará la media de las tasas de crecimiento de cada uno de los periodos anteriores, resultando:

$$\alpha = 0,009327$$

Por último, se aplica la expresión característica del modelo de la tasa de crecimiento:

$$D(t) = D_a * (1 + \alpha)^n$$

$$D(2043) = 12,62 * (1 + 0.009327)^{25}$$

$$D(2043) = 15,92 \text{ hm}^3/\text{año}$$

4.3 Demanda de la ganadería

La ganadería en el municipio de Motril es escasa pero no deja de ser una fuente de sustento económico para los ganaderos que viven de ella.

Por esta razón, hay que conocer la situación actual y la posible evolución de los distintos tipos de ganado para poder asegurar el abastecimiento tanto en día de hoy como en el futuro.

AÑO	CONSUMO BRUTO (hm³/año) SEGÚN TIPO DE GANADO					CONSUMO BRUTO TOTAL (hm³/año)
	PORCINO	OVINO	CAPRINO	EQUINO	AVIAR	
1998	0,003	0,02	0,02	0,01	0,01	0,063
2001	0,0026	0,02	0,015	0,008	0,008	0,0536
2004	0,0023	0,02	0,015	0,005	0,005	0,0473
2007	0,002	0,011	0,015	0,003	0,003	0,034
2010	0,0015	0,011	0,015	0,001	0,001	0,0295
2013	0,001	0,01	0,013	0,001	0,002	0,027
2015	0,001	0,011	0,012	0,001	0,001	0,026
2018	0,001	0,01	0,011	0,001	0,002	0,025

Tabla 1.8: Consumo bruto de la ganadería en Motril según el tipo de ganado (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

Como se puede observar en la figura 1.12, la ganadería tiene una tendencia decreciente por lo que la demanda ganadera en el año horizonte sería casi nula.

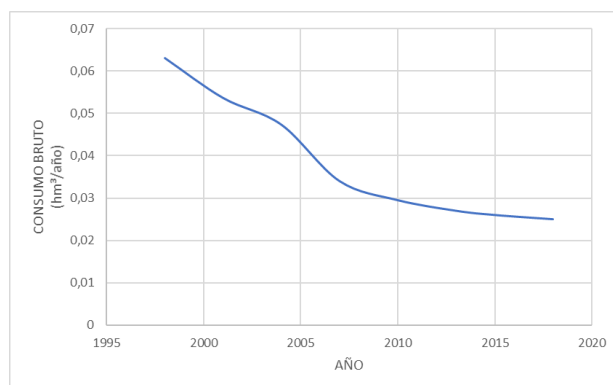


Figura 1.12: Evolución del consumo de ganadería (Fuente: Elaboración propia)

No obstante, para suplir posibles crecimientos espontáneos no predecibles, se estipula que la demanda bruta debida a la ganadería en el año horizonte será igual a la última registrada. Por tanto, la demanda de ganadería en 2045 será de 0.025 hm³/año.

4.4 Demanda industrial

En Motril distinguimos 4 principales zonas o polígonos industriales: Zona Industrial Puerto de Motril, Polígono Industrial El Vadillo, Polígono Industrial Alborán y Polígono Industrial Carretera Celulosa.

La industria que destaca entre todas ellas es Torraspapel, S.A. Una industria dedicada a la fabricación de papel y cartón que precisa de la mayor parte del agua destinada a este uso. Después de esta, encontramos otras industrias menores dedicadas principalmente a la generación de energía como puede ser Cogeneración, S.A. o La Palma.

La industria anteriormente descrita es una fuente de empleo para la población y un motor económico importante por lo que hay que dar acceso a la cantidad de agua que precisen, tanto en el año actual como en el año horizonte.

AÑO	CONSUMO INDUSTRIAL BRUTO (hm ³ /año)
1998	2,25
2001	2,24
2004	2,22
2007	2,16
2010	2,02
2013	1,92
2015	1,84
2018	1,8

Tabla 1.9: Consumo bruto industrial de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

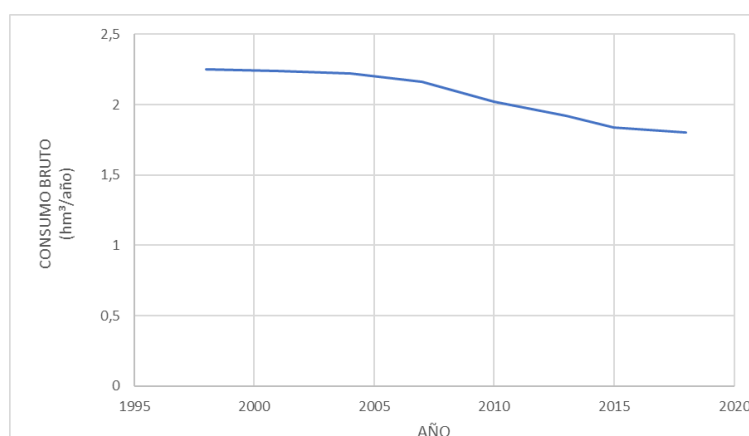


Figura 1.13: Evolución del consumo bruto industrial de Motril (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar, ocurre algo similar a la ganadería. La demanda bruta industrial tiene una tendencia decreciente por lo que la demanda industrial en el año horizonte se asimila con la actual. Por lo tanto, la demanda bruta industrial en 2045 será de 1.80 hm³/año.

4.5 Demanda total

Para finalizar, el consumo total de los años estudiados se obtendrá como la suma de los consumos relativos a los distintos usos del agua, tal y como se muestra en la tabla 1.10:

AÑO	CONSUMO ABASTECIMIENTO (hm ³ /año)	CONSUMO AGRICULTURA (hm ³ /año)	CONSUMO INDUSTRIAL (hm ³ /año)	CONSUMO GANADERÍA (hm ³ /año)	CONSUMO TOTAL (hm ³ /año)	CONSUMO TOTAL (m³/día)
1998	9,86	10,55	2,25	0,0630	22,73	62.267,19
2001	10,03	10,82	2,24	0,0536	23,14	63.410,64
2004	10,65	11,10	2,22	0,0473	24,02	65.808,56
2007	11,31	11,19	2,16	0,0340	24,69	67.654,79
2010	11,61	11,47	2,02	0,0295	25,13	68.839,18
2013	11,81	11,81	1,92	0,0270	25,57	70.042,19
2015	11,97	12,24	1,84	0,0260	26,08	71.441,10
2018	12,10	12,62	1,80	0,0250	26,55	72.731,51

Tabla 1.10: Consumo total de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

La demanda total en el año horizonte se obtendrá sumando la demanda en el año horizonte calculada para cada uno de los usos del agua establecidos, mostrada en la tabla 1.11:

AÑO	DEMANDA ABASTECIMIENTO (hm ³ /año)	DEMANDA AGRICULTURA (hm ³ /año)	DEMANDA INDUSTRIAL (hm ³ /año)	DEMANDA GANADERÍA (hm ³ /año)	DEMANDA TOTAL (hm ³ /año)	DEMANDA TOTAL (m ³ /día)
2043	14,13	15,9169	1,8000	0,025	31,88	87.331,01

Tabla 1.11: Demanda total en el año horizonte de Motril (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuenas Mediterráneas Andaluzas, 2009)

Se puede observar que la demanda de agua actual es de aproximadamente 75.000 m³/día, mientras que en el año horizonte aumentará hasta casi los 90.000 m³/día.

4.6 Situación actual

El abastecimiento actual de Motril se lleva a cabo principalmente por dos vías: el 40% del agua captada procede de fuentes de agua superficiales (Río Guadalfeo) mientras que el 60% restante vendría de fuentes de agua subterráneas (Acuífero Detrítico del Delta del Río Guadalfeo).

Teniendo en cuenta el porcentaje de agua procedente de captaciones superficiales y de captaciones subterráneas, y asimilando los datos de consumos y demanda en el año horizonte (tabla 1.11 y tabla 1.12, respectivamente) como la captación total realizada, se obtiene el número de metros cúbicos extraídos por sendas vías al día, tal y como se muestra en la tabla 1.13.

AÑO	CAPTACIÓN SUPERFICIAL (m ³ /día)	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA (m ³ /día)	DESALACIÓN (m ³ /día)	CAPTACIÓN TOTAL (m ³ /día)
1998	24.906,88	37.360,31	0	62.267,19
2001	25.364,26	38.046,38	0	63.410,64
2004	26.323,42	39.485,14	0	65.808,56
2007	27.061,92	40.592,88	0	67.654,79
2010	27.535,67	41.303,51	0	68.839,18
2013	28.016,88	42.025,32	0	70.042,19
2015	28.576,44	42.864,66	0	71.441,10
2018	29.092,60	43.638,90	0	72.731,51
2043	36.000,00	54.000,00	0	90.000,00

Tabla 1.12: Distribución del caudal extraído en función del tipo de captación (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuenas Mediterráneas Andaluzas, 2009).

El Acuífero Detrítico del Delta del Río Guadalfeo es de gran tamaño y con muchos recursos hídricos disponibles. No obstante, la sobreexplotación y el bombeo excesivo podría agravar el fenómeno de intrusión marina.

La intrusión salina es un fenómeno por el cual los acuíferos se conectan con el agua del mar, fluyendo el agua salada hacia el interior del subsuelo y mezclándose con el agua del acuífero. De este modo, el agua del acuífero se contaminaría y dejaría de ser funcional.



Por este motivo, es recomendable reducir el volumen de agua que se extrae anualmente de los acuíferos, buscando otras fuentes de agua.

Por otro lado, el agua que se extrae del Río Guadalfeo viene determinada por el caudal ecológico de dicho cauce, siendo el volumen del agua extraído el máximo posible para permitir cumplir con el caudal ecológico.

Tanto la situación de la intrusión marina en los acuíferos como el mantenimiento del caudal ecológico en el río Guadalfeo, hace necesario paliar estas deficiencias de los sistemas de captación de agua.

5 Conclusión

A pesar de que se ha estimado la evolución de todos los usos del agua, esta puede variar debido a crecimientos poblacionales inesperados, la formación de una industria nueva u otros acontecimientos no previsibles.

Como se ha mencionado anteriormente, es recomendable reducir el volumen de agua que se extrae anualmente del subsuelo y mantener el caudal ecológico del Río Guadalfeo.

Para poder mantener el caudal ecológico se va a imponer la condición de captar superficialmente del Río Guadalfeo un máximo de 30.000 m³/día, una cifra muy similar al agua captada por esta vía en 2018. Según la distribución del caudal extraído en función del tipo de captación (tabla 1.13), en el año 2043, superficialmente se debería extraer 36.000 m³/día, siendo esta cantidad superior al máximo extraíble.

De este modo, la planta desalinizadora deberá asumir estos 6.000 m³/día que no se pueden extraer del Río Guadalfeo para poder asegurar el caudal ecológico.

Respecto al agua del acuífero, se prevé que en el año 2043 un total de 54.000 m³/día sean extraídos por vía subterránea. Para paliar los efectos de los bombeos en la intrusión salina, se reducirá al 50% la cantidad de agua que se obtiene del subsuelo. Por tanto, esta cantidad que no se bombea, 27.000 m³/día, deberá ser asimilado por la planta desalinizadora.

En total, considerando la reducción de los bombeos y manteniendo el caudal ecológico, la planta desalinizadora deberá tener la capacidad de tratar un total de 33.000 m³/día. Ahora bien, esta capacidad de tratamiento es relativa al año horizonte. En el año actual (2018) el caudal de agua a tratar es inferior.

Para el año 2018, el agua extraída superficialmente (29.092,60 m³/día) cumple con la condición máxima para mantener el caudal ecológico del Río Guadalfeo, por lo que únicamente trabajará para paliar la reducción de los bombeos.

Puesto que la extracción subterránea equivale al 60% del agua total extraída (43.638,90 m³/día en 2018) y se quiere reducir la mitad, la cantidad de agua que se necesita suplir será de, aproximadamente, 22.000 m³/día.

En la tabla 1.14 ,y comparando con la situación sin desalinización (tabla 1.13), se puede observar el papel de la desalinización para poder alcanzar las demandas calculadas teniendo en cuenta las restricciones impuestas del caudal ecológico y la reducción de los bombeos.



AÑO	CAPTACIÓN SUPERFICIAL (m ³ /día)	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA (m ³ /día)	DESALACIÓN (m ³ /día)	CAPTACIÓN TOTAL (m ³ /día)
1998	24.906,88	37.360,31	0	62.267,19
2001	25.364,26	38.046,38	0	63.410,64
2004	26.323,42	39.485,14	0	65.808,56
2007	27.061,92	40.592,88	0	67.654,79
2010	27.535,67	41.303,51	0	68.839,18
2013	28.016,88	42.025,32	0	70.042,19
2015	28.576,44	42.864,66	0	71.441,10
2018	29.092,60	21.819,45	21.819,45	72.731,51
2043	30.000,00	27.000,00	33.000,00	90.000,00

Tabla 1.13: Distribución del caudal extraído en función del tipo de captación añadiendo la desalación (Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 2009).

Para concluir, cabe destacar que la tecnología de desalinización será ósmosis inversa y que la capacidad de la planta será de 33.000 m³/día, aunque en la actualidad trabajará únicamente con 22.000 m³/día.



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA**

**Anejo Nº2
MARCO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO Y TOPOGRÁFICO**





Índice de contenidos

1. Topografía.....	4
2. Geomorfología y geología.....	5
3. Hidrogeología	5
4. Sismicidad.....	6

Índice de figuras

Figura 2.1. Situación topográfica del Sur de Granada (Fuente: topographic-map).....	4
Figura 2.2. Situación topográfica de Motril (Fuente: topographic-map)	4
Figura 2.3. Situación topográfica de la ubicación de la IDAM (Fuente: topographic-map)	5
Figura 2.4. Mapa descriptivo del acuífero Motril-Salobreña. (Fuente: Sociedad Geológica de España, 2020).	6
Figura 2.5. Mapa de peligrosidad sísmica de España, en valores de intensidad, escala EMS-98. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2002).....	7





1. Topografía

El término municipal de Motril se caracteriza por situarse en una gran llanura litoral, extendida desde el río Guadalfeo hasta Torrenueva Costa. No obstante, la zona norte destaca por un relieve montañoso, situándose en la sierra de Lújar.

El 25% de la superficie destaca por ser prácticamente llano, con una pendiente inferior al 2%, un 40% del terreno motrileño tiene una pendiente media-baja inferior al 20% y solo un 35% consigue alcanzar una pendiente superior al 40%.

Ahora bien, como se puede observar en la Figura 2.3., la ubicación concreta está situada en un terreno plano con una altitud de menos de 5 m.s.n.m.

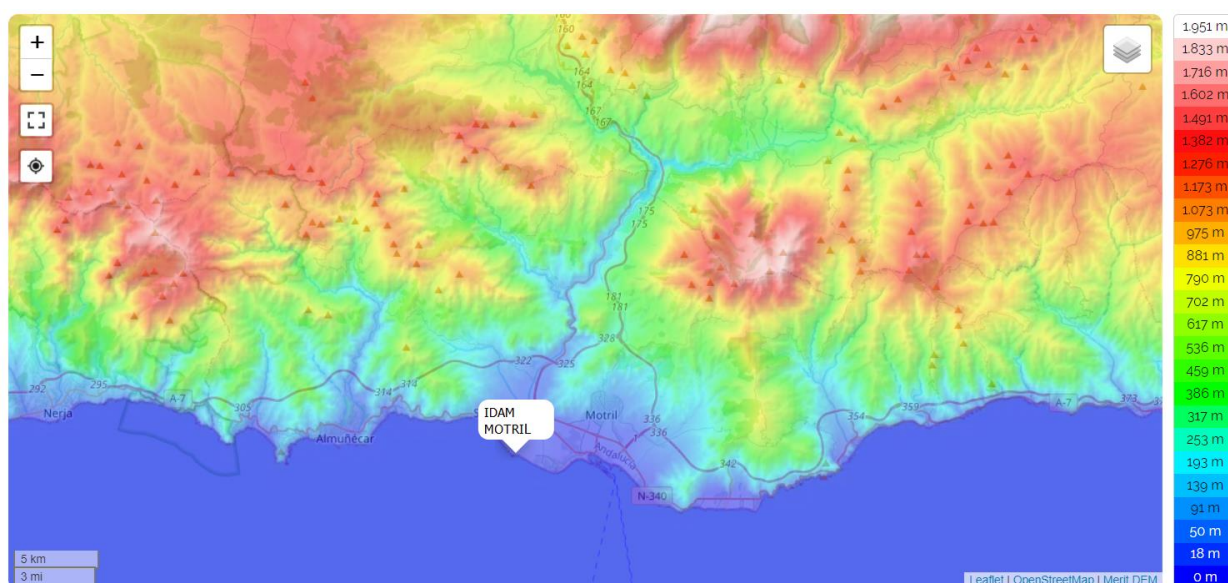


Figura 2.1. Situación topográfica del Sur de Granada (Fuente: topographic-map)

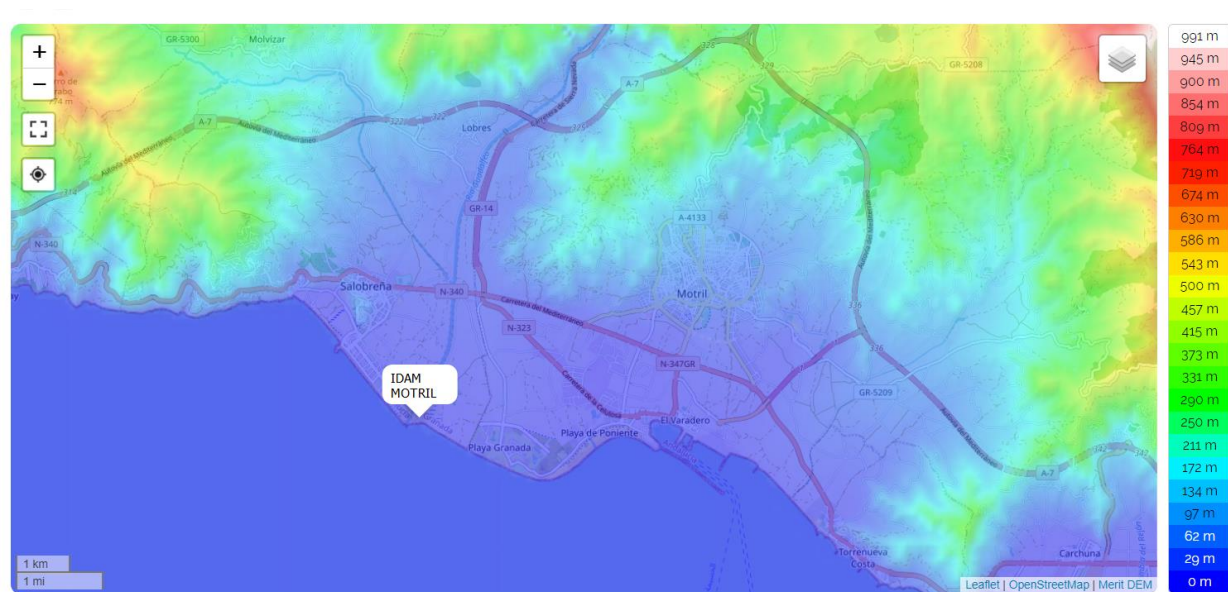


Figura 2.2. Situación topográfica de Motril (Fuente: topographic-map)

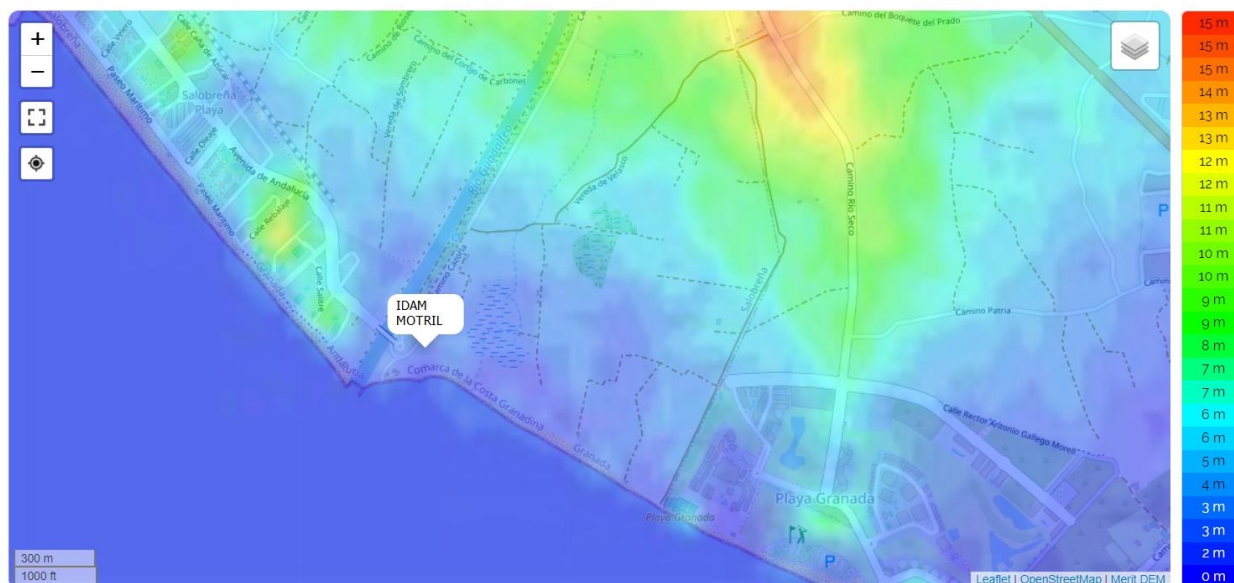


Figura 2.3. Situación topográfica de la ubicación de la IDAM (Fuente: topographic-map)

2. Geomorfología y geología

Desde el aspecto geológico, la costa de Granada se integra dentro del conocido Complejo Alpujárride, uno de los grandes dominios geológicos de la Cordillera Bética.

El mapa geológico nº1055 (Motril) y nº1056 (Albuñol), adjuntado en el apéndice Anejo nº2 y extraído del Instituto Geológico y Minero de España, muestra que la zona en cuestión goza de formaciones cuaternarias de origen fluvial principalmente, con una granulometría variada (limos, arenas y gravas).

Al Norte de Motril, en la zona más montañosa, se encuentran los depósitos de esquistos y cuarcitas característicos de la zona que dan lugar al relieve

En términos generales, el 40% del suelo de motril está formado por limos, arenas y arcillas mientras que el 60% restante, por cuarcitas y esquistos.

3. Hidrogeología

La zona de estudio se caracteriza por estar encima del Acuífero Motril-Salobreña, una masa de agua subterránea de gran calidad y cantidad. El agua del interior de dicho acuífero procede de la aportación del río Guadalfeo que la va recogiendo de toda la cara Sur de Sierra Nevada y de otros cauces eventuales.

Al Sur del acuífero se encuentra el mar Mediterráneo existiendo un gran riesgo de intrusión marina y la consecuente contaminación de las reservas de agua. Al Norte, limita con el acuífero carbonatado de Escalate y con el acuífero aluvial del río Guadalfeo. El resto de los límites del acuífero se pueden considerar impermeables debido a los valores tan bajos de permeabilidad.

Por un lado, el Acuífero Motril – Salobreña, presenta las siguientes aportaciones de agua: (1) entrada subterránea a partir del acuífero aluvial del río Guadalfeo, (2) entrada subterránea a partir del acuífero carbonatado de Escalate, (3) entrada directa por infiltración del río Guadalfeo, (4) recarga por excedentes de riego y (5) infiltración a partir de la lluvia.

Por otro lado, el acuífero en cuestión tiene tres principales salidas de agua: (1) extracción por bombeo, (2) descarga del acuífero al río y (3) descarga subterránea al mar Mediterráneo.

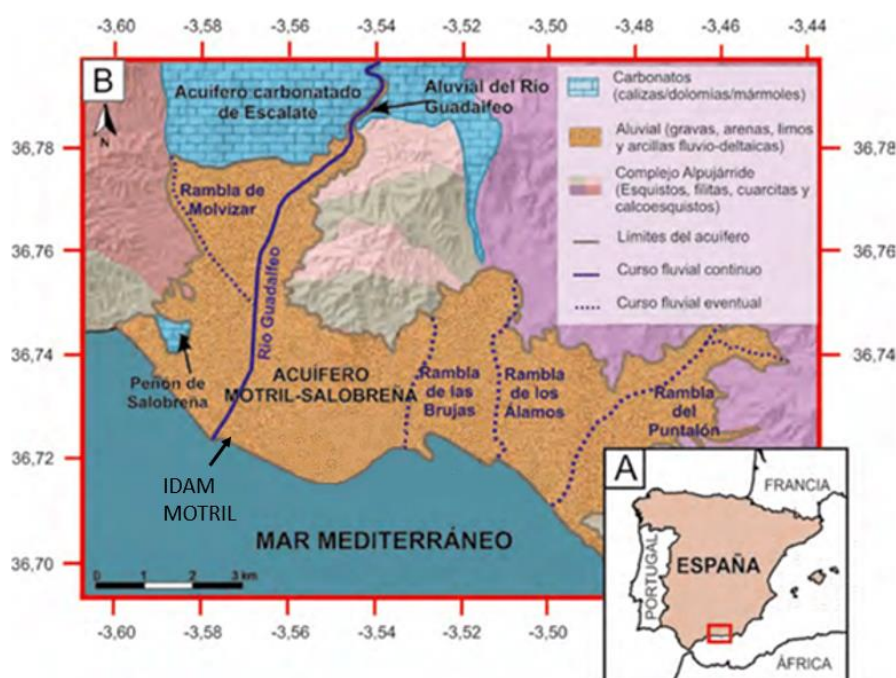


Figura 2.4. Mapa descriptivo del acuífero Motril-Salobreña. (Fuente: Sociedad Geológica de España, 2020).

Ahora bien, la actuación antrópica y el cambio de usos del suelo están provocando la variación de las recargas del acuífero, disminuyendo la cantidad de los recursos hídricos disponibles.

4. Sismicidad

La provincia de Granada se considera una de las zonas de mayor riesgo por sismicidad de todo el país, situándose en un grado VIII en la Escala Macrosísmica Europea.

A lo largo de la historia se han registrado numerosos episodios de terremotos de gran magnitud, como el ocurrido en 1884 en Arenas del Rey con 839 víctimas mortales con una intensidad de IX-X. Posteriormente, se han sucedido otros, pero de intensidades menores.

De diciembre de 2020 a febrero de 2021 se han registrado 1167 terremotos en las cercanías a la ciudad de Granada, de una magnitud menor a 5 en la escala de Richter.

Esta problemática afectará al diseño y construcción de la planta desalinizadora, teniendo que utilizar coeficientes de seguridad para evitar posibles daños en la instalación.

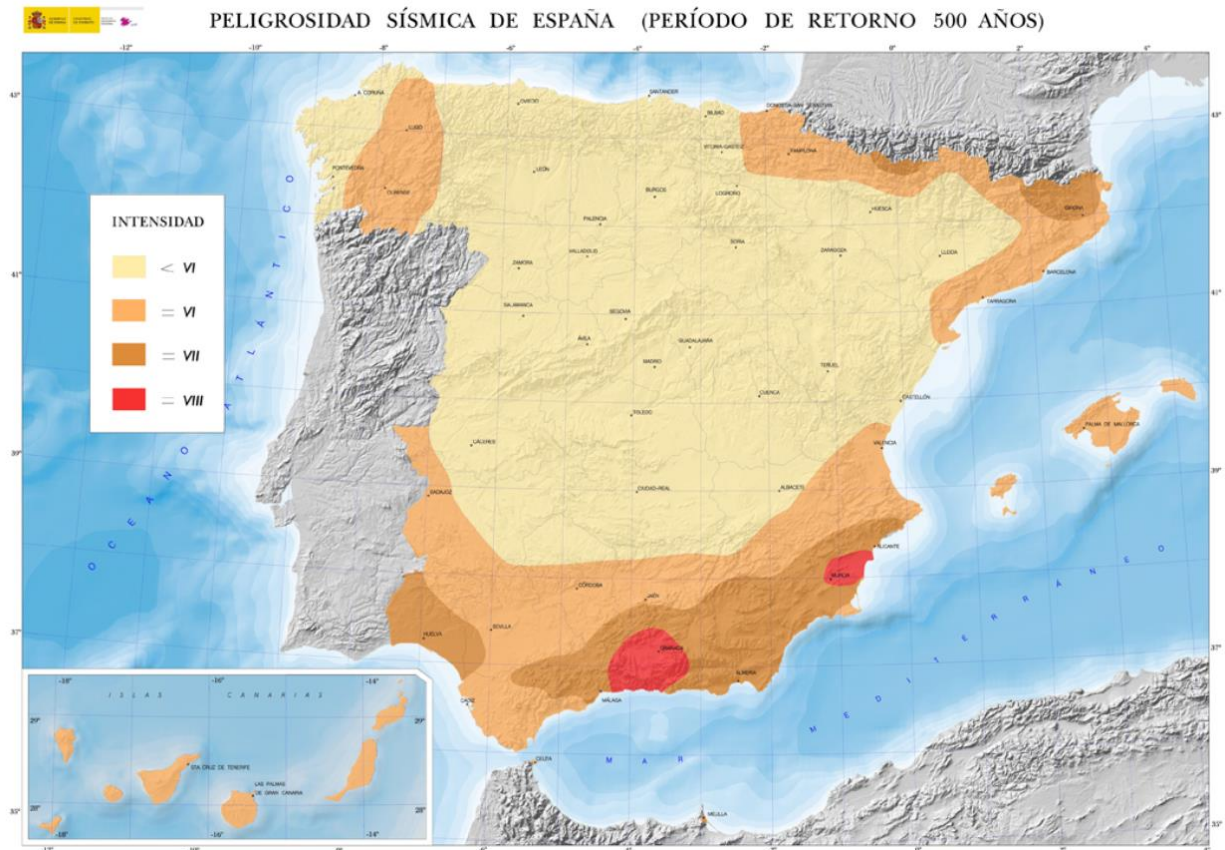


Figura 2.5. Mapa de peligrosidad sísmica de España, en valores de intensidad, escala EMS-98. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2002)



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA**

**APÉNDICE ANEJO Nº2
PLANOS GEOLÓGICOS**

LEYENDA

CUATERNARIO

ALBUÑOL
MANTO DE SALOBREÑA

UNIDADES DEL MANTO DE LA HERRADURA

UNIDADES DEL MANTO DE ADRA
UNIDAD DE SORMLAN

UNIDAD DE SACRATIF (ADRA)

UNIDAD MELICENA

MANTO DE MURTAS

MANTO DE ALCAZAR

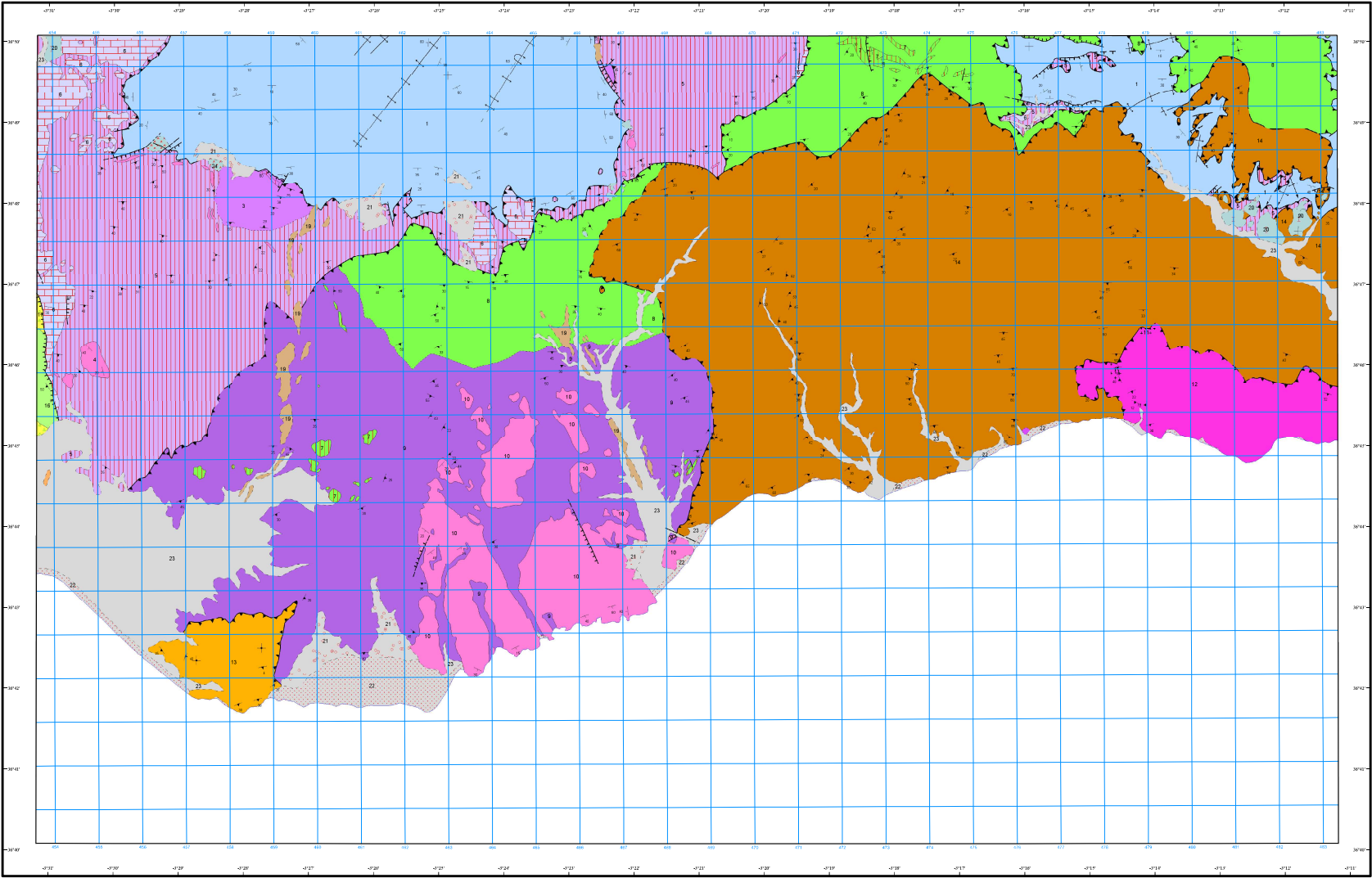
MANTO DE LUJAR

24 Derrubios
23 Gravas y arenas
22 Arenas de playa
21 Conglomerados
20 Travertinos
19 Mantos encontrados
18 Esquistos oscuros y cuarcitos con estaurita y andalucita
17 Esquistos gruesos con biotita y hacia la parte inferior, granate
16 Esquistos y cuarcos oscuros con estaurita
15 Filas y algunas cuarcitas. Yeso muy abundante. Calcoesquistos
14 Esquistos graníticos con granate y estaurita. Cuarcas y esquistos cuarcíticos con biotita en la parte superior
13 Cuarcas y esquistos con biotita y andalucita
12 Esquistos con granate
11 Grutas con granate
10 Mármol calizas y dolomitos. Mármol bandeados. Calcoesquistos en la base.
9 Cuarcas y filas. Calcoesquistos. Localmente yeso
8 Cuarcas y esquistos cuarcíticos con biotita. En la base esquistos con granate y localmente estaurita
7 Calcas recristalizadas y mármol micáceo
6 Dolomías, calizas y mármol. Calcoesquistos en la base
5 Filas y cuarcas. Localmente yeso. Calcoesquistos.
4 Calcas y dolomías. Calcoesquistos
3 Cuarcas y esquistos con biotita
2 Calcas amarillentas recristalizadas
1 Calcas dolomías. Intercalaciones locales de micacitas, yeso, rocas verdes y xalocitas. Mineralizaciones de plomo y fluorita.

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

----- Contacto concordante
----- Contacto discordante
----- Contacto discordante supuesto
----- Faja conocida
----- Faja con indicación de hundimiento
----- Cabalgamiento conocido
----- Anticlinal
----- Anticlinal con vertice de inmersión
----- Anticlinal tumbado
----- Estratificación
----- Equisetidad no determinada

----- Contacto discordante
----- Contacto mecánico
----- Faja sujeta
----- Faja con indicación de hundimiento sup.
----- Cabalgamiento supuesto
----- Anticlinal supuesto
----- Anticlinal exsintético
----- Estratificación subhorizontal
----- Equisetidad no determinada subhorizontal
----- Dirección y sujeción de superficie de fractura



NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E.
AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLOGICA: 1973
Autores: F. Aldaya Valverde (IGN/IGME)
Dirección y supervisión: G. del Amor García (IGME)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000



Instituto Geológico
y Minero de España

MOTRIL

1055

19-44

LEYENDA

CUATERNARIO	PLEISTOCENO

(MANTOS) ALPUJARRIDES
MANTO DE LOS GUAJARES (UNIDAD DE QUINDALERA)

PALEOCENO	TRIÁS

UNIDADES DEL MANTO DE SALOBREÑA

PALEOCENO	TRIÁS

UNIDADES DEL MANTO DE LA HERRADURA

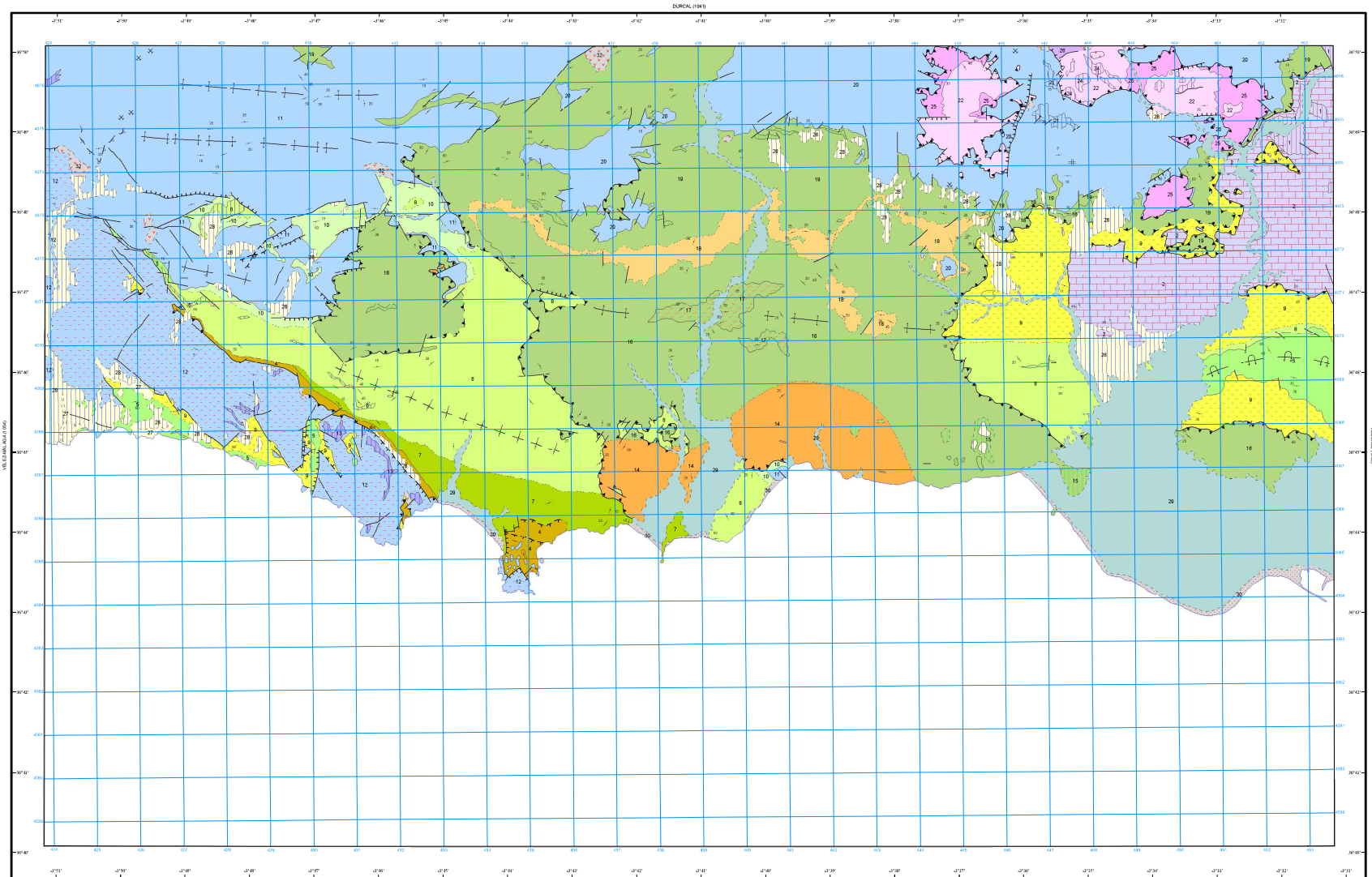
PALEOCENO	TRIÁS

MANTO DE ALCAZAR

TRIÁS	PERMICO
SUPERIOR	
MEDIO	
INFERIOR	

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

-----	Contacto concordante	-----	Contacto concordante supuesto
-----	Contacto discordante	-----	Contacto mecánico
-----	Contacto mecánico supuesto	-----	Falla conocida
-----	Falla supuesta	-----	Falla con indicación de hundimiento
-----	Falla con indicación de hundimiento sup.	-----	Falla inversa supuesta
-----	Cabalgamiento conocido	-----	Cabalgamiento supuesto
-----	Anticlinal	-----	Anticlinal supuesto
-----	Sinclinal	-----	Sinclinal supuesto
-----	Estratificación invertida	-----	Estratificación
-----	Pizarrosidad horizontal	-----	Pizarrosidad vertical
-----	Pizarrosidad	-----	Mina inactiva



Área de Sistemas de Información Geocientífica

Escala 1:50.000

Proyección y Cuadrícula UTM, Elipsoide Internacional, Huso 30

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL LGALE
AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLOGICA: 1973
Autores: J. Arred (BILBAO)
V. García-Duñas (Univ. de Bilbao)
F. Alaña
Dirección y supervisión: (BANE)



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA.**

**Anejo Nº3
DISEÑO DE LA INSTALACIÓN**





Índice de contenidos

1. Consideraciones iniciales.....	8
1.1. Características y propiedades del agua de alimentación.....	8
1.2. Características del agua producto	9
2. Dimensionamiento del sistema de ósmosis inversa.	10
2.1. Selección de la membrana.....	10
2.2. Configuración del sistema de ósmosis inversa.....	14
2.2.1. Obtención del factor de conversión.....	14
2.2.2. Obtención del número de tubos de presión	14
2.2.3. Obtención del número de membranas según el consumo específico.	17
3. Reactivos de pretratamiento químico	21
3.1. Consideraciones iniciales	21
3.2. Hipoclorito de sodio	22
3.2.1. Dosificación en continuo	23
3.2.2. Dosificación en choque	25
3.3. Cloruro férrico	26
3.4. Ácido sulfúrico	27
3.5. Bisulfito de sodio	28
3.6. Antiescalante.....	29
4. Pretratamiento físico	30
4.1. Filtros de arena	30
4.1.1. Selección del modelo de filtro multimedia	30
4.1.2. Diseño del medio filtrante	32
4.1.3. Contra lavado de filtros.....	33
4.2. Filtros de cartucho	35
5. Alimentación de bastidores de ósmosis inversa	37
5.1. Bombeo de alta presión	38
5.2. Bombeo de refuerzo de alta presión.....	40
6. Paso de ósmosis inversa	42
6.1. Configuración de los bastidores	42
7. Recuperación de energía	43
8. Remineralización	46
8.1. Introducción.....	46
8.2. Estudio de remineralización	47
8.2.1. Determinación del pH real.....	48
8.2.2. Determinación del pH de saturación	48
8.2.3. Determinación del Índice de Langelier (LSI)	50
8.2.4. Características del agua remineralizada.....	50



8.3.	Dosificación de carbonato cálcico (CaCO_3)	51
8.3.1.	Almacenamiento de carbonato cálcico y limpieza de los lechos de calcita	53
8.4.	Dosificación de dióxido de carbono (CO_2).....	53
8.4.1.	Almacenamiento de dióxido de carbono.....	54
9.	Almacenamiento y bombeo del agua producto	54
10.	Cloración del agua producto	iError! Marcador no definido.



Índice de figuras

Figura 3.1: evolución de la temperatura del Mar Mediterráneo (Fuente: SeaTemperature.info).....	8
Figura 3.2: guía de selección para membrana de OI de la empresa FilmTech (Fuente: Dupont)	10
Figura 3.3: guía de diseño para membrana ed OI de 8" de acuerdo al tipo de agua de alimentación (Fuente: Dupont)	11
Figura 3.4: ERI Power Model – Caso 1 (Fuente: Elaboración propia)	18
Figura 3.5: ERI Power Model – Caso 2 (Fuente: Elaboración propia)	19
Figura 3.6: puntos de dosificación de los reactivo químicos en la línea de agua (Fuente: Elaboración propia)	21
Figura 3.7: dimensiones de los distintos modelos de filtros horizontales (Fuente: Calplas)	30
Figura 3.8: filtro de cartucho vertical de 2 cuerpos modelo FCV2-1400-40 (Fuente: TREPOVI)	36
Figura 3.9: esquema del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia)	37
Figura 3.10: bomba de alta presión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer).....	38
Figura 3.11: características técnicas de la bomba de alta impulsión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer).....	39
Figura 3.12: bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)	40
Figura 3.13: curva característica de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)....	41
Figura 3.14: esquema de funcionamiento de los intercambiadores de presión ERI (Fuente: ERI).	43
Figura 3.15: ERI Power Model – Caso 1 (Fuente: Elaboración propia).....	44
Figura 3.16: ERI Power Model – Caso 2 (Fuente: Elaboración propia).....	45
Figura 3.18: relación entre la alcalinidad del permeado y la dosificación de CO ₂ para conseguir un agua remineralizada con un pH de 8,2 y con 0,7 mg CO ₂ /L. (Fuente: Hernández-Suárez, 2010)	47
Figura 3.19: bomba Booster modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos)	55
Figura 3.20: curva característica de la bomba del agua producto modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos).	56





Índice de tablas

Tabla 3.1: analítica de agua de mar en un punto del Mar Mediterráneo (Fuente: Ayuntamiento de Motril)	8
Tabla 3.2: valor paramétrico de las principales características del agua producto (Fuente: Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero)	9
Tabla 3.3: parámetros a considerar para el diseño del sistema de OI según el tipo de agua de alimentación (Fuente: Dupont)	12
Tabla 3.4: resultados obtenidos en el software ROSA para la selección de membranas (Fuente: Elaboración propia).	13
Tabla 3.5: resultados obtenidos en el software ROSA para la selección del número de membranas y tubo de presión. Caso 1 – 6 membranas (Fuente: Elaboración propia).	15
Tabla 3.6: resultados obtenidos en el software ROSA para la selección del número de membranas y tubo de presión. Caso 2 – 7 membranas (Fuente: Elaboración propia).	16
Tabla 3.7: consumo específico de cada alternativa de estudio (Fuente: Elaboración propia).	20
Tabla 3.8: tabla resumen de las características del sistema de OI (Fuente: Elaboración propia).	20
Tabla 3.9: consideraciones iniciales para la dosificación de reactivos (Fuente: Elaboración propia).....	21
Tabla 3.10: dosificación en continuo de hipoclorito sódico en el agua de alimentación (Fuente: Elaboración propia)	23
Tabla 3.11: dosificación en choque de hipoclorito sódico (Fuente: Elaboración propia).....	25
Tabla 3.12: dosificación en continuo de cloruro férrico (Fuente: Elaboración propia).....	26
Tabla 3.13: dosificación en continuo de ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia)	27
Tabla 3.14: dosificación en continuo de bisulfito sódico (Fuente: Elaboración propia)	28
Tabla 3.15: dosificación en continuo de antiescalante (Fuente: Elaboración propia).....	29
Tabla 3.16: características del modelo de filtros horizontales (Fuente: Calplas)	31
Tabla 3.17: flujo circulante por los filtros en condiciones normales y de contra lavado (Fuente: Elaboración propia)	32
Tabla 3.18: características de la antracita de la capa filtrante (Fuente: Keinen)	32
Tabla 3.19: características de la arena de la capa filtrante (Fuente: Keinen)	33
Tabla 3.20: características de la grava de la capa de drenaje (Fuente: Keinen)	33
Tabla 3.21: caracterización del contra lavado con agua de los filtros (Fuente: Calplas).	33
Tabla 3.22: caracterización del contra lavado con aire de los filtros (Fuente: Calplas).	34
Tabla 3.23: duración de las distintas partes del contra lavado (Fuente: Calplas).	34
Tabla 3.24: duración de las distintas partes del contra lavado (Fuente: Elaboración propia).	34
Tabla 3.25: características del filtro de cartucho (Fuente: TREPOVI).....	35
Tabla 3.26: flujo circulante en los filtros de cartucho según la situación (Fuente: Elaboración propia)..	35
Tabla 3.27: características del sistema de filtros de cartucho (Fuente: TREPOVI).	36
Tabla 3.28: características del sistema de alimentación de los bastidores de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)	37
Tabla 3.29: características del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).	38
Tabla 3.30: características de la bomba de alta presión (Fuente: Sulzer)	38
Tabla 3.31: características del bombeo de refuerzo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).	40



Tabla 3.32: características de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Elaboración propia).	
.....	40
Tabla 3.33: características del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia).	42
Tabla 3.34: configuración de los bastidores del sistema de ósmosis inversa (Fuente: Dupont).	42
Tabla 3.35: características del sistema de recuperación de energía (Fuente: ERI).	43
Tabla 3.36: consumo específico del sistema de ósmosis inversa con el recuperador de energía PX-Q300 para los distintos casos simulados (Fuente: ERI)	45
Tabla 3.37: iones del agua producto obtenido de las simulaciones de ROSA (Fuente: Elaboración propia)	
.....	46
Tabla 3.38: características del agua producto (Fuente: Elaboración propia)	46
Tabla 3.39: características recomendadas para las aguas desaladas con un nivel adecuado de remineralización (Fuente: Hernández-Suárez, 2010)	47
Tabla 3.40: concentración de cada uno de los diferentes productos que intervienen en el tratamiento de remineralización mediante lechos de calcita y dosificación de CO ₂ (Fuente: elaboración propia).	48
Tabla 3.41: iones del agua remineralizada (Fuente: Elaboración propia)	51
Tabla 3.42: características del agua remineralizada (Fuente: Elaboración propia)	51
Tabla 3.43: recomendaciones de las características del proceso de remineralización (Fuente: DrinTec)	51
Tabla 3.44: condiciones iniciales para el diseño de los lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)	52
Tabla 3.45: características técnicas del sistema de lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)	52
Tabla 3.46: características del almacenamiento de calcita para la remineralización (Fuente: Elaboración propia)	53
Tabla 3.47: características de la dosificación de dióxido de carbono en la remineralización (Fuente: Elaboración propia)	53
Tabla 3.48: características del tanque de almacenamiento del dióxido de carbono para la remineralización (Fuente: ASCO CO ₂)	54
Tabla 3.49: características del tanque de almacenamiento agua producto (Fuente: TANKEROS)	54
Tabla 3.50: características del bombeo del agua producto (Fuente: Elaboración propia).	55
Tabla 3.51: características de la bomba de impulsión del agua producto (Fuente: Grundfos).	55
Tabla 3.52: dosificación en continuo de cloro antes de la distribución del agua producto (Fuente: elaboración propia).	iError! Marcador no definido.



1. Consideraciones iniciales

1.1. Características y propiedades del agua de alimentación

Para empezar, es necesario conocer las propiedades y características del agua que se va a captar para así poder dimensionar de la mejor forma posible la planta desalinizadora. El agua de alimentación se captará en la playa Punta del Río, en la localidad de Salobreña (Granada), a una distancia de 200 metros de la ubicación de la planta. En la tabla 3.1. se muestran las principales características químicas del agua.

Parámetro	Valores	Unidades	Parámetro	Valores	Unidades
STD	37903	mg / L	PO ₄ ³⁻	0,088	mg / L
Ca	412	mg / L	B	4,5	mg / L
Mg	1284	mg / L	Br ⁻	67	mg / L
Na	10800	mg / L	NH ₄ ⁺	0,08	mg / L
K	399	mg / L	Dureza total	6317,5	mg / L
Fe	0,324	mg / L	Alcalinidad total	118,9	mg / L
Cl ⁻	22000	mg / L	HCO ₃ ⁻	145	mg / L
NO ₃ ⁻	3,81	mg / L	Cloro libre	0	mg / L
SO ₄ ²⁻	2701	mg / L	pH	7,8	
F ⁻	1	mg / L	Temperatura	21	°C
SiO ₂	2,3	mg / L	EC	58200	µS / cm

Tabla 3.1: analítica de agua de mar en un punto del Mar Mediterráneo (Fuente: Ayuntamiento de Motril)

Además de las características químicas del agua, otro parámetro que influirá en el diseño de la desalinizadora es la temperatura del agua de alimentación, si es constante a lo largo del año o, por el contrario, presenta grandes variaciones. En la figura 3.1, se puede observar la evolución durante 2020 del perfil de temperatura en un punto del Mar Mediterráneo próximo a la ubicación de la IDAM.

La temperatura mínima se registró en febrero, con un valor de 14,2°C mientras que la temperatura máxima se logró en agosto con una cifra de 24,4°C. Esta variación de 10°C se deberá tener en cuenta para dimensionar de forma adecuada y no suponer un problema en el correcto funcionamiento de la planta.

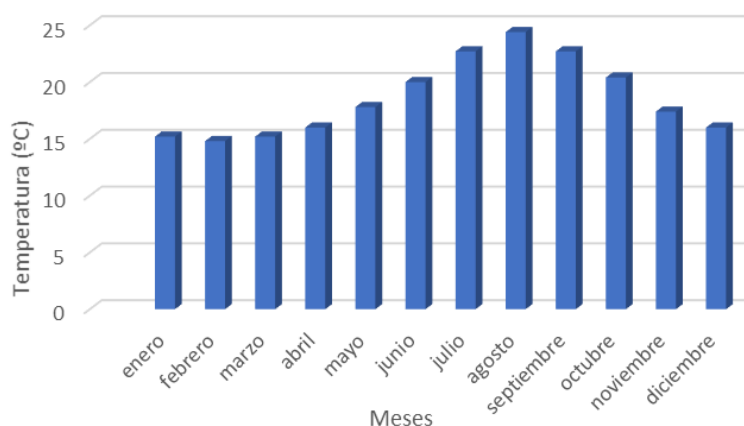


Figura 3.1: evolución de la temperatura del Mar Mediterráneo (Fuente: SeaTemperature.info)



1.2. Características del agua producto

El agua producto debe tener unas características tales que cumplan lo dispuesto en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, tal y como se muestra en el apéndice del anejo.

Este Real Decreto establece tres grupos de parámetros: parámetros microbiológicos, parámetros químicos y parámetros indicadores. Ahora bien, los parámetros que se tendrán en cuenta son los resumidos en la tabla 3.2.

Parámetro	Valor paramétrico	Unidades
Antimonio	5	µg/L
Arsénico	10	µg/L
Benceno	1	µg/L
Boro	1	mg/L
Bromato	10	µg/L
Cadmio	5	µg/L
Cianuro	50	µg/L
Cobre	2	mg/L
Cromo	50	µg/L
Fluoruro	1,5	mg/L
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)	0,1	µg/L
Mercurio	1	µg/L
Níquel	20	µg/L
Nitrato	50	mg/L
Nitritos	0,1	mg/L
Calcio	100	µg/L
Magnesio	50	µg/L
Alumnio	200	µg/L
Amonio	0,5	mg/L
Cloruro	250	mg/L
Hierro	200	µg/L
Magnganeso	50	µg/L
Sodio	200	mg/L
Sulfato	250	mg/L
pH	6,5 - 9,5	

Tabla 3.2: valor paramétrico de las principales características del agua producto (Fuente: Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero)



2. Dimensionamiento del sistema de ósmosis inversa.

El proceso de desalinización está comprendido por una serie de etapas por las cuales el agua de alimentación sufre una serie de cambios fisicoquímicos. Estas variaciones que sufre deben estar controladas dentro de los distintos componentes de la planta.

El sistema de ósmosis inversa es el proceso por el cual el agua de alimentación pierde la mayoría de sus sales disueltas, por lo que es vital llevar a cabo el diseño más específico posible.

Para un dimensionamiento adecuado se seleccionará la membrana que se colocará (tanto la casa comercial distribuidora como el modelo exacto de membrana) y la configuración de tubos y bastidores que ofrezcan el menor consumo específico.

2.1. Selección de la membrana

- Selección del fabricante de membranas

Actualmente existen en el mercado una gran variedad de fabricantes de membranas de ósmosis inversa y, por esto, seleccionar un fabricante concreto es una tarea muy importante. Se han tenido en cuenta tres fabricantes líderes en el sector: Filmtec, Toray y Suez.

Las tres casas comerciales de membranas consideradas tienen una gran experiencia en el ámbito de la ósmosis inversa, además de mucha variedad de productos.

Se ha escogido a Filmtec como el proveedor de las membranas ya que tiene una mayor variedad de membranas y así se podrá seleccionar la membrana de ósmosis inversa acorde a las necesidades del proyecto.

- Selección del modelo de membrana

La empresa Dupont – Filmtec tiene a disposición de sus clientes un catálogo de membranas con sus especificaciones técnicas. El catálogo presenta una guía para escoger la membrana que mejor se adapte a las características del agua a desalar y a las necesidades energéticas.

What is your primary driver?			
Low Energy		Highest Rejection	
Lowest Energy Use Choose FILMTEC SW30XLE-400i	Low Energy Use + High Rejection Choose FILMTEC SW30HR LE-400i	One Pass System Choose FILMTEC SW30HR-380	Two Pass System Choose FILMTEC SW30XLE-400i (Combined with brackish water second pass)

Figura 3.2: guía de selección para membrana de OI de la empresa FilmTech (Fuente: Dupont)



Ahora bien, la siguiente cuestión a resolver consiste en priorizar un mínimo consumo energético o una mayor eliminación de sales. Se valorará la opción que proporcione un menor consumo energético, dentro de los parámetros de salinidad adecuados.

Por tanto, las membranas a considerar en el estudio inicial serán SWE30XLE – 400i y SW30HR LE -400i

A continuación, hay que tener en cuenta un parámetro fundamental en el proceso de diseño, la carga superficial de la membrana (flux). A partir de la figura 3.3, obtenida del catálogo comercial de FilmTech y considerando que se va a utilizar una membrana de 8" ya que son las más comunes, se obtiene este parámetro en función de la tipología de agua a tratar.

Feed Source	RO Permeate	Well Water	Surface Water			Wastewater (Filtered Municipal Effluent or Industrial Effluent)			Seawater		
			Surface Water with Ultrafiltration	Generic membrane filtration or advanced conventional pretreatment	Generic conventional pretreatment	Ultrafiltration	Generic membrane filtration (MBR/MF/UF)	Conventional pretreatment	Well or Open Intake with Ultrafiltration	Open Intake with generic membrane filtration or advanced conventional pretreatment	Open Intake with generic conventional pretreatment
Feed Silt Density Index (%/min)	SDI < 1	SDI < 3	SDI < 2.5	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 2.5	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 2.5	SDI < 3	SDI < 5
Maximum Element Recovery (%)	30	19	19	17	15	14	13	12	15	14	13
Active Membrane Area	Maximum Permeate Flow, gpd										
365-ft ² elements	10,200	8,500	8,500	7,200	6,600	6,300	5,900	5,200	— Not Recommended —		
370-ft ² elements	10,200	8,500	8,500	7,200	6,600	6,300	5,900	5,200	7,800	7,400	7,000
380-ft ² elements	10,700	8,900	8,900	7,500	6,900	6,500	6,000	5,300	7,900	7,600	7,200
390-ft ² elements	10,920	9,200	— Not Recommended —			— Not Recommended —			— Not Recommended —		
400-ft ² elements	11,200	9,300	9,300	7,900	7,300	6,800	6,400	5,700	8,400	8,000	7,600
440-ft ² elements	12,300	10,300	10,300	8,700	8,000	7,600	7,100	6,300	9,200	8,800	8,360
Design Flux Range, gfd (l/mh)	21 – 25 (36 – 43)	16 – 20 (27 – 34)	16 – 20 (27 – 34)	13 – 17 (22 – 29)	12 – 16 (20 – 27)	11 – 15 (19 – 26)	10 – 14 (17 – 24)	8 – 12 (14 – 20)	9 – 11 (15 – 19)	8 – 10 (14 – 17)	7 – 10 (12 – 17)
Max. Element Flux, gfd (l/mh)	28 (48)	22.7 (39)	22.7 (39)	20 (34)	18 (31)	17 (29)	16 (27)	14 (24)	21 (36)	20 (34)	19 (32)
Element Type	Minimum Concentrate Flowrate, gpm (m ³ /h)										
BW elements (365 ft ²)	10 (2.3)	13 (3.0)	13 (3.0)	13 (3.0)	15 (3.4)	16 (3.6)	16 (3.6)	18 (4.1)	— Not Recommended —		
BW elements (400 ft ² and 440 ft ²)	10 (2.3)	13 (3.0)	13 (3.0)	13 (3.0)	15 (3.4)	18 (4.1)	18 (4.1)	20 (4.6)	— Not Recommended —		
NF elements	10 (2.3)	13 (3.0)	13 (3.0)	13 (3.0)	15 (3.4)	18 (4.1)	18 (4.1)	18 (4.1)	— Not Recommended —		
Fullfit elements	25 (5.7)	25 (5.7)	— Not Recommended —			— Not Recommended —			— Not Recommended —		
SW elements	10 (2.3)	— NR —	— Not Recommended —			— Not Recommended —			13 (3.0)	14 (3.2)	15 (3.4)
Element Type	Active Area ft ² (m ²)	Maximum Feed Flowrate, gpm (m ³ /h)									
BW elements	365 (33.9)	65 (15)	65 (15)	65 (15)	63 (14)	58 (13)	52 (12)	52 (12)	52 (12)	— Not Recommended —	
BW/NF elements	400 (37.2)	75 (17)	75 (17)	75 (17)	73 (17)	67 (15)	61 (14)	61 (14)	61 (14)	— Not Recommended —	
BW elements	440 (40.9)	75 (17)	75 (17)	75 (17)	73 (17)	67 (15)	61 (14)	61 (14)	61 (14)	— Not Recommended —	
Fullfit elements	390 (36.2)	85 (19)	75 (17)	— Not Recommended —			— Not Recommended —			— Not Recommended —	
SW elements	370 (34.4)	65 (15)	— NR —	— Not Recommended —			— Not Recommended —			63 (14)	60 (13.5)
SW elements	380 (35.3)	72 (16)	— NR —	— Not Recommended —			— Not Recommended —			70 (16)	66 (15)
SW elements	400 (37.2)	72 (16)	— NR —	— Not Recommended —			— Not Recommended —			70 (16)	66 (15)

Figura 3.3: guía de diseño para membrana ed OI de 8" de acuerdo al tipo de agua de alimentación (Fuente: Dupont)



Para poder obtener la carga superficial hay que escoger el tipo de agua que va a llegar al sistema de ósmosis. La captación se realizará mediante una toma cerrada con torres de toma con un pretratamiento convencional, por lo que los parámetros a considerar según las especificaciones de FilmTech son:

Tipo de agua	Agua de mar
Especificación de tipo de agua	Toma cerrada con pretratamiento convencional
Feed Silt Density Index (SDI) (% / min)	SDI < 5
Maximum Element Recovery (%)	13
Design Flux Range (gdf)	(7 - 10)
Design Flux Range (lmh)	(12 - 17)
Max. Element Flux (gdf)	19
Max. Element Flux (lmh)	32

Tabla 3.3: parámetros a considerar para el diseño del sistema de OI según el tipo de agua de alimentación (Fuente: Dupont)

La empresa FilmTec tiene a disposición de los clientes un software (ROSA) que permite simular diferentes configuraciones a adoptar y poder escoger el modelo de membrana más adecuado.

Este software permite ir variando los parámetros característicos del agua de alimentación tales como la temperatura, el pH o las sales disueltas, además de las características del diseño de ósmosis inversa como el número de etapas o la configuración del bastidor.

La selección del modelo concreto de membrana se llevará a cabo fijando unas condiciones determinadas y comparando los resultados obtenidos en ROSA. Estas condiciones son:

- Etapa simple
- 45% de conversión
- Carga superficial o flux de diseño 12 – 17 lmh
- Caudal producto requerido 5500 m³/día (considerando 6 grupos)
- Configuración del bastidor 70:7
- 4 casos de estudio:
 1. Máxima temperatura (T=24,4°C) y máximo factor de flujo (FF = 1).
 2. Mínima temperatura (T=14,2°C) y máximo factor de flujo (FF = 1).
 3. Máxima temperatura (T=24,4°C) y mínimo factor de flujo (FF = 0,7).
 4. Mínima temperatura (T=14,2°C) y mínimo factor de flujo (FF = 0,7).



A continuación, se muestran los resultados obtenidos con ROSA en cada uno de los casos anteriores y para los dos tipos de membranas seleccionadas:

CASO	Parámetro	SW30XLE-400i	SW30HRLE-400i	Unidades
1	FF	1	1	-
	Temperatura	24,4	24,4	°C
	NDP media	16,78	18,71	bar
	Presión alimentación	58,11	60,08	bar
	Presión concentrado	52,88	52,9	bar
	Pérdidas carga	5,23	7,18	bar
	Consumo específico	4,48	4,64	kW/m3
	TDS	224,14	187,7	mg/L
2	FF	1	1	-
	Temperatura	14,2	14,2	°C
	NDP media	19,98	23,01	bar
	Presión alimentación	60,06	62,94	bar
	Presión concentrado	50,93	50,7	bar
	Pérdidas carga	9,13	12,24	bar
	Consumo específico	4,63	4,86	kW/m3
	TDS	126,06	104,62	mg/L
3	FF	0,7	0,7	-
	Temperatura	24,4	24,4	°C
	NDP media	20,49	23,68	bar
	Presión alimentación	61,84	65,07	bar
	Presión concentrado	52,88	52,9	bar
	Pérdidas carga	8,96	12,17	bar
	Consumo específico	4,77	5,02	kW/m3
	TDS	219,9	184,2	mg/L
4	FF	0,7	0,7	-
	Temperatura	14,2	14,2	°C
	NDP media	25,75	30,87	bar
	Presión alimentación	65,67	70,82	bar
	Presión concentrado	50,69	50,7	bar
	Pérdidas carga	14,98	20,12	bar
	Consumo específico	5,07	5,47	kW/m3
	TDS	122,87	102,91	mg/L

Tabla 3.4: resultados obtenidos en el software ROSA para la selección de membranas (Fuente: Elaboración propia).

Los dos criterios fundamentales para la selección del modelo de membrana son el consumo específico y los sólidos totales disueltos (TDS) del permeado. Ahora bien, puesto que el valor de TDS es muy similar en las pruebas con ambas membranas, aquella membrana de menor consumo específico será la utilizada.

En definitiva, la membrana seleccionada será el modelo SW30XLE-400i y, por tanto, los siguientes estudios se realizarán únicamente con ese modelo de membrana.



2.2. Configuración del sistema de ósmosis inversa

La configuración del sistema de ósmosis inversa vendrá dada por el número de tubos de presión, el número de membranas en cada tubo de presión, el factor de conversión considerado y el tipo de recuperador de energía utilizado con el número de intercambiadores de energía).

Se considerará dos casos de estudio: caso 1 (6 membranas) y caso 2 (7 membranas). Estudiando el resto de los parámetros para estos dos casos, finalmente, se adoptará una configuración u otra.

2.2.1. Obtención del factor de conversión

El factor de conversión (Y) o recuperación es el porcentaje de permeado que se obtiene a partir de un determinado caudal de alimentación. Se obtiene con el cociente (expresado en tanto por ciento) del caudal de permeado (Qp) entre el caudal de aportación que llega a las membranas (Qf).

Un factor de conversión bajo está relacionado con un mayor consumo energético pero un factor de conversión demasiado alto supone una elevada concentración de TDS. Por esto, se adopta $Y = 45\%$

2.2.2. Obtención del número de tubos de presión

Es necesario conocer la configuración del sistema de ósmosis inversa, es decir, el número de tubos de presión por bastidor y el número de membranas por tubo de presión. Para esto se utilizará el software Rosa estudiando los siguientes casos:

- Caso 1. 6 membranas.
- Caso 2. 7 membranas

Cada caso se estudiará el consumo específico, las pérdidas de carga y la concentración de TDS para un intervalo de 60-90 tubos de presión. Para poder hacer estas comprobaciones, se fijan los siguientes casos:

- Etapa simple
- 45% de conversión
- Carga superficial o flux de diseño 12 – 17 l/mh
- Caudal producto requerido 5500 m³/día (considerando 6 bastidores)
- 4 situaciones de estudio:
 1. Máxima temperatura ($T=24,4^{\circ}\text{C}$) y máximo factor de flujo ($FF = 1$).
 2. Mínima temperatura ($T=14,2^{\circ}\text{C}$) y máximo factor de flujo ($FF = 1$).
 3. Máxima temperatura ($T=24,4^{\circ}\text{C}$) y mínimo factor de flujo ($FF = 0,7$).
 4. Mínima temperatura ($T=14,2^{\circ}\text{C}$) y mínimo factor de flujo ($FF = 0,7$).



CASO 1. 6 MEMBRANAS				
Número de tubos de presión	T = Tmax; FF = 1			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	4.61	6.88	198.94	18.52
65	4.55	5.84	216.86	17.61
70	4.46	4.94	231.63	16.71
75	4.4	4.19	247.99	16.01
80	4.35	3.56	264.34	15.42
85	4.31	3	280.69	14.9
90	4.27	2.52	297.02	14.45
Número de tubos de presión	T = Tmax; FF = 0,7			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	4.97	11.46	195.46	23.08
65	4.86	9.89	213	21.64
70	4.74	8.53	227.46	20.28
75	4.64	7.33	243.32	19.13
80	4.58	6.44	259.49	18.29
85	4.51	5.6	275.55	17.5
90	4.46	4.93	291.7	16.85
Número de tubos de presión	T = Tmin; FF = 0.7			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	5.35	18.56	109.42	29.46
65	5.19	16.27	119.22	27.31
70	5.02	14.33	127.22	25.37
75	4.89	12.71	136.14	23.81
80	4.79	11.35	145.09	22.48
85	4.69	10.17	154.05	21.35
90	4.61	9.14	163.05	20.35
Número de tubos de presión	T = Tmin; FF = 1			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	4.79	11.42	111.18	22.33
65	4.7	9.93	121.23	20.98
70	4.58	8.66	129.43	19.72
75	4.5	7.6	138.58	18.71
80	4.43	6.71	147.78	17.86
85	4.36	5.89	156.94	17.08
90	4.32	5.25	166.2	16.48

Tabla 3.5: resultados obtenidos en el software ROSA para la selección del número de membranas y tubo de presión.
Caso 1 – 6 membranas (Fuente: Elaboración propia).



CASO 2. 7 MEMBRANAS				
Número de tubos de presión	T = Tmax; FF = 1			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	4.46	4.92	230.49	16.5
65	4.41	4.06	251.38	15.78
70	4.34	3.34	268.68	15.06
75	4.29	2.72	287.72	14.5
80	4.25	2.19	306.76	14.02
85	4.21	1.73	325.76	13.6
90	4.18	1.31	344.7	13.23
Número de tubos de presión	T = Tmax; FF = 0,7			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	4.73	8.47	226.11	20.03
65	4.65	7.19	246.59	18.9
70	4.54	6.04	263.43	17.74
75	4.48	5.19	282.26	16.96
80	4.42	4.4	301.02	16.22
85	4.36	3.73	319.81	15.59
90	4.32	3.19	338.6	15.08
Número de tubos de presión	T = Tmin; FF = 0.7			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	5.01	14.28	126.33	25.08
65	4.89	12.43	137.78	23.38
70	4.75	10.86	147.18	21.83
75	4.65	9.56	157.64	20.6
80	4.56	8.45	168.15	19.54
85	4.49	7.49	178.68	18.63
90	4.42	6.66	189.24	17.84
Número de tubos de presión	T = Tmin; FF = 1			
	Consumo específico (kW / m ³)	Pérdidas de carga (bar)	TDS (mg / L)	NDP media (bar)
60	4.58	8.65	128.64	19.48
65	4.5	7.44	140.4	18.41
70	4.4	6.41	150.07	17.4
75	4.33	5.48	160.71	16.53
80	4.28	4.76	171.52	15.87
85	4.23	4.19	182.39	15.34
90	4.19	3.65	193.19	14.84

Tabla 3.6: resultados obtenidos en el software ROSA para la selección del número de membranas y tubo de presión.
Caso 2 – 7 membranas (Fuente: Elaboración propia).



Con las distintas simulaciones del programa ROSA se puede afirmar que el consumo específico y las pérdidas de carga son menores al aumentar el número de tubos de presión; sin embargo, la concentración de TDS aumenta con el número de tubos presión.

Ahora bien, la concentración de TDS no varía mucho de la situación de 60 tubos de presión a la de 90 y, además, siempre se encuentra por debajo de su valor máximo admisible. Por tanto, los parámetros que se tendrá en cuenta para la selección serán el consumo específico y las pérdidas de carga.

El caso más favorable desde el punto de vista de los parámetros en cuestión es el de 90 tubos de presión; sin embargo, a partir de la simulación de 85 tubos de presión el programa avisa de un problema respecto a que la tasa de flujo de concentrado es menor al flujo mínimo recomendado.

Teniendo en cuenta este problema en la configuración de 90 tubos de presión (configuración con menor consumo específico y menores pérdidas de carga), el número de tubos que permite optimizar los parámetros dados será de 80.

En las tablas 3.7 y 3.8 se pueden apreciar los resultados de las distintas simulaciones con los parámetros más significativos.

Por tanto, las configuraciones que se seguirán estudiando para ver cuál es la idónea son:

- Caso 1. 6 membranas por cada tubo de presión y 80 tubos de presión.
- Caso 2. 7 membranas por cada tubo de presión y 80 tubos de presión.

2.2.3. Obtención del número de membranas según el consumo específico.

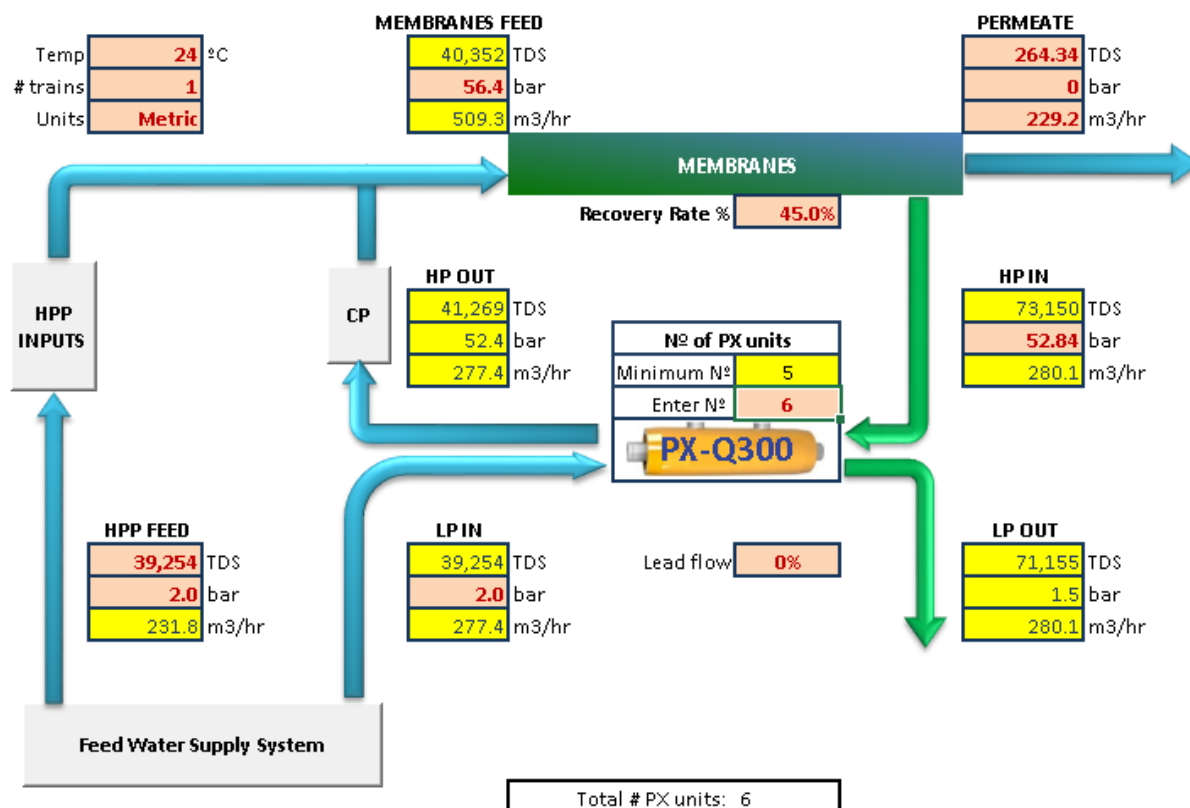
Para la recuperación de energía se utiliza el convertor PX de ERI ya que es el que presenta una mayor eficiencia y difusión en el campo de la desalinización. De la familia PX se utilizará el modelo PX-Q300 ya que es el que mejor trabaja para caudales altos.

La empresa proporciona el ERI Power Model, una hoja Excel para la simulación de la configuración del sistema de ósmosis y poder comprobar el funcionamiento del recuperador de energía. De este modo, se evaluará las dos alternativas (6 membranas y 7 membranas) para comprobar cuál es la que da un menor consumo específico contando con la recuperación de energía.

Los datos que hay que introducir en el ERI Power Model se han obtenido anteriormente en las simulaciones con el software ROSA. Además, únicamente se estudiará el caso de temperatura máxima y un factor de flujo de 1.



• **CASO 1 - 6 MEMBRANAS**



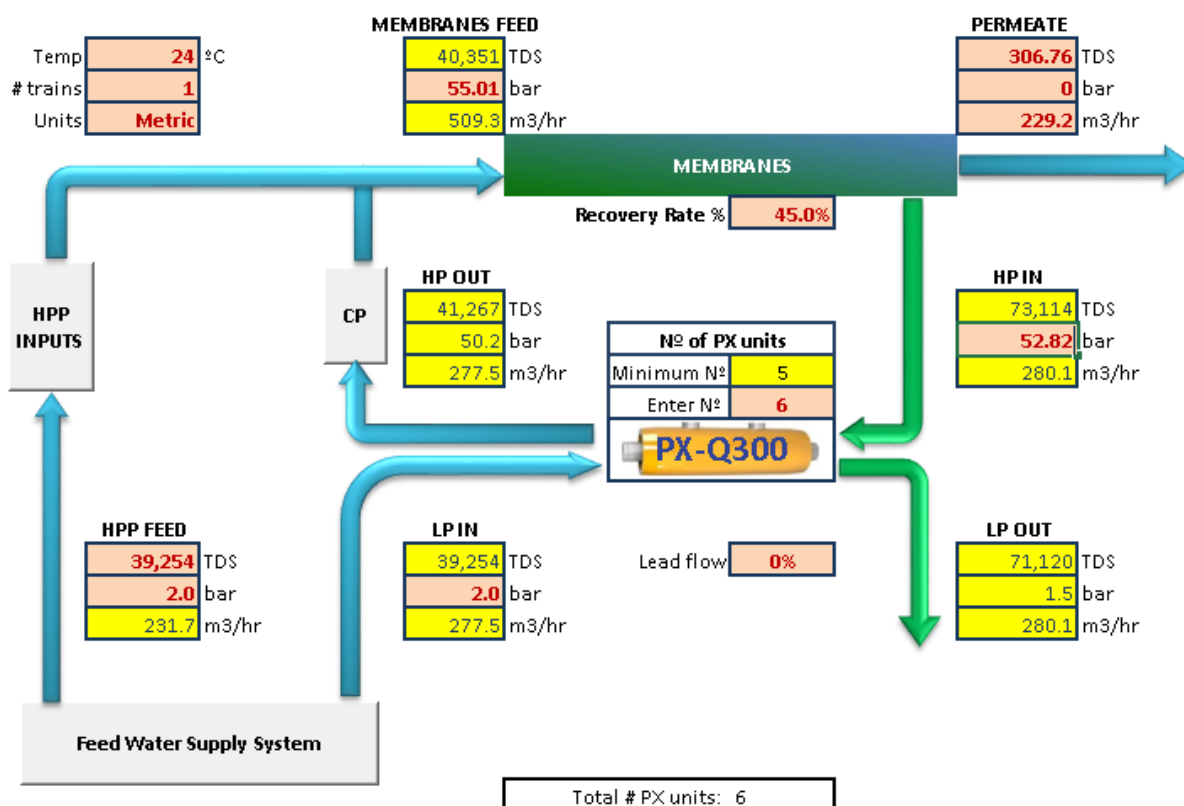
PX Technology Performance	
PX unitary flow	46.7 m3/hr
Salinity Increase at membranes	2.8%
Volumetric mixing VM	5.9%
Lubrication flow (LF) per PX array	2.7 m3/hr
LF as % of concentrate flow	1.0%
HP DP	0.5 bar
LP DP	0.5 bar
RO Specific Energy **	2.29 kWh/m3
Brine Recovery Efficiency	98.20%
Overall PX Efficiency	97.47%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 3.4: ERI Power Model – Caso 1 (Fuente: Elaboración propia)



• **CASO 2 - 7 MEMBRANAS**



PX Technology Performance	
PX unitary flow	46.7 m3/hr
Salinity Increase at membranes	2.8%
Volumetric mixing VM	5.9%
Lubrication flow (LF) per PX array	2.6 m3/hr
LF as % of concentrate flow	0.9%
HP DP	0.5 bar
LP DP	0.5 bar
RO Specific Energy **	2.27 kWh/m3
Brine Recovery Efficiency	98.20%
Overall PX Efficiency	97.44%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 3.5: ERI Power Model – Caso 2 (Fuente: Elaboración propia)



Para ambos casos el programa sugiere un mínimo de 5 intercambiadores para el caudal existente. Ahora bien, para conseguir la máxima eficiencia de los intercambiadores y un caudal compatible con su buen funcionamiento, se ha escogido un total de 6 intercambiadores.

Además, para un número mayor, el programa muestra un error pidiendo que se disminuya el número de recuperadores, por lo que se ha escogido el número máximo admisible.

Una vez estudiado la recuperación de energía, en la tabla 3.9 se han agrupado las principales características de los dos casos de estudio:

Caso	Número de membranas	Número de tubos de presión	Conversión (%)	Consumo específico con recuperación (kWh/m³)
1	6	80	45	2.06
2	7	80	45	2.08

Tabla 3.7: consumo específico de cada alternativa de estudio (Fuente: Elaboración propia).

En definitiva, la solución que menos consumo específico tiene es el caso 1, una configuración de 80 tubos de presión con 6 membranas cada uno.

Ahora bien, se ha realizado un estudio de un único bastidor que resuelve la situación de un caudal producto de 5.500 m³/día. De este modo, para alcanzar la demanda actual (22.000 m³/día) se requerirán 4 bastidores y para suplir la demanda del año horizonte (33.000 m³/día) serán necesarios 6 bastidores.

Por tanto, el sistema de ósmosis inversa estará conformado por 6 bastidores, con 80 tubos de presión cada uno que tienen en su interior 6 membranas cada uno.

SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA		
Capacidad de la planta	33,000	m³/día
Número de bastidores	6	
Capacidad del bastidor	5,000	m³/día
Tubos de presión por bastidor	80	
Membranas por tubo de presión	6	
Membranas totales por bastidor	480	
Membranas totales en planta	2880	
Conversión	4500%	%
Fabricante de membrana	Dupont - Filmtec	
Modelo de Membrana	SW30XLE - 400i	
Consumo específico (sin recuperación energética)	4.35	
Consumo específico (con recuperación energética)	2.06	

Tabla 3.8: tabla resumen de las características del sistema de OI (Fuente: Elaboración propia).



3. Reactivos de pretratamiento químico

3.1. Consideraciones iniciales

Tras la selección del modelo de membrana que se adapta a las necesidades de la instalación desalinizadora en cuestión, a partir del factor de conversión de la planta se podrá calcular el caudal de alimentación que se requiere.

Flujo de agua producto	33.000	m ³ /día
Factor de conversión	45	%
Flujo de agua de alimentación	73.333	m ³ /día

Tabla 3.9: consideraciones iniciales para la dosificación de reactivos (Fuente: Elaboración propia)

El sistema de pretratamiento químico se dimensionará en función de las consideraciones iniciales expuestas en la tabla 3.11.

El sistema de pretratamiento químico incluye la dosificación de reactivos en la cántara de captación, antes de la entrada del agua a la filtración, antes de la entrada de agua en el sistema de ósmosis inversa y tras la ósmosis inversa.

Ahora bien, esta dosificación de reactivos se debe hacer de la mejor forma posible con el fin de obtener el agua producto de la calidad adecuada y conseguir el mejor funcionamiento de la planta posible.

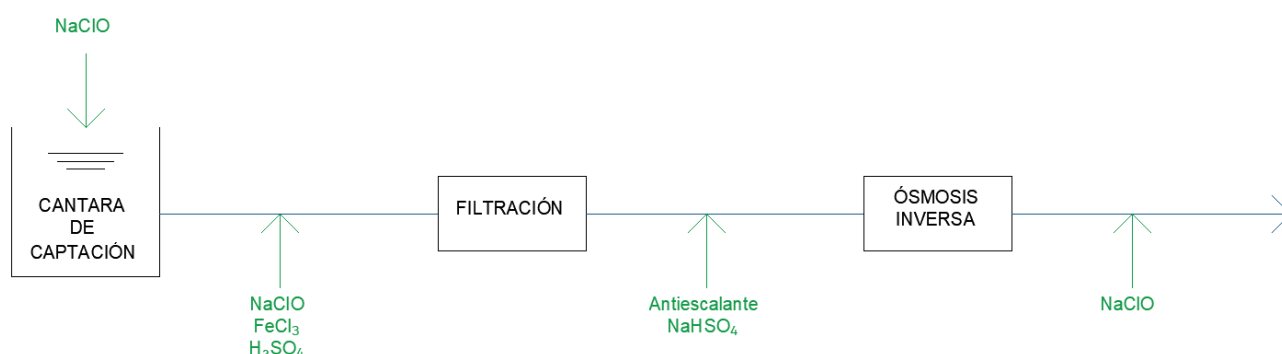


Figura 3.6: puntos de dosificación de los reactivos químicos en la línea de agua (Fuente: Elaboración propia)



Para los distintos reactivos del pretratamiento se calculará una serie de parámetros mediante las siguientes expresiones:

- Carga dosificadora: se calcula mediante el caudal a tratar y el valor de la dosis (ppm) que consigue un correcto uso del reactivo. A partir de este parámetro se podrá conocer los kilogramos de reactivo que se consumen en la planta.

$$\text{Carga dosificadora (Kg/h)} = \text{Caudal (m}^3/\text{h)} * \text{Dosis (ppm)}$$

- Dosificación: se calcula a partir de la carga dosificadora, la densidad específica del reactivo y la riqueza de este. Es el parámetro fundamental de diseño del pretratamiento químico y sirve para saber la dosis de reactivo que se debe dosificar para el correcto funcionamiento.

$$\text{Dosificación (L/h)} = \text{Carga dosificadora (Kg/h)} * \frac{1}{\text{Densidad específica (Kg/L)}} * \frac{100}{\% \text{ Riqueza}}$$

- Capacidad requerida: se calcula a partir de la dosificación y el tiempo para el que se dimensiona el almacenamiento del reactivo, siendo lo habitual 7 días. Este parámetro ayuda a estimar la capacidad de los distintos tanques de almacenamiento de cada reactivo en cuestión.

$$\text{Capacidad requerida (L)} = \text{Dosificación (L/h)} * \text{tiempo (h/días)} * \text{días}$$

3.2. Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio (NaClO) es el reactivo utilizado para la desinfección, es decir, para reducir el crecimiento biológico en la toma de agua de mar y todo el sistema de admisión hasta la planta.

Al dosificar hipoclorito de sodio en el agua bruta se genera ácido hipocloroso (HClO), el producto que es realmente encargado de actuar como biocida, con un funcionamiento óptimo en medios con un pH inferiores a 7,5.

En cuanto a la dosificación, se utilizará un sistema de dosificación en choque en la cántara de captación y un sistema de dosificación en continuo en la línea (antes de la filtración).

Además, también se dosificará hipoclorito de sodio (dosificación en continuo) al agua una vez tratada que se conduce hasta el depósito del agua producto. La finalidad de esta última dosificación se basa en mantener la desinfección durante el transporte del agua.



3.2.1. Dosificación en continuo

Este sistema realizará una dosificación en continuo durante las 24 horas del día y con unas concentraciones diluidas antes del proceso de ósmosis inversa.

Reactivo	HIPOCLORITO SÓDICO
Formulación	NaClO
Modo de aplicación	En continuo
Lugar de aplicación	En línea antes de la filtración
Caudal a tratar	73.333 m ³ /día
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h
Periodo de funcionamiento	24 horas
Dosificación	1 ppm
Riqueza del producto comercial	12 %
Densidad del producto	1,24 Kg/L
Consumo (caudal másico)	25,46 Kg/h
Consumo horario	20,53 L/h
Consumo diario	492,83 L/día
Nº de bombas en operación	1
Nº de bombas en reserva	1
Caudal necesario unitario	20,53 L/h
Autonomía del depósito de almacenamiento	7 días
Volumen necesario	3,45 m ³
Nº depósitos	1
Volumen del depósito necesario	3,45 m ³
Volumen del depósito	4 m ³

Tabla 3.10: dosificación en continuo de hipoclorito sódico en el agua de alimentación (Fuente: Elaboración propia)



3.2.2. Dosificación en continuo del agua producto

El agua una vez se ha tratado en el sistema de remineralización dispone de todas las sales minerales y sustancias químicas para el consumo humano; sin embargo, será necesaria una última dosificación de cloro para asegurar la desinfección del agua durante la distribución y que llegue en las mejores condiciones al lugar de consumo.

Reactivo	COLORO
Formulación	Cl ₂
Modo de aplicación	En continuo
Lugar de aplicación	En línea antes de distribución
Caudal a tratar	33.000 m ³ /día
Caudal a tratar	1.375 m ³ /h
Periodo de funcionamiento	24 horas
Dosificación	0,5 ppm
Densidad del producto	1,56 Kg/m ³
Consumo (caudal másico)	6,88 Kg/h
Consumo horario	4,41 L/h
Consumo diario	105,77 L/día
Nº de bombas en operación	1
Nº de bombas en reserva	1
Caudal necesario unitario	4,41 L/h
Autonomía del depósito de almacenamiento	7 días
Volumen necesario	0,74 m ³
Nº depósitos	1
Volumen del depósito necesario	0,74 m ³
Volumen del depósito	1 m ³

Tabla 3.11: dosificación en continuo de cloro antes de la distribución del agua producto (Fuente: elaboración propia).



3.2.3. Dosificación en choque

Este sistema realizará dosificaciones de menos duración (6 horas) y con unas mayores concentraciones que el sistema anterior.

Reactivo	HIPOCLORITO SÓDICO
Formulación	NaClO
Modo de aplicación	Choque
Lugar de aplicación	Cántara de captación

Caudal a tratar	73.333 m ³ /dia
Caudal a tratar	3.056 m ³ /dia

Periodo de funcionamiento	6 horas
Dosificación	5 ppm
Riqueza del producto comercial	12 %
Densidad del producto	1,24 Kg/L
Consumo (caudal másico)	127,31 Kg/h
Consumo horario	102,67 L/h
Consumo diario	616,04 L/dia

Nº de bombas en operación	1
Nº de bombas en reserva	1
Caudal necesario unitario	102,67 L/h

Autonomía del depósito de almacenamiento	7 días
Volumen necesario	4,31 m ³
Nº depósitos	1
Volumen del depósito necesario	4,31 m ³
Volumen del depósito	5 m ³

Tabla 3.12: dosificación en choque de hipoclorito sódico (Fuente: Elaboración propia)



3.3. Cloruro férrico

Se utilizará cloruro férrico (FeCl_3) en el proceso de coagulación-floculación ya que es el coagulante más empleado por su alta eficacia y un precio reducido.

Este producto sirve para que los filtros funcionen correctamente y para que el agua se filtre eficazmente, consiguiendo la retención de las partículas coaguladas, impidiendo su paso al siguiente filtrado.

El proceso de coagulación consiste en la adición de iones con carga contraria al coloide, consiguiendo la hidrólisis y la formación de hidróxidos coloidales que son insolubles y adsorben las partículas coloidales, produciendo su precipitación

Reactivo	COLORURO FÉRRICO
Formulación	FeCl_3
Modo de aplicación	En continuo
Lugar de aplicación	En línea antes de la filtración

Caudal a tratar	73.333 m ³ /día
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h

Periodo de funcionamiento	24 horas
Dosificación	5 ppm
Riqueza del producto comercial	40 %
Densidad del producto	1,42 Kg/L
Consumo (caudal másico)	38,19 Kg/h
Consumo horario	26,90 L/h
Consumo diario	645,54 L/día

Nº de bombas en operación	1
Nº de bombas en reserva	1
Caudal necesario unitario	26,90 L/h

Autonomía del depósito de almacenamiento	7 días
Volumen necesario	4,52 m ³
Nº depósitos	1
Volumen del depósito necesario	4,52 m ³
Volumen del depósito	6 m ³

Tabla 3.13: dosificación en continuo de cloruro férrico (Fuente: Elaboración propia)



3.4. Ácido sulfúrico

Se utilizará ácido sulfúrico (H_2SO_4) como regulador del pH del agua de alimentación. La regulación del pH es un proceso fundamental ya podría afectar al trabajo de las membranas, incluso produciendo su total inutilización.

Si el agua de alimentación tiene valores de pH por encima de 8 será necesaria la acidificación del agua, es decir, la dosificación de ácido sulfúrico para disminuir el pH. Las membranas de ósmosis presentan un correcto funcionamiento para un intervalo de pH de entre 7,5 y 8.

Reactivo	ÁCIDO SULFÚRICO
Formulación	H_2SO_4
Modo de aplicación	Choque
Lugar de aplicación	En línea antes de la filtración

Caudal a tratar	73.333 m ³ /día
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h

Periodo de funcionamiento	6 horas
Dosificación	20 ppm
Riqueza del producto comercial	98 %
Densidad del producto	1,84 Kg/L
Consumo (caudal másico)	62,36 Kg/h
Consumo horario	33,89 L/h
Consumo diario	203,34 L/día

Nº de bombas en operación	1
Nº de bombas en reserva	1
Caudal necesario unitario	33,89 L/h

Autonomía del depósito de almacenamiento	7 días
Volumen necesario	1,42 m ³
Nº depósitos	1
Volumen del depósito necesario	1,42 m ³
Volumen del depósito	2 m ³

Tabla 3.14: dosificación en continuo de ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia)



3.5. Bisulfito de sodio

Se utilizará el bisulfito sódico (NaHSO_3) para eliminar el cloro libre residual procedente de la desinfección y evitar que perjudique a las membranas de ósmosis.

Este reactivo se aplicará antes del proceso de ósmosis inversa, justo después del pretratamiento físico.

Reactivo	BISULFITO SÓDICO
Formulación	NaHSO_3
Modo de aplicación	En continuo
Lugar de aplicación	En línea antes de la ósmosis
Caudal a tratar	73.333 m ³ /día
Caudal a tratar	3.056 m ³ /h
Periodo de funcionamiento	24 horas
Dosificación	10 ppm
Riqueza del producto comercial	30 %
Densidad del producto	1,4 Kg/L
Consumo (caudal másico)	101,85 Kg/h
Consumo horario	72,75 L/h
Consumo diario	1746,03 L/día
Nº de bombas en operación	1
Nº de bombas en reserva	1
Caudal necesario unitario	72,75 L/h
Autonomía del depósito de almacenamiento	5 días
Volumen necesario	8,73 m ³
Nº depósitos	1
Volumen del depósito necesario	8,73 m ³
Volumen del depósito	9 m ³

Tabla 3.15: dosificación en continuo de bisulfito sódico (Fuente: Elaboración propia)



3.6. Antiescalante

En un sistema de ósmosis inversa es posible que algunos componentes del agua de alimentación precipiten sobre las membranas, dificultando el correcto funcionamiento de las mismas. Los principales elementos que se pueden precipitar sobre la membrana son los carbonatos de calcio y magnesio, los sulfatos de calcio, bario y estroncio y la sílice.

Se empleará un antiescalante para prevenir las incrustaciones y este se dosificará previamente a la entrada del agua de alimentación en el sistema del pretratamiento físico.

Reactivo		ANTIESCALANTE
Modo de aplicación		En continuo
Lugar de aplicación		En línea antes de la ósmosis
Caudal a tratar	73.333	m ³ /día
Caudal a tratar	3.056	m ³ /h
Periodo de funcionamiento	24	horas
Dosificación	2	ppm
Riqueza del producto comercial	100	%
Densidad del producto	1,11	Kg/L
Consumo (caudal másico)	6,11	Kg/h
Consumo horario	5,51	L/h
Consumo diario	132,13	L/día
Nº de bombas en operación	1	
Nº de bombas en reserva	1	
Caudal necesario unitario	5,51	L/h
Autonomía del depósito de almacenamiento	7	días
Volumen necesario	0,92	m ³
Nº depósitos	1	
Volumen del depósito necesario	0,92	m ³
Volumen del depósito	1	m ³

Tabla 3.16: dosificación en continuo de antiescalante (Fuente: Elaboración propia)



4. Pretratamiento físico

Después de la dosificación de los reactivos expuestos anteriormente, será necesario realizar un pretratamiento físico, es decir, aplicar unos procedimientos de naturaleza física para separar del agua de alimentación aquellas impurezas que puedan perjudicar el proceso de ósmosis inversa

El pretratamiento físico se realizará en 2 etapas, en primer lugar, se realizará una filtración mediante filtros multimedia de arena y, por último, se llevará a cabo una filtración a través de filtros de cartucho.

4.1. Filtros de arena

4.1.1. Selección del modelo de filtro multimedia

En primer lugar, el pretratamiento estará formado por filtros multimedia. Para ello se utilizará la empresa de filtros Calplas que ofrece una gran variedad de filtros que cumplen de forma satisfactoria los requisitos deseados.

Dentro del catálogo comercial de dicha empresa, se han escogido filtros horizontales especialmente recomendados para el sector de la desalinización.

Dentro del filtro se diferencian dos capas, la capa filtrante con antracita y arena y la capa de drenaje con grava.



DIAMETRO Ø	Longitud Total L (mm)	Superficie Filtrante (m ²)
Ø 2800	3680	9,3
	4530	11,6
	5360	14
	6260	16,4
	7040	18,5

Figura 3.7: dimensiones de los distintos modelos de filtros horizontales (Fuente: Calplas)



La empresa Calplas pone a disposición de sus clientes un catálogo comercial con las características de los filtros con el fin de poder escoger el modelo que mejor se adecúe a las características de la planta. En este caso, puesto que la planta presenta un caudal de alimentación de 3056 m³/h, se utilizará el modelo de mayor diámetro y mayor longitud con el fin de proporcionar la mayor superficie de filtración.

CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO HORIZONTAL	
Diámetro del filtro (Φ)	2800 mm
Longitud del filtro (L)	7040 mm
Área de filtración	18,5 m ²

Tabla 3.17: características del modelo de filtros horizontales (Fuente: Calplas)

A continuación, hay que comprobar la idoneidad del diseño escogido. Para ello, el criterio que se utilizará será la velocidad de filtración.

Según las estimaciones de Nikolay Voutchkov, la velocidad de filtración en un filtro multicapa para desalinización debe adoptar unos valores de entre 12 y 25 m/h con todos los filtros en servicio, pudiendo alcanzar los 30 m/h en una situación de 2 filtros en contra lavado.

Se realizará una propuesta inicial de 8 filtros. A partir de esta hipótesis, se calcula la velocidad de filtración para las dos condiciones expuestas:

- Condición 1: todos los filtros en servicio (8 filtros)

$$\text{Superficie total de filtración} = \text{Superficie unitaria (m}^2\text{)} * N^{\circ} \text{ filtros} = 18,5 \text{ (m}^2\text{)} * 8 = 148 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad de filtración} = \frac{\text{Caudal de alimentación (m}^3\text{/h)}}{\text{Superficie de filtración (m}^2\text{)}} = \frac{3056 \text{ (m}^3\text{/h)}}{148 \text{ (m}^2\text{)}} = 20,65 \text{ m/s}$$

- Condición 2: 2 filtros en contra lavado (6 filtros)

$$\text{Superficie total de filtración} = 18,5 \text{ (m}^2\text{)} * 6 = 111 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad de filtración} = \frac{3056 \text{ (m}^3\text{/h)}}{111 \text{ (m}^2\text{)}} = 27,53 \text{ m/s}$$

Tanto para la condición de todos los filtros en servicio como para la condición de 2 filtros en situación de contra lavado, se cumple con las estimaciones de Nickolay Voutckov. Por tanto, se adoptará el esquema de 8 filtros horizontales de 7040 mm de longitud y 2800 m de diámetro de la empresa Calplas.



Este tipo de filtros de arena precisan un lavado periódico para evitar que la filtración pierda eficacia, así como para que las capas filtrantes y drenantes no se colmaten. Es por esto por lo que se tendrá en cuenta la situación en la que uno de los filtros esté fuera de servicio, tal y como se muestra en la tabla 3.19.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE FILTROS DE ARENA	
Diámetro del filtro (φ)	2800 mm
Longitud del filtro (L)	7040 mm
Área de filtración	18,5 mm ²
Número de filtros	8
Flujo por filtro (8 filtros)	381,94 m ³ /h
Flujo por filtro en contra lavado (6 filtros)	509,26 m ³ /h
Pérdida de carga por filtro	1 m
Pérdida de carga total	8 m

Tabla 3.18: flujo circulante por los filtros en condiciones normales y de contra lavado (Fuente: Elaboración propia)

4.1.2. Diseño del medio filtrante

El medio filtrante consiste en la estructura que realiza la filtración propiamente dicha y está compuesto por una capa de antracita y arena encargada de realizar la filtración y una capa de grava que actúa de drenaje.

En la primera parte de la capa filtrante (antracita), la granulometría decrece conforme va aumentando la profundidad en el medio filtrante. A continuación, se encuentra la zona de arena con una granulometría máxima muy similar a la granulometría mínima de la capa superior. Además, el tamaño del grano de la arena va disminuyendo hasta el final de esta capa y el inicio de la capa drenante.

Esta disminución de las granulometrías permite que el filtrado se vaya realizando más exhaustivamente a medida que el agua avanza por el filtro.

Respecto a la capa de drenaje ocurre lo contrario, se aumenta considerablemente el tamaño de grano de la grava ya que su función es la de recibir y drenar el agua una vez ha sido filtrada por las capas superiores. A continuación, se muestran las características de las capas que constituyen el filtro:

CARACTERÍSTICAS CAPA FILTRANTE (ANTRACITA)	
Tamaño de grano	0,8 - 1,6 mm
Densidad aparente	0,71 t/m ³
Densidad real	1,4 t/m ³
Altura de la capa	0,6 m
Volumen por filtro	12 m ³
Volumen total	96 m ³

Tabla 3.19: características de la antracita de la capa filtrante (Fuente: Keinen)



CARACTERÍSTICAS CAPA FILTRANTE (ARENA)	
Tamaño de grano	0,4- 0,8 mm
Coeficiente de uniformidad	< 1,50
Contenido de sílice	> 98
Densidad aparente	1,5 t/m ³
Densidad real	2,65 t/m ³
Altura de la capa	0,3 m
Volumen por filtro	6 m ³
Volumen total	48 m ³

Tabla 3.20: características de la arena de la capa filtrante (Fuente: Keinen)

CARACTERÍSTICAS CAPA DE DRENAJE (GRAVA)	
Tamaño de grano	2 - 3,15 mm
Tamaño efectivo	2,1 mm
Densidad aparente	1,5 t/m ³
Densidad real	2,65 t/m ³
Altura de la capa	0,1 m
Volumen por filtro	2 m ³
Volumen total	16 m ³

Tabla 3.21: características de la grava de la capa de drenaje (Fuente: Keinen)

4.1.3. Contra lavado de filtros

Para la limpieza, el sistema principal que se instalará será el contra lavado con ráfagas tanto de agua como de aire a presión. Para la limpieza de los filtros se requieren elementos auxiliares tales como bombas de agua de lavado y soplantes para el lavado con aire.

- Agua para el contra lavado

La empresa que suministra los filtros recomienda un consumo específico de salmuera de 30 m/h para la fase de contra lavado con agua a presión. El agua empleada será salmuera de la ósmosis inversa.

CONTRALAVADO CON AGUA	
Fluido para contra lavado	Salmuera de OI
Consumo específico recomendado de agua	30 m/h
Flujo teórico de contra lavado	909 m ³ /h
Flujo de contra lavado	1000 m ³ /h
Consumo específico de agua	34 m/h
Nº de bombas instaladas	2
Nº de bombas en servicio	1
Tipología de bomba	Horizontal centrífuga

Tabla 3.22: caracterización del contra lavado con agua de los filtros (Fuente: Calplas).



- Aire para el contra lavado

El contra lavado de los filtros mediante la dosificación de aire en la fase de contra lavado de los realizará mediante el uso de boquillas sopladoras que expulsan aire a ráfagas. Las boquillas sopladoras están ubicadas en fondo del cilindro.

La empresa distribuidora de los filtros recomienda un consumo específico de aire de 61 Nm³/h y m².

CONTRALAVADO CON AIRE	
Densidad de boquillas	57 Uds/m ²
Número de boquillas por filtro	1727 Uds
Consumo específico recomendado de aire	61 Nm ³ /h y m ²
Flujo teórico de contra lavado	1848,3 Nm ³ /h
Flujo de aire de contra lavado	1900 Nm ³ /h
Consumo específico de aire	70,00 Nm ³ /h y m ²
Nº de sopladores instalados	2
Nº de sopladores en servicio	1
Tipo de sopladores	Pistones rotatorios

Tabla 3.23: caracterización del contra lavado con aire de los filtros (Fuente: Calplas).

- Almacenamiento de salmuera para el contra lavado de los filtros

Será necesario conocer el tiempo estimado de la limpieza de los filtros para poder cuantificar el volumen del tanque del almacenamiento de los fluidos utilizados en el lavado de los filtros. Ahora bien, únicamente se requerirá almacenar el fluido del contra lavado con agua (salmuera procedente del rechazo de la ósmosis inversa).

DURACIÓN CONTRA LAVADO	
Vaciado parcial del filtro	2 minutos
Aire	5 minutos
Agua en el enjuague	8 minutos
Relleno del filtro	4 minutos
Previa puesta en servicio	48 minutos

Tabla 3.24: duración de las distintas partes del contra lavado (Fuente: Calplas).

Para poder almacenar salmuera para el contra lavado de filtros se deberá diseñar un tanque de almacenamiento. Desde este tanque será posible distribuir la salmuera a los distintos filtros en el contra lavado con agua.

ALMACENAMIENTO SALMUERA	
Agua en el enjuague	133,33 m ³
Agua en el relleno	66,67 m ³
Volumen total de agua	200 m ³

Tabla 3.25: duración de las distintas partes del contra lavado (Fuente: Elaboración propia).



4.2. Filtros de cartucho

Después del filtrado preliminar realizado en los filtros de arena, los sólidos de mayor tamaño han quedado retenidos; sin embargo, será necesaria la realización de una filtración posterior más exhaustiva para retener aquellas partículas de menor tamaño (1 – 25 μm).

Esta segunda filtración se realizará en filtros de cartuchos y evita la llegada a las membranas de ósmosis inversa cualquier elemento que pueda dañarlas.

Después de considerar una serie de empresas proveedoras de filtros de cartuchos, se ha escogido la empresa TREPOVI debido a su gran experiencia en el sector. La empresa dispone en su página web de un amplio catálogo comercial para poder seleccionar la tipología que más se adecúe a las características del proyecto.

Para este proyecto, se ha seleccionado el filtro de cartucho vertical de 2 cuerpos fabricados en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) ya que presenta una perfecta resistencia a la corrosión, un mantenimiento reducido y una gran versatilidad en las opciones de diseño.

Además, los filtros de dos cuerpos permiten tener una placa de recambio con los cartuchos montados para poder realizar el recambio de los cartuchos de la forma más rápida posible.

Según el catálogo comercial y, sabiendo el intervalo de flujo a tratar para cada filtro, lo más adecuado es la utilización del modelo FCV2-1400-40

CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO	
Serie del filtro	Filtro vertical de 2 cuerpos
Modelo del filtro	FCV2-1400-40
Número de cartuchos por filtro	313
Longitud unitaria de los cartuchos	1016 mm
Diámetro del filtro	1400 mm
Altura tota del filtro	3575 mm
Caudal de diseño máximo recomendado	876 m ³ /h
Caudal de diseño medio recomendado	615 m ³ /h

Tabla 3.26: características del filtro de cartucho (Fuente: TREPOVI).

Se plantea un sistema de 5 filtros de cartucho, por lo que se deberá comprobar si con este número de filtros se cumplen las recomendación de caudal máximo. Además, también se deberá comprobar que se cumpla dicha restricción en la situación en la que se tenga 1 filtro en operaciones de mantenimiento.

FLUJO CIRCULANTE POR LOS FILTROS DE CARTUCHO	
Flujo a tratar	3.055,56 m ³ /h
Flujo a tratar cada filtro (5 en servicio)	611,11 m ³ /h
Flujo a tratar cada filtro (4 en servicio)	763,89 m ³ /h

Tabla 3.27: flujo circulante en los filtros de cartucho según la situación (Fuente: Elaboración propia).

Puesto que el caudal que circula por los filtros de cartucho en condiciones normales (5 filtros en servicio) está muy próximo al caudal recomendado y el caudal circulante en una situación de mantenimiento no alcanza el caudal máximo recomendado, se puede asumir esta configuración de filtros de cartucho.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE FILTROS DE CARTUCHO	
Serie del filtro	Filtro vertical de 2 cuerpos
Modelo del filtro	FCV2-1400-40
Número de cartuchos por filtro	313
Longitud unitaria de los cartuchos	1016 mm
Diámetro del filtro	1400 mm
Altura tota del filtro	3575 mm
Número de filtros	5
Número de cartuchos total	1565
Pérdida de carga por filtro	2,5 mca
Pérdida de carga total	12,5 mca

Tabla 3.28: características del sistema de filtros de cartucho (Fuente: TREPOVI).



Figura 3.8: filtro de cartucho vertical de 2 cuerpos modelo FCV2-1400-40 (Fuente: TREPOVI)

5. Alimentación de bastidores de ósmosis inversa

A continuación, se procede al dimensionamiento del sistema de alimentación de los bastidores de ósmosis inversa.

Este sistema estará formado por dos bombeos. Por un lado, habrá un bombeo de alta presión para presurizar el caudal de alimentación que entra en el bastidor de OI y, por otro lado, un bombeo de refuerzo de alta presión que se encarga de conferir la presión necesaria al agua de alimentación que ha aprovechado la energía del rechazo de salmuera mediante los intercambiadores de energía.

El caudal de alimentación que se va a derivar para el intercambiador va a ser igual al caudal de salmuera rechazado de la ósmosis inversa. Es por esto, que el 45% del caudal de alimentación del sistema de ósmosis inversa procede del bombeo de alta presión mientras que el 55% restante procederá del bombeo de refuerzo de alta presión.

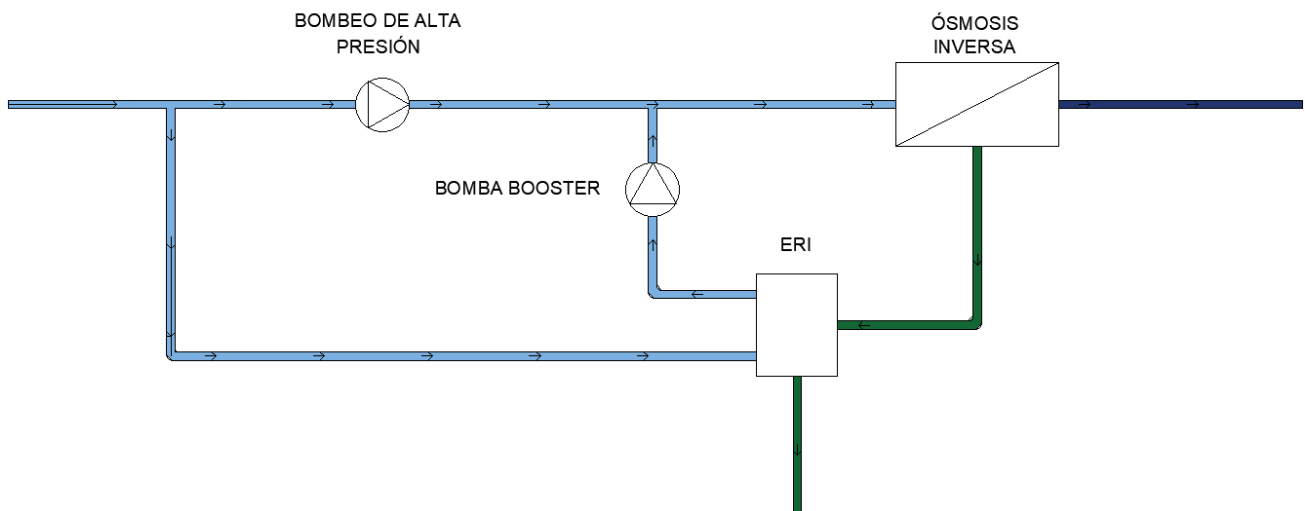


Figura 3.9: esquema del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia)

ALIMENTACIÓN DE BASTIDORES DE ÓSMOSIS INVERSA	
Flujo de agua producto	33.000 m ³ /día
Factor de conversión	45 %
Flujo de agua de alimentación	73.333,33 m ³ /día
Flujo de agua de alimentación	3.055,56 m ³ /h
Flujo de agua de alimentación de cálculo	3200 m ³ /h
Número de líneas de OI	6
Flujo de alimentación por línea de OI	533,33 m ³ /h
Con bombas de alta presión	240,00 m ³ /h
Con recuperadores de energía	293,33 m ³ /h

Tabla 3.29: características del sistema de alimentación de los bastidores de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)

5.1. Bombeo de alta presión

El agua de alimentación debe disponer de la presión necesaria para poder filtrarse a través del sistema de ósmosis inversa. Por esto, es necesario disponer de un bombeo de alta presión y hacer circular al agua de alimentación por él para conferirle el aporte energético suficiente.

BOMBEO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo de alimentación por línea de OI	240 m ³ /h
Número total de bombas	6
Número de bombas por bastidor	1
Altura manométrica de la bomba	564,00 mca

Tabla 3.30: características del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).

Tras una búsqueda entre las distintas empresas suministradoras de bombas de alta presión, se ha seleccionado a la empresa Sulzer por la disposición de una gran variedad de modelos con unas adecuadas prestaciones y elevada calidad.

Dentro del catálogo comercial de la empresa Sulzer, se ha seleccionado la bomba MBN RO 150-320 E ya que está especialmente indicada para la aplicación en desalación por ósmosis inversa.



Figura 3.10: bomba de alta presión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer)

CARACTERÍSTICAS BOMBA ALTA PRESIÓN	
Modelo	MBN RO 150-320 E
Potencia nominal de la bomba	472 kW
Eficiencia	78,09 %
Velocidad nominal	2985 rpm
NPSH	4,47 m
Frecuencia	50 Hz

Tabla 3.31: características de la bomba de alta presión (Fuente: Sulzer)



SULZER

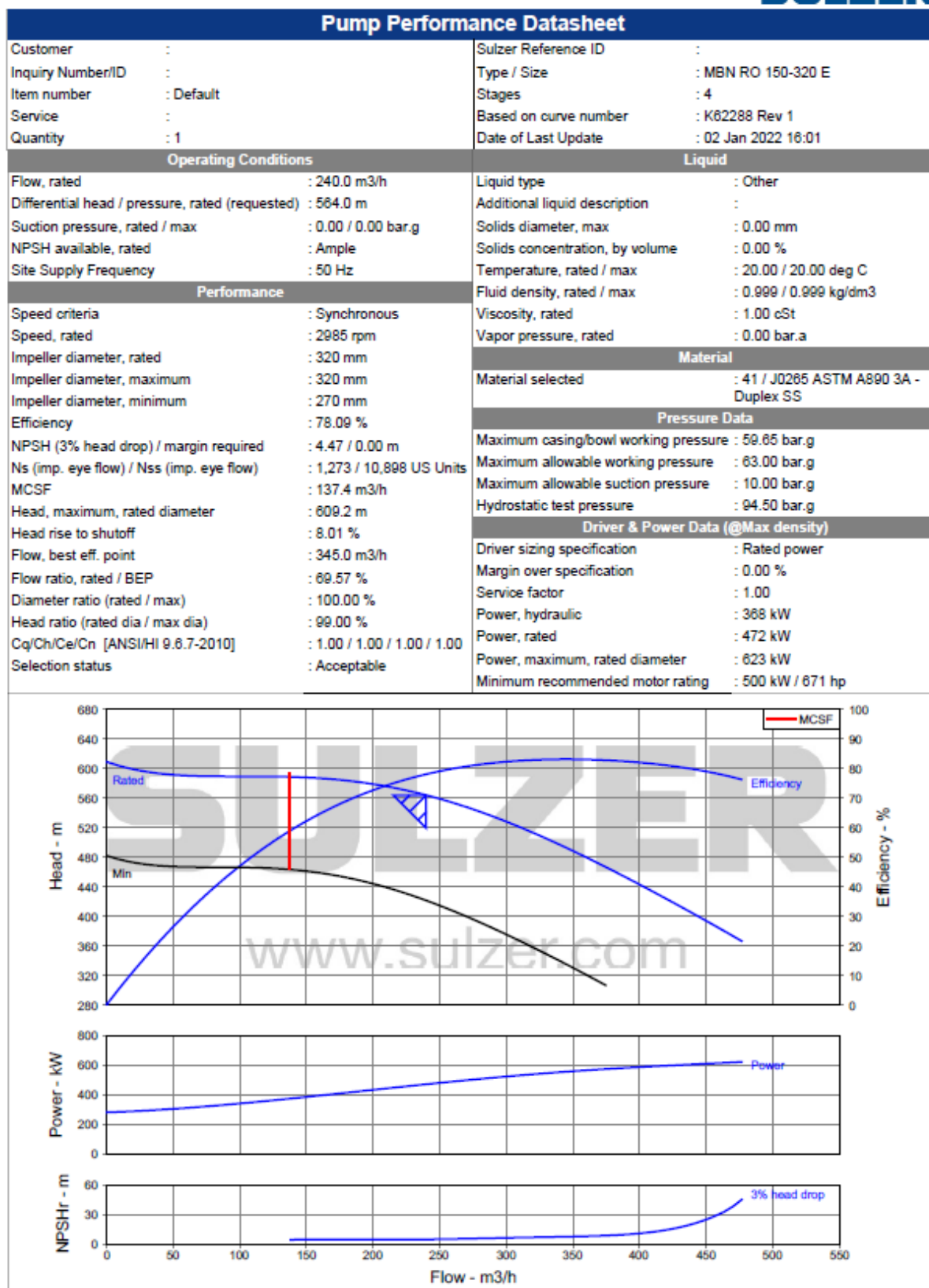


Figura 3.11: características técnicas de la bomba de alta impulsión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer)

5.2. Bombeo de refuerzo de alta presión.

El rechazo de salmuera que se obtiene de la ósmosis inversa se hace pasar por los intercambiadores de energía para proporcionar a una parte del agua de alimentación una alta presión. Sin embargo, esa agua de alimentación no goza de la presión necesaria por lo que será necesario un bombeo de refuerzo que, en este caso, se llevará a cabo mediante las bombas booster.

BOMBEO DE REFUERZO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo de alimentación por línea de OI	293 m ³ /h
Número total de bombas booster	6
Número de bombas booster por bastidor	1
Altura manométrica de la bomba	40,00 mca

Tabla 3.32: características del bombeo de refuerzo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).

Para la bomba de refuerzo de alta presión se escogió a la empresa Grundfos como suministradora, específicamente el modelo NK 150-500/513 ya que era el que mostraba un menor consumo energético y un mayor rendimiento.



Figura 3.12: bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)

CARACTERÍSTICAS BOMBA BOOSTER	
Modelo	NK 150-500/513
Potencia de la bomba	46,12 kW
Rendimiento	73,4 %
Potencia requerida en el punto de trabajo	43,56 kW
NPSH	2,18 m
Frecuencia	50 Hz
Diámetro del impulsor	513 mm
Diámetro del eje	60 mm
Peso neto de la bomba	1300 kg
Consumo de energía	546,16 kWh/día

Tabla 3.33: características de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Elaboración propia).

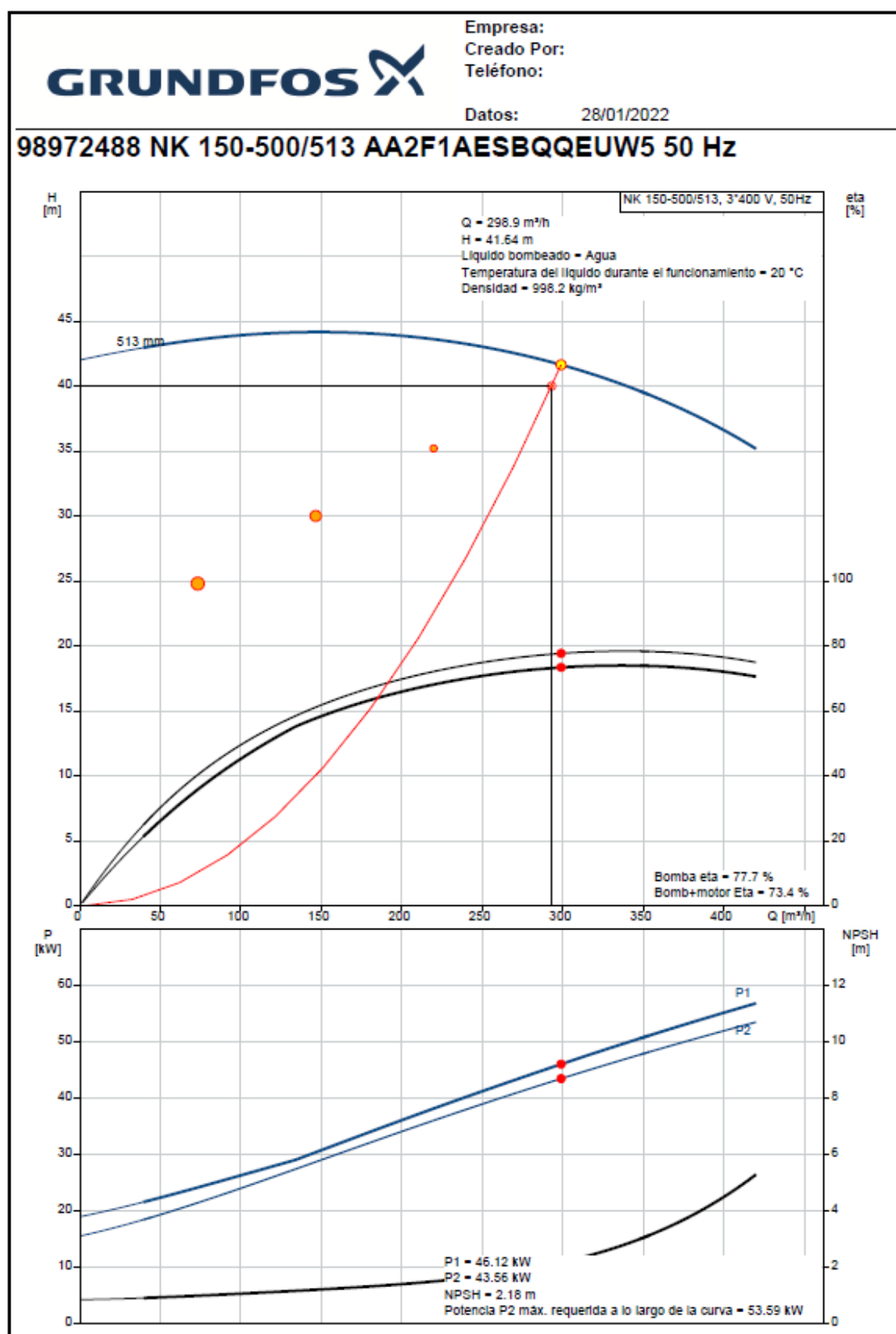


Figura 3.13: curva característica de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)



6. Paso de ósmosis inversa

El sistema de ósmosis inversa se instalará en la nave de ósmosis distribuido en un total de 6 bastidores.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA	
Número de bastidores	6
Producción total del paso de ósmosis	33.000 m ³ /dia
Producción unitaria por cada bastidor	5.500 m ³ /dia
Producción unitaria por cada bastidor	229,17 m ³ /h

Tabla 3.34: características del sistema de ósmosis inversa (Fuente: elaboración propia).

6.1. Configuración de los bastidores

La empresa escogida como distribuidora de membranas es DOW – Filmtec debido a su amplia experiencia en el sector de la desalinización.

Esta empresa tiene una amplia gama de membranas, entre las que se ha seleccionado la membrana enrollada en espiral modelo SW30XLE – 400i, ya que se trata del modelo que mejor se adapta a las necesidades de la planta y presenta un buen comportamiento con el agua de alimentación captada. Se propone sistema de ósmosis inversa con 6 bastidores de 6 membranas por cada tubo de presión.

CONFIGURACIÓN DE LOS BASTIDORES	
Número de tubos de presión por bastidores	80
Número total de tubos de presión	480
Número de membranas por tubo de presión	6
Tipología de membrana	Enrollada en espiral
Material	Poliamida aromática
Modelo	SW30XLE - 400i
Empresa suministradora	DOW - Filmtec
Diámetro	200 mm
Número de membranas por bastidor	480
Número total de membranas en la planta	2880
Flujo de alimentación total	3.056 m ³ /h
Flujo de alimentación por bastidor	509 m ³ /h
Flujo de salmuera total	1.681 m ³ /h
Flujo de salmuera por bastidor	280 m ³ /h
Flujo de agua producto total	1375 m ³ /h
Flujo de agua producto por bastidor	229 m ³ /h

Tabla 3.35: configuración de los bastidores del sistema de ósmosis inversa (Fuente: Dupont).

7. Recuperación de energía

Tras el paso del agua de alimentación por las membranas de ósmosis inversa, se genera el flujo de salmuera que contiene el agua cargada de las sales disueltas. Este flujo de salmuera que abandona los bastidores del sistema de ósmosis inversa tiene altas presiones y posee un potencial energético.

Para poder aprovechar este potencial energético se instalarán intercambiadores de presión (ERI), cuyo correcto dimensionamiento supone una gran importancia ya que permiten optimizar el consumo energético al máximo pudiendo aprovechar una energía que, en caso de no instalar estos dispositivos, se desaprovecharía.

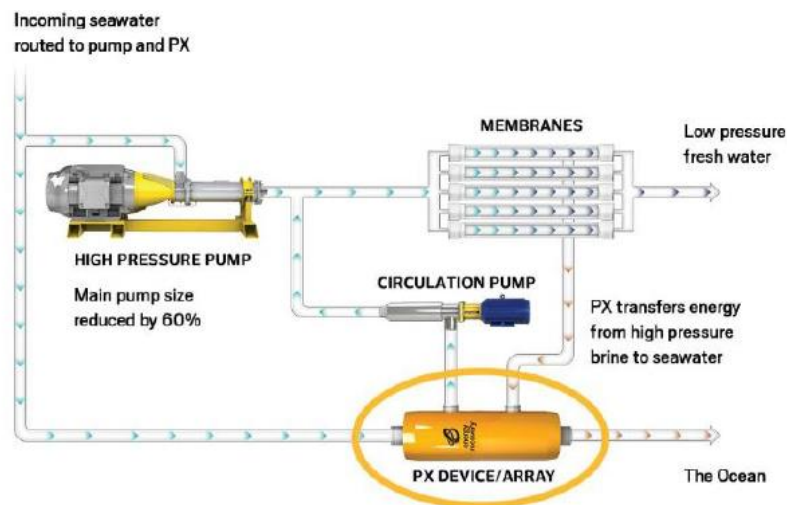


Figura 3.14: esquema de funcionamiento de los intercambiadores de presión ERI (Fuente: ERI).

CARACTERÍSTICAS DE INTERCAMBIADOR DE PRESIÓN	
Fabricante	ERI
Tipología	PXQ/300
Flujo total de salmuera	1.681 m ³ /h
Flujo de salmuera por bastidor	280 m ³ /h
Nº de intercambiadores de presión por bastidor	6
Nº total de intercambiadores de presión	36
Flujo de salmuera por intercambiador de presión	47 m ³ /h

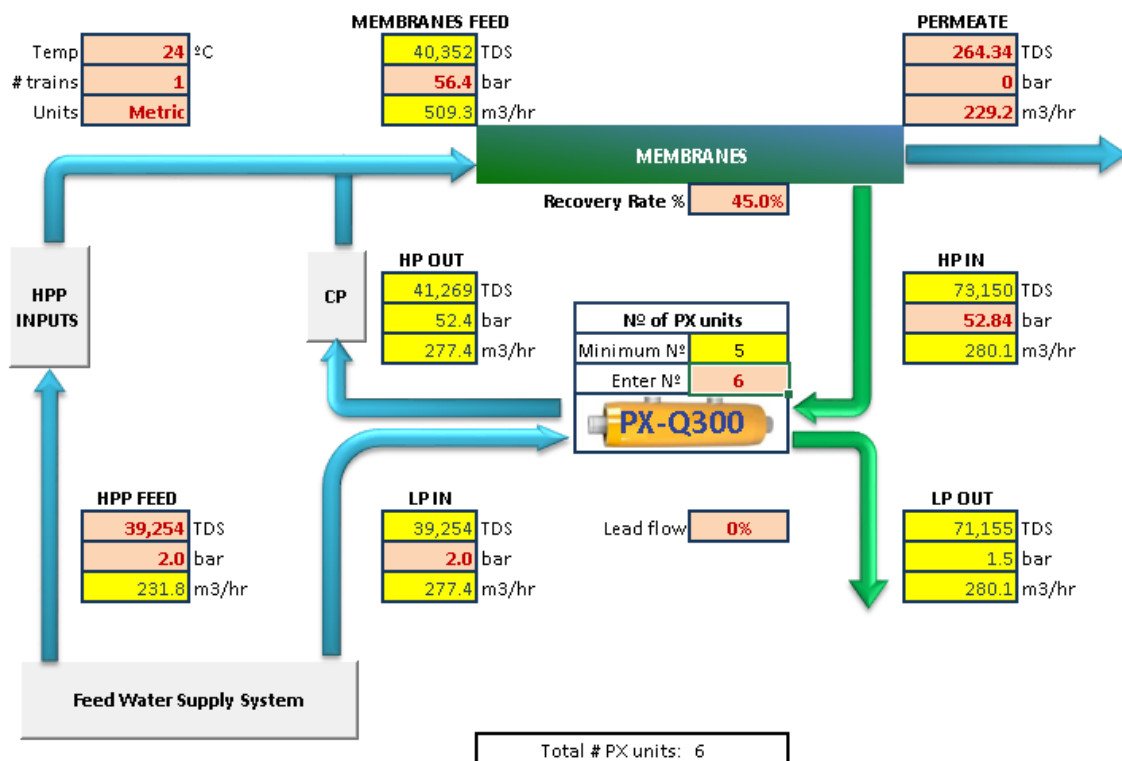
Tabla 3.36: características del sistema de recuperación de energía (Fuente: ERI).

La empresa suministradora de los recuperadores de energía pone a disposición del usuario un programa Excel, llamado ERI Power Model, para simular el sistema de recuperación energética y poder dimensionarlo de la mejor forma posible. Se llevarán a cabo dos simulaciones:

- Caso 1: $T_{\max} = 24,4^{\circ}\text{C}$
- Caso 2: $T_{\min} = 14,2^{\circ}$



- Caso 1: $T_{max} = 24,4^{\circ}C$



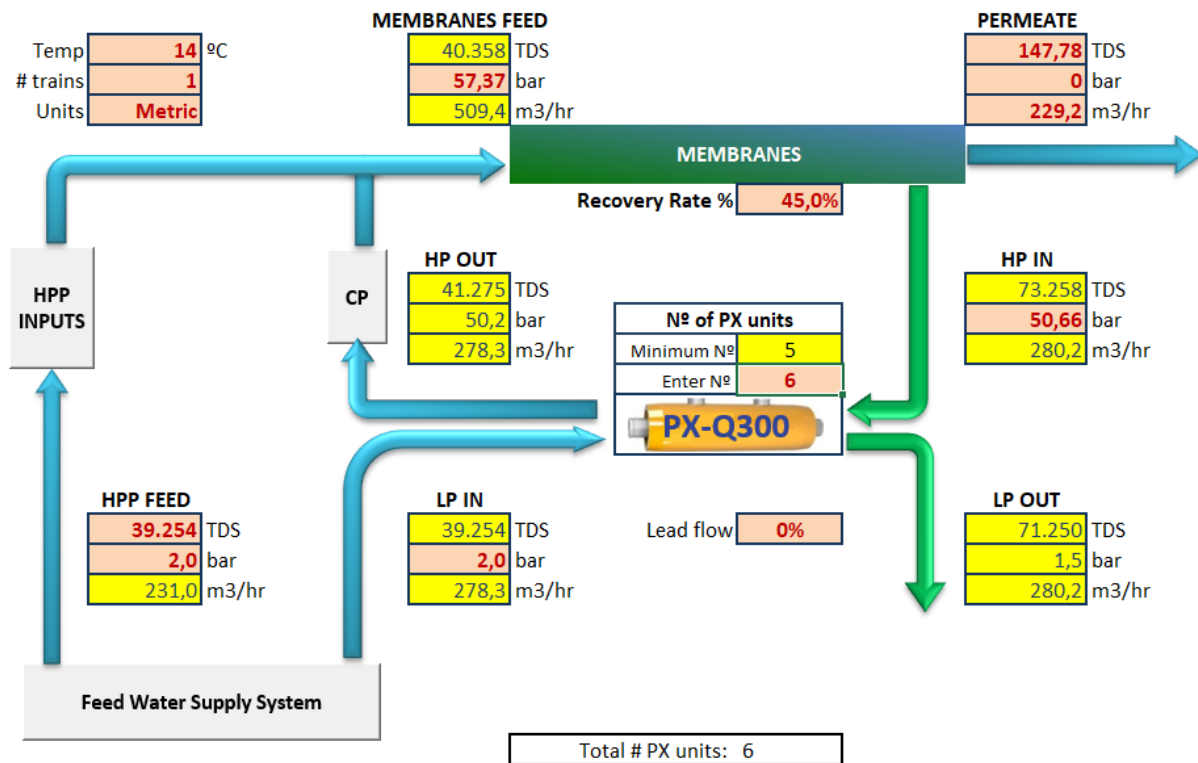
PX Technology Performance	
PX unitary flow	46.7 m3/hr
Salinity Increase at membranes	2.8%
Volumetric mixing VM	5.9%
Lubrication flow (LF) per PX array	2.7 m3/hr
LF as % of concentrate flow	1.0%
HP DP	0.5 bar
LP DP	0.5 bar
RO Specific Energy **	2.29 kWh/m3
Brine Recovery Efficiency	98.20%
Overall PX Efficiency	97.47%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 3.15: ERI Power Model – Caso 1 (Fuente: Elaboración propia)



- Caso 2: $T_{min} = 14,2^{\circ}C$



PX Technology Performance	
PX unitary flow	46,7 m3/hr
Salinity Increase at membranes	2,8%
Volumetric mixing VM	5,9%
Lubrication flow (LF) per PX array	1,8 m3/hr
LF as % of concentrate flow	0,7%
HP DP	0,5 bar
LP DP	0,5 bar
RO Specific Energy **	2,45 kWh/m3
Brine Recovery Efficiency	98,46%
Overall PX Efficiency	97,69%

** Does not Include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 3.16: ERI Power Model – Caso 2 (Fuente: Elaboración propia)

Por tanto, la recuperación conseguida con ERI PXQ300 es:

CASO	CONSUMO ESPECÍFICO
Caso 1	2,29 Kwh/m ³
Caso 2	2,45 Kwh/m ³

Tabla 3.37: consumo específico del sistema de ósmosis inversa con el recuperador de energía PX-Q300 para los distintos casos simulados (Fuente: ERI)



8. Remineralización

8.1. Introducción

La planta se ha diseñado con un sistema de desalación de ósmosis inversa debido a su gran número de ventajas; sin embargo, los procesos de membrana eliminan la gran mayoría de sales disueltas en el agua haciendo que no se cumplan los parámetros de la legislación vigente en relación con la calidad del agua de consumo humano (RD 140/2003).

Es por esto por lo que será necesario llevar a cabo un postratamiento al agua producto que le aporte una serie de sustancias como calcio, magnesio o bicarbonatos. Este procedimiento es el que se llama remineralización.

En definitiva, la remineralización es un conjunto de técnicas que logran aumentar la dureza y la alcalinidad del agua de tal modo que se alcancen unos valores del índice de Langelier próximos a cero.

Las simulaciones con el software ROSA proporciona la cantidad de las distintas sustancias que tiene el agua una vez ha pasado por el sistema de ósmosis inversa, tal y como se muestra en la tabla 3.38.

IONES EN EL AGUA PRODUCTO	
K ²⁺	3,56 mg / L
Na ²⁺	94,80 mg / L
Mg ²⁺	2,24 mg / L
Ca ²⁺	0,71 mg / L
NO ³⁻	0,22 mg / L
Cl ⁻	154,86 mg / L
F ⁻	0,01 mg / L
SO ₄ ²⁻	1,88 mg / L
HCO ₃ ⁻	1,49 mg / L
Totales	259,77 mg / L

Tabla 3.38: iones del agua producto obtenido de las simulaciones de ROSA (Fuente: Elaboración propia)

Ahora bien, para poder dimensionar de forma óptima el sistema de remineralización, se destacan una serie de parámetros clave:

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA PRODUCTO	
SDT	259,77 mg / L
pH	6,16
CO ₂ libre	1,45 mg de CaCO ₃ /L
Dureza total	10,90 mg de CaCO ₃ /L
Alcalinidad total	1,22 mg de CaCO ₃ /L

Tabla 3.39: características del agua producto (Fuente: Elaboración propia)

Además, se considerará adecuada la calidad del agua y el grado de remineralización si se cumple lo dispuesto en la tabla 3.40.

PARÁMETRO	RANGO
pH	8,2 ± 0,1
Alcalinidad total	56 ± 3 mg de CaCO ₃ /L
HCO ₃ ⁻	68 ± 3 mg / L
Ca ²⁺	21 ± 2 mg / L
CO ₂ libre	0,7 ± 0,1 mg / L
LSI	± 0,15

Tabla 3.40: características recomendadas para las aguas desaladas con un nivel adecuado de remineralización
(Fuente: Hernández-Suárez, 2010)

8.2. Estudio de remineralización

Para el postratamiento se utilizará una técnica de remineralización basada en carbonato cálcico (CaCO₃) y dióxido de carbono (CO₂). Este tratamiento emplea el carbonato cálcico para neutralizar el dióxido de carbono produciendo bicarbonato (HCO₃⁻), aumentando la dureza y la alcalinidad del agua desalada.

La reacción que se lleva a cabo en el postratamiento será:

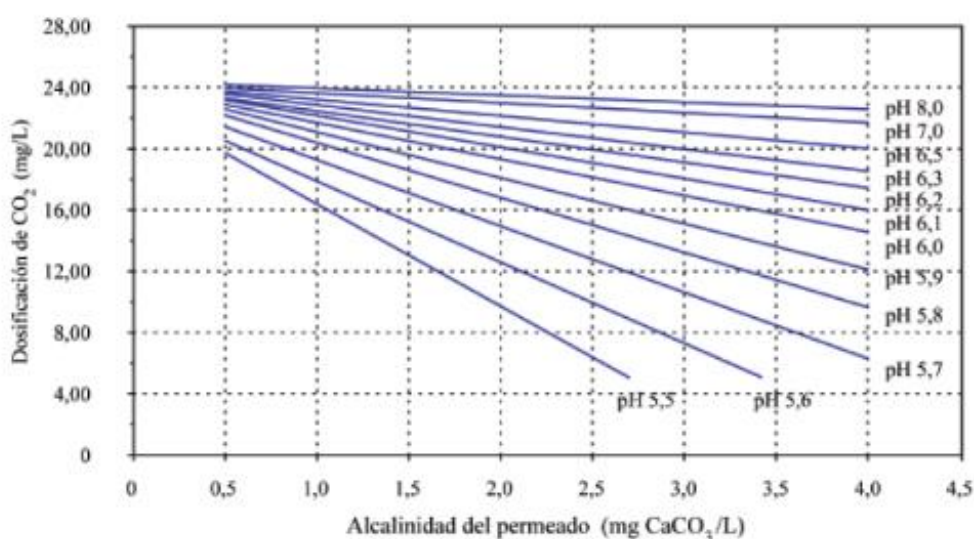
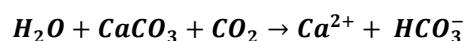


Figura 3.18: relación entre la alcalinidad del permeado y la dosificación de CO₂ para conseguir un agua remineralizada con un pH de 8,2 y con 0,7 mg CO₂ /L. (Fuente: Hernández-Suárez, 2010)



A partir de la figura 3.18, con una alcalinidad del permeado de 1,22 mg de CaCO_3 /L y un pH de 6.16 se ha obtenido una dosificación de dióxido de carbono de 23 mg de CO_2 /L. No obstante, se dosificará una mayor cantidad con la finalidad de dejar 0,75 mg de CO_2 /L libre.

Ahora bien, como se conoce la dosificación de dióxido de carbono, mediante la reacción química expuesta y manteniendo las proporciones estequiométricas, se ha calculado la concentración del resto de sustancias que se encuentran en el proceso:

CONCENTRACIÓN DE LOS COMPUESTOS INVOLUCRADOS	
CO_2	23,00 mg / L
CaCO_3	52,31 mg / L
Ca^{2+}	20,91 mg / L
HCO_3^-	63,77 mg / L

Tabla 3.41: concentración de cada uno de los diferentes productos que intervienen en el tratamiento de remineralización mediante lechos de calcita y dosificación de CO_2 (Fuente: elaboración propia).

Después del proceso de remineralización, el pH real, el pH de saturación y el índice de Langelier variarán respecto al agua inicial, por lo que es necesario cuantificar dichos parámetros.

8.2.1. Determinación del pH real

El cálculo del pH real se llevará a cabo mediante la siguiente expresión, donde aparece la constante de disociación K_a con un valor de 6,35 para esta reacción en particular.

$$pH_{real} = K_a + \log_{10} \left(\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \right)$$

$$pH_{real} = 6.35 + \log_{10} \left(\frac{63}{0,75} \right)$$

$$pH_{real} = 8,28$$

8.2.2. Determinación del pH de saturación

El pH de saturación se va a estimar utilizando el diagrama de Langelier y la siguiente expresión:

$$pH_{saturación} = pCa + pAlc + C(SDT, T^a)$$

Para calcular los diferentes términos que constituyen dicha expresión, será necesario el valor de la dureza, de la alcalinidad y la concentración de sólidos totales disueltos.



- **Cálculo de la dureza del agua remineralizada**

La dureza del agua una vez se ha remineralizado vendrá dada por la dureza del agua producto sin remineralizar y el calcio que se ha añadido durante el tratamiento.

$$Dureza_{remineralizada} \text{ (mg de } CaCO_3 \text{ / L)} = Dureza_{producto} + Dureza_{añadida}$$

Donde:

$$Dureza_{producto} = 10,90 \text{ mg de } CaCO_3 \text{ / L}$$

$$Dureza_{añadida} = 20,91 \text{ mg / L de } Ca^{2+} = 52,27 \text{ mg / L de } CaCO_3$$

$$Dureza_{remineralizada} = 10,90 + 52,27 = 63,17 \text{ mg / L de } CaCO_3$$

A partir del gráfico de Langelier y conociendo la dureza del agua remineralizada, se ha obtenido un valor de pCa de 3,15.

- **Cálculo de la alcalinidad del agua remineralizada**

La alcalinidad del agua una vez se ha remineralizado vendrá dada por la concentración del ion bicarbonato del agua producto sin remineralizar (alcalinidad del agua producto) y la concentración del ion bicarbonato que se ha añadido durante el tratamiento (alcalinidad añadida).

$$Alcalinidad_{remineralizada} \text{ (mg de } CaCO_3 \text{ / L)} = Alcalinidad_{producto} + Alcalinidad_{añadida}$$

Donde:

$$Alcalinidad_{producto} = 1,22 \text{ mg de } CaCO_3 \text{ / L}$$

$$Alcalinidad_{añadida} = 63,72 \text{ mg / L de } HCO_3^- = 52,23 \text{ mg / L de } CaCO_3$$

$$Alcalinidad_{remineralizada} = 1,22 + 52,23 = 53,45 \text{ mg / L de } CaCO_3$$

A partir del gráfico de Langelier y conociendo la alcalinidad del agua remineralizada, se ha obtenido un valor de pAlc de 2,75.



- **Cálculo de la concentración de sólidos totales disueltos del agua remineralizada**

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) en el agua una vez se ha remineralizado vendrá dada por la concentración de STD que había en el agua producto sin remineralizar y la concentración de aquellos iones que se han añadido durante el tratamiento.

$$STD_{remineralizada} = STD_{producto} + [Ca^{2+}]_{añadida} + [HCO_3^-]_{añadida}$$

$$STD_{remineralizada} = 259,77 + 20,91 + 63,77$$

$$STD_{remineralizada} = 344,45 \text{ mg / L}$$

A partir del gráfico de Langelier y conociendo la concentración de STD del agua remineralizada para una temperatura de 20°C, se ha obtenido un valor de C de 2,25.

Ahora bien, una vez calculados los distintos parámetros de los que depende el pH de saturación, se podrá calcular dicha variable:

$$pH_{saturación} = 3,15 + 2,75 + 2,25$$

$$pH_{saturación} = 8,15$$

8.2.3. Determinación del Índice de Langelier (LSI)

El índice de Langelier determina las características que tiene un agua para ser agresiva o incrustante y se define como la diferencia del pH real y el pH de saturación del agua.

$$LSI = pH_{real} - pH_{saturación} = 8,28 - 8,15$$

$$LSI = 0,13$$

8.2.4. Características del agua remineralizada

El agua remineralizada ha sufrido variaciones en la concentración de los iones calcio y bicarbonato debido al tratamiento al que se ha visto sometida. Además, otras características como el pH, la dureza, la alcalinidad o la concentración de dióxido de carbono libre (que no reacciona) también se han visto modificadas.

Además, todos los parámetros cumplen con las restricciones sanitarias de la tabla 3.40.



IONES EN EL AGUA REMINERALIZADA	
K ²⁺	3,56 mg / L
Na ²⁺	94,80 mg / L
Mg ²⁺	2,24 mg / L
Ca ²⁺	21,62 mg / L
NO ³⁻	0,22 mg / L
Cl ⁻	154,86 mg / L
F ⁻	0,01 mg / L
SO ₄ ²⁻	1,88 mg / L
HCO ₃ ⁻	65,26 mg / L
Totales	344,45 mg / L

Tabla 3.42: iones del agua remineralizada (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA REMINERALIZADA	
SDT	344,45 mg / L
pH	8,28
CO ₂ libre	0,75 mg / L
Dureza total	63,16 mg de CaCO ₃ /L
Alcalinidad total	53,49 mg de CaCO ₃ /L

Tabla 3.43: características del agua remineralizada (Fuente: Elaboración propia)

8.3. Dosificación de carbonato cálcico (CaCO₃)

El sistema de adición de carbonato cálcico al agua producto se llevará a cabo mediante lechos de calcita de altura continua y con dirección del flujo ascensional que estarán dividido en una serie de celdas rectangulares de hormigón. Para el correcto dimensionado, se utilizarán las recomendaciones de la empresa DrinTec.

RECOMENDACIONES DE LOS LECHOS DE CALCITA	
Medio filtrante	Calcita
Riqueza del material filtrante	> 97% % de CaCO ₃
Altura de las celdas	< 3 m
Velocidad máxima de filtración	8,00 m/s
Velocidad mínima de filtración	16,00 m/s
Cuadal recomendado por celda	1.200 - 13.425 m ³ /dia
Tiempo mínimo de contacto	10 minutos
Tiempo máximo de contacto	30 minutos

Tabla 3.44: recomendaciones de las características del proceso de remineralización (Fuente: DrinTec)



CONDICIONES INICIALES	
Caudal producto	33.000 m ³ /día
Caudal producto	1.375 m ³ /h
Dosificación de CaCO ₃	50,04 mg/L
Consumo horario de CaCO ₃	68,80 Kg/h
Consumo diario de CaCO ₃	1.651,16 Kg/día
Densidad de la calcita	2700 Kg/m ³
Riqueza de la calcita	98 % de CaCO ₃

Tabla 3.45: condiciones iniciales para el diseño de los lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)

Se debe cumplir que la velocidad de filtración del agua a través de cada celda esté entre 8 y 16 m/h, por lo que, utilizando celdas de 4x8 m (superficie unitaria de filtración de 32 m²), se tendrá:

$$S_{total-m\acute{a}xima} = Q_{total} / V_{m\acute{i}nima}$$

$$S_{total-m\acute{a}xima} = 1375/8 = 171,88 \text{ m}^2$$

$$\text{número de celdas (máximo)} = \frac{S_{total-m\acute{a}xima}}{S_{unitaria}} = \frac{171,88}{32} = 5,37 \text{ celdas}$$

$$S_{total-m\acute{i}nima} = Q_{total} / V_{m\acute{a}xima}$$

$$S_{total-m\acute{i}nima} = 1375/16 = 85,94 \text{ m}^2$$

$$\text{número de celdas (máximo)} = \frac{S_{total-m\acute{i}nima}}{S_{unitaria}} = \frac{85,94}{32} = 2,69 \text{ celdas}$$

Por tanto, puesto que el número máximo es de 5 celdas y el número mínimo es de 3 celdas, se dispondrá un total de 4 celdas para la remineralización con un caudal circulante de 343,75 m³/h cada una.

CARACTERÍSTICA DE LOS LECHOS DE CALCITA	
Tipo de filtro	Tanque rectangular de hormigón
Medio filtrante	Calcita
Número de celdas	4
Longitud de las celdas	4,00 m
Anchura de las celdas	8,00 m
Altura de las celdas	2,5 m
Superficie unitaria de filtración	32 m ²
Caudal circulante por cada celda	343,75 m ³ /h
Velocidad de filtración	10,74 m/s
Tiempo de contacto	14 minutos

Tabla 3.46: características técnicas del sistema de lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)



8.3.1. Almacenamiento de carbonato cálcico y limpieza de los lechos de calcita

Puesto que la tipología de lechos son lechos rectangulares de hormigón con altura continua, el relleno de calcita se hace de forma continua a los lechos desde un silo de almacenamiento.

Estos lechos tienen la ventaja de que no requiere una zona de almacenamiento separada, sino que los silos de almacenamiento se encuentran en la parte superior de los lechos, por lo que tendrán la misma superficie que estos.

CARACTERÍSTICA DE LOS SILOS DE ALMACENAMIENTO DE CALCITA	
Tipo de filtro	Tanque rectangular de hormigón
Número de silos	4
Tiempo mínimo de almacenamiento	30 días
Volumen necesario del silo	18,72 m ³
Longitud de las celdas	4,00 m
Anchura de las celdas	8,00 m
Altura de las celdas	1 m ²
Volumen adoptado del silo	32 m ³ /h
Tiempo de almacenamiento	51 días

Tabla 3.47: características del almacenamiento de calcita para la remineralización (Fuente: Elaboración propia)

Una ventaja de este tipo de lechos de calcita es que no requiere un lavado frecuente ya que únicamente se recomienda remover y esponjar el lecho de forma periódica cada 6 meses.

Por esto, es necesario escoger una calcita de buena calidad, con un porcentaje de partículas de menos de 0,1 mm inferior al 1%. De este modo, se evita que la calcita sea arrastrada por el agua en sentido ascensional. Para llevar a cabo los esponjamientos, se recomienda una dosificación de aire durante 3 minutos a 8 Nm³/h y m² y agua durante 30 minutos con un caudal nominal de 10 - 16 m³/h.

8.4. Dosificación de dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono se va a dosificar mediante un disolvedor de CO₂ a baja presión de la empresa DrinTec, con la finalidad de obtener los mejores resultados en el proceso de remineralización.

CARACTERÍSTICAS DE LA DOSIFICACIÓN DE CO ₂	
Caudal producto	33.000 m ³ /día
Número de disolvedores	2
Caudal por disolvedor	16.500 m ³ /día
Diámetro	2.000 mm
Altura	5750 mm
Dosificación de CO ₂	22 mg/L
Consumo horario de CO ₂	30 Kg/h
Consumo diario de CO ₂	726 Kg/día
Densidad del CO ₂	1,97 Kg/m ³

Tabla 3.48: características de la dosificación de dióxido de carbono en la remineralización (Fuente: Elaboración propia)



8.4.1. Almacenamiento de dióxido de carbono

El dióxido de carbono, a pesar de que se dosifica en estado gaseoso, se recibe y almacena en estado líquido, por lo que es necesario contar con un tanque de almacenamiento.

Este tanque debe cumplir con dos características, por un lado, debe ser lo suficientemente grande como para una autonomía de 30 días y, por otro lado, debe ser de material resistente para evitar alteraciones en las características químicas de dicho producto.

El tanque de almacenamiento se dimensionará según los modelos comerciales de la empresa ASCO CO₂, una empresa especializada en la construcción de tanques para el almacenamiento de dióxido de carbono.

CARACTERÍSTICA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CO ₂	
Tiempo mínimo de almacenamiento	30 días
Capacidad necesaria de almacenamiento	21.780,00 Kg
Diámetro del tanque	1.800 mm
Altura del tanque	10.250,00 mm
Capacidad real de almacenamiento	22.550,00 Kg
Tiempo de autonomía	31,06 días

Tabla 3.49: características del tanque de almacenamiento del dióxido de carbono para la remineralización (Fuente: ASCO CO₂)

9. Almacenamiento y bombeo del agua producto

El agua remineralizada ya posee todas las características necesarias para poder ser almacenada y bombeada hasta los puntos de consumo.

El almacenamiento se dimensionará teniendo en cuenta las dimensiones comerciales de la empresa suministradora de depósitos TANKEROS y que el agua va a permanecer en ellos durante 12 horas, por lo que debe tener el volumen suficiente para almacenar la producción de 12 horas.

CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA PRODUCTO	
Tiempo mínimo de permanencia	12 horas
Caudal producto	1.375 m ³ /h
Volumen necesario	16.500 m ³
Diámetro del tanque	30,50 m
Altura del tanque	12 m
Volumen de almacenamiento	8.767 m ³ /h
Número de tanques	2
Volumen total de almacenamiento	17.535 m ³
Tiempo real de permanencia	12,75 horas

Tabla 3.50: características del tanque de almacenamiento agua producto (Fuente: TANKEROS)

Respecto al bombeo del agua producto, hay que tener en cuenta que el agua debe alcanzar el lugar de su consumo, es decir, el núcleo urbano de motril. La altura media de la zona de suministro es de 70 m.s.n.m, por lo que la bomba deberá elevar el agua producto 70 metros.

BOMBEO DEL AGUA PRODUCTO	
Flujo producto total	1.375 m ³ /h
Número total de bombas	2
Flujo producto por bomba	687,5 m ³ /h
Altura manométrica de la bomba	70,00 mca

Tabla 3.51: características del bombeo del agua producto (Fuente: Elaboración propia).

Para el bombeo del agua producto se escogió a la empresa Grundfos como suministradora, específicamente el modelo NB 150-315.2/262 ya que era el modelo que proporcionaba un mayor rendimiento para el menor consumo específico posible.



Figura 3.19: bomba Booster modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos)

CARACTERÍSTICAS BOMBA DE AGUA PRODUCTO	
Modelo	NB 150-315.2/262
Potencia de la bomba	188,1 kW
Rendimiento	78,1 %
Potencia requerida en el punto de trabajo	180,2 kW
NPSH	15,8 m
Frecuencia	50 Hz
Diámetro del impulsor	262 mm
Diámetro del eje	42 mm
Peso neto de la bomba	1440 kg
Consumo de energía	2629,37 kWh/día

Tabla 3.52: características de la bomba de impulsión del agua producto (Fuente: Grundfos).

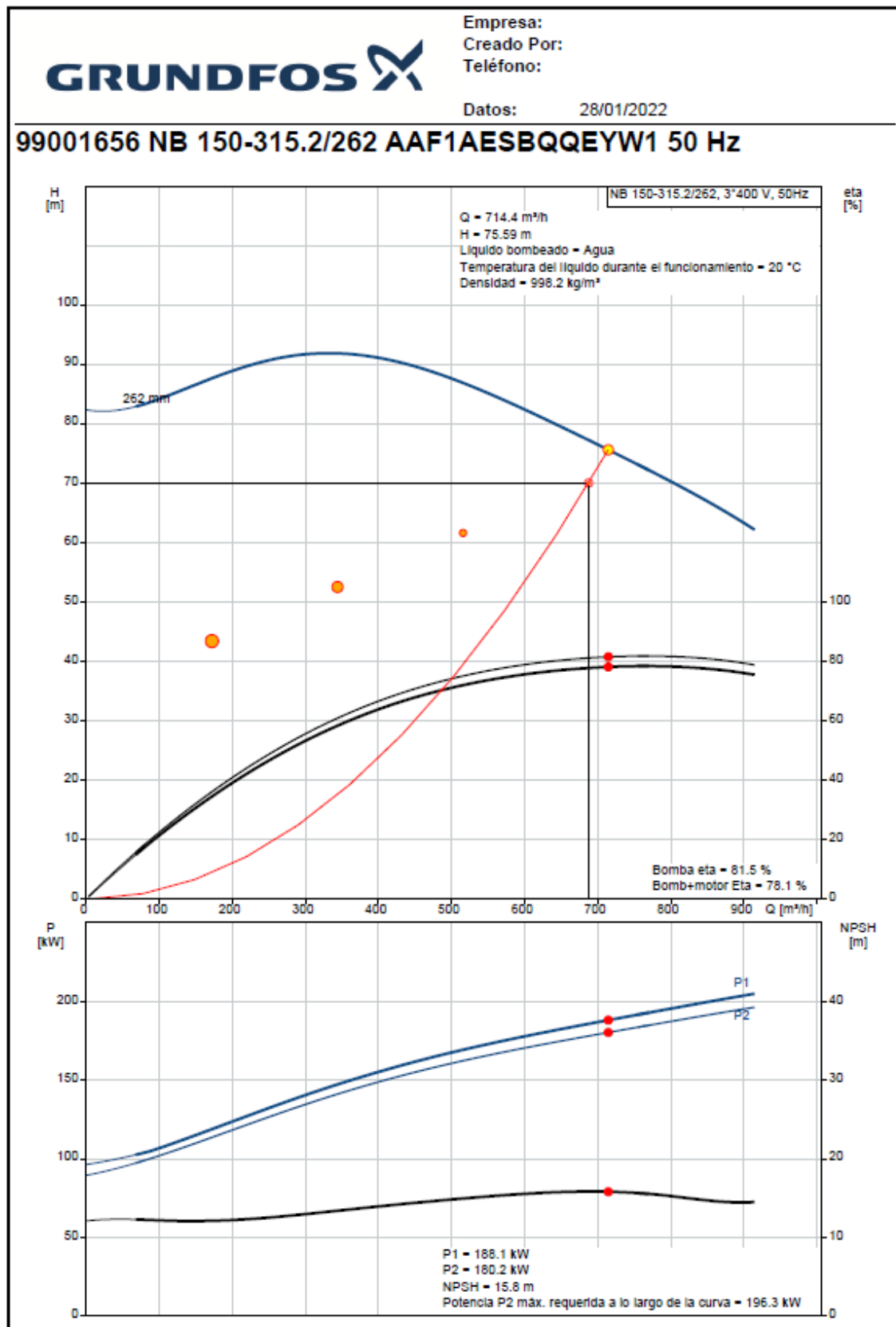


Figura 3.20: curva característica de la bomba del agua producto modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos).



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA.**

**Anejo Nº4
DISEÑO DE LA CAPTACIÓN**





Índice de contenidos

1. Introducción.....	6
2. Dimensionamiento del sistema de captación	7
2.1. Dimensionamiento de la torre de toma.....	7
2.2. Dimensionamiento de las rejillas.....	8
3. Dimensionamiento de la tubería de captación.....	8
1.1. Primer tramo de la tubería de captación	10
1.2. Segundo tramo de la tubería de captación.....	11
1.3. Tercer tramo de la tubería de captación	11
4. Dimensionamiento de la cántara de captación	12
4.1. Obtención de la cota de la cántara de captación	12
4.2. Diseño de la cántara de captación	14
5. Dimensionamiento de la cántara de impulsión	15
5.1. Diseño de la tubería de succión	15
5.2. Diseño de los canales de entrada.....	17
5.3. Diseño de las rejas de desbaste.....	17
5.4. Nivel de la cántara de impulsión	20
6. Pérdidas de carga del agua de alimentación en la fase de impulsión	20
6.1. Altura geométrica H_g	20
6.2. Pérdidas de carga en la conducción de impulsión (Δh_{con} impulsión)	21
6.2.1. Pérdidas de carga en la tubería de succión Δh_1	21
6.2.2. Pérdidas de carga en la tubería de descarga (Δh_2)	22
6.2.3. Pérdidas de carga en la tubería principal de entrada al pretratamiento (Δh_3).....	22
6.2.4. Pérdidas de carga en la tubería de entrada a los filtros de arena (Δh_4)	¡Error!
Marcador no definido.	
6.3. Altura manométrica del bombeo de impulsión (H_m)	23
7. Bombeo de impulsión de entrada de agua de alimentación hasta el paso de ósmosis inversa	23



Índice de tablas

Tabla 4.1: consideraciones iniciales para el diseño de la captación de agua de mar (Fuente: Elaboración propia).	7
Tabla 4.2: dimensionamiento de las torres de toma (Fuente: Elaboración propia)	7
Tabla 4.3: dimensionamiento de las rejillas de la captación (Fuente: Elaboración propia)	8
Tabla 4.4: parámetros de las rejillas para la comprobación del diseño (Fuente: Elaboración propia)	8
Tabla 4.5: características de la tubería de admisión (Fuente: www.cidesla.com)	9
Tabla 4.6: parámetros de la tubería de admisión para la comprobación del diseño (Fuente: Elaboración propia)	9
Tabla 4.7: características del primer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia)	10
Tabla 4.8: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).	10
Tabla 4.9: características del segundo tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia) ..	11
Tabla 4.10: características del tercer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia) ..	11
Tabla 4.11: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).	12
Tabla 4.12: dimensiones de la cántara de captación (Fuente: Elaboración propia)	14
Tabla 4.13: dimensiones de la cántara de impulsión (Fuente: Elaboración propia)	15
Figura 4.5: esquema de la sumergencia (Fuente: siapa.gob.mx)	16
Tabla 4.14: caracterización de la tubería de succión (Fuente: Elaboración propia)	16
Tabla 4.15: caracterización de los canales de entrada (Fuente: Elaboración propia)	17
Tabla 4.16: caracterización de las rejillas de desbaste (Fuente: Elaboración propia)	18
Tabla 4.17: características de las tuberías de succión con el cálculo de las pérdidas de carga (Fuente: Elaboración propia)	21
Tabla 4.18: características de las tuberías de descarga con el cálculo de las pérdidas de carga (Fuente: Elaboración propia)	22
Tabla 4.19: características de la tubería principal de entrada al pretratamiento con el cálculo de las pérdidas de carga (Fuente: Elaboración propia)	22
Tabla 4.21: características del bombeo de impulsión (Fuente: Elaboración propia).	23
Tabla 4.22: características de la bomba de impulsión (Fuente: Grundfos)	23



Índice de figuras

Figura 4.1: emplazamiento del sistema de captación de agua de mar (Fuente: Google Earth)	6
Figura 4.2: esquema de la captación (Fuente: increa.eu)	7
Figura 4.3: esquema de la cántara de captación, tubería de admisión y torre de toma (Fuente: desalación.org)	13
Figura 4.4: esquema de la cántara de captación, rejas de desbaste y cántara de impulsión (Fuente: blogdeagua.es)	14
Figura 4.5: esquema de la sumergencia (Fuente: siapa.gob.mx)	16
Figura 4.6: bomba de impulsión modelo NB 150-400/431 (Fuente: Grundfos)	24
Figura 4.7: curva característica de la bomba de impulsión modelo NB 150-400/431 (Fuente: Grundfos)	24





1. Introducción

En este documento, se procederá al diseño del sistema requerido para la captación del agua de alimentación de la planta desaladora del proyecto.

Esta captación se realizará mediante una captación directa por torre de toma situada a 900 m de la línea de costa. Este punto se caracteriza por presentar una profundidad de 5 m y las circunstancias idóneas para poder efectuarla.

Para poder llevar a cabo las obras, se realizará el dragado del fondo marino para poder encauzar la conducción de alimentación y guiarla hacia el lugar de la colocación de la torre de toma.

La captación estará conectada a un emisario submarino que penetra en el interior de la masa hasta una profundidad tal que el oleaje no suponga un problema. Además, la torre de toma estará elevada respecto al fondo marino para reducir lo máximo posible la influencia de la dinámica litoral o el arrastre de sedimentos.

El agua se conduce por tuberías hasta una cántara ubicada en la costa. Desde aquí el agua captada se bombea hasta el pretratamiento de la instalación.

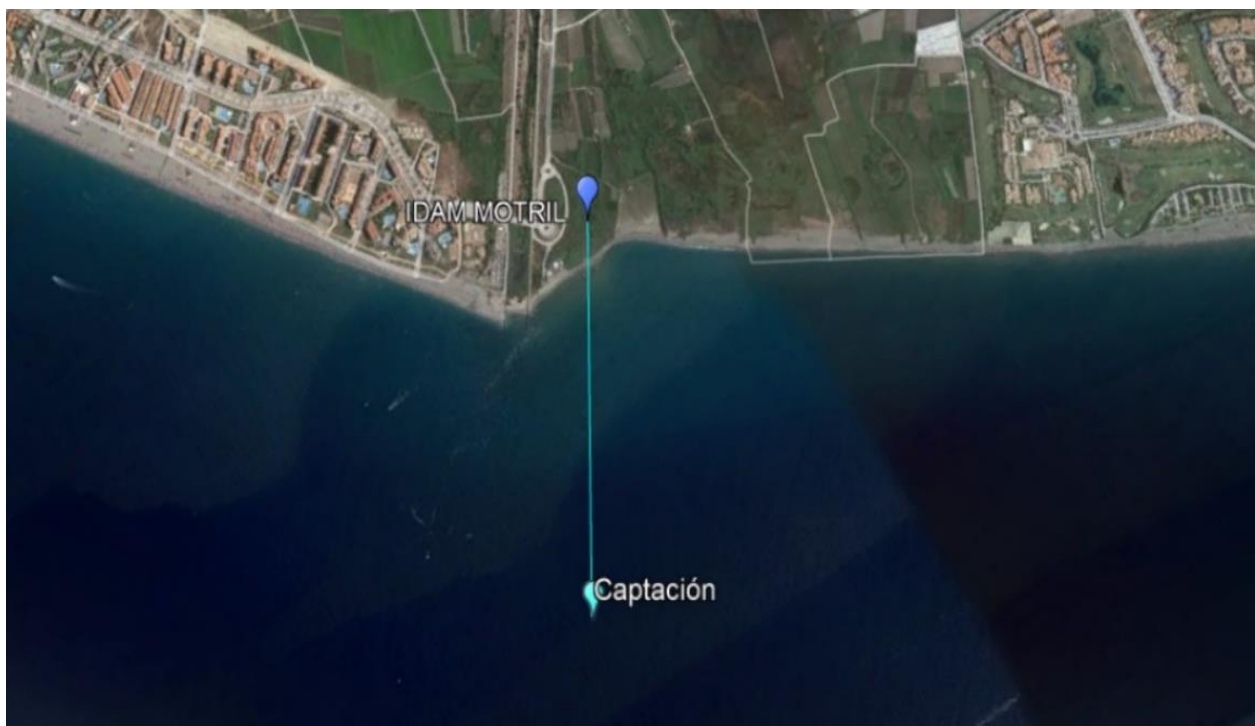


Figura 4.1: ubicación de la torre de toma del sistema de captación de agua de mar (Fuente: Google Earth)

El caudal de alimentación necesario se obtendrá considerando el factor de conversión de las membranas que se quiere mantener en la instalación y la demanda de agua producto que se requiere suplir.

Además, se ha establecido un factor de seguridad en el cálculo del flujo de agua de alimentación, del 2.5%, con el fin de suplir consumos internos de la planta y pérdidas del sistema de captación difíciles de estimar y no contemplados.



CARACTERÍSTICAS INICIALES	
Caudal producto	33.000 m ³ /día
Caudal producto	1.375 m ³ /h
Factor de conversión	0,45
Caudal de alimentación	73.333 m ³ /día
Caudal de alimentación	3.056 m ³ /h
Caudal de alimentación de cálculo	3.200 m ³ /h

Tabla 4.1: consideraciones iniciales en el diseño de la captación de agua de mar (Fuente: Elaboración propia).

2. Dimensionamiento del sistema de captación

De acuerdo con el flujo de agua de alimentación que la planta requiere para su correcto funcionamiento, el sistema de captación se diseñará para las condiciones establecidas en la tabla 4.1.

La captación está compuesta con una torre de gran diámetro con una tapa en la parte alta y rejillas laterales. La tapa de la parte alta evita la formación de flujos verticales y evitar la entrada de peces, garantizando así la calidad del agua.

2.1. Dimensionamiento de la torre de toma

El agua de alimentación se captará mediante una torre cilíndrica de acero recubierta de ebonita y polietileno de alta densidad. Además, el soporte de la torre se ubicará a 3 m bajo el nivel del mar

CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE DE TOMA	
Número de torres de toma	1
Geometría	Circular
Diámetro (D)	2 m
Altura torre	1.20 m
Altura de la pantalla (H)	1 m
Material	Acero recubierto de ebonita / HDPE

Tabla 4.2: dimensionamiento de las torres de toma (Fuente: Elaboración propia)

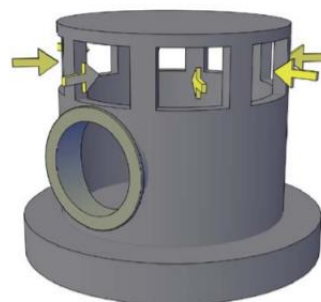


Figura 4.2: esquema de la captación (Fuente: increa.eu)



2.2. Dimensionamiento de las rejillas

Se procede a obtener el caudal máximo de admisión y las características de la rejilla. Para ello, se considerarán ciertas condiciones:

- Velocidad de entrada en la torre de toma de 0.15 m/s.
- Altura mínima requerida de la zona de entrada de la torre desde el fondo marino de 2 m.
- Pérdidas por obstrucción del 20%.
- Pérdidas por superficie ocupada por las rejillas del 15%
- Apertura máxima de la parrilla de rejillas de 100 mm.

CONDICIONES DE LAS REJILLAS		
Velocidad máxima de entrada de agua de mar	0,15	m/s
Máximo flujo de cálculo	0,89	m ³ /s
Superficie libre necesaria para el flujo	5,93	m ²

Tabla 4.3: dimensionamiento de las rejillas de la captación (Fuente: Elaboración propia)

Una vez se conocen las condiciones que debelen cumplir las rejillas, se procede a comprobar si las dimensiones son aptas para que el diseño se verifique. Para la estimación del área de paso de las rejillas se supondrán unas pérdidas de superficie debidas a la obstrucción por suciedad y por la existencia de la propia rejilla.

COMPROBACIÓN DE LAS REJILLAS	
Superficie de paso	6,28 m ²
Pérdidas	35 %
Superficie neta de paso	4,08 m ²
Flujo de cálculo por torre	0,89 m ³ /s
Velocidad de paso	0,22 m/s

Tabla 4.4: parámetros de las rejillas para la comprobación del diseño (Fuente: Elaboración propia)

Con las dimensiones de la torre de toma escogidas, el agua entrará en la torre de toma con una velocidad de 0.11 m/s, inferior a la máxima velocidad admisible de 0.15 m/s. Puesto que se ha comprobado para la situación de mayor caudal requerido (33.000 m³/día), se puede afirmar que este diseño es adecuado.

3. Dimensionamiento de la tubería de captación

A continuación, se diseña la tubería que conducirá el agua desde la captación hasta instalación, específicamente en la cántara de captación. La conducción de captación se dimensionará en polietileno de alta densidad (HDPR) debido al buen comportamiento del material en conducciones sometidas a presión.



Para determinar las dimensiones mínimas de la conducción se utilizará la expresión de Bonnet y se seleccionará el diámetro en función del catálogo comercial del fabricante de tuberías de HDPE Cidesla:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}}$$
$$D_{min} = 0.835 * \left(\frac{3200}{3600}\right)^{\frac{2}{5}} = 0,797 \text{ mm}$$

Con el fin de cumplir que la velocidad del flujo en la tubería esté entre 0,6 y 1,8 m/s, el diámetro comercial escogido para la tubería de captación será de 1000 mm. Además, con el fin de facilitar el montaje la tubería de captación de 900 m de longitud se va a dividir en 3 tramos de 300 metros.

CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA DE ADMISIÓN	
Diámetro exterior	1000 mm
SDR	26
Peso	116,9 Kg/ml
Espesor	38,20 mm
Diámetro interior	962 m

Tabla 4.5: características de la conducción de admisión (Fuente: CIDESLA)

El diseño de la tubería se comprobará mediante el cálculo de la velocidad en dicha conducción en dos situaciones:

- Situación 1. La tubería está limpia (Área efectiva = Área de la tubería)
- Situación 2. La tubería está sucia (Área efectiva = 0,9 * Área de la tubería)

COMPROBACIÓN DE LA TUBERÍA DE ADMISIÓN	
Área de la tubería	0,727 m ²
Flujo máximo en la tubería	0,89 m ³ /s
Velocidad en la tubería (limpia)	1,22 m/s
Velocidad en la tubería (sucia)	1,36 m/s

Tabla 4.6: parámetros de la tubería de admisión para la comprobación del diseño (Fuente: Elaboración propia)

Puesto que se requiere una velocidad mínima de 0.5 m/s para evitar la sedimentación, se puede afirmar que el diseño de la tubería de admisión de 1000 mm de diámetro es válido.

Ahora bien, para terminar con el dimensionamiento de la tubería de captación es necesario cuantificar las pérdidas de los distintos tramos que conforman la tubería de captación.



1.1. Primer tramo de la tubería de captación

Este primer tramo se caracteriza por tener una longitud de 300 m y por ser el primer tramo de toda la conducción, por lo que presentará una serie de accesorios que supondrán unas pérdidas.

CARACTERÍSTICAS PRIMER TRAMO TUBERÍA CAPTACIÓN	
Flujo en la tubería	3.200 m ³ /h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,002 mm
Diámetro	1.000 mm
Velocidad de circulación	1,13 m/s
Coefficiente de fricción	0,0115
Longitud de la tubería	300 m

Tabla 4.7: características del primer tramo de la conducción de captación (Fuente: Elaboración propia).

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0115 * 300 * 1,13^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,225 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 4.8.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Implementación de velocidad	1
Codo 90º	0,4
Salida	0,5

Tabla 4.8: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(1 + 0,4 + 0,5) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,125 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga producidas en el primer tramo de la tubería de captación son:

$$\Delta h_1 = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,225 + 0,125 = 0,350 \text{ m}$$



1.2. Segundo tramo de la tubería de captación

Este segundo tramo se caracteriza por tener una longitud de 300 m y al tratarse del tramo intermedio donde no hay ningún tipo de accesorio, únicamente habrá pérdidas primarias.

CARACTERÍSTICAS SEGUNDO TRAMO TUBERÍA CAPTACIÓN	
Flujo en la tubería	3.200 m ³ /h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,002 mm
Diámetro	1.000 mm
Velocidad de circulación	1,13 m/s
Coefficiente de fricción	0,0115
Longitud de la tubería	300 m

Tabla 4.9: características del segundo tramo de la conducción de captación (Fuente: Elaboración propia).

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0115 * 300 * 1,13^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,225 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga producidas en el segundo tramo de la tubería de captación son:

$$\Delta h_2 = \Delta h_{fricción} = 0,225 \text{ m}$$

1.3. Tercer tramo de la tubería de captación

Este tercer tramo se caracteriza por tener una longitud de 300 m y por ser el último de los tramos, por lo que presentará, además de las pérdidas de fricción, pérdidas secundarias debidas a una serie de accesorios.

CARACTERÍSTICAS TERCER TRAMO TUBERÍA CAPTACIÓN	
Flujo en la tubería	3.200 m ³ /h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,002 mm
Diámetro	1.000 mm
Velocidad de circulación	1,13 m/s
Coefficiente de fricción	0,0115
Longitud de la tubería	300 m

Tabla 4.10: características del tercer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).



- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0115 * 300 * 1,13^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,225 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga relacionadas con la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 4.11.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Pérdida de velocidad	0,5
Codo de entrada	0,3

Tabla 4.11: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(0,5 + 0,3) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,0523 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga producidas en el tercer tramo de la conducción de captación son:

$$\Delta h_3 = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,225 + 0,0523$$

$$\Delta h_3 = 0,2773 \text{ m}$$

Por tanto, las pérdidas de carga totales producidas en la tubería de captación son:

$$\Delta h_{tubería_captación} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 = 0,350 + 0,225 + 0,2773$$

$$\Delta h_{tubería_captación} = 0,853 \text{ m}$$

4. Dimensionamiento de la cántara de captación

4.1. Obtención de la cota de la cántara de captación

Se procede al diseño de la cántara de captación, es decir, el lugar de recepción del agua recogida por el sistema de captación. Será necesario saber la cota a la que situar la cántara, por lo que se aplica el teorema de Bernoulli entre el punto 1 (nivel del mar) y el punto 2 (nivel de agua sobre la cántara).

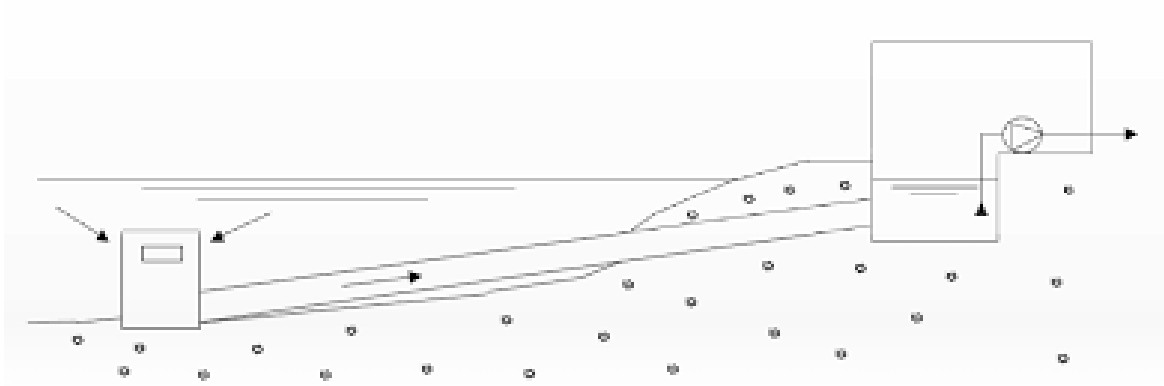


Figura 4.3: esquema de la cántara de captación, tubería de admisión y torre de toma (Fuente: desalación.org)

El teorema de Bernoulli dice:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \Delta h_{\text{tubería captación}}$$

Donde:

- $\Delta h_{\text{tubería captación}}$: pérdidas de carga en la tubería de captación. $\Delta h_{\text{tubería captación}} = 0,853 \text{ m}$
- $v_i \text{ (m/s)}$: velocidad del agua en el punto i.
- $h_i \text{ (m)}$: nivel del agua sobre el punto i respecto al nivel del mar. $h_1 = 0 \text{ m}$
- $P_i \text{ (bar)}$: presión del flujo de salmuera en el punto i.

Considerando que la velocidad tanto en la cántara como en la torre de toma es igual y que la presión en ambos puntos es la atmosférica, la expresión queda reducida a:

$$h_1 = h_2 + \Delta h_{\text{tubería captación}}$$

A partir del esquema de la figura 4.3, se conoce que la altura del agua en el punto 1 (torre de toma) es 0, ya que está situado en el nivel del mar, por lo que la altura de agua en la cántara de captación coincide con el valor negativo de las pérdidas de carga que se produzcan en el sistema de captación, es decir, en la tubería de captación.

$$h_2 = -\Delta h_{\text{tubería captación}}$$

$$h_2 = -0,853 \text{ m}$$

Ahora bien, para quedarnos del lado de la seguridad se sumará un factor de seguridad de 0,5 m, por lo que la cota de la cámara de captación será de -1,5 m.

4.2. Diseño de la cántara de captación

En la figura 4.4, se observa una figura con la distribución de la cántara de captación, las rejillas de desbaste y la posterior cántara de impulsión.

La cántara de captación tiene la finalidad de almacenar el agua de alimentación antes de entrar a la planta desalinizadora, por lo que debe tener un volumen tal que garantice el abastecimiento de agua en la planta de, al menos, 30 minutos.

Por otro lado, las rejillas de desbaste servirán para realizar una primera eliminación del agua de alimentación de los sólidos de mayor tamaño para, después, pasar a la cántara de impulsión e introducirse en la planta.

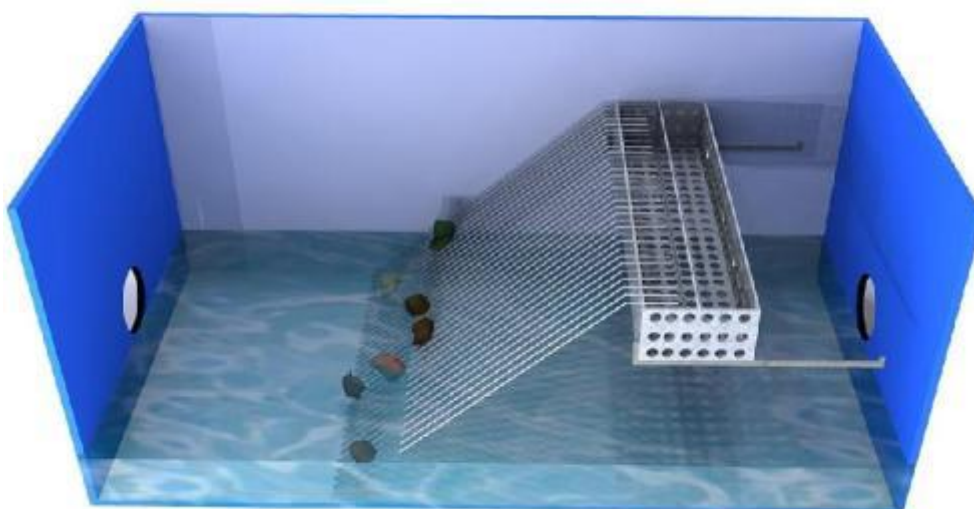


Figura 4.4: esquema de la cántara de captación, rejillas de desbaste y cántara de impulsión (Fuente: blogdeagua.es)

El volumen de la cántara de captación se conocerá sabiendo el caudal de alimentación y que se va a asumir que debe garantizar 30 minutos de alimentación a la planta sin que se esté captando agua:

$$V_{min} = Q_{alimentación} * tiempo = 3200 * 0.5 = 1600 \text{ m}^3$$

Una vez conocido el volumen, las dimensiones de la cántara de captación que se van a adaptar son:

PARÁMETRO	DIMENSIÓN
Alto	4,5 m
Ancho	20 m
Largo	20 m
Volumen total	1800 m ³

Tabla 4.12: dimensiones de la cántara de captación (Fuente: Elaboración propia)



5. Dimensionamiento de la cántara de impulsión

La cántara de bombeo, también llamada de impulsión, es el lugar donde llega el agua de mar después de pasar a través de las rejillas de desbaste. En este depósito es donde el agua de alimentación se bombea hacia la línea de tratamiento de agua.

La cántara de impulsión se va a dimensionar con el fin de que sea capaz de garantizar la alimentación de, al menos, 15 minutos:

$$V_{min} = Q_{alimentación} * tiempo = 3200 * 0.25 = 800 m^3$$

PARÁMETRO	DIMENSIÓN
Alto	4,5 m
Ancho	20 m
Largo	10 m
Volumen total	900 m ³

Tabla 4.13: dimensiones de la cántara de impulsión (Fuente: Elaboración propia)

Ahora bien, dentro del dimensionamiento de la cántara de impulsión se trata el diseño de otros elementos como la tubería de succión, los canales de entrada y las rejillas de desbaste

5.1. Diseño de la tubería de succión

Para poder diseñar de forma adecuada la tubería de succión, hay que tener en cuenta el fenómeno de sumergencia, es decir, la sumergencia mínima que admite una bomba. Este parámetro se obtiene a partir del Número de Froude de la campana de entrada:

$$F_D = \frac{v}{(g * D)^{0.5}}$$

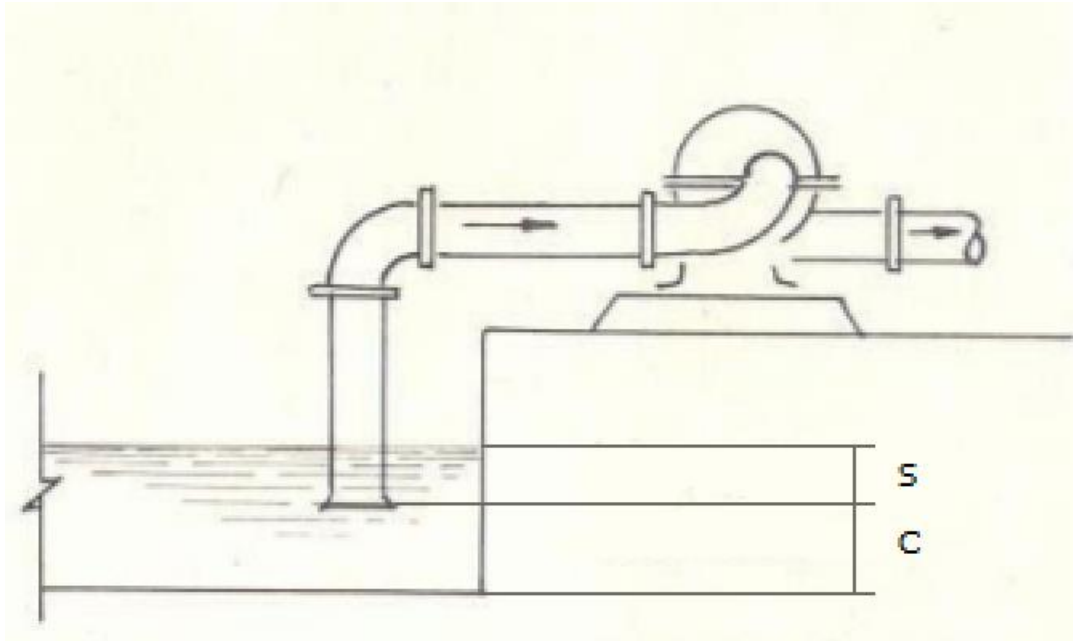
Donde:

- F_D : Número de Froude.
- v : velocidad en la entrada de succión.
- g : aceleración gravitacional.
- D : diámetro exterior de la campana o entrada de la tubería

La mínima sumergencia "S" se calcula a partir de la siguiente expresión (Hecker G.E., 187):

$$S = D * (1 + 2.3 * F_D)$$

La distancia entre la campana de entrada y el fondo de la cámara "C" se define a partir de:



$$0.3 * D \leq C \leq 0.5 * D$$

Figura 4.5: esquema de la sumergencia (Fuente: siapa.gob.mx)

Finalmente, mediante la fórmula de Bonnet, se estimará el diámetro de la tubería de succión de las bombas:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}}$$

$$D_{min} = 0.835 * \left(\frac{900}{3600} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.48 \text{ m}$$

$$D_{min} = 500 \text{ mm}$$

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SUCCIÓN	
Caudal a impulsar	3.200 m³/h
Número de bombas	4
Caudal a impulsar por bomba	800 m³/h
Diámetro del tubo de succión	500 mm
Diámetro de la campana de succión	500 mm
Velocidad en la entrada de succión	1,13 m/s
Número de Froude	0,51
Sumergencia	1,09 m/s
Distancia de la campana al fondo de la cántara	0,25 m

Tabla 4.14: caracterización de la tubería de succión (Fuente: Elaboración propia)



5.2. Diseño de los canales de entrada

Se construirán 4 canales de entrada ya que el bombeo cuenta con 4 bombas en servicio.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CANALES DE ENTRADA	
Número de canales	4
Flujo de agua por canal	800 m ³ /h
Material	Hormigón
Sección	Rectangular
Anchura del canal	1,50 m
Altura del canal	6,00 m
Coefficiente de rugosidad	0,012
Pendiente (i)	0,021 %
Longitud (L)	3,00 m

Tabla 4.15: caracterización de los canales de entrada (Fuente: Elaboración propia)

Por otro lado, es necesario caracterizar las pérdidas de carga del canal de entrada, para ello se utilizará la siguiente expresión:

$$\text{Pérdidas por fricción} = L * i$$

$$\text{Pérdidas por fricción} = 3 * 0.021 = 0.063$$

5.3. Diseño de las rejillas de desbaste

Las rejillas de desbaste tienen la finalidad de retener los objetos más voluminosos que son arrastrados por el agua con el fin de evitar obstrucciones y mejorar la eficiencia de los tratamientos que siguen a esta fase.

Para este caso en particular se utilizarán rejillas de desbaste verticales gruesas, con el fin de evitar la entrada de elementos entre 5 y 15 cm de grosor.

En el diseño de las rejillas de desbaste destacan dos parámetros fundamentales: la velocidad de paso del agua por las rejillas y la pérdida de carga

La velocidad de paso por la rejilla debe estar entre 0,60 y 1,20 para evitar que el material retenido pase forzosamente a su través.

La anchura del canal (W) en la zona de las rejillas seguirá la siguiente expresión:

$$W = \frac{Q}{v_r * D} \left(\frac{b + s}{s} \right) + C$$



Donde:

- Q : Caudal circulante por las rejillas (m^3/s)
- v_r : Velocidad en las rejillas (m/s)
- D : Nivel aguas arriba de la rejilla (m)
- b : ancho de los barrotes (m)
- C : Coeficiente de seguridad; ($C = 0,3$ para rejillas gruesas)

Se calculará el ancho de la reja para una velocidad mínima de $0,60 \text{ m/s}$ y para una velocidad máxima de $1,20 \text{ m/s}$.

- Velocidad mínima: $0,60 \text{ m/s}$

$$W_{max} = \frac{0,222}{0,6 * 0,5} \left(\frac{10 + 100}{100} \right) + 0,3$$
$$W = 1,1 \text{ m/s}$$

- Velocidad máxima: $1,20 \text{ m/s}$

$$W_{max} = \frac{0,222}{1,20 * 0,5} \left(\frac{10 + 100}{100} \right) + 0,3$$
$$W = 0,71 \text{ m/s}$$

Por tanto, el ancho de la reja tendrá un valor de 1 m ; sin embargo, se considerará un ancho útil del $0,80 \text{ m}$ por posibles obstrucciones.

CARACTERÍSTICAS DE LAS REJAS DE DESBASTE	
Caudal total a desbastar	3.200 m^3/h
Número de rejas	4
Flujo por reja	800 m^3/h
Anchura de la reja	1 m
Anchura útil de la reja	0,80 m
Altura del agua	0,70 m
Velocidad de cruce del agua	0,70 m/s
Máxima obstrucción permitida	50 %
Tamaño de malla	30 mm
Anchura de las barras	10 mm
Profundidad de las barras	100 mm
Pendiente	90 °

Tabla 4.16: caracterización de las rejas de desbaste (Fuente: Elaboración propia)



De este modo, la velocidad del agua al circular a través de las rejillas cumple con las condiciones impuestas. Además, también se debe cumplir la siguiente relación entre el ancho (W) y la altura del agua (D):

$$\frac{W}{D} = [1; 1,5]$$
$$\frac{W}{D} = \frac{0,80}{0,70} = 1,15 \in [1; 1,5]$$

Después de comprobar esta última relación, se puede afirmar que las rejillas de desbaste cumplen con los requisitos.

Por otro lado, es necesario cuantificar las pérdidas de carga a través de las rejillas. Para ello, se empleará la siguiente expresión:

$$\Delta h = k_1 * k_2 * k_3 * \frac{v_c^2}{2g}$$

Donde:

- k_1 : Coeficiente de pérdidas de carga por obstrucción
- k_2 : Coeficiente de pérdidas de carga por sección horizontal de los barrotes
- k_3 : Coeficiente de pérdidas de carga por sección de paso entre barrotes
- v_c^2 : Velocidad de paso del agua por las rejillas (m/s)
- g : Aceleración de la gravedad (m/s²)
- Coeficiente de pérdidas de carga por obstrucción (k_1)

Se considerará el caso más desfavorable, es decir, la situación en la que las rejillas se encuentran sucias.

$$k_1 = \left(\frac{100}{C}\right)^2$$

Donde:

- C : porcentaje de máxima obstrucción permitida

$$k_1 = \left(\frac{100}{50}\right)^2 = 4$$

- Coeficiente de pérdidas de carga por sección horizontal de los barrotes (k_2)

Se considerará una sección horizontal rectangular y, por tanto, el coeficiente de pérdidas adopta un valor de $k_2 = 2$.



- Coeficiente de pérdidas de carga por sección de paso entre barrotes (k_3)

Para el cálculo de este coeficiente se tiene en cuenta el espacio entre barrotes, la anchura de los barrotes, el espesor de los barrotes y la altura sumergida de los barrotes. Con estas consideraciones, se tiene un coeficiente con un valor de $k_3 = 0,13$.

Una vez se han cuantificado los coeficientes de pérdidas, se procede a calcular las pérdidas de carga del agua en el paso por las rejillas de desbaste:

$$\Delta h_{\text{rejillas}} = 4 * 2 * 0,13 * \frac{0,7^2}{2 * 9,81}$$

$$\Delta h_{\text{rejillas}} = 0,26 \text{ m}$$

5.4. Nivel de la cántara de impulsión

El nivel de la cántara de impulsión ($z_{\text{cántara impulsión}}$) dependerá del nivel de la cántara de captación ($z_{\text{cántara captación}}$), de la sumergencia (S) y de la distancia desde la solera de la cántara hasta la campana de succión (C).

Además, el nivel de la cántara de impulsión también se verá influenciado por las pérdidas de carga en las rejillas de desbaste ($\Delta h_{\text{rejillas}}$) y en el canal de entrada (Δh_{canal}).

$$z_{\text{cántara impulsión}} = z_{\text{cántara captación}} + S + C + \Delta h_{\text{rejillas}} + \Delta h_{\text{canal}}$$

$$z_{\text{cántara impulsión}} = -(1,5 + 1,09 + 0,25 + 0,26 + 4 * 0,063) = -3,092 \text{ m}$$

La cántara de impulsión estará a 3,5 m por debajo del nivel del mar

6. Pérdidas de carga del agua de alimentación en la fase de impulsión

Las pérdidas de carga en la fase de impulsión (Δh_i) se van a cuantificar para poder calcular la altura manométrica y poder dimensionar, posteriormente, el bombeo de impulsión.

$$\text{Altura manométrica } (H_m) = \text{Altura geométrica } (H_g) + \Delta h_i + \Delta h_{\text{filtros}} + \Delta h_{\text{microfiltración}} + \Delta h_{\text{BAP}}$$

6.1. Altura geométrica (H_g)

A pesar de que la cántara de impulsión está a 3,5 m bajo el nivel del mar, se calculará el nivel mínimo de bombeo en la cámara de impulsión ($z_{\text{mínimo cántara impulsión}}$) que se corresponde con la cota mínima de la cámara de captación ($z_{\text{cántara captación}}$) aplicando las pérdidas en los canales (Δh_{canal}) y en las rejillas ($\Delta h_{\text{rejillas}}$):



$$Z_{\text{mínimo cántara impulsión}} = Z_{\text{cántara captación}} + \Delta h_{\text{canal}} + \Delta h_{\text{rejas}}$$

$$Z_{\text{mínimo cántara impulsión}} = -(1,5 + 0,063 + 0,26)$$

$$Z_{\text{mínimo cántara impulsión}} = -1,823 \text{ m}$$

$$Z_{\text{mínimo cántara impulsión}} \approx -2 \text{ m}$$

La altura geométrica se obtendrá conociendo el nivel mínimo de bombeo en la cámara de impulsión ($Z_{\text{mínimo cántara impulsión}}$) y el nivel de la cámara de captación ($Z_{\text{cántara captación}}$):

$$H_g = Z_{\text{planta desaladora}} + Z_{\text{mínimo cántara impulsión}}$$

$$H_g = 5 + 2$$

$$H_g = 7 \text{ m}$$

6.2. Pérdidas de carga en la conducción de impulsión ($\Delta h_{\text{con impulsión}}$)

6.2.1. Pérdidas de carga en la tubería de succión (Δh_1)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍAS DE SUCCIÓN	
Caudal a impulsar	3.200 m ³ /h
Número de bombas	4
Caudal a impulsar por bomba	800 m ³ /h
Diámetro tubería de succión	500 mm
Velocidad en la entrada de succión	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coeficiente de fricción	0,0153
Longitud de la tubería	2,00 m
Pérdidas de fricción	0,004 m
Pérdidas de accesorio	0,124 m
Pérdidas totales	0,128 m
Número de tuberías de succión	4
Pérdidas totales en las tuberías de succión	0,512 m

Tabla 4.17: características de las tuberías de succión con el cálculo de las pérdidas de carga (Fuente: Elaboración propia)



6.2.2. Pérdidas de carga en la tubería de descarga (Δh_2)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍAS DE DESCARGA	
Caudal a impulsar	3.200 m ³ /h
Número de bombas	4
Caudal a impulsar por bomba	800 m ³ /h
Diámetro tubería de succión	500 mm
Velocidad en la entrada de succión	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0153
Longitud de la tubería	10,00 m
Pérdidas de fricción	0,020 m
Pérdidas de accesorio	0,339 m
Pérdidas totales	0,359 m
Número de tuberías de succión	4
Pérdidas totales en las tuberías de succión	1,434 m

Tabla 4.18: características de las tuberías de descarga con el cálculo de las pérdidas de carga (Fuente: Elaboración propia)

6.2.3. Pérdidas de carga en la tubería principal de entrada al pretratamiento (Δh_3)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA PRINCIPAL	
Caudal a impulsar	3.200 m ³ /h
Diámetro tubería	900 mm
Velocidad	1,40 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0134
Longitud de la tubería	70,00 m
Pérdidas de fricción	0,104 m
Pérdidas de accesorio	0,050 m
Pérdidas totales	0,154 m

Tabla 4.19: características de la tubería principal de entrada al pretratamiento con el cálculo de las pérdidas de carga (Fuente: Elaboración propia).

Ahora bien, la pérdida de carga en la tubería de impulsión se corresponde con la suma de los distintos tramos de tubería calculados anteriormente, por lo que:

$$\Delta h_i = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3$$

$$\Delta h_i = 0,512 + 1,434 + 0,154 = 2,386 \text{ m}$$



6.3. Altura manométrica del bombeo de impulsión (H_m)

Finalmente, con las pérdidas de carga de las distintas conducciones y accesorios y la altura geométrica calculadas, ya se puede obtener la altura manométrica que ha de proporcionar la bomba:

$$H_m = H_g + \Delta h_i + \Delta h_{filtros} + \Delta h_{microfiltración} + \Delta h_{BAP}$$

$$H_m = 7 + 2,386 + 8,068 + 12,54 + 20$$

$$H_m = 49,994 \text{ m}$$

7. Bombeo de impulsión de entrada de agua de alimentación hasta el paso de ósmosis inversa

Se procederá al dimensionamiento del bombeo de impulsión que servirá para transportar el agua desde la cántara de impulsión hasta la nave de ósmosis inversa donde recibirá el siguiente bombeo. Se buscará una bomba que cumpla con una altura manométrica de 55 mca con el fin de suponer pequeñas pérdidas no contabilizadas y para poder mantener cierto margen de operación.

BOMBEO DE IMPULSIÓN	
Flujo total a impulsar	3.200 m ³ /h
Número total de bombas	5
Flujo a impulsar por bomba	640 m ³ /h
Altura manométrica de la bomba	55,00 mca

Tabla 4.21: características del bombeo de impulsión (Fuente: Elaboración propia).

Tras una exhaustiva búsqueda entre las distintas empresas suministradoras de bombas, se ha seleccionado a la empresa Grundfos por la disposición de una gran variedad de modelos con unas adecuadas prestaciones y elevada calidad. Dentro del catálogo comercial de la empresa Grundfos, se ha seleccionado el modelo de bomba NB 100-250/258 EUP debido a que presenta los requisitos necesarios para el uso previsto.

CARACTERÍSTICAS BOMBA DE IMPULSIÓN	
Modelo	NB 150-400/431
Potencia de la bomba	122,4 kW
Rendimiento	85,7 %
Potencia requerida en el punto de trabajo	117,2 kW
NPSH	5,94 m
Frecuencia	50 Hz
Diámetro del impulsor	431 mm
Diámetro del eje	48 mm
Peso neto de la bomba	1330 kg
Consumo de energía	1451,56 kWh/día

Tabla 4.22: características de la bomba de impulsión (Fuente: Grundfos)



Figura 4.6: bomba de impulsión modelo NB 150-400/431 (Fuente: Grundfos)

98974756 NB 150-400/431 AAF1AESBQQE2W3 50 Hz

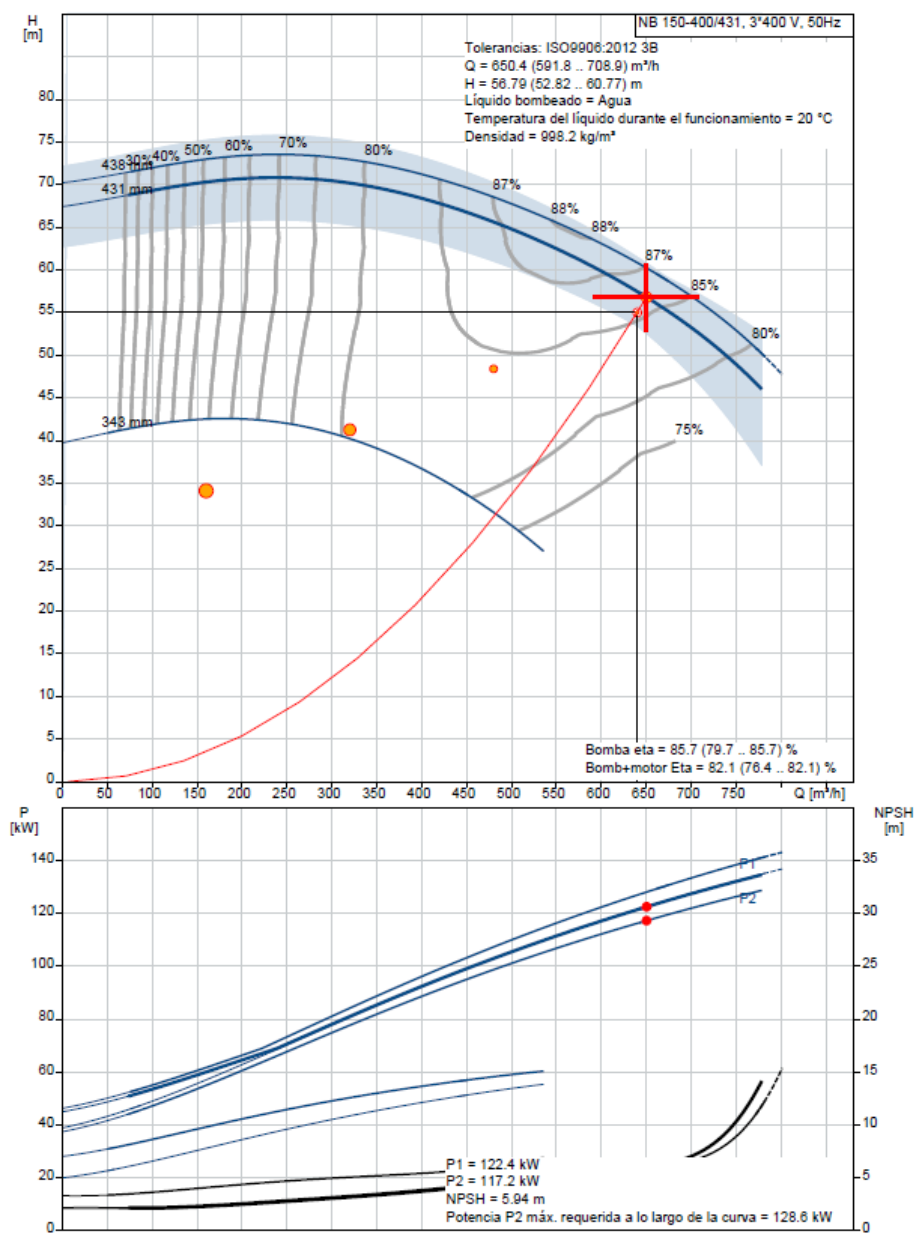


Figura 4.7: curva característica de la bomba de impulsión modelo NB 150-400/431 (Fuente: Grundfos)



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA.**

**Anejo N°5
DISEÑO DEL EMISARIO DE SALMUERA**





Índice de contenidos

1. Introducción	4
2. Configuración del sistema de descarga de salmuera	5
2.1. Diseño del emisario subterráneo	5
2.2. Diseño del emisario submarino	7
2.3. Diseño del emisario submarino con los difusores	7
2.3.1. Diseño de los difusores	8
2.3.2. Diseño emisario con difusores	9
3. Diseño de la cámara de carga de salida de salmuera	12



Índice de tablas

Tabla 5.1: consideraciones iniciales para el diseño de la evacuación de salmuera (Fuente: Elaboración propia).	5
Tabla 5.2: características del emisario submarino (Fuente: www.cidesla.com)	6
Tabla 5.3: coeficientes de pérdidas de los distintos accesorios considerados en la estimación de pérdidas secundarias del emisario subterráneo (Fuente: CONAGUA, 2002)	6
Tabla 5.4: características del emisario submarino (Fuente: www.prefabricadosdelta.com)	7
Tabla 5.5: características hidráulicas de la evacuación de la salmuera (Fuente: elaboración propia).	8
Tabla 5.6: pérdidas de carga en la evacuación de la salmuera a través de los difusores (Fuente: elaboración propia)	9
Tabla 5.7: características de la tubería principal del primer emisario submarino con difusores (Fuente: elaboración propia)	10
Tabla 5.8: características de las tuberías secundarias del primer emisario submarino con difusores (Fuente: elaboración propia)	11

Índice de figuras

Figura 5.1: ubicación del vertido de salmuera (Fuente: Google Earth).	4
Figura 5.2: esquema del sistema de evacuación de salmuera (Fuente: www.CLA-VAL.com)	4
.....	5
Figura 5.2: válvula de retención pico de pato deslizante modelo RF-DVO (Fuente: www.CLA-VAL.com).	8
Figura 5.3: diagrama para la cuantificación de las pérdidas de carga en función del caudal para una válvula de retención de 12" (Fuente: www.CLA-VAL.com).	9

1. Introducción

Una vez dimensionada la instalación desalinizadora. Se procederá al dimensionamiento de los equipos e instalaciones relacionados con el vertido de la salmuera del sistema de desalinización.

El vertido del rechazo se realizará a una distancia de 1500 metros desde la instalación y de la línea de costa, en un punto del mar con una profundidad de 8 metros. La selección de este punto en concreto para la evacuación de la salmuera se debe a que presenta unas condiciones adecuadas para producir la menor afección posible sobre el ecosistema marino.

Además, el punto de descarga de salmuera se encuentra a una distancia suficientemente alejada del punto de captación como para que la salmuera no vuelva a ser captada por las torres de toma.



Figura 5.1: ubicación del vertido de salmuera (Fuente: Google Earth).

Respecto a la configuración del sistema de descarga, este está formado por un conjunto de difusores a través de los que se realizará el vertido, un emisario submarino y un emisario de tierra. Previamente a la evacuación de la salmuera, se dispondrá una cámara de carga de salida de salmuera donde, en el caso de ser necesario, se instalará una bomba para impulsar el rechazo al mar.

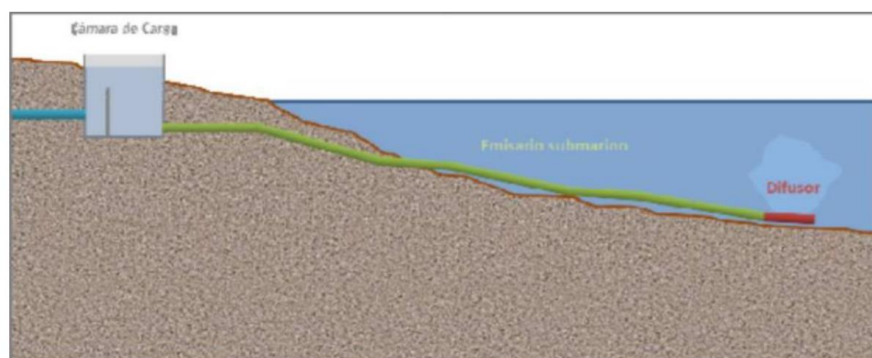


Figura 5.2: esquema del sistema de evacuación de salmuera (Fuente: www.CLA-VAL.com)



2. Configuración del sistema de descarga de salmuera

El sistema de descarga estará formado por tres tramos (emisario subterráneo, emisario submarino y el emisario submarino con los difusores) que será necesarios caracterizarlos y dimensionarlos de la mejor forma posible con el fin de realizar una correcta evacuación del rechazo de salmuera.

Con el fin de quedarnos del lado de la seguridad, se utilizará un factor de seguridad del 15% para aumentar el caudal de salmuera ante posibles aumentos inesperados.

CARACTERÍSTICAS INICIALES	
Caudal producto	33.000 m ³ /día
Caudal producto	1.375 m ³ /h
Factor de conversión	45 %
Caudal de alimentación	3.056 m ³ /h
Caudal de salmuera	1.681 m ³ /h
Caudal de salmuera de cálculo	1.900 m ³ /h

Tabla 5.1: consideraciones iniciales para el diseño de la evacuación de salmuera (Fuente: Elaboración propia).

Las tuberías se diseñarán de acuerdo con los diámetros comerciales del catálogo comercial de la empresa fabricante de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) Cidelsa y para el caso de tuberías de PRFV se utilizará al fabricante Prefabricados Delta.

Para obtener las dimensiones mínimas de los distintos tramos, se empleará la ecuación de Bonnet:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}}$$

Además, se debe cumplir que la velocidad de circulación del agua por cada tramo debe estar entre 0,60 y 1,80 m/s.

2.1. Diseño del emisario subterráneo

El emisario subterráneo consiste en un tramo de tubería de 100 metros de longitud y sirve para conducir la salmuera desde la cámara de carga de salida de salmuera hasta el comienzo del siguiente tramo.

Se diseñará con polietileno de alta densidad (HDPE) y su instalación requerirá un movimiento de tierras para poder llevar a cabo la adecuada colocación.

El diámetro será:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}} = 0.835 * (1900/3600)^{\frac{2}{5}} = 0.647 \text{ m}$$

$$D_{min} = 0,7 \text{ m}$$

Con este diámetro, se cumple con las restricciones de velocidad, por lo que el diámetro comercial utilizado será el de 700 mm.



CARACTERÍSTICAS EMISARIO SUBTERRÁNEO	
Flujo en la tubería	1.900 m ³ /h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,10 mm
Diámetro	700 mm
Velocidad de circulación	1,37 m/s
Coeficiente de fricción	0,014
Longitud de la tubería	100 m

Tabla 5.2: características del emisario submarino (Fuente: www.cidesla.com)

Una vez diseñado el emisario subterráneo será necesario cuantificar las pérdidas de carga producidas en esta conducción, por lo que será necesario considerar tanto las pérdidas de carga primarias (de fricción o longitudinales) y las pérdidas de carga secundarias debidas a la presencia de accesorios.

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,014 * 100 * 1,37^2}{0,7 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,193 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias

Para calcular las pérdidas de carga secundarias se utilizará un coeficiente de pérdidas para los distintos accesorios por lo que pasa el agua.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Entrada del agua	1,5
Codo 90°	0,4

Tabla 5.3: coeficientes de pérdidas de los distintos accesorios considerados en la estimación de pérdidas secundarias del emisario subterráneo (Fuente: CONAGUA, 2002)

$$\Delta h_{accesorios} = \frac{K_t * v^2}{2 * g} = \frac{(1,5 + 0,4) * 1,37^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorios} = 0,182 \text{ m}$$

Por tanto, las pérdidas de carga totales en el emisario subterráneo serán:

$$\Delta h_{subterráneo} = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorios} = 0,193 + 0,182$$

$$\Delta h_{subterráneo} = 0,375 \text{ m}$$



2.2. Diseño del emisario submarino

El emisario submarino consiste en un tramo de tubería de 1390 metros de longitud y sirve para conducir la salmuera desde el emisario subterráneo hasta los difusores.

Se diseñará con poliéster reforzado de fibra de vidrio (PRFV) y su instalación requerirá la utilización de dragas para acondicionar el lecho marino. El diámetro será:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}} = 0.835 * (1900/3600)^{\frac{2}{5}} = 0.647 \text{ m}$$

Con este diámetro, se cumple con las restricciones de velocidad, por lo que el diámetro comercial utilizado será el de 700 mm.

CARACTERÍSTICAS EMISARIO SUBMARINO	
Flujo en la tubería	1.900 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 mm
Diámetro	700 mm
Velocidad de circulación	1,37 m/s
Coefficiente de fricción	0,0141
Longitud de la tubería	1.390 m

Tabla 5.4: características del emisario submarino (Fuente: www.prefabricadosdelta.com)

Una vez diseñado el emisario submarino será necesario cuantificar las pérdidas de carga que se producen en dicho tramo de tubería. Habrá que tener en cuenta únicamente las pérdidas de carga primarias ya que las pérdidas secundarias no se tendrán en cuenta por no haber ningún accesorio en este tramo.

- Pérdidas de carga primarias

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0141 * 1390 * 1,37^2}{0,7 * 2 * 9,8}$$
$$\Delta h_{fricción} = 4,89 \text{ m}$$

Por tanto, las pérdidas de carga totales en el emisario subterráneo serán:

$$\Delta h_{submarino} = \Delta h_{fricción} = 4,89 \text{ m}$$

2.3. Diseño del emisario submarino con los difusores

El emisario submarino con los difusores consiste en una conducción de 5 m de longitud con 4 difusores, siendo necesario dimensionar dicha conducción en función del caudal circulante y las pérdidas de carga que en se producen.

El emisario submarino presenta un desvío en 4 conducciones que van directamente a los difusores que son la parte del sistema de descarga por el cual se producirá el vertido de la salmuera al mar, por lo que están localizados al final del emisario submarino.



2.3.1. Diseño de los difusores

Con el fin de seleccionar a la empresa suministradora de difusores se ha llevado a cabo una búsqueda y una comparación entre diversos fabricantes. Finalmente, la empresa seleccionada será CLA – VAL debido a la facilidad que presenta para seleccionar el modelo que mejor se adapte a las necesidades que la planta requiere.

De entre los diversos modelos se ha escogido la válvula de retención de pico de pato deslizante RF-DBO, específicamente la de 12" de diámetro.

Esta válvula de retención permite que la salmuera vaya saliendo poco a poco al mar y su disolución sea más sencilla y produciendo una menor afección al medio marino.



Figura 5.2: válvula de retención pico de pato deslizante modelo RF-DVO (Fuente: www.CLA-VAL.com).

CARACTERÍSTICAS EVACUACIÓN DE SALMUERA	
Caudal circulante	1.900 m³/h
Número total de difusores	4
Flujo por difusor	475 m³/h

Tabla 5.5: características hidráulicas de la evacuación de la salmuera (Fuente: elaboración propia).

Para el cálculo de esta pérdida de carga, el fabricante de los difusores pone a disposición de sus clientes un gráfico para poder cuantificar las pérdidas de carga en la salida de la salmuera.

Ahora bien, como el gráfico no está en unidades del Sistema Internacional, será necesario realizar la conversión:

$$Q = 475 \frac{m^3}{h} = 2091,37 \text{ GPM}$$

Entrando en el gráfico de la figura 5.3 con el caudal, se obtiene una pérdida de carga de 1 ft, lo que convirtiendo las unidades al Sistema Internacional, se tienen unas pérdidas de carga de 0,31 mca por cada difusor.

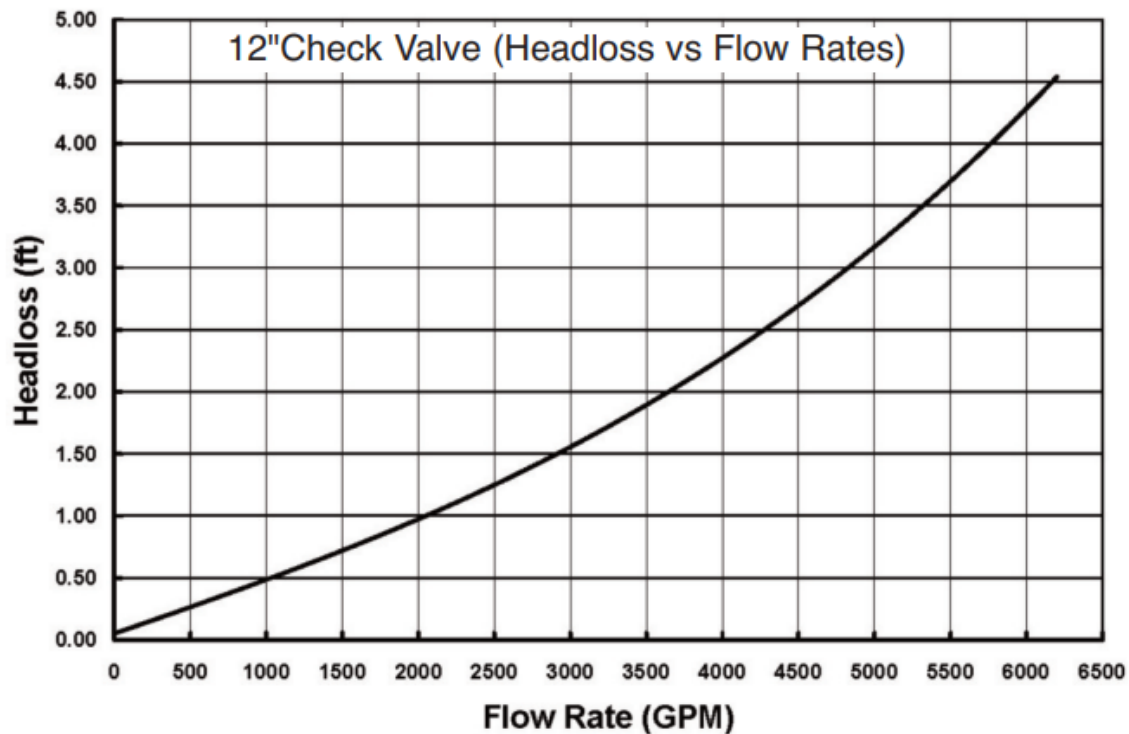


Figura 5.3: diagrama para la cuantificación de las pérdidas de carga en función del caudal para una válvula de retención de 12" (Fuente: www.CLA-VAL.com).

PÉRDIDAS DE CARGA EN LA SALIDA DE SALMUERA	
Flujo a evacuar por difusor	475 m ³ /h
Flujo a evacuar por difusor	2091,37 GPM
Pérdidas de carga por difusor	1,00 ft
Pérdidas de carga por difusor	0,31 mca
Número total de difusores	4
Pérdida de carga total	1,24 mca

Tabla 5.6: pérdidas de carga en la evacuación de la salmuera a través de los difusores (Fuente: elaboración propia)

2.3.2. Diseño emisario con difusores

El emisario de difusores consiste en una conducción de 5 metros de longitud de PRFV del que se van a ramificar 4 tramos de tubería que se conectarán con cada uno de los difusores.

El caudal que circula por este tramo de conducción es la totalidad del caudal de salmuera circulante ya que a través de ella circula todo el caudal de salmuera que se va a ir dividiendo en los diferentes ramales de difusores.

Este primer emisario está compuesto por la tubería principal de 800 mm de diámetro, los codos de 90° de desvío y los tramos que desvían la salmuera hacia los difusores.



A) Tubería principal

La tubería principal es aquella que, por un, lado desvía el agua a los difusores del primer tramo y que, por otro lado, alimenta al segundo emisario con difusores.

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA PRINCIPAL	
Flujo en la tubería	1.900 m³/h
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 mm
Diámetro	700 mm
Velocidad de circulación	1,37 m/s
Coeficiente de fricción	0,0141
Longitud de la tubería	5 m

Tabla 5.7: características de la tubería principal del primer emisario submarino con difusores (Fuente: elaboración propia)

En esta tubería principal únicamente se consideran pérdidas de carga primarias, es decir, pérdidas de carga debidas a la fricción del fluido con la tubería. Para poder tenerlas en cuenta se utilizará la siguiente expresión:

$$\Delta h_A = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0141 * 5 * 1,37^2}{0,7 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_A = 0,00965 \text{ m}$$

B) Tuberías secundarias

Estas tuberías secundarias son la que conecta la tubería principal con los difusores y, al haber 4 difusores, habrá un total de 4 tuberías secundarias de 2,5 metros de longitud en este tramo.

Para el dimensionamiento del diámetro se utilizarán los diámetros comerciales del fabricante Prefabricados Delta y la siguiente expresión:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}} = 0.835 * \left(\frac{1900}{4} * 3600 \right)^{\frac{2}{5}} = 0.371 \text{ m}$$

$$D_{min} = 400 \text{ mm}$$

Para este valor del diámetro se cumple con la condición de velocidad circulante entre 0,6 y 1,8 m/s.

En esta conducción únicamente se tendrán en cuenta las pérdidas de carga primarias, utilizándose la siguiente expresión:

$$\Delta h_B = 4 * \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = 4 * \frac{0,0161 * 2,5 * 1,05^2}{0,4 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_B = 0,0226 \text{ m}$$



CARACTERÍSTICAS TUBERÍAS SECUNDARIAS	
Flujo en la tubería	475 m³/h
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 mm
Diámetro	400 mm
Velocidad de circulación	1,05 m/s
Coefficiente de fricción	0,0161
Longitud de la tubería	2,5 m

Tabla 5.8: características de las tuberías secundarias del primer emisario submarino con difusores (Fuente: elaboración propia)

C) Desvío de la tubería principal a las tuberías secundarias

La tubería principal se divide en 4 tuberías secundarias. Esta división se realizará mediante 4 codos de 90° que suponen unas pérdidas de carga secundarias. El coeficiente de pérdidas secundarias (K) de este accesorio concreto toma un valor de 0,4 para cada uno (CONAGUA, 2002).

Las pérdidas de carga debido a los accesorios se cuantifican mediante la siguiente expresión:

$$\Delta h_{1C} = 4 * \frac{K * v^2}{2 * g} = 4 * \frac{0,4 * 1,05^2}{2 * 9,81} = 0,0899 \text{ m}$$

Por tanto, las pérdidas de carga totales en este tramo de emisario con difusores serían:

$$\Delta h_1 = \Delta h_A + \Delta h_B + \Delta h_C = 0,00965 + 0,0226 + 0,0899 = 0,12215$$

En definitiva, las pérdidas de carga que se producen en el emisario submarino con los difusores son:

$$\Delta h_{\text{emisario con difusores}} = \Delta h_1 + \Delta h_{\text{difusores}} = 0,12215 + 1,24$$

$$\Delta h_{\text{emisario con difusores}} = 1,362 \text{ m}$$

Ahora bien, en todo el sistema de descarga de la salmuera las pérdidas de carga que se producen son las del emisario con difusores, las del emisario subterráneo y las del emisario submarino:

$$H_r = \Delta h_{\text{emisario con difusores}} + \Delta h_{\text{subterráneo}} + \Delta h_{\text{submarino}}$$

$$H_r = 1,362 + 0,375 + 4,889$$

$$H_r = 6,626 \text{ m}$$



3. Diseño de la cámara de carga de salida de salmuera

Con las pérdidas de carga conocidas en todo el sistema de evacuación del rechazo de salmuera, es posible verificar la necesidad instalar una bomba con el fin de evacuar la salmuera o, por el contrario, se podrá realizar dicha evacuación mediante un sistema por gravedad.

Para poder conocer de qué caso se trata se efectuará un balance energético, comparando la energía en la salida de la salmuera de la instalación y la energía de la salmuera en los difusores. De este modo, si la altura energética de la bomba toma valores negativos significa que el sistema no requiere de ningún bombeo y es posible utilizar un sistema de gravedad.

Por el contrario, si la altura energética toma valores positivos si será necesario la disposición de una bomba.

El balance energético se basa en el principio de Bernoulli:

$$H_b = \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho g} \right) + H_r$$

El punto 1 corresponderá con la salida del intercambiador de energía mientras que el punto 2 corresponde con la salida de los difusores.

Donde:

- H_b (m): altura que proporciona la bomba.
- v_i (m/s) : velocidad del agua en el punto i. Puesto que la velocidad del agua tanto en el punto 1 como en el punto 2 es la misma, este término se anulará.
- z_i (m): cota sobre el nivel del mar del punto i. $z_1 = 5$ m; $z_2 = -8$ m.
- P_1 (bar): presión del flujo de salmuera en la salida del intercambiador de energía. $P_1 = 1,4$ bares
- P_2 (bar): presión del flujo de salmuera en la salida de los difusores. La presión de la salmuera en este punto es debida a la lámina de agua que tiene por encima, puesto que los difusores están a una profundidad de 6m, la presión será $P_2 = 0,6$ bares
- H_r (m): pérdidas de carga en todo el sistema de evacuación de salmuera. $H_r = 6,626$ m

$$H_b = (-8 - 5) + \left(\frac{0,6 - 1,4}{\rho g} \right) + 6,626$$

$$H_b = -14,374$$

La altura que debe proporcionar la bomba es negativa por lo que no será necesario instalar ningún equipo para dotar a la salmuera de cierta presión, es decir, la evacuación de salmuera se realizará mediante un sistema por gravedad.



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA.**

**Anejo Nº6
CÁLCULOS HIDRÁULICOS**





Índice de contenidos

1. Tubería de captación de la planta.....	8
1.1. Primer tramo de la tubería de captación	8
1.2. Segundo tramo de la tubería de captación	9
1.3. Tercer tramo de la tubería de captación	10
2. Tuberías y bombeo de impulsión	11
2.1. Altura geométrica	12
2.2. Pérdidas de carga en la conducción de impulsión (Δh_i)	12
2.2.1. Pérdidas de carga en la tubería de succión (Δh_1)	13
2.2.2. Pérdidas de carga en la tubería de descarga (Δh_2)	14
2.2.3. Pérdidas de carga en la tubería principal de entrada al pretratamiento (Δh_3)	15
2.2.4. Pérdidas de carga en la tubería de entrada a los filtros de arena (Δh_4)	18
2.3. Pérdidas de carga en el sistema de filtros de arena	17
2.3.1. Pérdidas de carga en el proceso de filtración ($\Delta h_{filtración}$)	17
2.3.2. Pérdidas de carga en la tubería de entrada al filtro de arena	20
2.3.3. Pérdidas de carga en la tubería de salida al filtro de arena	22
2.4. Pérdidas de carga en el sistema de microfiltración	27
2.4.1. Pérdidas de carga en el proceso de microfiltración ($\Delta h_{filtración}$)	27
2.4.2. Pérdidas de carga en la tubería de entrada a la microfiltración	28
2.4.3. Pérdidas de carga en la tubería de salida a la microfiltración	30
2.5. Altura manométrica del bombeo de impulsión (H_m)	33



Índice de tablas

Tabla 6.1: características de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).	8
Tabla 6.2: características del primer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).	8
Tabla 6.3: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: CONAGUA, 2002).	9
Tabla 6.4: características del segundo tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).	9
Tabla 6.5: características del tercer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).	10
Tabla 6.6: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: CONAGUA, 2002).	11
Tabla 6.7: características de la tubería de succión (Fuente: Elaboración propia).	13
Tabla 6.8: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería de succión (Fuente: CONAGUA, 2002).	14
Tabla 6.9: características de la tubería de descarga (Fuente: Elaboración propia).	14
Tabla 6.10: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería de descarga (Fuente: CONAGUA, 2002).	15
Tabla 6.11: características de la tubería principal de entrada al pretratamiento (Fuente: Elaboración propia).	16
Tabla 6.12: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería principal de entrada al pretratamiento (Fuente: CONAGUA, 2002).	16
Tabla 6.13: características del primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).	18
Tabla 6.14: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).	19
Tabla 6.15: características del segundo tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).	19
Tabla 6.16: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).	20
Tabla 6.17: características de la tubería de entrada a la línea de filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).	21
Tabla 6.18: características de la tubería de salida de las líneas de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).	22
Tabla 6.19: características del primer tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).	24
Tabla 6.20: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).	24



Tabla 6.21: características del segundo tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).....	25
Tabla 6.22: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el segundo tramo de la tubería de salida de los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).....	25
Tabla 6.23: características del tercer tramo de la tubería de salida de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).	26
Tabla 6.24: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el tercer tramo de la tubería de salida de los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).....	26
Tabla 6.25: características de la tubería de entrada al sistema de microfiltración (Fuente: Elaboración propia)	28
Tabla 6.26: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería de entrada al sistema de mmicrofiltración (Fuente: CONAGUA, 2002).	29
Tabla 6.27: características de la tubería de entrada a la línea de microfiltración (Fuente: Elaboración propia).	30
Tabla 6.28: características de la tubería de salida de la línea de microfiltración (Fuente: Elaboración propia).	31
Tabla 6.29: características de la tubería de salida del sistema de microfiltración (Fuente: Elaboración propia)	32
Tabla 6.30: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados la tubería de salida del sistema de microfiltración (Fuente: CONAGUA, 2002).	32
Tabla 6.31: características del bombeo de impulsión (Fuente: Elaboración propia).	33
Tabla 6.32: características de la bomba de impulsión (Fuente: Grundfos)	35
Tabla 6.33: carcaterísticas del sistema de alimentación de los bastidores de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)	36
Tabla 6.34: características del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).	36
Tabla 6.35: características de la bomba de alta presión (Fuente: Sulzer)	37
Tabla 6.36: características de tubería de entrada al bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)	39
Tabla 6.37: características de tubería de salida al bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)	39
Tabla 6.38: características del bombeo de refuerzo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).	40
Figura 6.17: bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)	40
Tabla 6.39: características de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Elaboración propia).	40
Tabla 6.40: características de tubería de entrada a la bomba Booster (Fuente: Elaboración propia).....	42
Tabla 6.41: características de tubería de salida de la bomba Booster (Fuente: Elaboración propia).....	42
Tabla 6.42: características de tubería de entrada al bastidor de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)	43



Tabla 6.43: características de tubería de salida del rechazo de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)	43
Tabla 6.40: características de tubería de salida del producto de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)	44
Tabla 6.44: características de tubería de entrada de la salmuera en el intercambiador de energía con elevada presión (Fuente: Elaboración propia)	44
Tabla 6.45: características de tubería de salida de la salmuera del intercambiador de energía con baja presión (Fuente: Elaboración propia)	45
.....	45
Tabla 6.46: características de tubería de entrada del agua de alimentación al intercambiador de energía con baja presión (Fuente: Elaboración propia)	45
Tabla 6.47: características de tubería de salida del agua de alimentación del intercambiador de energía con alta presión (Fuente: Elaboración propia)	45
Tabla 6.48: características de tubería de entrada del agua permeada al sistema de remineralización (Fuente: Elaboración propia)	46
Tabla 6.49: características de tubería de entrada a los distintos lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)	46
Tabla 6.50: características de tubería de salida de los distintos lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)	46
Tabla 6.51: características de tubería de salida del sistema de remineralización y entrada a los tanques de agua potable (Fuente: Elaboración propia)	46
Tabla 6.52: características de tubería de salida del sistema de remineralización y entrada a los tanques de agua potable (Fuente: Elaboración propia)	47
Tabla 6.53: características del bombeo del agua producto (Fuente: Elaboración propia).	47
Tabla 6.54: características de la bomba de impulsión del agua producto (Fuente: Grundfos).....	47



Índice de figuras

Figura 6.1. Esquema del bombeo de impulsión (Fuente: Elaboración propia).....	12
Figura 6.2. Esquema del bombeo de impulsión, destacando en amarillo la tubería de impulsión (Fuente: Elaboración propia)	13
Figura 6.3. Esquema del bombeo de impulsión destacando el sistema de filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).	17
Figura 6.4. Esquema del sistema de filtros de arena destacando en rojo el primer tramo de la tubería de entrada y en naranja el segundo tramo de la tubería de entrada al sistema de filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).	18
Figura 6.5. Esquema del sistema de filtros de arena destacando en amarillo las tuberías de entrada a las unidades de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).....	21
Figura 6.7. Esquema del sistema de filtros de arena destacando en naranja los dos tramos que recogen el agua de 4 unidades de filtros cada uno y en rojo el tramo que une los tramos anteriores (Fuente: Elaboración propia).	23
Figura 6.8. Esquema del bombeo de impulsión, destacando el sistema de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)	27
Figura 6.9. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo la tubería de entrada al sistema de microfiltración (Fuente: Elaboración propia)	28
Figura 6.10. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo las tuberías de entrada a las distintas líneas de microfiltración (Fuente: Elaboración propia)	29
Figura 6.11. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo las tuberías de salida de las líneas de microfiltración (Fuente: Elaboración propia)	30
Figura 6.12. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo la tubería de salida del sistema de microfiltración (Fuente: Elaboración propia)	31
Figura 6.13. Bomba modelo NB 100-250/258 EUP (Fuente: Grundfos).....	34
Figura 6.14. Curva característica de la bomba de impulsión modelo NB 150-400/431 (Fuente: Grundfos)	35
Figura 6.15: Bomba de alta presión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer).....	37
Figura 3.12 Características técnicas de la bomba de alta impulsión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer).....	38
Figura 6.17. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)	39
Figura 6.18: bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)	40
Figura 6.19: Curva característica de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos) ...	41
Figura 6.20. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del bombeo de refuerzo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)	42



Figura 6.21. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del sistema de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)	43
Figura 6.22. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del sistema de recuperación de energía (Fuente: Elaboración propia).....	44
Figura 6.23: bomba Booster modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos)	47
Figura 6.24: curva característica de la bomba del agua producto modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos).	48



1. Tubería de captación de la planta

La conducción de captación es aquella que conduce el agua desde el sistema de captación hasta el interior de la instalación. Se diseñará en polietileno de alta densidad (HDPE) ya que tiene un buen comportamiento en tuberías sometidas a presión, como es el caso de las conducciones sumergidas.

Para poder dimensionar la conducción se utilizará la expresión de Bonnet y se seleccionará el diámetro en función del catálogo comercial del fabricante de tuberías de HDPE Cidesla:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}}$$

$$D_{min} = 0.835 * \left(\frac{3200}{3600}\right)^{\frac{2}{5}} = 0,797 \text{ mm}$$

Con el fin de cumplir que la velocidad del flujo en la tubería esté entre 0,6 y 1,2 m/s, el diámetro comercial escogido para la tubería de captación será de 1000 mm. Además, la tubería de captación de 900 m de longitud se va a dividir en 3 tramos de 300 metros. Es necesario cuantificar las pérdidas de los distintos tramos que conforman la tubería de captación.

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE CAPTACIÓN	
Flujo en la tubería	3.200 m³/h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,002 m
Diámetro	1.000 mm
Velocidad de circulación	1,13 m/s
Coeficiente de fricción	0,0115
Longitud de la tubería	900 m

Tabla 6.1: características de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).

1.1. Primer tramo de la tubería de captación

Este primer tramo se caracteriza por tener una longitud de 300 m y por ser el primer tramo de toda la conducción, por lo que presentará una serie de accesorios que supondrán unas pérdidas.

CARACTERÍSTICAS PRIMER TRAMO TUBERÍA CAPTACIÓN	
Flujo en la tubería	3.200 m³/h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,002 m
Diámetro	1.000 mm
Velocidad de circulación	1,13 m/s
Coeficiente de fricción	0,0115
Longitud de la tubería	300 m

Tabla 6.2: características del primer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).



- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0115 * 300 * 1,13^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,226 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.3.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Codo 90°	0,4
Codo 90°	0,4
Entrada del agua	1,5

Tabla 6.3: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(0,4 + 0,4 + 1,5) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,150 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga producidas en el primer tramo de la tubería de captación son:

$$\Delta h_1 = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,226 + 0,150$$

$$\Delta h_1 = 0,376 \text{ m}$$

1.2. Segundo tramo de la tubería de captación

Este segundo tramo se caracteriza por tener una longitud de 300 m y al tratarse del tramo intermedio donde no hay ningún tipo de accesorio, únicamente habrá pérdidas primarias.

CARACTERÍSTICAS SEGUNDO TRAMO TUBERÍA CAPTACIÓN	
Flujo en la tubería	3.200 m³/h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,002 m
Diámetro	1.000 mm
Velocidad de circulación	1,13 m/s
Coeficiente de fricción	0,0115
Longitud de la tubería	300 m

Tabla 6.4: características del segundo tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).



- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0115 * 300 * 1,13^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$
$$\Delta h_{fricción} = 0,225 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga producidas en el segundo tramo de la tubería de captación son:

$$\Delta h_2 = \Delta h_{fricción} = 0,225 \text{ m}$$

1.3. Tercer tramo de la tubería de captación

Este tercer tramo se caracteriza por tener una longitud de 300 m y por ser el último de los tramos, por lo que presentará, además de las pérdidas de fricción, pérdidas secundarias debidas a una serie de accesorios.

CARACTERÍSTICAS TERCER TRAMO TUBERÍA CAPTACIÓN	
Flujo en la tubería	3.200 m³/h
Material de la tubería	HDPE
Rugosidad absoluta (k)	0,002 m
Diámetro	1.000 mm
Velocidad de circulación	1,13 m/s
Coefficiente de fricción	0,0115
Longitud de la tubería	300 m

Tabla 6.5: características del tercer tramo de la tubería de captación (Fuente: Elaboración propia).

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0115 * 300 * 1,13^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$
$$\Delta h_{fricción} = 0,226 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.6.



TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Codo de 45º	0,2
Salida del agua	1,5

Tabla 6.6: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de captación (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{\text{accesorio}} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(0,2 + 1,5) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{\text{accesorio}} = 0,111 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga producidas en el tercer tramo de la tubería de captación son:

$$\Delta h_3 = \Delta h_{\text{fricción}} + \Delta h_{\text{accesorio}} = 0,226 + 0,111$$

$$\Delta h_3 = 0,337 \text{ m}$$

Por tanto, las pérdidas de carga totales producidas en la tubería de captación son:

$$\Delta h_{\text{tubería captación}} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 = 0,376 + 0,225 + 0,337$$

$$\Delta h_{\text{tubería captación}} = 0,938 \text{ m}$$

2. Tuberías y bombeo de impulsión

La cántara de impulsión es el lugar donde se ubica el primer bombeo de toda la planta con el fin de enviar el agua de mar que ha entrado mediante el sistema de captación hacia el bombeo que suministra al agua la suficiente presión para poder atravesar los módulos de ósmosis inversa.

El bombeo de impulsión se ha calculado para funcionar con 4 bombas de succión para proporcionar la potencia requerida al caudal de alimentación con el fin de superar las pérdidas de carga en las conducciones, el sistema de pretratamiento y que alcance el siguiente bombeo con una presión mínima de 2 bares.

Por tanto, será necesario calcular la altura manométrica que proporcionará la bomba (H_m) al agua, de forma que se cumpla la siguiente expresión:

$$\text{Altura manométrica } (H_m) = \text{Altura geométrica } (H_g) + \Delta h_i + \Delta h_{\text{filtros}} + \Delta h_{\text{cartucho}} + \Delta h_{\text{colector}}$$



Figura 6.1. Esquema del bombeo de impulsión (Fuente: Elaboración propia).

2.1. Altura geométrica

A pesar de que la cántara de impulsión está a 3,5 m por debajo del nivel del mar, se calculará el nivel mínimo de bombeo en la cámara de impulsión ($z_{\text{mínimo cántara impulsión}}$) que se corresponde con la cota mínima de la cámara de captación ($z_{\text{cántara captación}}$) aplicando las pérdidas en los canales (Δh_{canal}) y en las rejillas (Δh_{rejas}):

$$z_{\text{mínimo cántara impulsión}} = z_{\text{cántara captación}} + \Delta h_{\text{canal}} + \Delta h_{\text{rejas}}$$

$$z_{\text{mínimo cántara impulsión}} = -(1,5 + 0,063 + 0,26)$$

$$z_{\text{mínimo cántara impulsión}} = -1,823 \text{ m}$$

$$z_{\text{mínimo cántara impulsión}} \approx -2 \text{ m}$$

La altura geométrica se obtendrá conociendo el nivel mínimo de bombeo en la cámara de impulsión ($z_{\text{mínimo cántara impulsión}}$) y el nivel de la cámara de captación ($z_{\text{cántara captación}}$):

$$H_g = z_{\text{planta desaladora}} + z_{\text{mínimo cántara impulsión}}$$

$$H_g = 5 + 2$$

$$H_g = 7 \text{ m}$$

2.2. Pérdidas de carga en la conducción de impulsión (Δh_i)

La conducción de impulsión es la encargada de conducir el agua desde la cántara de impulsión hasta el bombeo previo sistema de ósmosis inversa, por lo que las pérdidas de carga producidas en ella son las debidas a la tubería de succión, a la tubería de descarga, a la tubería que va hasta los filtros de arena y a la tubería que va desde los filtros de arena hasta el sistema de microfiltración

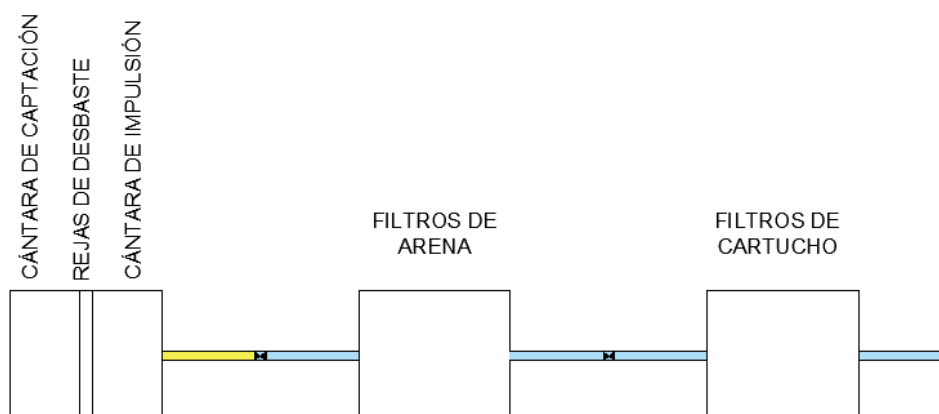


Figura 6.2. Esquema del bombeo de impulsión, destacando en amarillo la tubería de impulsión (Fuente: Elaboración propia)

2.2.1. Pérdidas de carga en la tubería de succión (Δh_1)

La tubería de succión es la encargada de conducir el agua desde la cántara de impulsión hasta la entrada en las bombas de impulsión. Puesto que hay un total de 4 bombas de impulsión, habrá 4 tuberías de succión.

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SUCCIÓN	
Caudal a impulsar	3.200 m ³ /h
Número de bombas	4
Caudal a impulsar por bomba	800 m ³ /h
Diámetro tubería de succión	500 mm
Velocidad en la entrada de succión	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0153
Longitud de la tubería	2,00 m

Tabla 6.7: características de la tubería de succión (Fuente: Elaboración propia).

La tubería de succión presentará una serie de pérdidas de carga primarias y secundarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0153 * 2 * 1,13^2}{0,5 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,004 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)



Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.8.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Entrada del agua	1,5
Contracción gradual	0,25
Codo de 90º	0,4
Válvula de mariposa	1

Tabla 6.8: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería de succión (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{\text{accesorio}} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(1,5 + 0,25 + 0,4 + 1) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{\text{accesorio}} = 0,206 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en las distintas tuberías de succión son:

$$\Delta h_1 = 4 * (\Delta h_{\text{fricción}} + \Delta h_{\text{accesorio}}) = 4 * (0,004 + 0,206)$$

$$\Delta h_1 = 0,839 \text{ m}$$

2.2.2. Pérdidas de carga en la tubería de descarga (Δh_2)

La tubería de descarga es la encargada de conducir el agua desde la salida de la bomba de impulsión hasta la tubería principal de la planta, donde se juntarán la totalidad de tuberías de descarga.

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE DESCARGA	
Caudal a impulsar	3.200 m³/h
Número de bombas	4
Caudal a impulsar por bomba	800 m³/h
Diámetro tubería	500 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0153
Longitud de la tubería	10,00 m

Tabla 6.9: características de la tubería de descarga (Fuente: Elaboración propia).



La tubería de descarga presentará una serie de pérdidas de carga primarias y secundarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0153 * 10 * 1,13^2}{0,5 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,020 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.10.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Ampliación gradual	0,33
Válvula de mariposa	1
Codo de 90º	0,4

Tabla 6.10: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería de descarga (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(0,33 + 1 + 0,4) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,191 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en las distintas tuberías de descarga son:

$$\Delta h_2 = 4 * (\Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio}) = 4 * (0,020 + 0,191)$$

$$\Delta h_2 = 0,846 \text{ m}$$

2.2.3. Pérdidas de carga en la de entrada al pretratamiento (Δh_3)

Esta tubería es la que conduce el agua desde las tuberías de descarga hasta la entrada al sistema de pretratamiento. Se trata de una única tubería por lo que las tuberías de descarga se juntan en esta tubería provocando unas pérdidas de carga por entrada a este colector principal.



CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL PRETRATAMIENTO	
Caudal a impulsar	3.200 m ³ /h
Diámetro tubería	1.000 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0134
Longitud de la tubería	70,00 m

Tabla 6.11: características de la tubería principal de entrada al pretratamiento (Fuente: Elaboración propia).

Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias y secundarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0134 * 70 * 1,13^2}{1 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,0613 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.12.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Colector	0,8

Tabla 6.12: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería principal de entrada al pretratamiento (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(0,8) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,104 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en la tubería principal de entrada al pretratamiento son:

$$\Delta h_3 = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,0613 + 0,104 = 0,166 \text{ m}$$



Ahora bien, la pérdida de carga en la tubería de impulsión se corresponde con la suma de los distintos tramos de tubería calculados anteriormente, por lo que:

$$\Delta h_i = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3$$

$$\Delta h_i = 0,839 + 0,846 + 0,166$$

$$\Delta h_i = 1,851 \text{ m}$$

2.3. Pérdidas de carga en el sistema de filtros de arena ($\Delta h_{\text{filtros}}$)

A continuación, se procede a calcular las pérdidas de carga que se producen en el sistema de filtros de arena. Estas pérdidas de carga se pueden clasificar en tres grupos en función del elemento donde se producen: tubería de entrada al sistema de filtros de arena ($\Delta h_{\text{entrada sistema}}$), tuberías de entrada a la unidad de filtración ($\Delta h_{\text{entrada}}$), proceso de filtración ($\Delta h_{\text{filtración}}$), tuberías de salida de la unidad de filtración (Δh_{salida}) y tubería de recogida del agua filtrada ($\Delta h_{\text{recogida agua filtrada}}$).

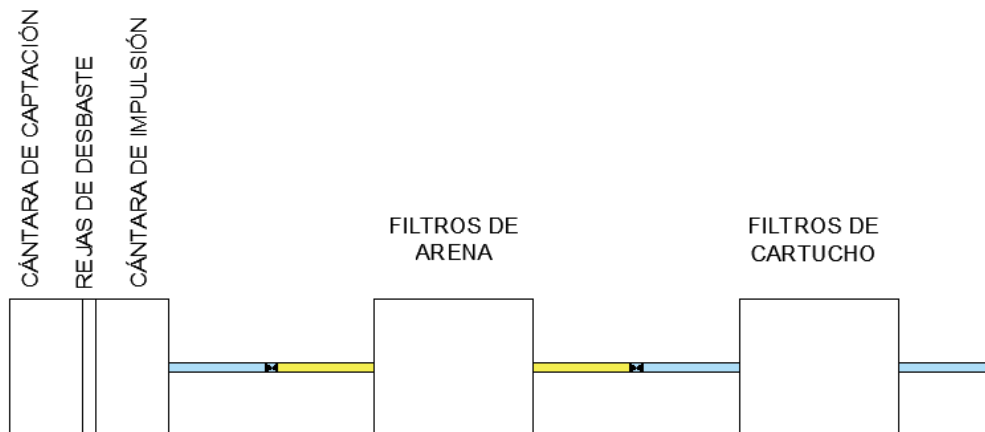


Figura 6.3. Esquema del bombeo de impulsión destacando el sistema de filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

2.3.1. Pérdidas de carga en el proceso de filtración

Durante el proceso de filtración se puede producir una pérdida de carga entre 0,9 y 1,2 mca, por lo que se asume un valor de 1 mca de pérdidas de carga en una única línea de filtración.

$$\Delta h_{\text{filtración}} = 8 * \Delta h_{\text{filtración unitaria}} = 8 * 1$$

$$\Delta h_{\text{filtración}} = 8 \text{ m}$$



2.3.2. Pérdidas de carga en la tubería de entrada al sistema de los filtros de arena ($\Delta h_{\text{entrada sistema}}$)

Puesto que hay 4 filtros de arena, se dispondrán dos tramos de conducción de 15 metros de longitud cada una, de este modo, el caudal circulante por el segundo tramo será la mitad ya que la otra mitad del caudal de alimentación ya se ha filtrado por el primer par de filtros.

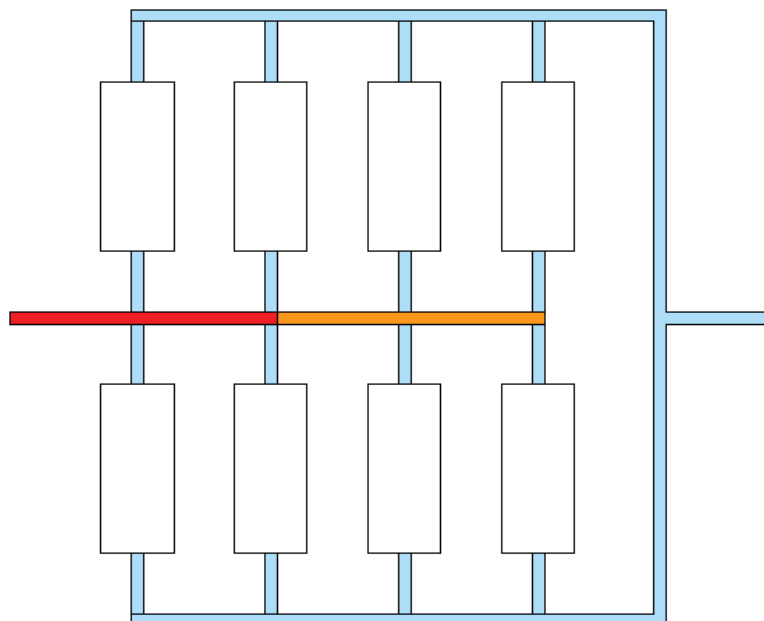


Figura 6.4. Esquema del sistema de filtros de arena destacando en rojo el primer tramo de la tubería de entrada y en naranja el segundo tramo de la tubería de entrada al sistema de filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

2.3.2.1. Pérdidas de carga en el primer tramo de la tubería de entrada al sistema de los filtros de arena (Δh_A)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA A LOS FILTROS DE ARENA (TRAMO 1)	
Caudal a impulsar	3.200 m ³ /h
Diámetro tubería	1.000 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0134
Longitud de la tubería	15,00 m

Tabla 6.13: características del primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).



Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias y secundarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0134 * 15 * 1,13^2}{1 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,0175 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.14.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Bifurcación (4 unidades)	0,1

Tabla 6.14: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(4 * 0,1) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,0261 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en el primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena son:

$$\Delta h_A = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,0175 + 0,0261 = 0,0436$$

2.3.2.2. Pérdidas de carga en el segundo tramo de la tubería de entrada al sistema de los filtros de arena (Δh_B)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA A LOS FILTROS DE ARENA (TRAMO 2)	
Caudal a impulsar	1.600 m³/h
Diámetro tubería de succión	700 mm
Velocidad en la entrada de succión	1,15 mm
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coeficiente de fricción	0,0142
Longitud de la tubería	15,00 m

Tabla 6.15: características del segundo tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).



Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0142 * 15 * 1,15^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,0207 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.16.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Bifurcación (4 unidades)	0,1

Tabla 6.16: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(4 * 0,1) * 1,15^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,0272 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en la tubería de entrada a los filtros de arena son:

$$\Delta h_B = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,0207 + 0,0272 = 0,0479$$

Por tanto, las pérdidas de carga que se producen en la tubería de entrada a los filtros de arena serán:

$$\Delta h_{entrada \text{ sistema}} = \Delta h_A + \Delta h_B = 0,259 + 0,0276 = 0,287 \text{ m}$$

2.3.3. Pérdidas de carga en las tuberías de entrada al filtro de arena ($\Delta h_{entrada}$)

Antes de calcular las pérdidas de carga en las tuberías de entrada a los filtros de arena, será necesario dimensionar cada una de las 8 tuberías que conducen el agua al interior de los 8 respectivos filtros de arena.

Para realizar los cálculos se tendrá en cuenta la situación más desfavorable, es decir, la situación en la que 1 filtro está en contralavado y el resto de los filtros reciben un mayor caudal de alimentación. El diámetro de esta conducción se dimensionará según la siguiente expresión:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}} = 0.835 * \left(\frac{3200}{(8-1) * 3600} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.366 \text{ m}$$

$$D_{min} = 400 \text{ m}$$

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA	
Caudal a impulsar	457 m³/h
Diámetro tubería	400 mm
Velocidad	1,01 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0162
Longitud de la tubería	2,00 m

Tabla 6.17: características de la tubería de entrada a la línea de filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).

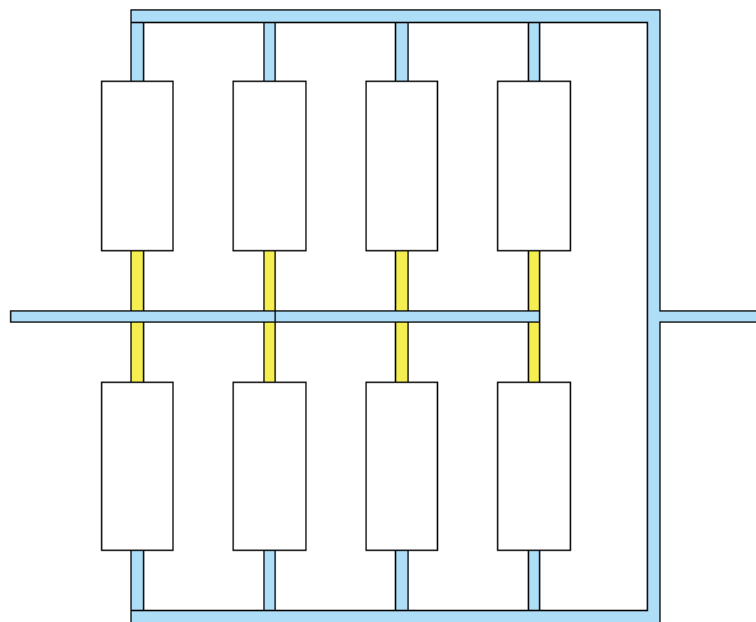


Figura 6.5. Esquema del sistema de filtros de arena destacando en amarillo las tuberías de entrada a las unidades de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

Únicamente se tendrán en cuenta las pérdidas primarias o de fricción:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{entrada}$)

$$\Delta h_{entrada} = 8 * \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = 8 * \frac{0,0162 * 2 * 1,01^2}{0,4 * 2 * 9,8} = 0,0338 \text{ m}$$

2.3.4. Pérdidas de carga en las tuberías de salida al filtro de arena (Δh_{salida})

Será necesario dimensionar las tuberías de salida de cada una de las líneas de filtración.

Para realizar los cálculos se tendrá en cuenta la situación más desfavorable que es aquella en la que 1 filtro está en contralavado y el resto de los filtros reciben un mayor caudal de alimentación. El diámetro de esta conducción se dimensionará mediante la siguiente expresión:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}} = 0.835 * \left(\frac{3200}{(8 - 1) * 3600} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.366 \text{ m}$$

$$D_{min} = 400 \text{ m}$$

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA	
Caudal a impulsar	457 m ³ /h
Diámetro tubería	400 mm
Velocidad	1,01 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coeficiente de fricción	0,0162
Longitud de la tubería	2,00 m

Tabla 6.18: características de la tubería de salida de las líneas de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

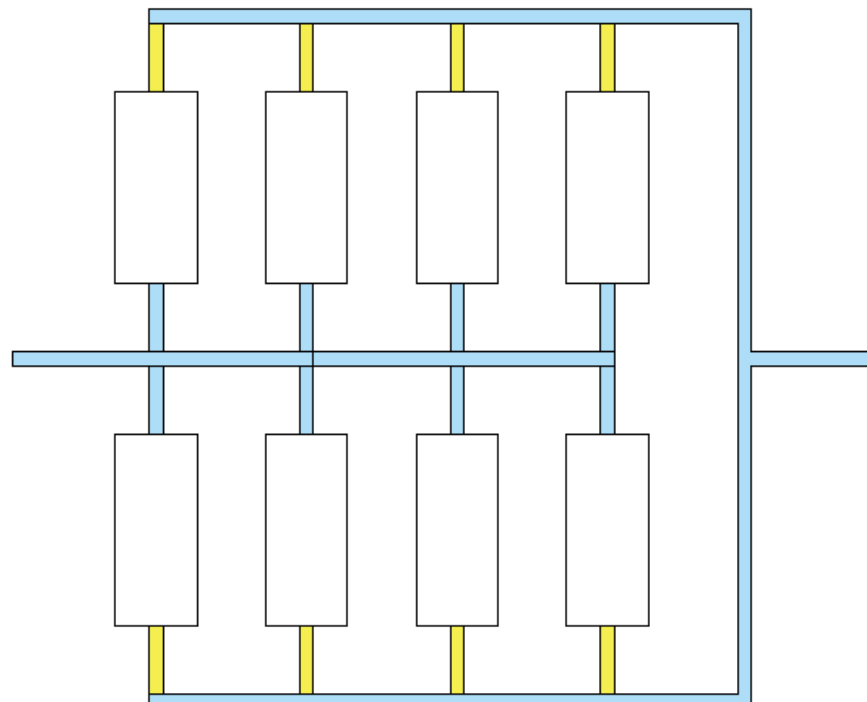


Figura 6.6. Esquema del sistema de filtros de arena destacando en amarillo las tuberías de salida de las unidades de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

Únicamente se tendrán en cuenta las pérdidas primarias o de fricción:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción (Δh_{salida})

$$\Delta h_{salida} = 8 * \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = 8 * \frac{0,0162 * 2 * 1,01^2}{0,4 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{salida} = 0,0338 \text{ m}$$

2.3.5. Pérdidas de carga en la tubería de recogida del agua filtrada ($\Delta h_{recogida \text{ agua filtrada}}$)

La tubería de recogida del agua filtrada es aquella en la que se une el agua que sale de las distintas líneas de filtros de arena y la envía al sistema de microfiltración.

Esta conducción se va a dividir en tres tramos: dos tramos iguales que recogen el agua de un total de 4 unidades de filtros de arena y un tercer tramo que será donde se unan los dos tramos anteriores.

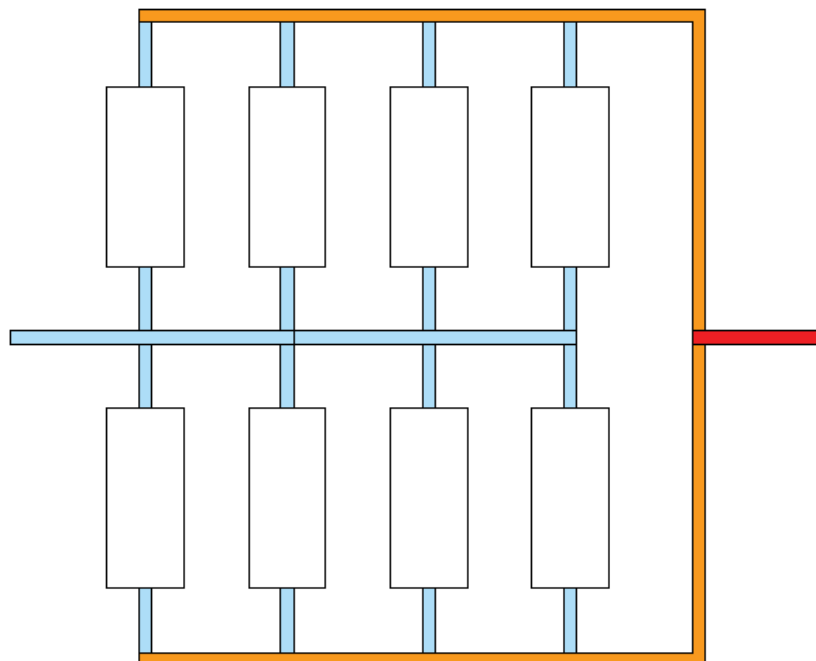


Figura 6.7. Esquema del sistema de filtros de arena destacando en naranja los dos tramos que recogen el agua de 4 unidades de filtros cada uno y en rojo el tramo que une los tramos anteriores (Fuente: Elaboración propia).



2.3.5.1. Pérdidas de carga en el primer tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Δh_A)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DE LOS FILTROS DE ARENA (TRAMO 1)	
Caudal a impulsar	1.600 m ³ /h
Diámetro tubería	700 mm
Velocidad	1,15 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0142
Longitud de la tubería	40,00 m

Tabla 6.19: características del primer tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias y secundarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0142 * 40 * 1,15^2}{0,7 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,0552 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.20.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Colector	0,8

Tabla 6.20: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el primer tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(0,8) * 1,15^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,0544 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en el primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena son:

$$\Delta h_A = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,0552 + 0,0544 = 0,1096 \text{ m}$$



2.3.5.2. Pérdidas de carga en el segundo tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Δh_B)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DE LOS FILTROS DE ARENA (TRAMO 2)	
Caudal a impulsar	1.600 m ³ /h
Diámetro tubería	700 mm
Velocidad	1,15 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0142
Longitud de la tubería	40,00 m

Tabla 6.21: características del segundo tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias y secundarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0142 * 40 * 1,15^2}{0,7 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,0552 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.22.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Colector	0,8

Tabla 6.22: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el segundo tramo de la tubería de salida de los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(0,8) * 1,15^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,0544 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en el primer tramo de la tubería de entrada a los filtros de arena son:

$$\Delta h_B = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,0552 + 0,0544 = 0,01096$$



2.3.5.3. Pérdidas de carga en el tercer tramo de la tubería de salida del sistema de los filtros de arena (Δh_c)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DE LOS FILTROS DE ARENA (TRAMO 3)	
Caudal a impulsar	3.200 m³/h
Diámetro tubería	1.000 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0134
Longitud de la tubería	5,00 m

Tabla 6.23: características del tercer tramo de la tubería de salida de los filtros de arena (Fuente: Elaboración propia).

Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0134 * 5 * 1,13^2}{0,9 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,00485 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.24.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Válvula de mariposa	1
Colector	0,8

Tabla 6.24: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en el tercer tramo de la tubería de salida de los filtros de arena (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(1 + 0,8) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,0653 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en la tubería de entrada a los filtros de arena son:

$$\Delta h_B = \Delta h_{fricción} + \Delta h_{accesorio} = 0,00485 + 0,0653 = 0,0702$$

Por tanto, las pérdidas de carga que se producen en la tubería de entrada a los filtros de arena serán:

$$\Delta h_{\text{recogida agua filtrada}} = \Delta h_A + \Delta h_B + \Delta h_C = 0,01096 + 0,0702 + 0,0784 = 0,160$$

Finalmente, las pérdidas de carga que se producen en todo el sistema de filtración son:

$$\Delta h_{\text{filtros}} = \Delta h_{\text{entrada sistema}} + \Delta h_{\text{entrada}} + \Delta h_{\text{filtración}} + \Delta h_{\text{salida}} + \Delta h_{\text{recogida agua filtrada}}$$

$$\Delta h_{\text{filtros}} = 0,287 + 0,0338 + 8 + 0,0338 + 0,160 = 8,515 \text{ m}$$

2.4. Pérdidas de carga en el sistema de filtros de cartucho ($\Delta h_{\text{cartuchos}}$)

Seguidamente, se calcularán las pérdidas de carga producidas en el sistema de filtros de cartucho. Estas pérdidas de carga se producirán en diferentes elementos: tubería de entrada al sistema, tuberías de entrada a las unidades de los filtros de cartucho, proceso de filtración, tuberías de salida de las unidades de los filtros cartucho y tubería de salida del sistema de filtros de cartucho.

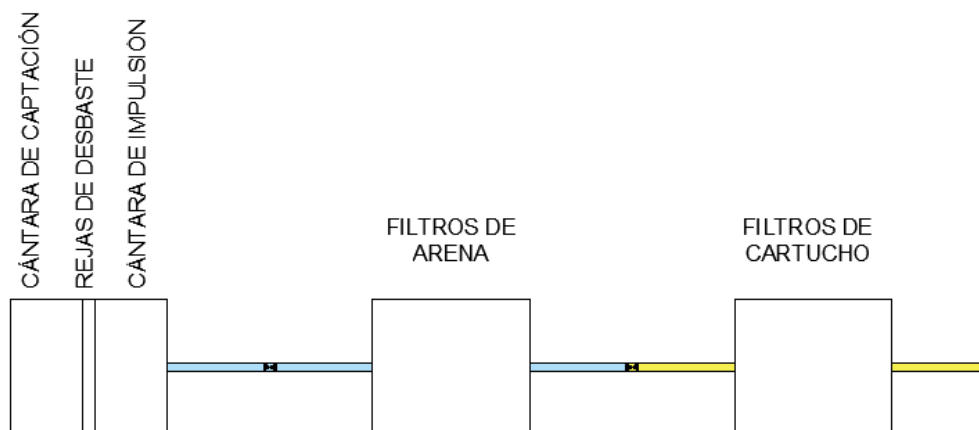


Figura 6.8. Esquema del bombeo de impulsión, destacando el sistema de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)

2.4.1. Pérdidas de carga en el proceso de filtración

Durante el proceso de filtración se puede producir una pérdida de carga entre 2 y 3 mca, por lo que se asume un valor de 2,5 mca de pérdidas de carga en una única línea de filtración en filtros de cartucho.

$$\Delta h_{\text{proceso}} = 5 * \Delta h_{\text{cartuchos unitaria}} = 5 * 2,5 = 12,5 \text{ m}$$

2.4.2. Pérdidas de carga en la tubería de entrada al sistema de microfiltración

La tubería de entrada al sistema de microfiltración es aquella que conduce el agua desde el sistema de filtros de arena y se bifurca en las distintas tuberías de entrada a las líneas de microfiltración.

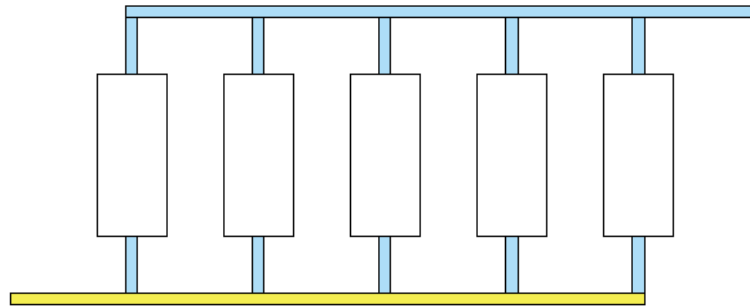


Figura 6.9. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo la tubería de entrada al sistema de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL SISTEMA DE FILTROS DE CARTUCHO	
Caudal a impulsar	3.200 m³/h
Diámetro tubería	1.000 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0122
Longitud de la tubería	10,00 m

Tabla 6.25: características de la tubería de entrada al sistema de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)

Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0122 * 10 * 1,13^2}{1 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,00795 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.26.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Codo de 90° (2 unidades)	0,4

Tabla 6.26: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados en la tubería de entrada al sistema de filtros de cartucho (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{\text{accesorio}} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(2 * 0,4) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{\text{accesorio}} = 0,0522 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga que se producen en la tubería de entrada al sistema de filtros de cartucho son:

$$\Delta h_{\text{entrada sistema}} = \Delta h_{\text{fricción}} + \Delta h_{\text{accesorio}} = 0,00795 + 0,0522 = 0,0601 \text{ m}$$

2.4.3. Pérdidas de carga en las tuberías de entrada a las líneas de filtros de cartucho

Antes de calcular las pérdidas de carga en la tubería de entrada al sistema, será necesario dimensionar cada una de las 5 tuberías que conducen el agua al interior las 5 líneas de filtros de cartucho.

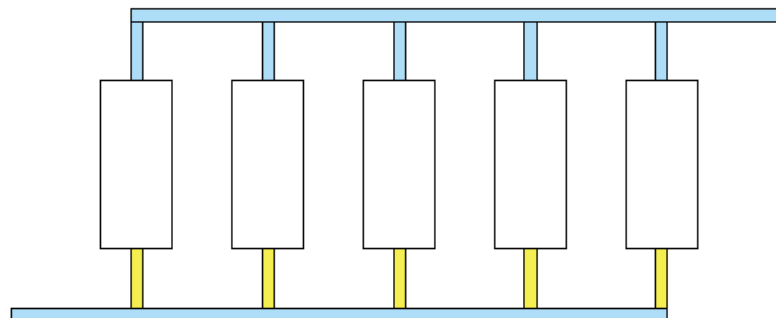


Figura 6.10. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo las tuberías de entrada a las distintas líneas de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)

Para realizar los cálculos se tendrá en cuenta la situación más desfavorable, es decir, la situación en la que 1 filtro está en contralavado y el resto de los filtros reciben un mayor caudal de alimentación. El diámetro de esta conducción se dimensionará según la siguiente expresión:

$$D_{\min} = 0,835 * Q^{\frac{2}{5}} = 0,835 * \left(\frac{3200}{(5 - 1) * 3600} \right)^{\frac{2}{5}} = 0,458 \text{ m}$$

$$D_{\min} = 500 \text{ m}$$

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA A LA LÍNEA DE FILTROS DE CARTUCHO	
Caudal a impulsar	800 m ³ /h
Diámetro tubería	500 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0140
Longitud de la tubería	2,00 m

Tabla 6.27: características de la tubería de entrada a la línea de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia).

Únicamente se tendrán en cuenta las pérdidas primarias o de fricción:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{entrada}$)

$$\Delta h_{entrada} = 5 * \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = 5 * \frac{0,014 * 2 * 1,13^2}{0,5 * 2 * 9,8} = 0,0183 \text{ m}$$

2.4.4. Pérdidas de carga en las tuberías de salida de las líneas de filtros de cartucho

Será necesario dimensionar las tuberías de salida de cada una de las líneas de filtros de cartucho.

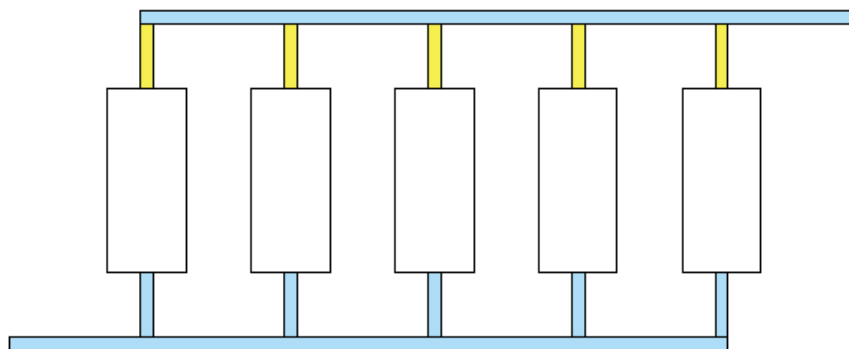


Figura 6.11. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo las tuberías de salida de las líneas de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)

Para realizar los cálculos se tendrá en cuenta la situación más desfavorable que es aquella en la que 1 filtro está en contralavado y el resto de los filtros reciben un mayor caudal de alimentación. El diámetro de esta conducción se dimensionará mediante la siguiente expresión:

$$D_{min} = 0.835 * Q^{\frac{2}{5}} = 0.835 * \left(\frac{3200}{(5 - 1) * 3600} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.458 \text{ m}$$

$$D_{min} = 500 \text{ mm}$$

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DE LA LÍNEA DE FILTROS DE CARTUCHO	
Caudal a impulsar	800 m ³ /h
Diámetro tubería	500 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coefficiente de fricción	0,0140
Longitud de la tubería	2,00 m

Tabla 6.28: características de la tubería de salida de la línea de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia).

Únicamente se tendrán en cuenta las pérdidas primarias o de fricción:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción (Δh_{salida})

$$\Delta h_{salida} = 5 * \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = 5 * \frac{0,014 * 2 * 1,13^2}{0,5 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{salida} = 0,0183 \text{ m}$$

2.4.5. Pérdidas de carga en la tubería de salida del sistema de filtros de cartucho

La tubería de salida del sistema de microfiltración es aquella que recoge el agua de las distintas líneas de filtros de cartucho y la conduce hasta el bombeo de alta presión.

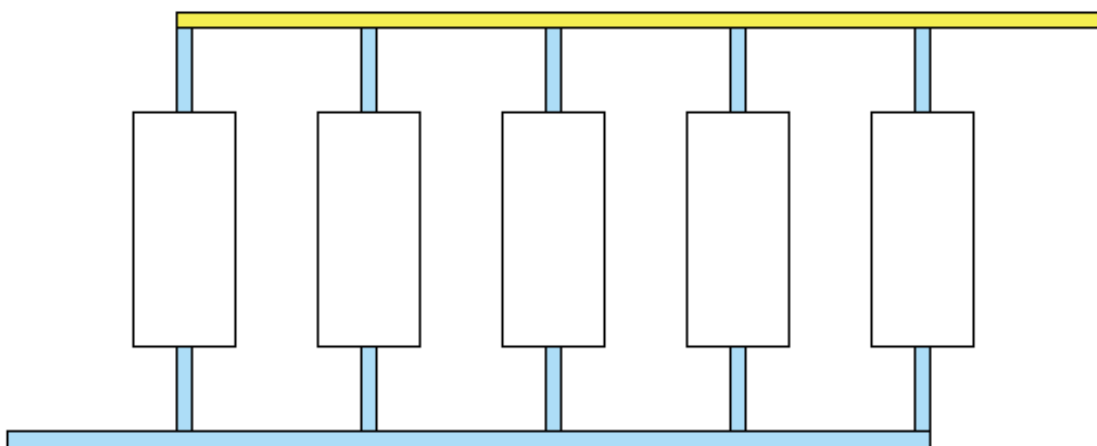


Figura 6.12. Esquema del sistema de filtros de cartucho, destacando en amarillo la tubería de salida del sistema de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)



CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DEL SISTEMA DE FILTROS DE CARTUCHO	
Caudal a impulsar	3.200 m³/h
Diámetro tubería	1.000 mm
Velocidad	1,13 m/s
Material de la tubería	PRFV
Rugosidad absoluta (k)	0,10 m
Coeficiente de fricción	0,0122
Longitud de la tubería	10,00 m

Tabla 6.29: características de la tubería de salida del sistema de filtros de cartucho (Fuente: Elaboración propia)

Esta conducción presentará una serie de pérdidas de carga primarias y secundarias que son necesarias cuantificar:

- Pérdidas de carga primarias o de fricción ($\Delta h_{fricción}$)

$$\Delta h_{fricción} = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{0,0122 * 10 * 1,13^2}{1 * 2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{fricción} = 0,00795 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga secundarias o de accesorio ($\Delta h_{accesorio}$)

Para cuantificar las pérdidas de carga debidas a la presencia de accesorios se han tenido en cuenta los accesorios y los coeficientes de pérdidas incluidos en la tabla 6.30.

TIPOLOGÍA DE ACCESORIO	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
Codo de 90° (2 unidades)	0,4

Tabla 6.30: accesorios y coeficientes de pérdidas de carga considerados la tubería de salida del sistema de filtro de cartucho (Fuente: CONAGUA, 2002).

$$\Delta h_{accesorio} = \frac{KT * v^2}{2 * g} = \frac{(2 * 0,4) * 1,13^2}{2 * 9,8}$$

$$\Delta h_{accesorio} = 0,0522 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga producidas en la tubería de entrada a los filtros de arena son:



$$\Delta h_{\text{salida sistema}} = \Delta h_{\text{fricción}} + \Delta h_{\text{accesorio}} = 0,00795 + 0,0522 = 0,0601 \text{ m}$$

En definitiva, las pérdidas de carga en el sistema de filtros de cartucho serán:

$$\Delta h_{\text{microfiltración}} = \Delta h_{\text{entrada sistema}} + \Delta h_{\text{entrada}} + \Delta h_{\text{proceso}} + \Delta h_{\text{salida}} + \Delta h_{\text{salida sistema}}$$

$$\Delta h_{\text{microfiltración}} = 0,0601 + 0,0183 + 12,5 + 0,0183 + 0,0601$$

$$\Delta h_{\text{microfiltración}} = 12,66 \text{ m}$$

2.5. Altura manométrica del bombeo de impulsión (H_m)

Finalmente, con las pérdidas de carga de las distintas conducciones y accesorios y la altura geométrica calculadas, ya se puede obtener la altura manométrica que ha de proporcionar la bomba:

$$H_m = H_g + \Delta h_i + \Delta h_{\text{filtros}} + \Delta h_{\text{microfiltración}} + \Delta h_{\text{BAP}}$$

$$H_m = 7 + 1,851 + 8,515 + 12,66 + 20$$

$$H_m = 50,026 \text{ m}$$

Se buscará una bomba que cumpla con una altura manométrica de 55 mca con el fin de suponer pequeñas pérdidas no contabilizadas y para poder mantener cierto margen de operación.

BOMBEO DE IMPULSIÓN	
Flujo total a impulsar	3.200 m³/h
Número total de bombas	5
Flujo a impulsar por bomba	640 m³/h
Altura manométrica de la bomba	55,00 mca

Tabla 6.31: características del bombeo de impulsión (Fuente: Elaboración propia).

Tras una exhaustiva búsqueda entre las distintas empresas suministradoras de bombas, se ha seleccionado a la empresa Grundfos por la disposición de una gran variedad de modelos con unas adecuadas prestaciones y elevada calidad. Dentro del catálogo comercial de la empresa Grundfos, se ha seleccionado





el modelo de bomba NB 100-250/258 EUP debido a que presenta los requisitos necesarios para el uso previsto.

Figura 6.13. Bomba modelo NB 100-250/258 EUP (Fuente: Grundfos)

CARACTERÍSTICAS BOMBA DE IMPULSIÓN	
Modelo	NB 150-400/431
Potencia de la bomba	122,4 kW
Rendimiento	85,7 %
Potencia requerida en el punto de trabajo	117,2 kW
NPSH	5,94 m
Frecuencia	50 Hz
Diámetro del impulsor	431 mm
Diámetro del eje	48 mm
Peso neto de la bomba	1330 kg
Consumo de energía	1451,56 kWh/día

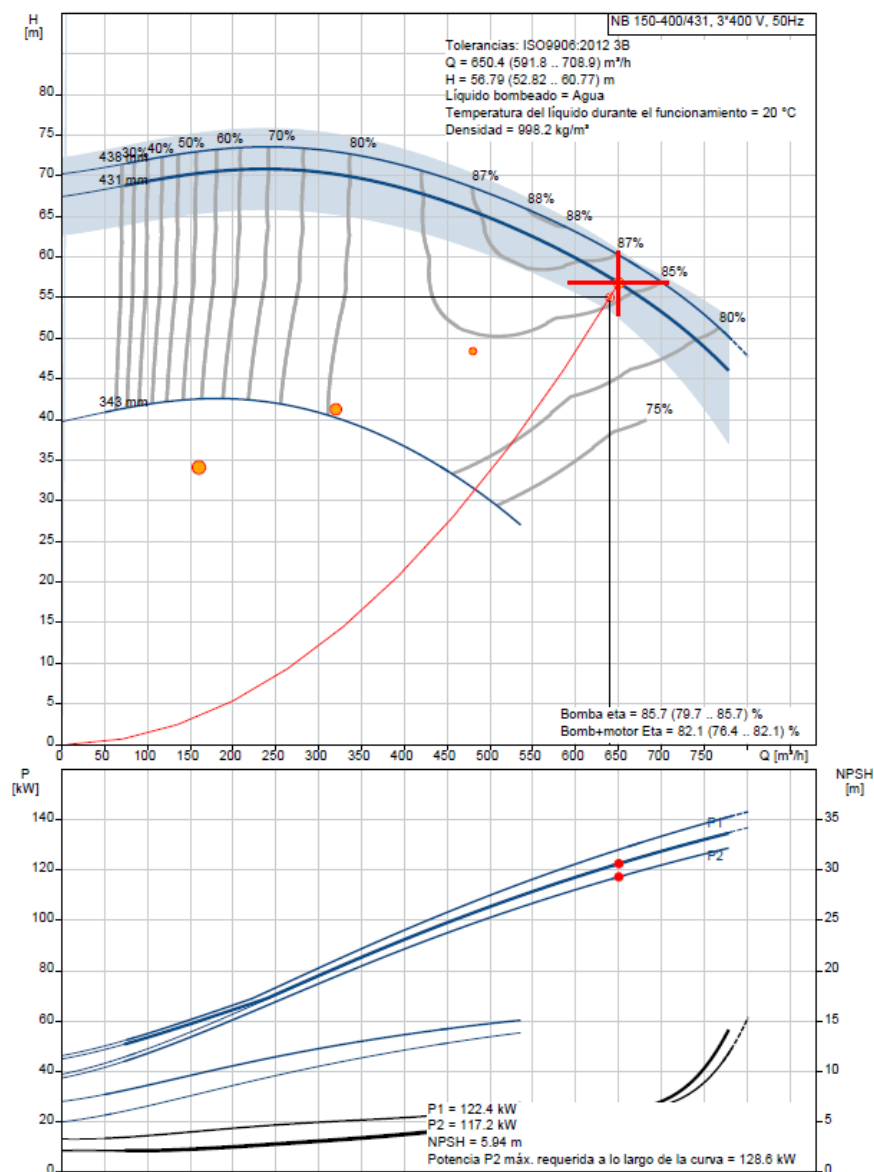
Tabla 6.32: características de la bomba de impulsión (Fuente: Grundfos)

Figura 6.14. Curva característica de la bomba de impulsión modelo NB 150-400/431 (Fuente: Grundfos)

3. Tuberías y bombeo en el paso del sistema de ósmosis inversa

El agua que de alimentación que ya ha sufrido un tratamiento en los filtros de arena y en el sistema de microfiltración llega al sistema de ósmosis inversa con una presión de 2 bares. Puesto que esta presión es insuficiente para poder realizar el proceso de ósmosis inversa será necesario hacer pasar al agua de alimentación por un bombeo de alta presión.

Además, el agua de rechazo de la ósmosis inversa se hará pasar por un recuperador de energía para poder aprovechar la presión que tiene. No obstante, esta presión no será suficiente para dotar al agua de alimentación de la presión necesaria para pasar por las membranas de ósmosis inversa por lo que se



instalarán una serie de bombas booster.



De este modo, al haber 6 bastidores de ósmosis inversa, se dispondrán 6 bombas de alta presión y 6 bombas booster, 1 bomba de cada tipología por cada bastidor.

ALIMENTACIÓN DE BASTIDORES DE ÓSMOSIS INVERSA	
Flujo de agua producto	33.000 m ³ /dia
Factor de conversión	45 %
Flujo de agua de alimentación	73.333,33 m ³ /dia
Flujo de agua de alimentación	3.055,56 m ³ /h
Flujo de agua de alimentación de cálculo	3200 m ³ /h
Número de líneas de OI	6
Flujo de alimentación por línea de OI	533,33 m ³ /h
Con bombas de alta presión	240,00 m ³ /h
Con recuperadores de energía	293,33 m ³ /h

Tabla 6.33: características del sistema de alimentación de los bastidores de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)

3.1. Sistema de bombeo de alta presión

3.1.1. Bombas de alta presión

El bombeo de alta presión es la parte que supone la principal fuente de energía para dotar al agua de alimentación la presión necesaria para la correcta filtración mediante la ósmosis inversa.

BOMBEO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo de alimentación por línea de OI	240 m ³ /h
Número total de bombas	6
Número de bombas por bastidor	1
Altura manométrica de la bomba	564,00 mca

Tabla 6.34: características del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).

Tras una exhaustiva búsqueda entre las distintas empresas suministradoras de bombas de alta presión, se ha seleccionado a la empresa Sulzer por la disposición de una gran variedad de modelos con unas adecuadas prestaciones y elevada calidad.

Dentro del catálogo comercial de la empresa Sulzer, se ha seleccionado el modelo de bomba MBN RO 150-320 E ya que está especialmente indicada para la aplicación en desalación por ósmosis inversa.



Figura 6.15: Bomba de alta presión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer)

CARACTERÍSTICAS BOMBA ALTA PRESIÓN	
Modelo	MBN RO 150-320 E
Potencia nominal de la bomba	448 kW
Rendimiento	72,9 %
Velocidad nominal	2985 rpm
NPSH	4,33 m
Frecuencia	50 Hz

Tabla 6.35: características de la bomba de alta presión (Fuente: Sulzer)



SULZER

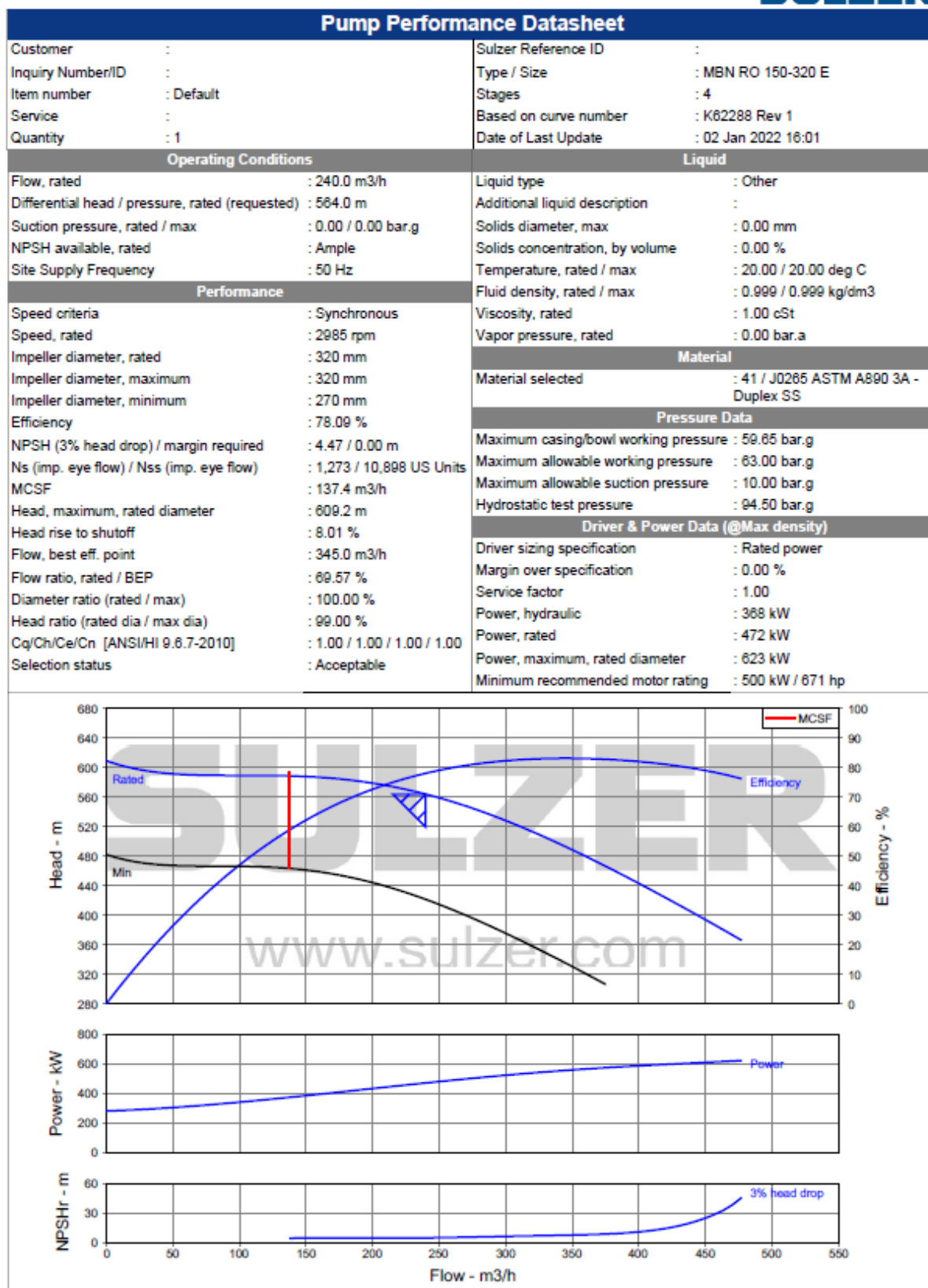


Figura 3.12 Características técnicas de la bomba de alta impulsión modelo MBN RO 150-320 E (Fuente: Sulzer)

3.1.2. Tuberías del sistema de bombeo de alta presión

El sistema de bombeo de alta presión está compuesto por dos tuberías, una tubería de entrada y otra de salida. Con el fin de resistir las altas presiones que proporciona la bomba, la tubería de salida será de acero y se dimensionará según los diámetros comerciales de la empresa de tuberías OCTAL. Por otro lado, la tubería de al bombeo de alta presión será de Poliéster Reforzado de Fibra de Vidrio (PRFV) y se dimensionará de acuerdo con los diámetros comerciales de la empresa Prefabricados Delta.

Ahora bien, al haber 6 bastidores de ósmosis inversa y, por tanto, 6 bombas de alta presión, habrá un total de 6 tuberías de entrada y 6 tuberías de salida del bombeo de alta presión.

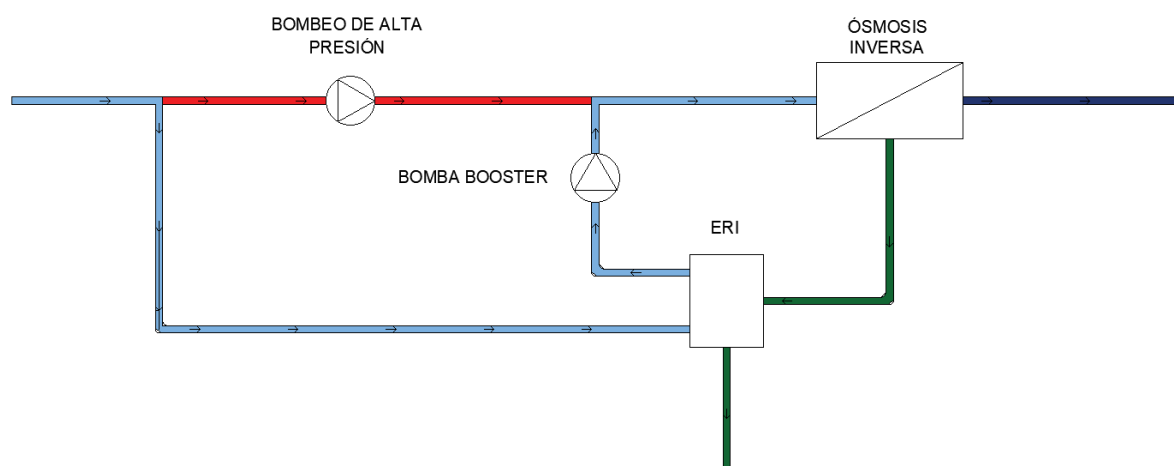


Figura 6.17. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)

Las conducciones se diseñarán para que cumplan los criterios de velocidad máximos (1,5 m/s para las tuberías de PRFV y 5 para las tuberías de acero)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL BOMBEO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	240,00 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	300 mm
Velocidad de circulación	0,94 m/s

Tabla 6.36: características de tubería de entrada al bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DEL BOMBEO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	240,00 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	200 mm
Velocidad de circulación	2,12 m/s

Tabla 6.37: características de tubería de salida al bombeo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)

3.2. Sistema de bombeo de refuerzo de alta presión

3.2.1. Bombas de refuerzo de alta presión

El rechazo de salmuera que se obtiene de la ósmosis inversa se hace pasar por los intercambiadores de energía para darle presión a una parte del caudal de alimentación. Sin embargo, ese caudal al que el rechazo de salmuera le ha dado presión, no goza de la presión necesaria por lo que será necesario un bombeo de refuerzo que, en este caso, se llevará a cabo mediante las bombas booster.

BOMBEO DE REFUERZO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo de alimentación por línea de OI	293 m ³ /h
Número total de bombas booster	6
Número de bombas booster por bastidor	1
Altura manométrica de la bomba	40,00 mca

Tabla 6.38: características del bombeo de refuerzo de alta presión (Fuente: Elaboración propia).

Para la bomba de refuerzo de alta presión se escogió a la empresa Grundfos como suministradora, específicamente el modelo NK 150-500/513 ya que era el que mostraba un menor consumo energético y un mayor rendimiento.



Figura 6.18: bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)

CARACTERÍSTICAS BOMBA BOOSTER	
Modelo	NK 150-500/513
Potencia de la bomba	44,7 kW
Rendimiento	72,9 %
Potencia requerida en el punto de trabajo	42,29 kW
NPSH	2,03 m
Frecuencia	50 Hz
Diámetro del impulsor	513 mm
Diámetro del eje	60 mm
Peso neto de la bomba	1300 kg
Consumo de energía	546,16 kWh/día

Tabla 6.39: características de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Elaboración propia).

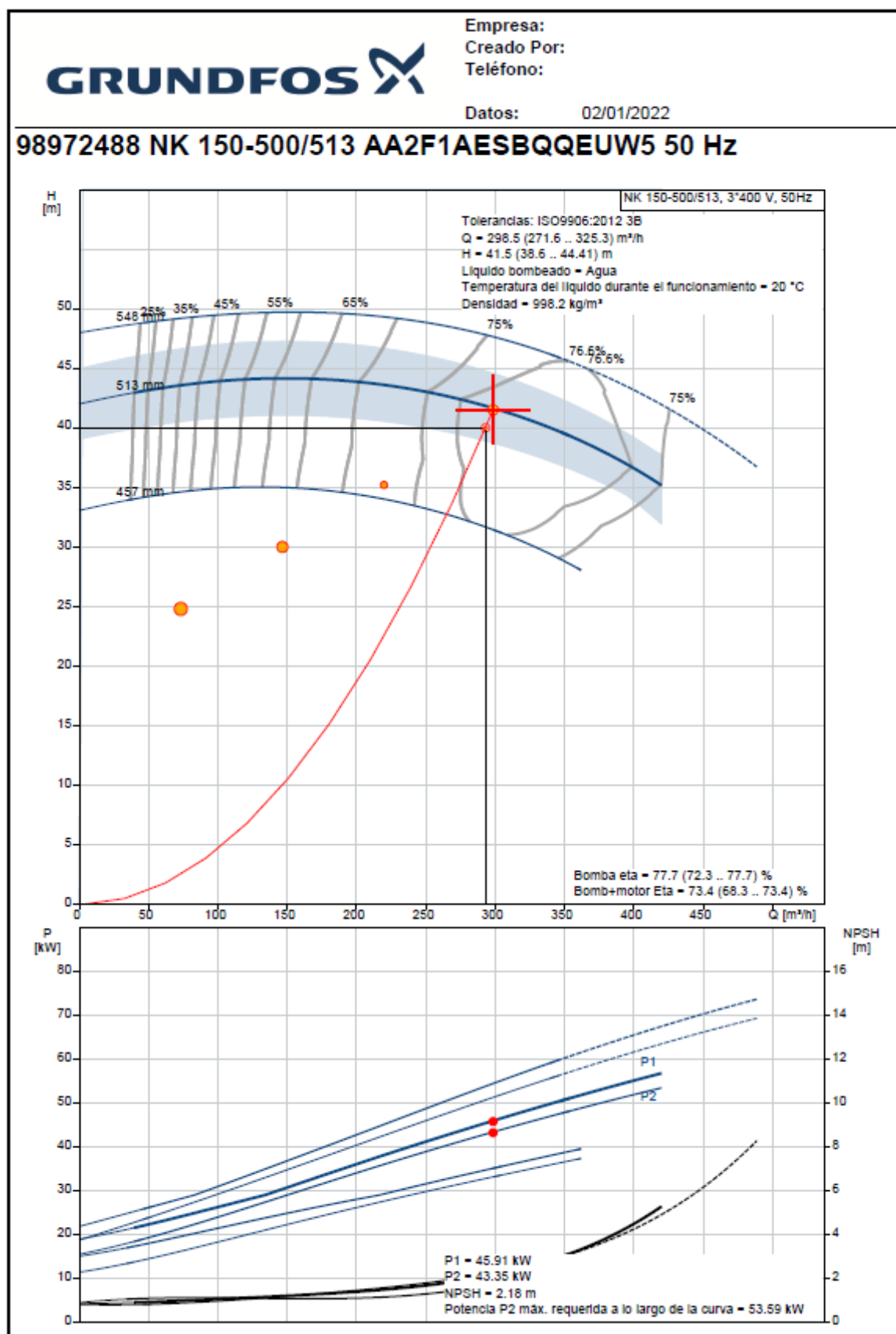


Figura 6.19: Curva característica de la bomba Booster modelo NK 150-500/513 (Fuente: Grundfos)

3.2.2. Tuberías del sistema de bombeo de refuerzo de alta presión

El sistema de bombeo de refuerzo presión está compuesto por dos tuberías, una tubería de entrada y otra de salida. Con el fin de resistir las altas presiones que proporciona la bomba booster y el intercambiador de energía, las tuberías de entra y de salida serán de acero y se dimensionará según los diámetros comerciales de la empresa de tuberías OCTAL.

Ahora bien, al haber 6 bastidores de ósmosis inversa y, por tanto, 6 bombas de Booster, habrá un total de 6 tuberías de entrada y 6 tuberías de salida del bombeo de alta presión.

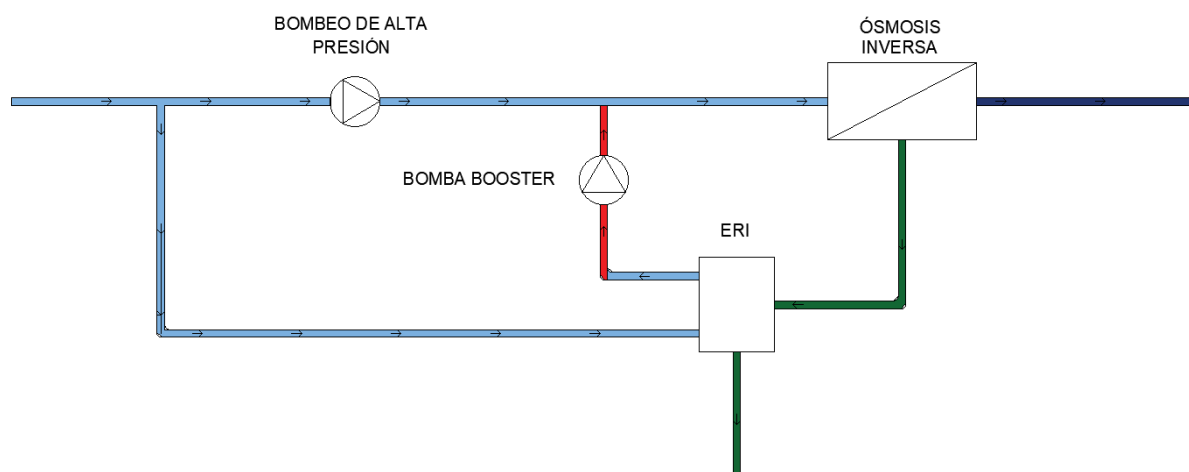


Figura 6.20. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del bombeo de refuerzo de alta presión (Fuente: Elaboración propia)

Las conducciones se diseñarán para que cumplan los criterios de velocidad máximos (5 m/s para las tuberías de acero)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL BOMBEO DE REFEURZO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	293,00 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	200 mm
Velocidad de circulación	2,59 m/s

Tabla 6.40: características de tubería de entrada a la bomba Booster (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DEL BOMBEO DE REFEURZO DE ALTA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	293,00 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	200 mm
Velocidad de circulación	2,59 m/s

Tabla 6.41: características de tubería de salida de la bomba Booster (Fuente: Elaboración propia)

3.3. Tuberías de paso al sistema de ósmosis inversa

El sistema de ósmosis inversa está compuesto por tres grupos de tuberías: las tuberías de entrada al módulo de ósmosis inversa, las tuberías de salida del agua producto y las tuberías de salida de la salmuera.

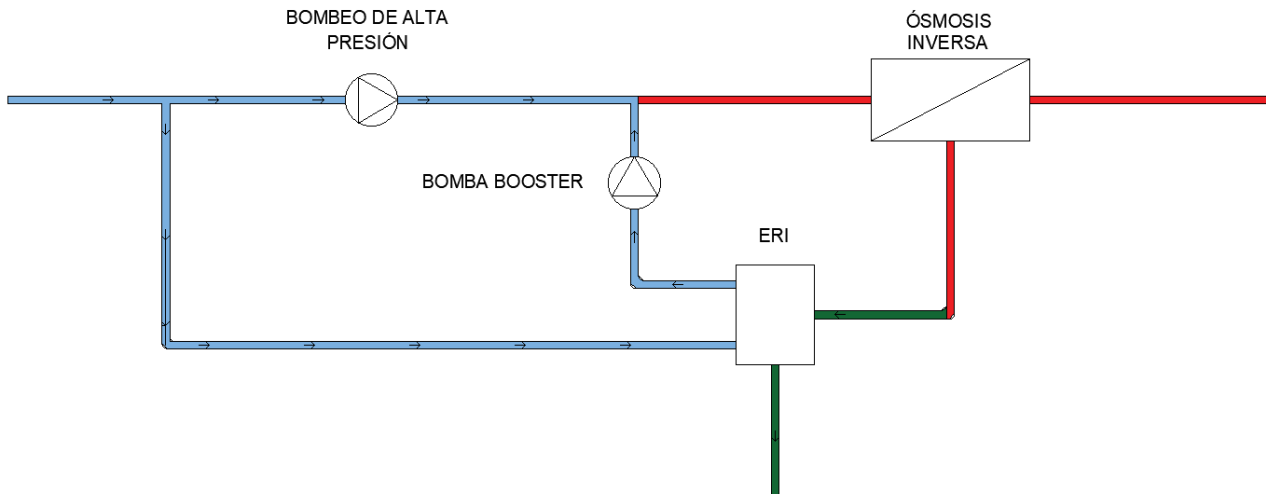


Figura 6.21. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del sistema de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)

Como todas estas tuberías están sometidas a unas elevadas presiones, se utilizará acero y se dimensionarán de acuerdo al catálogo comercial de OCTAL.

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL BASTIDOR DE ÓSMOSIS INVERSA	
Flujo en la tubería	533,33 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	300 mm
Velocidad de circulación	2,10 m/s

Tabla 6.42: características de tubería de entrada al bastidor de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DEL RECHAZO DE ÓSMOSIS INVERSA	
Flujo en la tubería	293,33 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	300 mm
Velocidad de circulación	1,15 m/s

Tabla 6.43: características de tubería de salida del rechazo de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DEL PRODUCTO DE ÓSMOSIS INVERSA	
Flujo en la tubería	240,00 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	300 mm
Velocidad de circulación	0,94 m/s

Tabla 6.40: características de tubería de salida del producto de ósmosis inversa (Fuente: Elaboración propia)

3.4. Tuberías del sistema de recuperación de energía

El sistema de recuperación de energía está compuesto por cuatro grupos de tuberías: las tuberías de entrada de la salmuera con elevada presión, las tuberías de salida de la salmuera con baja presión, las tuberías de entrada del agua de alimentación con baja presión y las tuberías de salida del agua de alimentación con alta presión

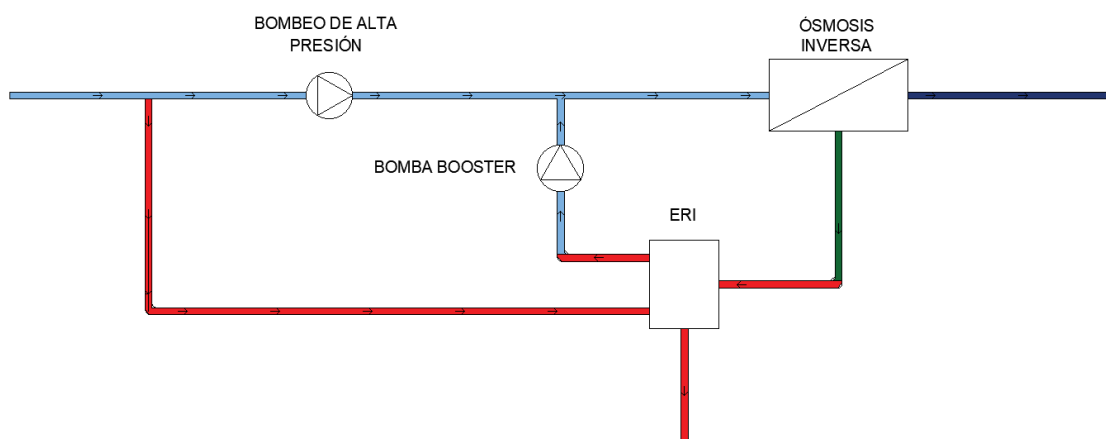


Figura 6.22. Esquema del paso al módulo de ósmosis inversa destacando en rojo las tuberías del sistema de recuperación de energía (Fuente: Elaboración propia)

Las tuberías que tienen una elevada presión (entrada de la salmuera y salida del agua de alimentación) se dimensionarán en acero según el catálogo comercial de OCTAL mientras que las que presentan una baja presión (entrada del agua de alimentación y salida de la salmuera) se diseñarán en Poliéster Reforzado de Fibra de Vidrio (PRFV) según el catálogo comercial de Prefabricados Delta.

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA DE SALMUERA CON ALTA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	293,00 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	200 mm
Velocidad de circulación	2,59 m/s

Tabla 6.44: características de tubería de entrada de la salmuera en el intercambiador de energía con elevada presión (Fuente: Elaboración propia)



CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DE SALMUERA CON BAJA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	293,00 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	300 mm
Velocidad de circulación	1,15 m/s

Tabla 6.45: características de tubería de salida de la salmuera del intercambiador de energía con baja presión
(Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN CON BAJA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	293,00 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	300 mm
Velocidad de circulación	1,15 m/s

Tabla 6.46: características de tubería de entrada del agua de alimentación al intercambiador de energía con baja presión (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN CON ALTA PRESIÓN	
Flujo en la tubería	293,00 m ³ /h
Material de la tubería	Acero
Diámetro	200 mm
Velocidad de circulación	2,59 m/s

Tabla 6.47: características de tubería de salida del agua de alimentación del intercambiador de energía con alta presión (Fuente: Elaboración propia)

4. Tuberías del sistema de remineralización

El sistema de remineralización está compuesto por 6 lechos de calcita, con una tubería de entrada y otra de salida por cada uno. Estas conducciones se dimensionarán en poliéster reforzado de fibra de vidrio (PRFV) según los diámetros comerciales de PREFABRICADOS DELTA.

Además de las tuberías de entrada y salida a cada lecho, dentro del sistema de remineralización encontramos una conducción que transporta el agua desde el tanque de agua permeada hasta el sistema de lechos de calcita (conducción de entrada) y otra conducción que envía el agua remineralizada a los tanques de agua potable (conducción de salida).

Por las tuberías de entrada y salida de cada lecho de calcita circulará una cuarta parte del caudal producto, es decir, 375 m³/h; sin embargo, por las conducciones de entrada y salida del sistema de remineralización circulará la totalidad del flujo de agua producto (1500 m³/h).



CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL SISTEMA DE REMINERALIZACIÓN	
Flujo en la tubería	1.500 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	600 mm
Velocidad de circulación	1,47 m/s

Tabla 6.48: características de tubería de entrada del agua permeada al sistema de remineralización (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL LECHO DE CALCITA	
Flujo en la tubería	375 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	400 mm
Velocidad de circulación	0,83 m/s

Tabla 6.49: características de tubería de entrada a los distintos lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DEL LECHO DE CALCITA	
Flujo en la tubería	375,00 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	400 mm
Velocidad de circulación	0,83 m/s

Tabla 6.50: características de tubería de salida de los distintos lechos de calcita (Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE SALIDA DEL SISTEMA DE REMINERALIZACIÓN	
Flujo en la tubería	1.500,00 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	600 mm
Velocidad de circulación	1,47 m/s

Tabla 6.51: características de tubería de salida del sistema de remineralización y entrada a los tanques de agua potable (Fuente: Elaboración propia)

5. Paso de los tanques de almacenamiento al sistema de distribución

Respecto al bombeo del agua producto, hay que tener en cuenta que el agua debe alcanzar el lugar de su consumo, es decir, el núcleo urbano de motril. La altura media de la zona de suministro es de 70 m.s.n.m, por lo que la bomba deberá elevar el agua producto 70 metros.

El transporte desde los tanques de almacenamiento se realizará mediante una conducción de PRFV con una longitud de 50 metros.



CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE ENTRADA AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	
Flujo en la tubería	1.500,00 m ³ /h
Material de la tubería	PRFV
Diámetro	600 mm
Velocidad de circulación	1,47 m/s

Tabla 6.52: características de tubería de salida del sistema de remineralización y entrada a los tanques de agua potable (Fuente: Elaboración propia)

BOMBEO DEL AGUA PRODUCTO	
Flujo producto total	1.375 m ³ /h
Número total de bombas	2
Flujo producto por bomba	687,5 m ³ /h
Altura manométrica de la bomba	70,00 mca

Tabla 6.53: características del bombeo del agua producto (Fuente: Elaboración propia).

Para el bombeo del agua producto se escogió a la empresa Grundfos como suministradora, específicamente el modelo NB 150-315.2/262 ya que era el modelo que proporcionaba un mayor rendimiento para el menor consumo específico posible.



Figura 6.23: bomba Booster modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos)

CARACTERÍSTICAS BOMBA DE AGUA PRODUCTO	
Modelo	NB 150-315.2/262
Potencia de la bomba	188,1 kW
Rendimiento	78,1 %
Potencia requerida en el punto de trabajo	180,2 kW
NPSH	15,8 m
Frecuencia	50 Hz
Diámetro del impulsor	262 mm
Diámetro del eje	42 mm
Peso neto de la bomba	1440 kg
Consumo de energía	2629,37 kWh/día

Tabla 6.54: características de la bomba de impulsión del agua producto (Fuente: Grundfos).

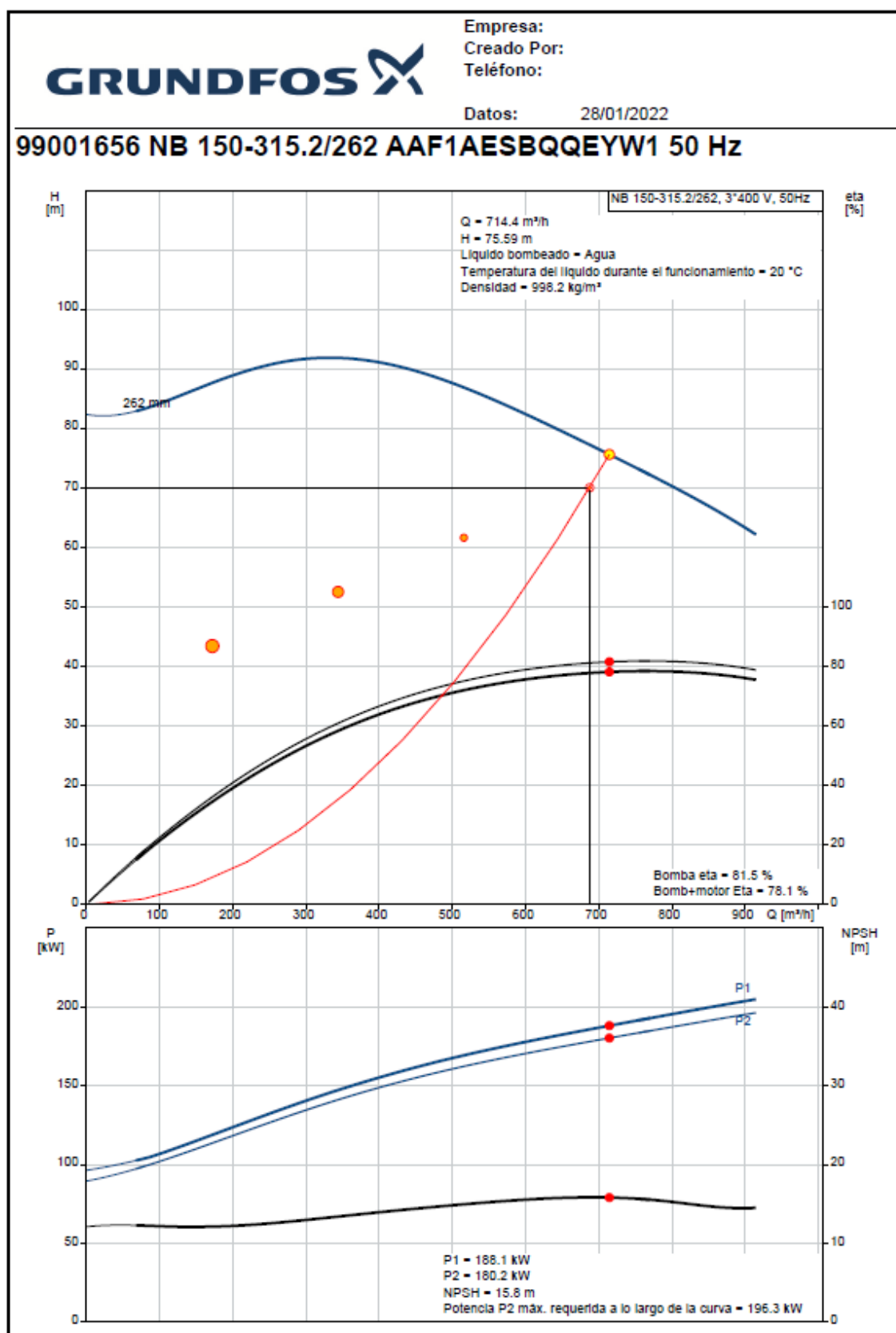


Figura 6.24: curva característica de la bomba del agua producto modelo NB 150-315.2/262 (Fuente: Grundfos).



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA**

**Anejo N°7
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**





Índice de contenidos

1. Introducción	5
1.1. Marco legal	5
2. Descripción general del proyecto	5
2.1. Flora terrestre	5
2.2. Fauna	6
2.3. Entorno submarino	6
2.4. Zonas protegidas	7
3. Análisis de alternativas.....	8
3.1. Alternativas de ubicación de la instalación	8
3.2. Alternativas del método de desalación utilizado	11
3.3. Alternativas de modo de evacuación de la salmuera	12
4. Fases de desarrollo del proyecto e identificación de impactos ambientales asociados ...	14
4.1. Fase de construcción	14
4.1.1. Ruido.....	14
4.1.2. Emisiones al aire	14
4.1.3. Generación de residuos	14
4.2. Fase de operación	15
4.2.1. Ruido.....	15
4.2.2. Emisiones al aire	15
4.2.3. Generación de residuos	15
5. Medidas para la mitigación de los impactos ambientales asociados al proyecto.....	15
5.1. Fase de construcción	16
5.1.1. Ruido.....	16
5.1.2. Emisiones atmosféricas.....	16
5.1.3. Generación de residuos	16
5.2. Fase de operación	17
5.2.1. Ruido.....	17
5.2.2. Generación de residuos	17





Índice de figuras

Figura 7.1. De izquierda a derecha: lentisco, aladierno y Lantana camara (Fuente: litoraldegranada)	6
Figura 7.2. De izquierda a derecha: calamón, cernícalo vulgar y jabalí (Fuente: Guía de fauna vertebrada de la charca de Suárez, 2019).....	6
Figura 7.3. Pradera de posidonia oceánica (Fuente: saveposidoniaproject).....	7
Figura 7.4. Reserva Natural Charca de Suárez (Fuente: Turismo de Granada)	7
Figura 7.5. Alternativa 1 respecto a la ubicación de la instalación, destacando en azul la localización concreta (Fuente: Google Earth)	9
Figura 7.6. Alternativa 2 respecto a la ubicación de la instalación, destacando en azul la localización concreta (Fuente: Google Earth)	10
Figura 7.7. Alternativa 3 respecto a la ubicación de la instalación, destacando en azul la localización concreta (Fuente: Google Earth)	11



1. Introducción

En el presente documento se va a llevar a cabo el estudio de impacto ambiental de una instalación desalinizadora de agua de mar en Motril, planteada para dar un suministro de agua de 33.000 m³/h y saciar las necesidades hídricas de la población y de la agricultura, principalmente.

Se va a definir impacto ambiental como la variación de la calidad ambiental con respecto a la situación inicial o de partida. En general, todas las construcciones van a generar impactos ambientales negativos sobre el medio biótico y abiótico; sin embargo, pueden llegar a generar grandes impactos positivos en el medio socioeconómico.

De este modo, se deberán ejecutar el proyecto maximizando los impactos positivos en el ámbito social y económico pero minimizando los impactos negativos relativos al medio ambiente.

1.1. Marco legal

El estudio de impacto ambiental se va a desarrollar dentro del marco legal que ofrece un conjunto de leyes nacionales y directivas europeas, como son:

- Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de Enero, por la que se aprueba el texto refundido de Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación Ambiental
- Directiva 2011/92/UE del Parlamento y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Directiva 2014/52/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014 por el que se modifica la Directiva 2011/92/UE.

2. Descripción general del proyecto

Para poder hacer frente a los impactos ambientales que la instalación pueda causar, será necesario realizar una valoración del entorno y hacer un inventario ambiental. Para ello, se van a distinguir diferentes medios, como son el entorno submarino, la flora, la fauna y las zonas protegidas próximas.

2.1. Flora terrestre

La flora terrestre depende del clima de la zona en cuestión, de las características del sustrato y de la geomorfología del suelo. Además de la flora autóctona de la zona, también aparece la denominadas especies exóticas o invasoras, que dan lugar a la extinción de las especies propias.

Debido a los suelos rocosos y a las fuertes pendientes, la vegetación arbórea de Granada es casi inexistente mientras que la vegetación arbustiva es la que prima en esta zona. Entre los arbustos más característicos de la zona, se destaca el lentisco o el aladierno.

En cuanto a especies exóticas, destacan aquellas de carácter ornamental que se han ido introduciendo poco a poco y han producido una alteración de muchas comunidades autóctonas. Entre estas especies destaca la *Lantana camara*, procedente de América Central o las gramíneas que vienen de África.



Figura 7.1. De izquierda a derecha: lentisco, aladierno y Lantana camara (Fuente: litoraldegranada)

2.2. Fauna

La fauna presentada en motril incluye especies de los diferentes tipos de animales, tanto vertebrados como invertebrados.

Las aves son el género animal con mayor variedad de especies en la zona en cuestión, más de 120 especies diferentes. Entre tantos tipos de aves, destacan las aves acuáticas, como el calamón, y las aves rapaces como el cernícalo vulgar.

Respecto a los mamíferos que se pueden encontrar, suelen ser pequeños roedores como el ratón de campo, aunque se pueden encontrar especies de mayor tamaño tales como el jabalí o el zorro. En cuanto a los reptiles y anfibios, hay una gran variedad de especies de ranas, serpientes y lagartos.



Figura 7.2. De izquierda a derecha: calamón, cernícalo vulgar y jabalí (Fuente: Guía de fauna vertebrada de la charca de Suárez, 2019)

2.3. Entorno submarino

El entorno submarino es el ámbito que mayor se va a ver afectado ya que la instalación va a necesitar la realización de obras directamente en él. Además, la evacuación de la salmuera con un gran contenido de sales puede suponer un gran impacto sobre el medio marino.

La principal especie del entorno submarino que se quiere destacar es la posidonia oceánica, una planta acuática característica de la costa mediterránea. Esta especie se presenta en forma de grandes extensiones con una función muy necesaria relacionada con la protección de la erosión de la costa.

La pradera de posidonia oceánica es muy sensible a la mínima variación de la salinidad, por lo que se deberá procurar construir la evacuación de la salmuera lo suficientemente alejado de ella.



Figura 7.3. Pradera de posidonia oceánica (Fuente: saveposidoniaproject)

2.4. Zonas protegidas

El principal espacio protegido en las inmediaciones a la planta desaladora es la reserva natural Charca Suarez, un humedal de unas dimensiones lo suficientemente grandes como para considerarse el mayor humedal de Granada.

En esta reserva se encuentra la mayoría de las especies autóctonas de la zona y su conservación es de gran interés. Además, a partir de 2004 entró a formar parte del Inventario de Humedales de Andalucía y, en 2009 se catalogó como Reserva Natural.

Ahora bien, este espacio natural se encuentra lo suficientemente alejado de la ubicación deseada como para no suponer ningún impacto ambiental de importancia.



Figura 7.4. Reserva Natural Charca de Suárez (Fuente: Turismo de Granada)



3. Análisis de alternativas

Con el fin de limitar el impacto ambiental producido con la construcción y operación de la planta desaladora, se procederá a realizar un análisis de alternativas para encontrar la opción más adecuada.

Se van a estudiar diferentes alternativas en función de la ubicación de la planta, el método de desalación empleado y el modo de evacuación de salmuera. Además, también se estudiará la alternativa relativa a no llevar a cabo el proyecto.

Para la evaluación de alternativas, se plantearán unos criterios con un determinado peso cada uno para, después, obtener la media ponderada del valor asociado a dichos criterios. Se evaluarán de 0 a 10, siendo 0 la opción con mayor impacto negativo y 10 la alternativa con menor impacto negativo.

3.1. Alternativas de ubicación de la instalación

Se han estudiado diferentes alternativas relacionadas con la ubicación exacta de la instalación, cada una con una serie de ventajas e inconvenientes.

Para el estudio de la ubicación se considerarán cuatro criterios: afección al entorno natural (30%) , conexiones por carretera (15%), proximidad a viviendas (25%), obras de captación y evacuación de salmuera (30%).

- Alternativa 1: puerto de motril

La localización se encuentra en el Polígono Industrial Puerto de Motril. Se caracteriza por estar asilado de núcleos de población, cerca del mar y sin un entorno natural cercano. Además, está bien conectado por carretera

Las obras de captación y evacuación de salmuera se encarecerían debido a que se debe sobrepasar la dársena del puerto.

La matriz de evaluación de la alternativa 1, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (30%)	CRITERIO 2 (15%)	CRITERIO 3 (25%)	CRITERIO 4 (30%)
9	8	8	4

La media ponderada será:

$$A1 = \frac{(9 * 30) + (8 * 15) + (8 * 25) + (4 * 30)}{100} = 7,10$$



*Figura 7.5. Alternativa 1 respecto a la ubicación de la instalación, destacando en azul la localización concreta
(Fuente: Google Earth)*

- Alternativa 2: playa del poniente

La localización se encuentra en primera línea de costa, por lo que las obras de captación y evacuación de salmuera se facilitarían y abaratarían. No obstante, se encuentra situada en las proximidades de la Reserva Natural Charca de Suárez, por lo que el impacto que se puede llegar a producir en las especies autóctonas de la zona será muy elevado.

Además, limita con urbanizaciones de viviendas que se pueden ver afectadas por los elevados niveles de ruido de la planta. Por otro lado, está conectado directamente a la carretera.

La matriz de evaluación de la alternativa 2, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (30%)	CRITERIO 2 (15%)	CRITERIO 3 (25%)	CRITERIO 4 (30%)
1	7	3	8

La media ponderada será:

$$A2 = \frac{(1 * 30) + (7 * 15) + (3 * 25) + (8 * 30)}{100} = 4,70$$



*Figura 7.6. Alternativa 2 respecto a la ubicación de la instalación, destacando en azul la localización concreta
(Fuente: Google Earth)*

- Alternativa 3: playa Punta del Rio

Esta localización se encuentra en primera línea de playa con un acceso directo a carretera que facilitará las obras. En las inmediaciones de la ubicación no se encuentra ninguna construcción de carácter residencial por lo que nadie se verá afectado por el ruido de la instalación.

No obstante, se encuentra en una zona natural donde se puede producir un pequeño impacto sobre la fauna y flora existente.

La matriz de evaluación de la alternativa 3, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (30%)	CRITERIO 2 (15%)	CRITERIO 3 (25%)	CRITERIO 4 (30%)
7	8	7	9

La media ponderada será:

$$A3 = \frac{(7 * 30) + (8 * 15) + (7 * 25) + (9 * 30)}{100} = 7,75$$



*Figura 7.7. Alternativa 3 respecto a la ubicación de la instalación, destacando en azul la localización concreta
(Fuente: Google Earth)*

Una vez estudiadas todas las alternativas, se considerará como mejor opción es la alternativa 3, ubicar la planta desaladora en la playa Punta del Río.

3.2. Alternativas del método de desalación utilizado

Se han estudiado diferentes alternativas relacionadas con la tecnología empleada para el proceso de desalinización. Además, para la evaluación de las diferentes técnicas de desalación se emplearán cuatro criterios: afección al entorno natural (30%), consumo de energía (25%), necesidad de pretratamiento (25%), coste de producción (20%).

- Alternativa 1: ósmosis inversa (OI)

La desalinización por ósmosis inversa es un proceso basado en la filtración a través de membranas semipermeables. Es el método más difundido debido al alto porcentaje de conversión que se puede alcanzar consiguiendo unos bajos costes de producción.

Presenta muy poca afección al entorno natural debido a que el único vertido que se produce es la salmuera (agua cargada con sales) y se puede controlar para evitar los impactos ambientales. No obstante, la gran sensibilidad de las membranas hace necesario un exigente pretratamiento para poder alargar la vida de las membranas.



La matriz de evaluación de la alternativa 1, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (35%)	CRITERIO 2 (15%)	CRITERIO 3 (15%)	CRITERIO 4 (35%)
8	7	4	9

La media ponderada será:

$$A1 = \frac{(8 * 35) + (7 * 15) + (4 * 15) + (9 * 35)}{100} = 7,60$$

- Alternativa 2: destilación flash multietapa (MSF)

La destilación flash multietapa se basa en la ebullición del agua salda en un evaporador con muchas cámaras con presiones y temperaturas progresivamente decrecientes, consiguiendo evaporar una parte del conjunto del agua de alimentación en cada una de ellas.

Esta tecnología requiere la continua generación de vapor, por lo que consume una gran cantidad de energía. Además, presenta muy una producción media de agua potable, haciendo que el coste de producción sea algo más elevado que en el caso de la OI.

Por otro lado, a la evacuación de la salmuera se suma el problema de la temperatura de los residuos, suficientemente elevada como para causar problemas en el medio de descarga y la emisión de gases contaminantes en la producción de vapor. No obstante, el proceso de desalación es independiente de la calidad del agua bruta, por lo que no requiere de un pretratamiento muy exhaustivo.

La matriz de evaluación de la alternativa 1, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (35%)	CRITERIO 2 (25%)	CRITERIO 3 (15%)	CRITERIO 4 (25%)
5	8	8	6

La media ponderada será:

$$A2 = \frac{(5 * 35) + (8 * 15) + (8 * 15) + (6 * 25)}{100} = 6,25$$

Tras estudiar ambas alternativas, se decide que la tecnología que se va a implementar en la instalación desaladora del estudio será la ósmosis inversa.

3.3. Alternativas de modo de evacuación de la salmuera

Se han estudiado diferentes alternativas relacionadas con la descarga del agua cargada de sales procedente del rechazo de la ósmosis inversa.

Para el estudio de la ubicación se considerarán cuatro criterios: afección al entorno natural (60%) y longitud de las conducciones (40%).



- Alternativa 1: vertido puntual a 500 m de la línea de costa

El vertido puntual impide una rápida dilución del agua en el medio de vertido, por lo que las especies animales y vegetales pueden verse más afectadas por la elevada salinidad.

Respecto a la distancia de las tuberías, una mayor separación con la pradera de posidonia favorece dicho ecosistema, pero encarece los costes

La matriz de evaluación de la alternativa 1, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (60%)	CRITERIO 2 (40%)
2	7

La media ponderada será:

$$A1 = \frac{(2 * 60) + (7 * 40)}{100} = 4$$

- Alternativa 2: vertido difuso a 500 m de la costa

El vertido puntual difuso favorece la rápida dilución del agua en el medio de vertido, disminuyendo el impacto ambiental producido en el entorno acuático.

La matriz de evaluación de la alternativa 2, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (60%)	CRITERIO 2 (40%)
5	7

La media ponderada será:

$$A1 = \frac{(5 * 60) + (7 * 40)}{100} = 5,80$$

- Alternativa 3: vertido difuso a 1500 m de la línea de costa

La matriz de evaluación de la alternativa 3, para cada uno de los criterios será:

CRITERIO 1 (60%)	CRITERIO 2 (40%)
8	6

La media ponderada será:

$$A1 = \frac{(8 * 60) + (6 * 40)}{100} = 7,20$$

Una vez estudiadas todas las alternativas, se considerará como mejor opción es la alternativa 3, evacuar la salmuera a 1500 metros de la línea de costa mediante un vertido difuso



4. Fases de desarrollo del proyecto e identificación de impactos ambientales asociados

En cuanto al impacto ambiental se refiere, se distinguirán tres fases: la fase de construcción, la fase de operación y la fase de desmantelamiento de la instalación. Puesto que en este proyecto únicamente se aborda la construcción y operación de la instalación, la fase de desmantelamiento no se considerará para el estudio de impacto ambiental.

4.1. Fase de construcción

La fase de construir es aquella fase del proyecto en la que se lleva a cabo la construcción de todas las instalaciones requeridas para el correcto funcionamiento de la instalación. Durante la construcción, se llevarán a cabo una serie de actividades, tales como:

- Adecuación y acondicionamiento del terreno, con el correspondiente desbroce y eliminación de vegetación mediante la maquinaria precisa.
- Construcción de las obras los edificios y las obras de captación y evacuación de la salmuera.
- Instalación del equipo de la planta, como las unidades de ósmosis inversa, el sistema de filtración o los lechos de calcita.
- Instalación de equipos electromecánicos, como bombas.

Durante la realización de estas actividades se producirá una serie de impactos ambientales y sociales.

4.1.1. Ruido

Durante la construcción de la instalación, el ruido es, en parte, inevitable y se debe a actividades como movimientos de tierra, acondicionamiento del terreno, construcción de estructuras, etc.

4.1.2. Emisiones al aire

En la fase constructiva se producirán emisiones a la atmósfera debidas al levantamiento de polvo durante los movimientos de tierras y emisiones procedentes de la combustión.

4.1.3. Generación de residuos

Los principales residuos generados durante la construcción es la tierra que se ha excavado y la vegetación que se ha eliminado. La tierra eliminada se empleará como relleno y la cantidad sobrante se deberá trasladar al vertedero autorizado.



4.2. Fase de operación

La fase de operación es aquella fase del proyecto en la que la planta está funcionando a pleno rendimiento por lo que el estudio de dicha fase es realmente importante ya que es la fase de mayor duración. Durante la explotación de la instalación se llevará a cabo actividades como:

- Captación de agua de mar para servir de materia prima en la instalación
- Ejecución de procesos industriales para el tratamiento de agua como filtración por ósmosis inversa, tratamiento en filtros de arena o utilización de bombas de alta presión.
- Evacuación del rechazo de ósmosis inversa con una alta carga de sales.

Durante la realización de estas actividades se producirá una serie de impactos ambientales y sociales.

4.2.1. Ruido

El proceso de desalinización lleva consigo una serie de procesos como la filtración, la remineralización o el tratamiento químico. Estos procesos no suponen unos elevados niveles de ruido.

No obstante, la necesidad de hacer pasar el agua por bombas de alta presión para poder atravesar las membranas de ósmosis inversa supone niveles de ruido por encima de lo recomendado

4.2.2. Emisiones al aire

La operación de la planta desaladora no supone la emisión a la atmósfera de ningún elemento contaminante a menos de casos excepcionales o situaciones de emergencia no contempladas.

4.2.3. Generación de residuos

La desalinización produce residuos líquidos que se agrupan en dos grupos. Por un lado, tenemos aquellos residuos procedentes del lavado de membranas, filtros o incluso del pretratamiento químico. Estos residuos se producen de forma esporádica y no se contempla que puedan causar ninguna afección.

Por otro lado, el principal residuo que se genera es la salmuera. El agua cargada de sales se evacúa y se devuelve al mar. Este residuo no es ningún elemento contaminante por su composición ya que se está evacuando al mar que presenta la misma composición; sin embargo, puede suponer un grave impacto ambiental debido a la concentración que presenta, muy por encima de la propia del mar.

5. Medidas para la mitigación de los impactos ambientales asociados al proyecto

De igual forma que en la identificación de los impactos ambientales asociados, las medidas de mitigación se realizarán en función de la fase en la que se encuentre el proyecto.



5.1. Fase de construcción

5.1.1. Ruido

La producción de ruido o de altos niveles de sonido durante una construcción es inevitable; sin embargo, si se pueden aplicar una serie de medidas preventivas para la reducción de los niveles de ruido como:

- Control de ruido en los equipos generadores de ruido como pantallas acústicas
- Mantenimiento de la maquinaria utilizada durante la obra
- Sustitución de maquinaria antigua u obsoleta por otras menos ruidosas.
- Planificación de las actividades a realizar y llevar a cabo aquellas tareas ruidosas en horarios adecuados.
- Rotación del personal encargado de trabajar con maquinaria ruidosa para prevenir posibles afecciones acústicas.
- Utilización de equipos de protección como tapones acústicos.

5.1.2. Emisiones atmosféricas

Las emisiones atmosféricas se pueden reducir de forma considerable llevando a cabo una serie de medidas preventivas:

- Disminuir la altura de carga de los camiones a la mínima posible.
- Reducir la combustión innecesaria de materiales.
- Tapar con lonas, plásticos o mallas los camiones cargados de materiales para evitar la disgregación y expulsión de polvo.
- Reducir la velocidad de los vehículos en la obra para evitar el levantamiento de polvo.
- Lavado de las ruedas de los vehículos antes de salir de la obra.

5.1.3. Generación de residuos

Los residuos generados durante la construcción vienen de la excavación de tierra y no pueden dejar de producirse, pero si pueden reutilizarse y reciclarse en la misma obra, de forma que se desaproveche el menor volumen de tierra.

- Utilización de la tierra excavada como relleno.
- Traslado a un centro destinado al tratamiento y reutilización de la tierra.



5.2. Fase de operación

5.2.1. Ruido

Para poder reducir el ruido que pueden percibir el entorno próximo se llevará a cabo una serie de medidas preventivas:

- Aislamiento de las instalaciones que produzcan mayor nivel de ruido.
- Utilizar apantallamientos o cerramientos acústicos.
- Empleo de equipos de protección acústica individuales.
- Situar las instalaciones ruidosas en los puntos más alejados de la vía pública.

5.2.2. Generación de residuos

Para evitar en la mayor medida posible el impacto ambiental que se produce sobre el entorno marino en la evacuación de la salmuera se emplearán las siguientes medidas:

- Construcción de un emisario de evacuación lo suficientemente alejado de las especies sensibles.
- Utilización de equipos difusores que reducen la concentración de sales y mejora la dilución del vertido en el medio.



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA**

**Anejo N°8
ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**





Índice de contenidos

1. Objeto del estudio	4
2. Primeros Auxilios.....	4
3. Seguridad: riesgos potenciales de accidentes y medidas preventivas.....	5
3.1. Riesgos potenciales de accidentes.	5
3.2. Prevención de accidentes.	6
4. Técnicas de manipulación y almacenamiento de productos químicos.	8
4.1. Indicaciones para el almacenamiento de reactivos químicos.	8
4.2. Indicaciones para la manipulación de reactivos químicos.....	9
4.2.1. Hipoclorito de sodio (NaClO).	9
4.2.2. Cloruro férrico (FeCl ₃).	10
4.2.3. Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄).	11
4.2.4. Bisulfito de sodio (NaHSO ₃).	12
5. Protección contra incendios.	13





1. Objeto del estudio

De acuerdo con el Real Decreto 555/1986, de 21 de febrero se implanta la obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en obras, limitando su vigencia a aquéllas en que concurran determinadas condiciones referidas a volumen de contratación, número de trabajadores o existencia de características específicas en cuanto a riesgos, complejidad y número de empresas que pudieran participar en los trabajos.

De acuerdo con el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción y se implanta la obligatoriedad de un Estudio de Seguridad y Salud en los proyectos de obras de construcción.

Además, se tendrá en cuenta el cumplimiento de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, con el fin de identificar, evitar y paliar los efectos de los posibles riesgos laborales a los que los trabajadores de la instalación se someterán. El presente Estudio de Seguridad e Higiene establece, durante la construcción de la obra, las previsiones respecto a prevención de riesgos de accidentes y enfermedades y mantenimiento, y las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores.

2. Primeros Auxilios.

A continuación, se exponen una serie de recomendaciones sobre las actuaciones de primeros auxilios en caso de accidente.

➤ **Heridas:**

En el caso de heridas físicas se debe evitar la posible contaminación de la herida con la correcta higiene de las manos de la persona socorrista, se deberá desinfectar la herida y proceder a un vendaje. En caso de estar en un ambiente no agresivo (sin riesgo de infección) es preferible mantener la herida al aire libre.

➤ **Lesiones con líquidos corrosivos:**

Se deberá lavar las lesiones con abundante agua, desnudar al paciente de la ropa impregnada con los líquidos corrosivos y, en caso grave, trasladar al herido al hospital. Las lesiones oculares se deben lavar con agua abundante, procediendo a tapar los dos ojos y no tocar. Trasladar al herido al hospital, a ser posible a un centro especializado.

➤ **Quemaduras:**

En caso de que la quemadura ocupe una gran superficie y la ropa esté pegada, no hay que intentar despegar la ropa. En este caso, se deberá proceder a un traslado urgente al hospital. En caso de quemaduras leves, cubrirlas con gasas estériles.

➤ **Accidentes eléctricos:**

Se debe cerrar el paso de la corriente y eliminar cualquier elemento eléctrico defectuoso con elementos de madera (aislante). En caso de que el herido no esté consciente se deberá practicar maniobras para su reanimación (respiración artificial y masaje cardiaco).



3. Seguridad: riesgos potenciales de accidentes y medidas preventivas.

3.1. Riesgos potenciales de accidentes.

- ***Daños físicos:*** entre los riesgos laborales relativos a daños físicos que pueden sufrir los empleados de una desaladora se encuentran las fracturas, las conmociones, los arañazos, cortes y otros.

- ***Contagio de enfermedades:*** a pesar de que no es habitual el contagio de enfermedades en el personal de una IDAM, existe tal peligro, por lo que debe ser considerado como posible riesgo laboral.

Estas posibles enfermedades están relacionadas con el agua y los contagios se producen por heridas o cortes en la piel, inhalación de aire contaminado o enfermedades gastrointestinales.

- ***Asfixia por falta de oxígeno o envenenamiento por gas:*** la anoxia de un espacio puede provocar la asfixia de un trabajador y una serie de problemas derivados de esta ausencia de oxígeno como edema pulmonar, daños cerebrales o incluso la muerte. Así mismo, el envenenamiento por gas puede producir estos mismos efectos.

- ***Gases explosivos:*** cabe destacar una serie de gases que tienen carácter explosivo y que pueden encontrarse en una planta desaladora como son el ácido sulfúrico, el monóxido de carbono o el metano. De este modo, un peligro potencial son aquellos lugares sin ventilación donde sea posible la formación de bolsas de estos gases.

- ***Manipulación y almacenamiento de productos peligrosos:*** como ácido sulfúrico, inhibidor, limpiadores para membranas, etc. Todas las medidas correspondientes a la seguridad en la manipulación de productos peligrosos se verán en el apartado 4 relativo a las técnicas de manipulación y almacenamiento de productos químicos.

- ***Incendios:*** los peligros de incendios son los normales en una industria, incrementados por la posibilidad de inflamación de los gases indicados en el punto anterior. Todas las medidas correspondientes a la seguridad contra incendios se verán en el apartado 5 relativo a protección contra incendios.

- ***Descargas eléctricas:*** el cuerpo humano tiene el problema de transmitir y conducir muy bien la electricidad a su través, por lo que el contacto de forma directa con una corriente eléctrica puede llegar a ser mortal. Otros efectos de las descargas eléctricas pueden ser: paro cardíaco, destrucción de músculos, nervios y tejidos, quemaduras térmicas.



- **Ruidos:** En determinados lugares de la planta desalinizadora los niveles sonoros de los ruidos generados por determinados motores superan los límites admisibles de 80 decibelios y por tanto los operarios necesitarán protección.

3.2. Prevención de accidentes.

Tras definir los riesgos potenciales de accidentes laborables a los que se ven sometidos el personal de la IDAM, se reducirán con la implementación de una serie de medidas de prevención de los distintos tipos de riesgos.

- **Prevención de daños físicos:**

- Liberar las superficies de posibles obstáculos ante el paso humano.
- Iluminación adecuada de todas las zonas transitables.
- Aquellos lugares más susceptibles de ser resbaladizos, ya sea por su propia constitución o por el derrame de sustancias, deben disponer de un revestimiento que sea antideslizante.
- Aquellos lugares susceptibles de causar un daño físico deben estar adecuadamente señalizado.
- Los pasos superiores e inferiores a diferente nivel deben disponer de barandilla de seguridad de acuerdo con las normativas vigentes.
- En aquellos depósitos con peligro de caída a su interior, se deben disponer de barreras protectoras.
- Se llevarán a cabo una serie de medidas de seguridad personales como:
 - a) Utilización de casco de seguridad cuando exista la posibilidad de caída de objetos.
 - b) Utilización de protección auditiva en aquellas situaciones en las que el nivel de ruido esté por encima de lo recomendado.
 - c) Utilización de guantes homologados y de material adecuado en función del uso que se le vaya a dar.
 - d) Calzado adecuado de seguridad.
 - e) Utilización de gafas de seguridad cuando se vayan a manipular compuestos químicos que puedan afectar a la salud ocular.

- **Prevención contagio de enfermedades:**

Para prevenir el contagio de organismos que pueden llevar las aguas residuales, es necesario no tocar para nada el agua ni los productos de ella separados: basuras, residuos, arenas, etc.



➤ ***Prevención contra la asfixia por falta de oxígeno:***

Las medidas a tomar para evitar los peligros de asfixia o intoxicación por gases o vapores tóxicos van orientadas en dos sentidos complementarios:

- Aireación de espacios cerrados y confinados
- Ventilación de espacios donde los operarios trabajen o entren con regularidad
- Señalización adecuada en aquellos lugares con peligro de suboxigenación
- Detección de atmósferas con ausencia de oxígeno
- Prevención de intoxicaciones por gases o vapores tóxicos.

➤ ***Prevención contra gases explosivos:***

- Aireación de la zona con peligro de explosión.
- Señalización adecuada del peligro.
- Evitar instrumentos que puedan generar fuego (mechero, cerrillas, etc.).
- No fumar
- No sobrecargar los enchufes para evitar posibles chispas
- Alejar cualquier fuente de calor.
- Hacer revisiones periódicas de los almacenes de gases con carácter explosivo para detectar posibles fugas
- En caso de fuga, evitar el encendido o apagado de luces.

➤ ***Prevención contra descargas eléctricas:***

- Utilización de guantes aislantes.
- Antes de la manipulación de elementos eléctricos, comprobar la ausencia de corriente.
- No manipular elementos eléctricos con las manos mojadas, en ambientes húmedos y mojados.
- Evitar el paso de personas, equipos o maquinaria por encima de cables eléctricos.
- Utilización de calzado aislante.
- Empleo de alfombras aislantes.
- Comprobadores de tensión.
- Empleo de herramientas aislantes.



➤ **Prevención de ruido:**

- Adquirir equipos de trabajo con bajos niveles acústicos.
- Limitar tiempo de exposición a aparatos, instrumentos o maquinaria que genere un nivel acústico por encima de lo recomendado.
- Ubicar aquellos equipos o maquinaria ruidosa en estancias independientes y lo más aisladas posible.
- Utilizar equipos de protección individual como tapones homologados.
- Instalar barreras, apantallamientos o cerramientos acústicos.

4. Técnicas de manipulación y almacenamiento de productos químicos.

4.1. Indicaciones para el almacenamiento de reactivos químicos.

La problemática del almacenamiento seguro de los productos químicos puede circunscribirse a cubrir las necesidades de uso en un tiempo, al de stock de reserva de este, o bien, de un almacén de reactivos.

Las indicaciones de tipo general que siguen se refieren a un hipotético almacén centralizado, que concentrará por sí mismo el mayor riesgo. A partir de éste, cada responsable de almacén adecuará su propio ámbito de trabajo según estime más oportuno.

El Real Decreto 668/1980 del Ministerio de Industria y Energía, sobre Almacenamiento de Productos Químicos, publicado en el Boletín Oficial del Estado de 20/5/82, desarrolla las bases para las Instrucciones Técnicas Complementarias, publicadas con posterioridad.

Se considera que el peligro de incendio es el principal riesgo de un almacén de reactivos químicos, se deberá fijar la atención en el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.

De este modo y teniendo en cuenta que tratamos de almacenamientos generalmente ya desprovistos de su embalaje exterior, se consideran perfectamente válidos los pictogramas de manipulación existentes en las etiquetas de los envases.

➤ **Características del almacén:**

Hay que tener en cuenta que los incendios se pueden dar lugar por diversas formas, diferenciándose dos grupos de causas: por un lado, la existencia de puntos de ignición (llamas, chispas o calor), y por otro lado la producción de diversas reacciones químicas (mezclas fortuitas, descomposición, incidencia de luz solar, etc.).

De este modo, con la finalidad de reducir los efectos destructivos que los incendios llevan consigo, se dispondrán almacenes diferentes para productos inflamables y para productos no inflamables.



Además, las condiciones que debe cumplir el almacén para productos inflamables son:

- Edificio de una planta.
- En lo posible no contiguo a otros edificios.
- Provisto de dos puertas como mínimo.
- Instalación eléctrica e iluminación antideflagrante o dotada de seguridad intrínseca.
- Ventilación normal y forzada.
- Medios de extinción de incendios.
- Recomendable con refrigeración ambiental.
- Provisto de estanterías metálicas.

4.2. Indicaciones para la manipulación de reactivos químicos.

La manipulación de los reactivos químicos se debe hacer de acuerdo con las fichas internacionales de seguridad que recogen los posibles riesgos laborales que se dan, medidas para prevenirlos y como proceder en caso de riesgo laboral.

4.2.1. Hipoclorito de sodio (NaClO).

Es una solución de color amarillo verdoso con olor picante, a lejía. Si este producto se calienta de forma intensa, se descompone produciendo gases tóxicos. Por lo tanto, debe impedirse el contacto con dicha sustancia.

La exposición de diversas formas ante hipoclorito de sodio produce distintos síntomas que hay que tener en cuenta para poder llevar a cabo una serie de medidas de prevención y unos primeros auxilios.

➤ Inhalación.

- Provoca irritación, tos y edema pulmonar.
- Como medida preventiva, utilizar mascarilla protectora en todo momento durante su manipulación.
- En caso de sufrir inhalación, trasladar al afectado a un lugar ventilado, hacer respiración artificial y avisar a un médico.



➤ ***Ingestión.***

- Provoca quemaduras en la boca, vómitos y perforación del estómago.
- Como medida preventiva, no comer ni beber en el puesto de trabajo.
- En caso de sufrir ingestión, lavar la boca con abundante agua y beber mucha agua, avisar a un médico.

➤ ***Contacto ocular.***

- Provoca quemaduras en los ojos.
- Como medida preventiva, utilizar gafas de seguridad.
- En caso de contacto con los ojos, lavar de forma inmediata con abundante agua y permanecer cos los párpados abiertos. Avisar a un médico.

➤ ***Contacto cutáneo.***

- Provoca quemaduras en la piel.
- Como medida preventiva, utilizar guantes homologados y, en caso de ser necesario la inmersión en el tanque de hipoclorito sódico, utilizar un traje de buzo adecuado.
- En caso de contacto con la piel, lavar la zona afectada con abundante agua, quitar la ropa manchada con la sustancia y avisar a un médico.

4.2.2. Cloruro férrico (FeCl₃).

El cloruro férrico es un líquido de color pardo rojizo con olor picante, extremadamente higroscópico.

La exposición de diversas formas ante cloruro férrico produce distintos síntomas que hay que tener en cuenta para poder llevar a cabo una serie de medidas de prevención y unos primeros auxilios.

➤ ***Inhalación.***

- Provoca irritación del sistema pulmonar, mucosas y la inhalación prolongada produce vómitos.
- Como medida preventiva, utilizar mascarilla protectora en todo momento durante su manipulación.
- En caso de sufrir inhalación, trasladar al afectado a un lugar ventilado y, en caso de inhalación prolongada, avisar a un médico.



➤ ***Ingestión.***

- Provoca quemaduras en el aparato digestivo, vómitos, diarrea, cólicos violentos y depresión.
- Como medida preventiva, no comer ni beber en el puesto de trabajo.
- En caso de sufrir ingestión, lavar la boca con abundante agua y beber mucha agua, provocar el vómito y avisar a un médico.

➤ ***Contacto ocular.***

- Provoca conjuntivitis y quemaduras en los ojos.
- Como medida preventiva, utilizar gafas de seguridad.
- En caso de contacto con los ojos, lavar de forma inmediata con abundante agua y permanecer cos los párpados abiertos. Avisar a un médico.

➤ ***Contacto cutáneo.***

- Provoca irritación en la piel.
- Como medida preventiva, utilizar guantes homologados y, en caso de ser necesario la inmersión en el tanque de hipoclorito sódico, utilizar un traje de buzo adecuado.
- En caso de contacto con la piel, lavar la zona afectada con abundante agua, quitar la ropa manchada con la sustancia y avisar a un médico.

4.2.3. Ácido sulfúrico (H₂SO₄).

El ácido sulfúrico es un líquido aceitoso, incoloro y de olor ligeramente picante. Además, es corrosivo e incompatible con metales, tejidos de plantas y de animales.

La exposición de diversas formas ante ácido sulfúrico produce distintos síntomas que hay que tener en cuenta para poder llevar a cabo una serie de medidas de prevención y unos primeros auxilios.

➤ ***Inhalación.***

- Provoca irritación del sistema pulmonar, mucosas y edema pulmonar.
- Como medida preventiva, utilizar mascarilla protectora en todo momento durante su manipulación.
- En caso de sufrir inhalación, trasladar al afectado a un lugar ventilado, no colocar en posición acostada, hacer respiración artificial y avisar a un médico.
-



➤ ***Ingestión.***

- Provoca quemaduras en el aparato digestivo, vómitos, diarrea, perforación del estómago y la muerte.
- Como medida preventiva, no comer ni beber en el puesto de trabajo.
- En caso de sufrir ingestión, lavar la boca con abundante agua y beber mucha agua, no dar nada de comer o beber en caso de que el paciente esté inconsciente y avisar a un médico.

➤ ***Contacto ocular.***

- Provoca visión borrosa, quemaduras en los ojos y ceguera.
- Como medida preventiva, utilizar gafas de seguridad.
- En caso de contacto con los ojos, lavar de forma inmediata con abundante agua y permanecer con los párpados abiertos. Avisar a un médico.

➤ ***Contacto cutáneo.***

- Provoca quemaduras severas en la piel.
- Como medida preventiva, utilizar guantes homologados y, en caso de ser necesario la inmersión en el tanque de hipoclorito sódico, utilizar un traje de buzo adecuado.
- En caso de contacto con la piel, lavar la zona afectada con abundante agua, quitar la ropa manchada con la sustancia y avisar a un médico.

4.2.4. Bisulfito de sodio (NaHSO₃).

Es un líquido amarillento de olor penetrante, ligeramente ácido. Se debe evitar todo contacto con la sustancia y toda inhalación de vapores aerosoles.

La exposición de diversas formas ante bisulfito de sodio produce distintos síntomas que hay que tener en cuenta para poder llevar a cabo una serie de medidas de prevención y unos primeros auxilios.

➤ ***Inhalación.***

- Provoca irritación del sistema pulmonar, mucosas y la inhalación prolongada produce vómitos.
- Como medida preventiva, utilizar mascarilla protectora en todo momento durante su manipulación.
- En caso de sufrir inhalación, trasladar al afectado a un lugar ventilado y, en caso de inhalación prolongada, avisar a un médico.



➤ ***Ingestión.***

- Provoca quemaduras en el aparato digestivo, vómitos, diarrea, cólicos violentos y depresión.
- Como medida preventiva, no comer ni beber en el puesto de trabajo.
- En caso de sufrir ingestión, lavar la boca con abundante agua y beber mucha agua, provocar el vómito y avisar a un médico.

➤ ***Contacto ocular.***

- Provoca conjuntivitis y quemaduras en los ojos.
- Como medida preventiva, utilizar gafas de seguridad.
- En caso de contacto con los ojos, lavar de forma inmediata con abundante agua y permanecer cos los párpados abiertos. Avisar a un médico.

➤ ***Contacto cutáneo.***

- Provoca irritación en la piel.
- Como medida preventiva, utilizar guantes homologados y, en caso de ser necesario la inmersión en el tanque de hipoclorito sódico, utilizar un traje de buzo adecuado.
- En caso de contacto con la piel, lavar la zona afectada con abundante agua, quitar la ropa manchada con la sustancia y avisar a un médico.

5. Protección contra incendios.

El sistema general contraincendios se describirá siguiendo lo dispuesto en el "Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios" del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios.

Se llevará a cabo la instalación de una serie de equipos automatizados:

➤ ***Alarmas de detección de incendios manuales.***

Los sistemas manuales de incendios están formados por una serie de teclas o pulsadores para ejecutar una señal a la central de control.

Estos sistemas se deben colocar con una separación máxima entre ellos de 25 m, en las proximidades de las salidas.



➤ ***Alarmas de detección de incendios automáticas.***

Los sistemas automáticos de incendios automáticos se rigen por la nota técnica de prevención NTP 40/1983, por la que se establecen las características de estos detectores, la distancia máxima entre ellos y su distribución.

➤ ***Alumbrado de emergencia***

Se instalarán una serie de aparatos con autonomía suficiente de alumbrado de emergencia en los lugares clave.

Estos aparatos se dotarán de batería alcalina con carga permanente asegurando una autonomía de 1 hora. Además, van conectados de forma independiente al alumbrado y entra en servicio de forma automática en caso de fallo en el sistema de alumbrado.

➤ ***Bocas de incendios***

Estos equipos se instalarán por medio de personal autorizado. Se debe montar en un soporte rígido a una altura de, máximo, 1,50 metros sobre el nivel del suelo.

Además, se situarán de forma que no supongan un obstáculo en las salidas de emergencia colocándose a una distancia de 5 metros como máximo de las salidas de cada sector de incendio. Por otro lado, no puede haber una separación entre bocas de incendio de más de 50 metros.

➤ ***Extintores***

Los extintores se localizarán en puntos fácilmente visibles y accesibles, además deberán colocarse donde existe una mayor probabilidad de incendio y próximos a las salidas.

Su emplazamiento será sobre soportes fijos en paramentos o pilares verticales, de forma que la parte superior del extintor quede como máximo a 1,70 m del suelo.

Todos los extintores se deben someter a unas revisiones periódicas de conservación para asegurar su correcto funcionamiento.



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA.**

**DOCUMENTO Nº2
PLANOS**





Índice de contenidos

1. EMPLAZAMIENTO	5
1.1. Localización IDAM en España	5
1.2. Localización IDAM en Granada.....	6
1.3. Localización de la planta	7
2. ESQUEMAS GENERALES	8
2.1. Plano general de la planta	8
2.2. Esquema general de la planta	9
2.3. Esquema captación y filtros de arena	10
2.4. Esquema filtros de cartucho	11
2.5. Esquema ósmosis inversa	12
2.6. Esquema postratamiento	13
2.7. Esquema filtro de arena	14
3. PLANOS DETALLE	15
3.1. Cántara de captación y bombeo de impulsión	15
3.2. Bombeo de impulsión	16
3.3. Filtración de arena	17
3.4. Sección de filtro de arena	18
3.5. Nave de ósmosis inversa	19
3.6. Bastidor de ósmosis inversa	20



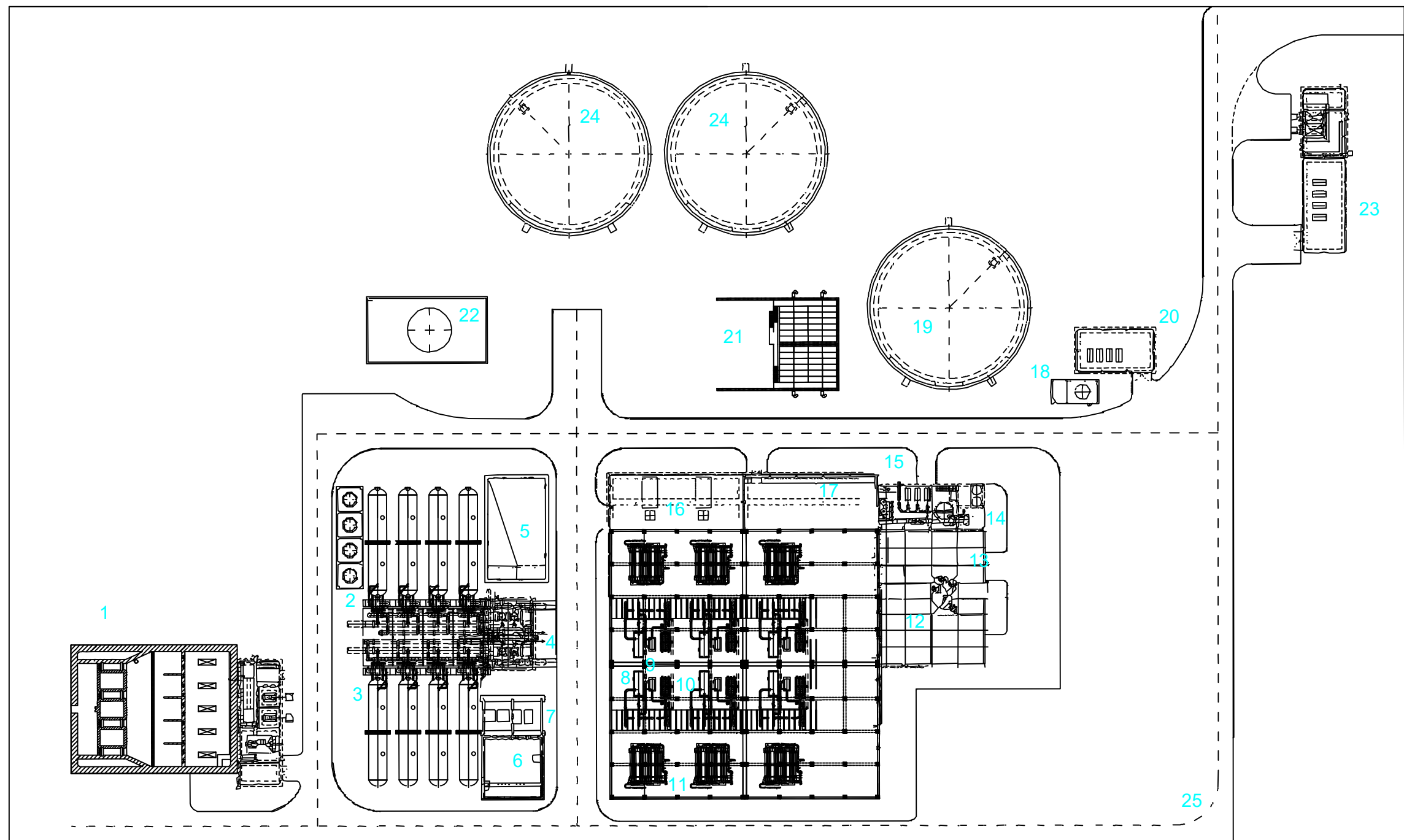


Google Earth Date: 07/11/2014, 11:55:00 AM, U.S. NAVY, NOAA, GEBCO, Esri, Landsat / Copernicus 	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	TÍTULO: INSTALACIÓN DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR MOTRIL	AUTOR DE PROYECTO: Antonio Carlos García Sánchez	DIRECTOR DE PROYECTO: Fco. Javier Pérez de la Cruz	DESIGNACIÓN: LOCALIZACIÓN IDAM EN ESPAÑA	ESCALA: 1:25.000	PLANO Nº: 3.1
--	--------------------------------------	--	---	---	---	---------------------	------------------





	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	TÍTULO: INSTALACIÓN DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR MOTRIL	AUTOR DE PROYECTO: Antonio Carlos García Sánchez	DIRECTOR DE PROYECTO: Fco. Javier Pérez de la Cruz	DESIGNACIÓN: LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	ESCALA: 1:3.000	PLANO Nº: 1.3
---	---	--	---	---	---	--------------------	------------------



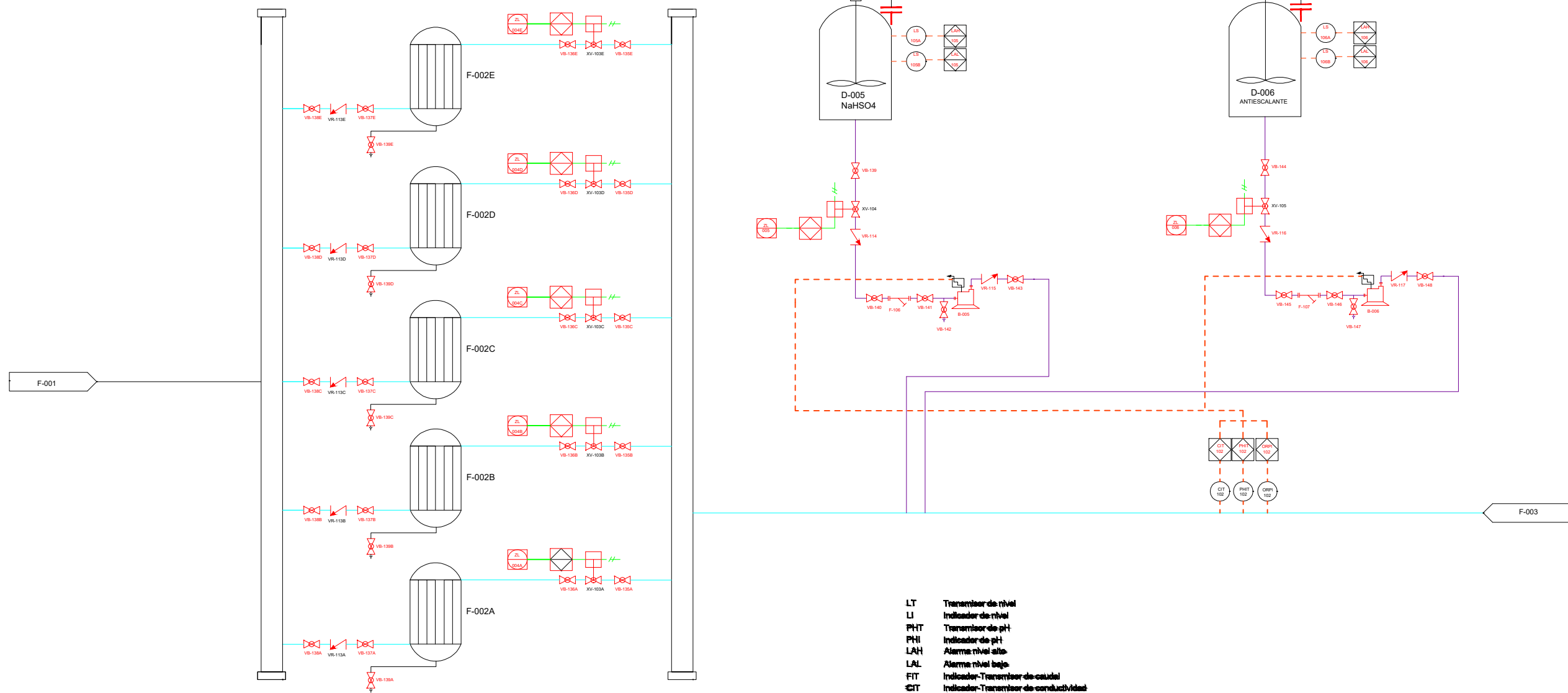
LEYENDA

- 1 - CÁNTARA DE CAPTACIÓN
- 2 - PRETRATAMIENTO QUÍMICO
- 3 - SISTEMA DE FILTROS DE ARENA
- 4 - SISTEMA DE FILTROS DE CARTUJO
- 5 - TANQUE DE EFLUENTES
- 6 - TANQUE DE SALMUERA
- 7 - CONTRA LAVADO DE FILTROS

- 8 - BOMBAS DE ALTA PRESIÓN
- 9 - RECUPERADORES DE ENERGÍA
- 10 - BOMBAS BOOSTER
- 11 - BASTIDORES DE ÓSMOSIS INVERSA
- 12 - ALMACENAMIENTO QUÍMICO
- 13 - ACONDICIONAMIENTO DE REACTIVOS QUÍMICOS
- 14 - EDIFICIO DE CONTROL Y LABORATORIOS
- 15 - LIMPIEZA QUÍMICA DE MEMBRANAS
- 16 - EDIFICIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

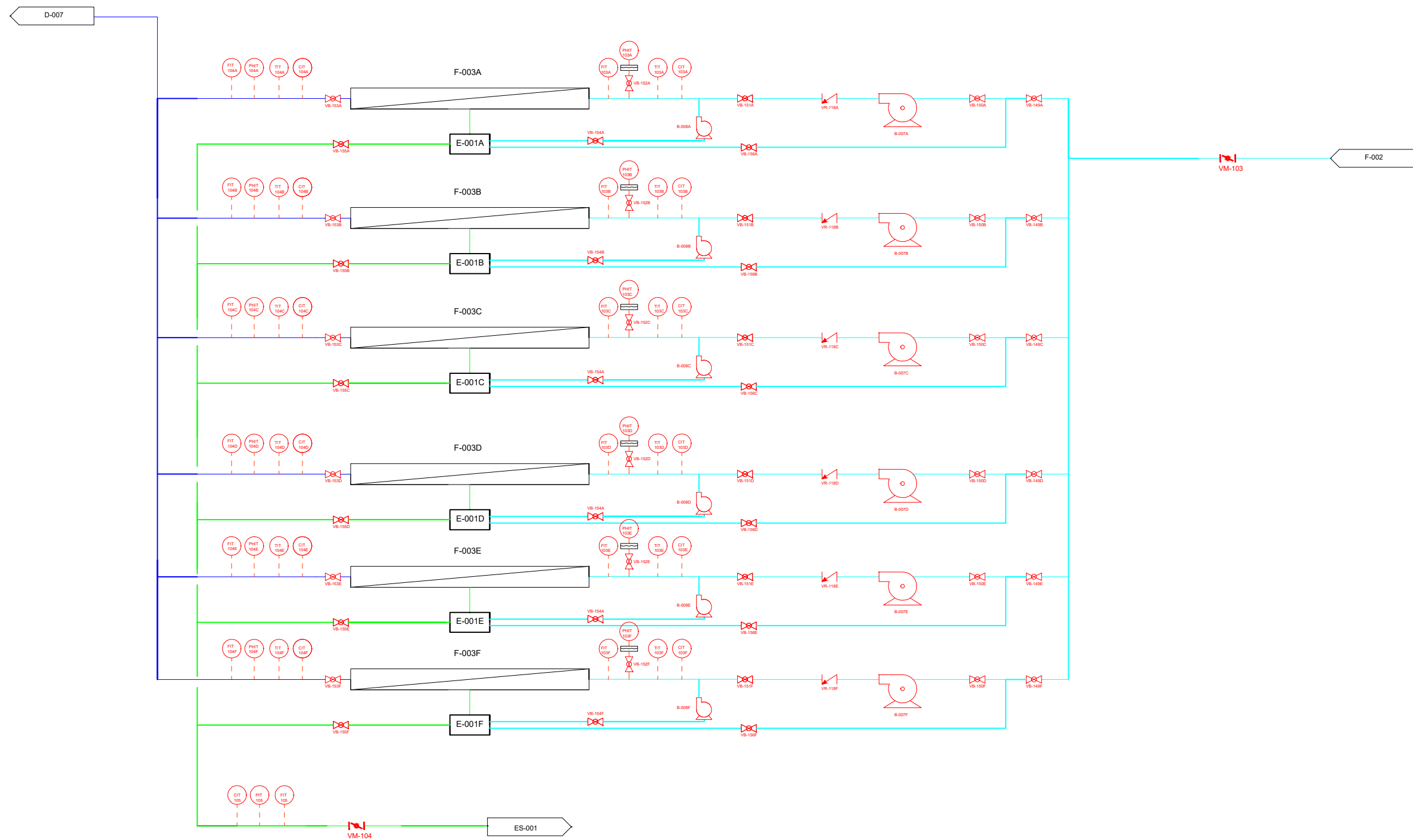
- 17 - EDIFICIO ELÉCTRICO
- 18 - INSTALACIÓN DE CO₂
- 19 - TANQUE DE AGUA PERMEADA
- 20 - BOMBEO DE AGUA REMINERALIZADA
- 21 - REMINERALIZACIÓN EN LECHOS DE CALCITA
- 22 - ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE
- 23 - ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA PRODUCTO
- 24 - TANQUE DE AGUA POTABLE
- 25 - ENTRADA PRINCIPAL DE LA INSTALACIÓN





LT Transmisor de nivel
 LI Indicador de nivel
 PHT Transmisor de pH
 PHI Indicador de pH
 LAH Alarma nivel alto
 LAL Alarma nivel bajo
 FIT Indicador-Transmisor de caudal
 CIT Indicador-Transmisor de conductividad
 PIT Indicador-Transmisor de presión
 ORPI Indicador Potencial Redox

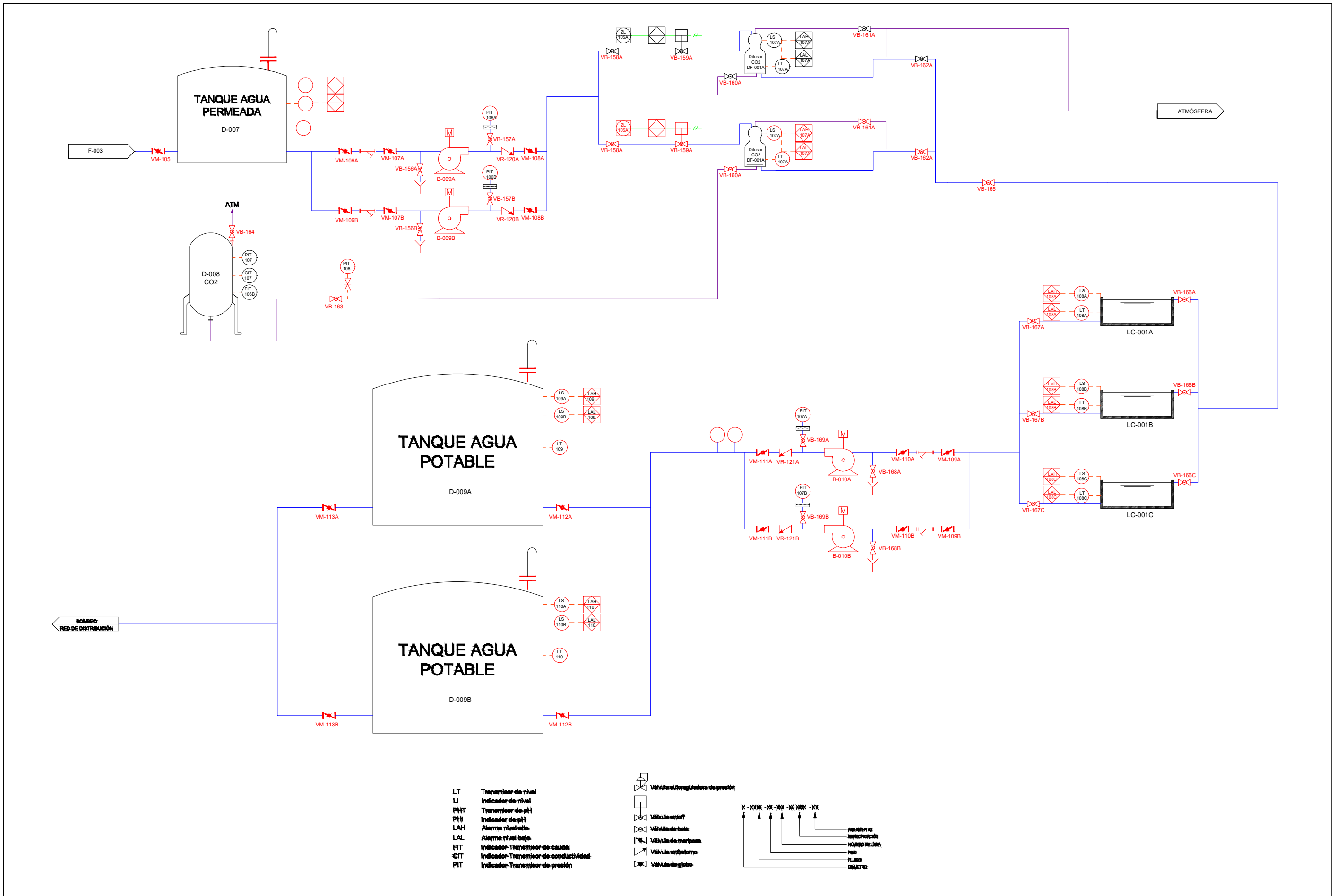
V Válvula on/off
 V_i Válvula de bola
 V_m Válvula de mariposa
 V_a Válvula antirretorno
 V_g Válvula de globo

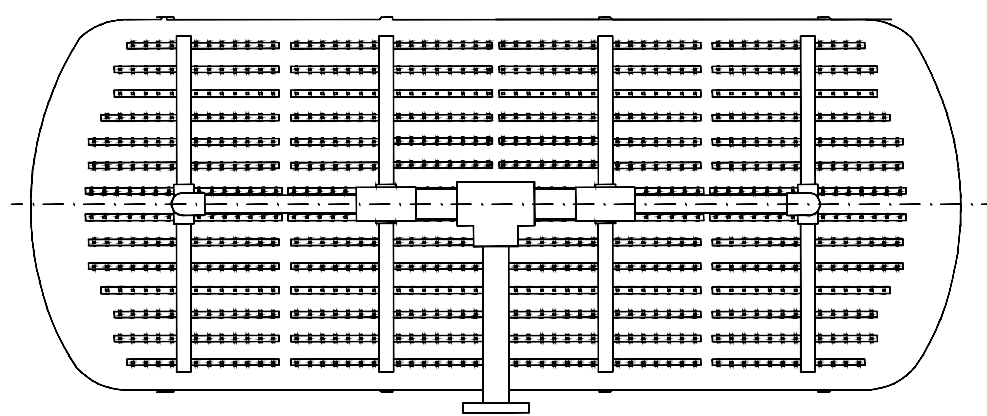
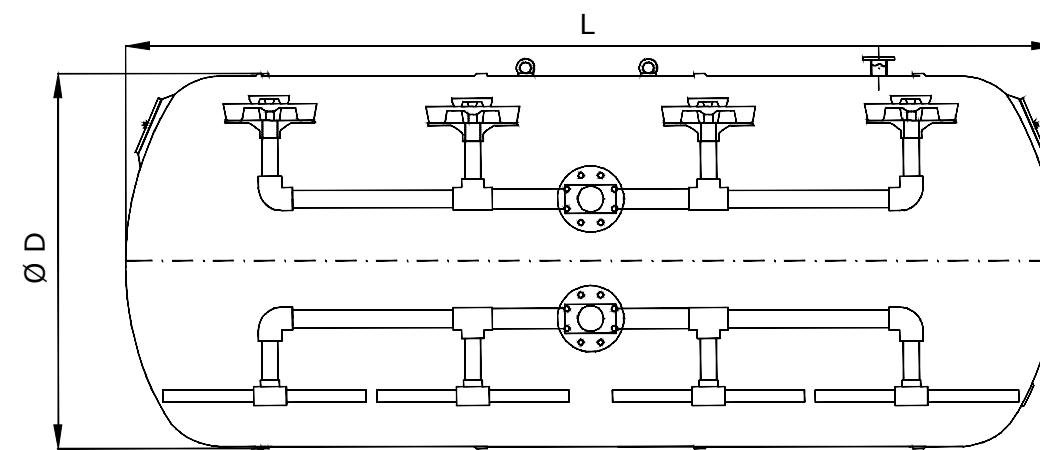
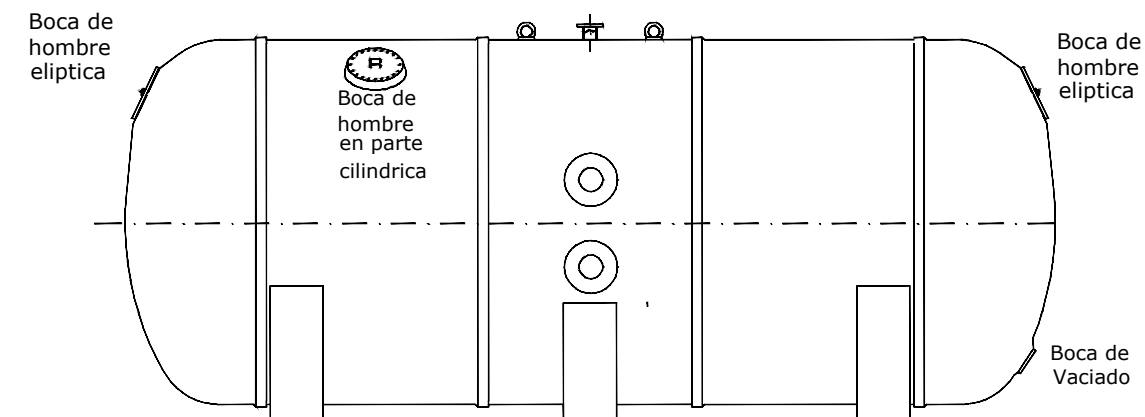


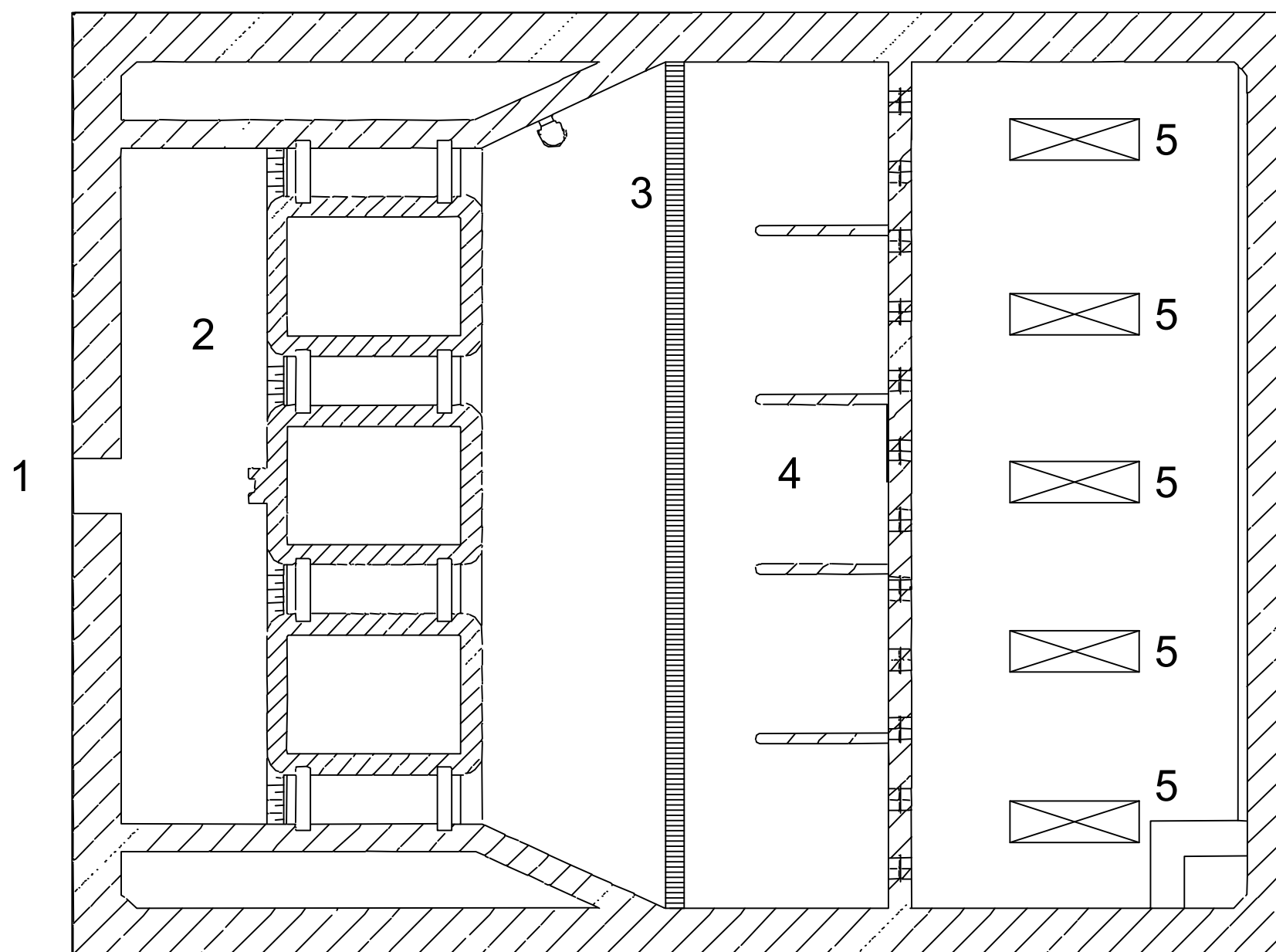
LT Transmisor de nivel
 LI Indicador de nivel
 PHT Transmisor de pH
 PHI Indicador de pH
 LAH Alarma nivel alto
 LAL Alarma nivel bajo
 FIT Indicador-Transmisor de caudal
 CIT Indicador-Transmisor de conductividad
 PPT Indicador-Transmisor de presión

V-100 Válvula on/off
 V-101 Válvula de bola
 V-102 Válvula de mariposa
 V-103 Válvula antirretorno
 V-104 Válvula de globo

X-XXX-XX-XX-XX-XX
 ALIAMENTO
 ESPECIFICACIÓN
 NÚMERO DE LÍNEA
 FICHO
 FLUIDO
 DIÁMETRO







LEYENDA

- 1 - ENTRADA DE AGUA DE MAR
- 2 - CÁNTARA DE CAPTACIÓN
- 3 - REJAS DE DESBASTE
- 4 - CÁNTARA DE IMPULSIÓN
- 5 - BOMBAS DE IMPULSIÓN



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA

TÍTULO: INSTALACIÓN DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR MOTRIL

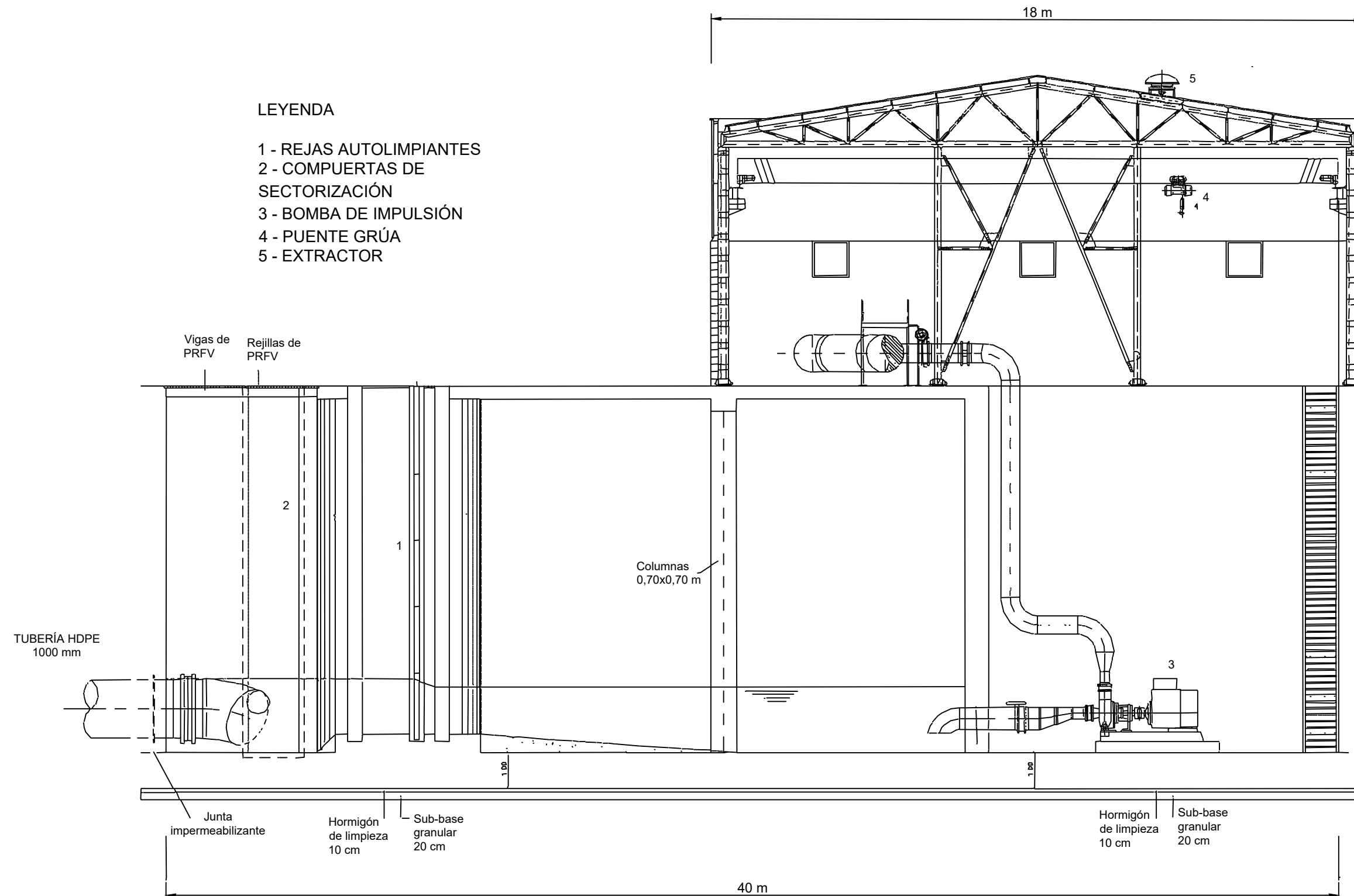
AUTOR DE PROYECTO:
Antonio Carlos García Sánchez

DIRECTOR DE PROYECTO:
Fco. Javier Pérez de la Cruz

DESIGNACIÓN:
CÁNTARA DE CAPTACIÓN Y
BOMBEO DE IMPULSIÓN

ESCALA:
1:25

PLANO Nº:
3.1



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA

TÍTULO: INSTALACIÓN DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR MOTRIL

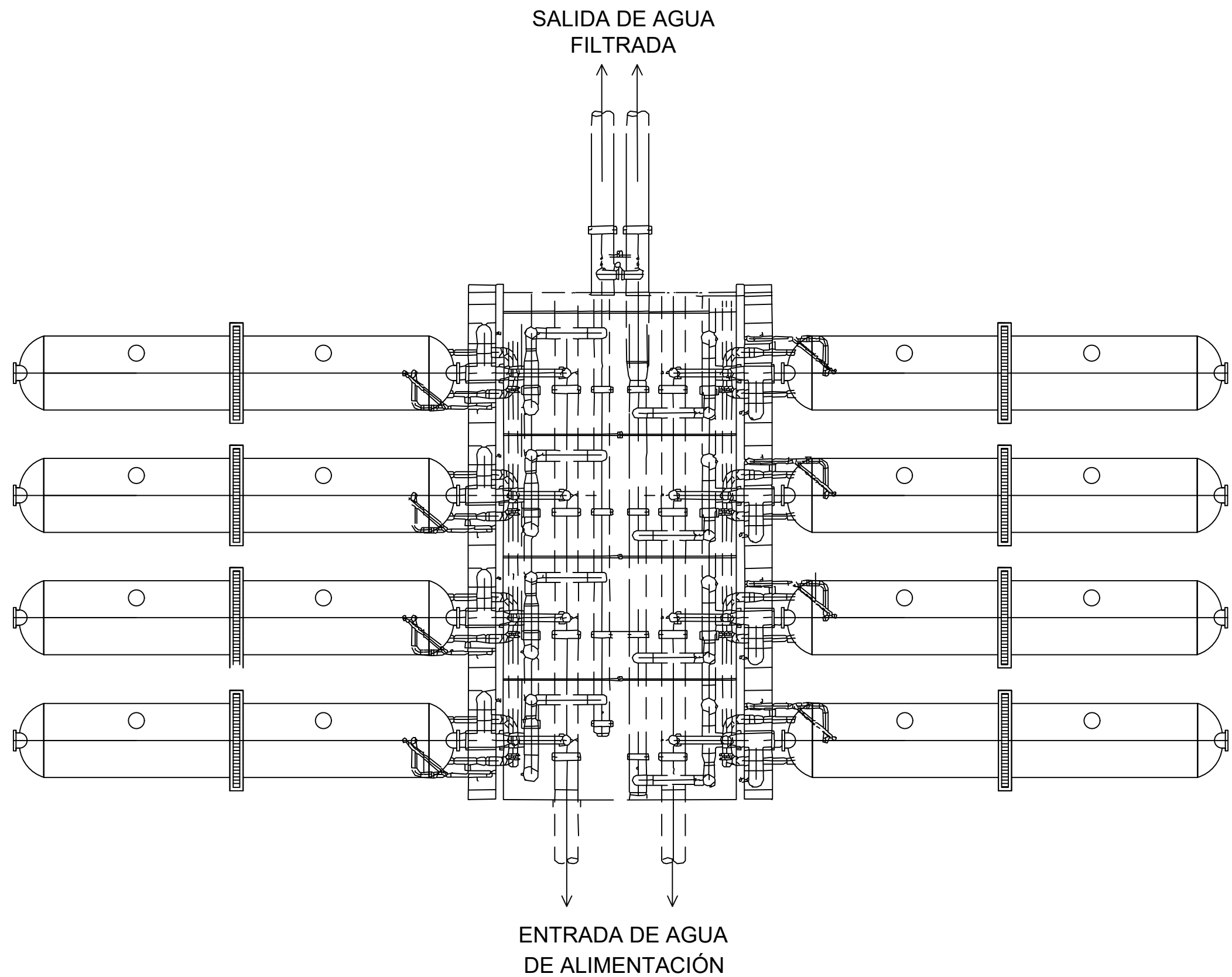
AUTOR DE PROYECTO:
Antonio Carlos García Sánchez

DIRECTOR DE PROYECTO:
Fco. Javier Pérez de la Cruz

DESIGNACIÓN:
BOMBEO DE IMPULSIÓN

ESCALA:
1:50

PLANO Nº:
3.2



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA

TÍTULO: INSTALACIÓN DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR MOTRIL

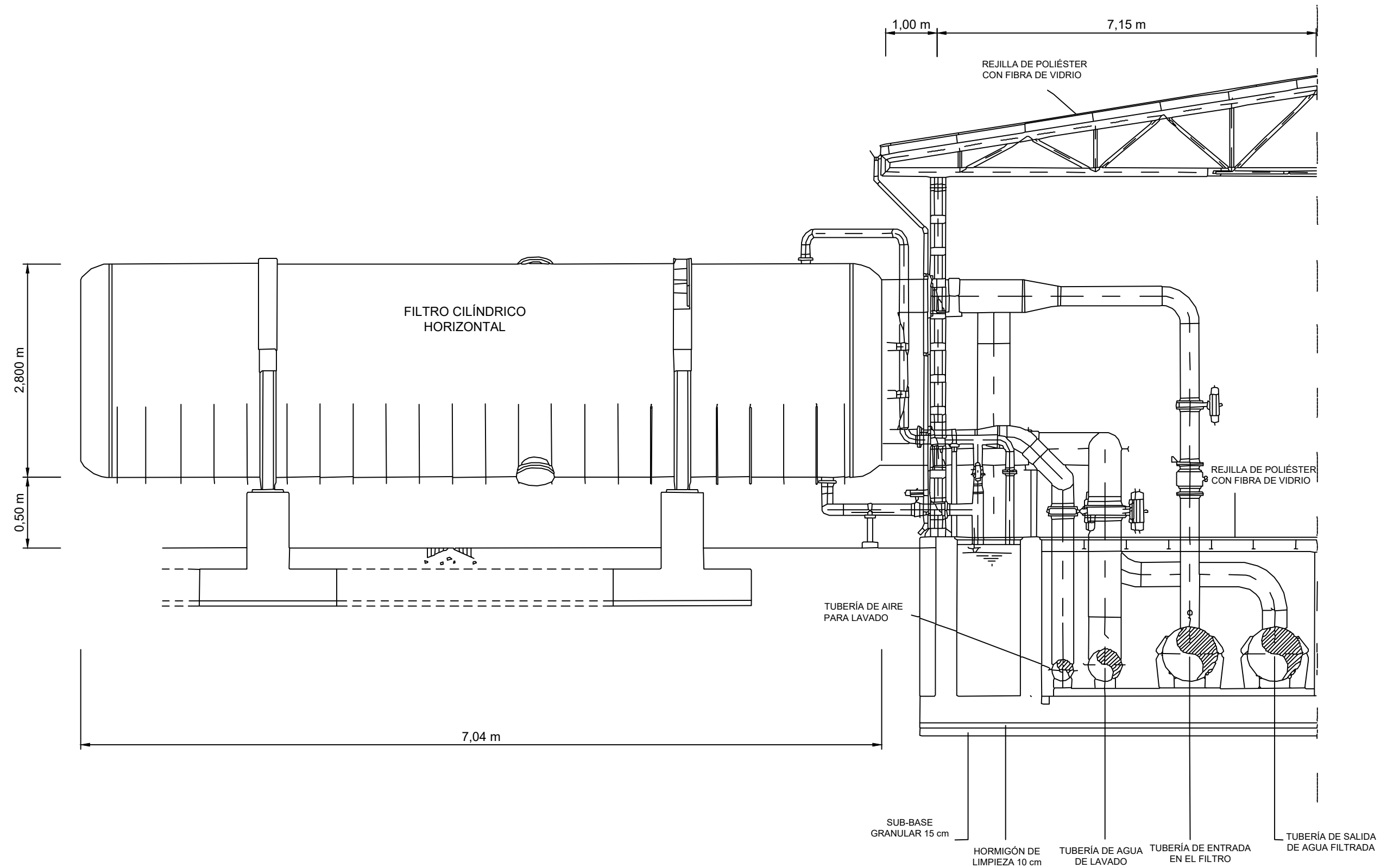
AUTOR DE PROYECTO:
Antonio Carlos García Sánchez

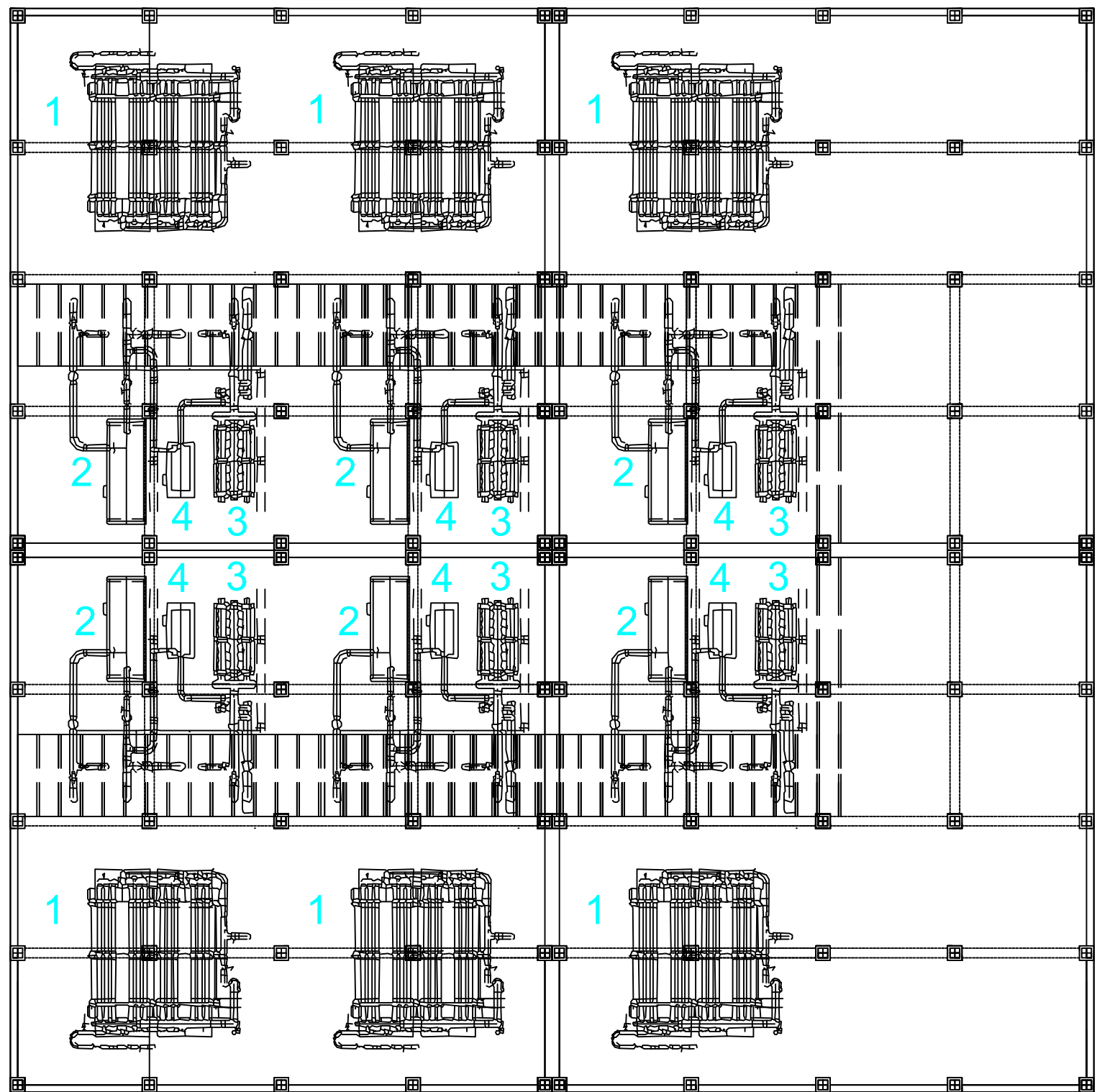
DIRECTOR DE PROYECTO:
Fco. Javier Pérez de la Cruz

DESIGNACIÓN:
FILTRACIÓN DE ARENA

ESCALA:
1:100

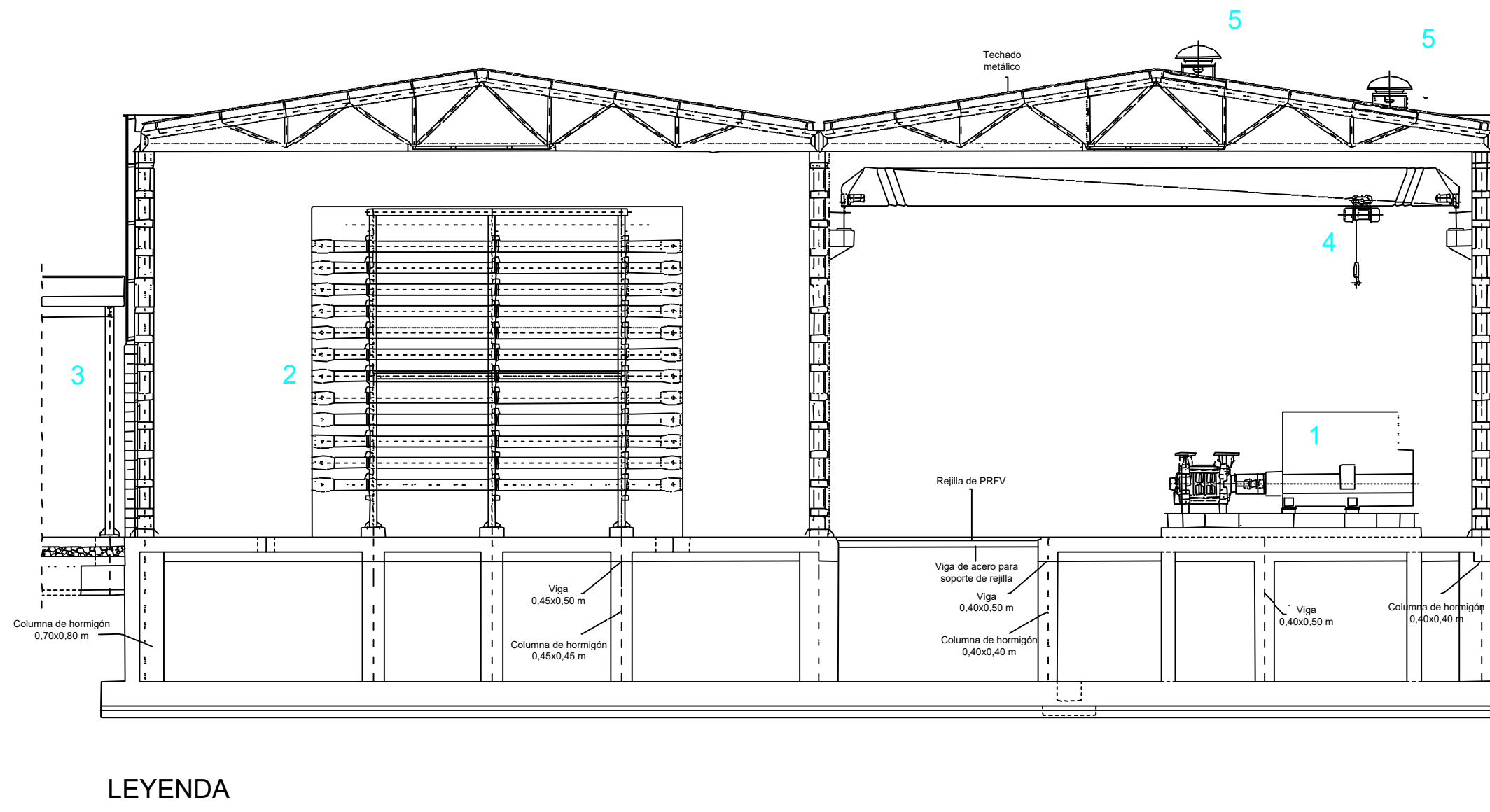
PLANO Nº:
3.3





LEYENDA

- 1 - BASTIDOR DE ÓSMOSIS INVERSA
- 2 - BOMBA DE ALTA PRESIÓN
- 3 - BOMBA BOOSTER
- 4 - RECUPERADOR DE ENERGÍA



LEYENDA

- 1 - BOMBA DE ALTA PRESIÓN
- 2 - BASTIDOR DE ÓSMOSIS INVERSA
- 3 - GENERADOR DE ENERGÍA
- 4 - PUENTE GRÚA
- 5 - EXTRACTOR



**INSTALACIÓN DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR UBICADA
EN MOTRIL, GRANADA**

**DOCUMENTO Nº3 PLIEGO
DE CONDICIONES**



ÍNDICE

CAPÍTULO I: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES ADMINISTRATIVAS.....	5
1. Objeto del Pliego	5
2. Definiciones	5
3. Descripción del tratamiento adoptado	7
CAPÍTULO II: DISPOSICIONES GENERALES.....	8
1. Condiciones generales de la obra.	8
Artículo 1. Objeto del Pliego de condiciones	8
Artículo 2. Documentos que definen las obras.	8
Artículo 3. Compatibilidades y relación entre los diversos documentos.	8
Artículo 4. Objetos.....	9
Artículo 5. Situación y emplazamiento	9
Artículo 6. Ejecución de las obras.....	9
Artículo 7. Modificaciones del proyecto	9
Artículo 8. Normas.....	9
CAPÍTULO III: DISPOSICIONES FACULTATIVAS	10
1. Trabajos a ejecutar en la obra.....	10
Artículo 9. Condiciones generales de ejecución	10
Artículo 10. Orden de ejecución de los trabajos.	10
Artículo 11. Replanteo.	10
Artículo 12. Obras accesorias.....	11
Artículo 13. Movimientos de tierra.....	11
Artículo 14. Instalación eléctrica	11
Artículo 15. Profundidad de las cimentaciones	12
2. Condiciones que deben satisfacer los materiales.....	12
Artículo 16. Aguas.....	13
Artículo 17. Áridos.....	13
Artículo 18. Cementos.	13
Artículo 19. Morteros y hormigones.....	13
Artículo 20. Materiales no especificados.....	14
Artículo 21. Control de materiales.	14



Artículo 22.	Pruebas y ensayos de materiales.	14
Artículo 23.	Materiales no consignados en proyecto.	14
3.	Derechos y deberes del contratista	14
Artículo 24.	Verificación de los documentos de proyecto.	14
Artículo 25.	Plan de Seguridad y Salud	15
Artículo 26.	Proyecto de control de calidad.....	15
Artículo 27.	Oficina en la obra	15
Artículo 28.	Representación del contratista. Jefe de Obra.....	15
Artículo 29.	Presencia del contratista en la obra.....	16
Artículo 30.	Obras sin prescripciones.	16
Artículo 31.	Trabajos no estipulados expresamente.....	16
Artículo 32.	Libro de subcontratación	16
Artículo 33.	Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.	17
Artículo 34.	Personal en la obra	17
Artículo 35.	Faltas de personal en la obra	17
Artículo 36.	Desperfectos en las propiedades vecinas.	18
Artículo 37.	Accesos y entorno de la obra	18
Artículo 38.	Limpieza y conservación de las obras.	18
Artículo 39.	Medios auxiliares.	19
4.	Régimen de organización de las obras	19
Artículo 40.	Programa de trabajos.....	19
Artículo 41.	Inicio y ritmo de ejecución de los trabajos.	19
Artículo 42.	Facilidades para otros contratistas.	20
Artículo 43.	Ampliaciones del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor	20
Artículo 44.	Prórroga por causa de fuerza mayor.	20
Artículo 45.	Responsabilidad de la dirección de obra en el retraso de la ejecución de la obra.....	20
Artículo 46.	Obras defectuosas.	21
Artículo 47.	Obras y vicios ocultos.....	21
Artículo 48.	Materiales no utilizables o defectuosos.	21
5.	Recepciones y Liquidaciones	21
Artículo 49.	Pruebas antes de la recepción	21
Artículo 50.	Recepción de las obras.....	22
Artículo 51.	Documentación final.	22
Artículo 52.	Plazo de garantía	22



Artículo 53.	Conservación de los trabajos con contrata rescindida	23
Artículo 54.	Carácter provisional de las liquidaciones parciales.....	23
Artículo 55.	Medición definitiva de los trabajos.	23
Artículo 56.	Liquidación final.....	23
Artículo 57.	Liquidación en caso de rescisión	24
6.	Facultades de la dirección de obra.....	24
Artículo 58.	Facultades de la dirección de obra	24
Artículo 59.	Documentación a facilitar por el Director de obra autor del proyecto	24
Artículo 60.	Libro de órdenes.....	25
Artículo 61.	Copias de documentos.	25
Artículo 62.	Libro de Incidencias.	25
CAPÍTULO IV: DISPOSICIONES ECONÓMICAS		26
1.	Garantías de Cumplimiento y Fianza	26
Artículo 63.	Garantías.	26
Artículo 64.	Fianza	26
Artículo 65.	Ejecución de trabajos con cargo a la fianza	26
Artículo 66.	Devolución de la fianza.....	27
2.	Precios y Revisiones	27
Artículo 67.	Gastos.....	27
Artículo 68.	Gastos ocasionados por análisis, pruebas y ensayos.....	27
Artículo 69.	Obras de mejora o ampliación	27
Artículo 70.	Precios unitarios.	27
Artículo 71.	Precios contradictorios.	28
Artículo 72.	Revisión de precios.	28
Artículo 73.	Reclamaciones de aumento de precios.	28
Artículo 74.	Recogida de materiales.	29
3.	Mediciones y Valoraciones de los Trabajos	29
Artículo 75.	Mediciones de la obra.....	29
Artículo 76.	Mediciones parciales y totales.	29
Artículo 77.	Elementos comprendidos en el presupuesto.....	29
Artículo 78.	Valoración de las obras.....	29
Artículo 79.	Valoración de obras incompletas.....	30
Artículo 80.	Otras obras.	30



Artículo 81.	Valoración de unidades no contempladas en este Pliego.	30
Artículo 82.	Errores en el presupuesto.	30
Artículo 83.	Resolución respecto a las reclamaciones del Contratista	30
Artículo 84.	Pago de las obras.	31
Artículo 85.	Suspensión de los trabajos.....	31
Artículo 86.	Mejoras de obras entregadas ejecutadas.	31
4.	Indemnizaciones	31
Artículo 87.	Indemnizaciones por retraso en la finalización de las obras.	31
Artículo 88.	Indemnizaciones por retraso de los pagos.	31
Artículo 90.	Renuncia	32
5.	Varios.....	32
Artículo 91.	Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra	32
Artículo 92.	Unidades de obra defectuosa pero aceptable	33
Artículo 93.	Seguro de obras	33
Artículo 94.	Documentación de obras ocultas.	33
Artículo 95.	Conservación de la obra	34
Artículo 96.	Uso del Contratista del edificio o de bienes de la propiedad.....	34
Artículo 97.	Pago de arbitrios.	34



CAPÍTULO I:

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES ADMINISTRATIVAS

1. Objeto del Pliego

El objetivo del Pliego de Condiciones es establecer las bases de los concursos relacionados con la contratación de las obras y condiciones generales para contratos y pedidos que incluyan mano de obra en el lugar de construcción, es decir, regular las relaciones entre las partes contratantes desde el punto de vista Técnico, Facultativo, Económico y Legal, para el proyecto denominado "Instalación desalinizadora de agua de mar ubicada en Motril, Granada.

Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto.

2. Definiciones

Definiciones que pueden ser útiles durante este pliego:

- Propietario: Es la compañía que proyecta la ejecución de la estación desaladora. Su autoridad está representada por el director general.
- Contratista Principal: Es la empresa encargada del diseño, puesta en marcha y supervisión de la Desaladora.
- Subcontratistas: Son contratistas contratados por el Propietario y/o el Contratista Principal y prestan sus suministros para la construcción de Desaladora.
- Ingeniero: Es aquella persona designada por el Propietario y/o el Contratista Principal y/o los subcontratistas para actuar como tal durante el proyecto y la realización de la obra.
- Proveedores: Personas o entidades contratadas por el Contratista Principal para el suministro de materiales, equipos o maquinaria necesarios para poder realizar la obra.
- Dirección Facultativa: Función conjunta entre el director de obra y el contratista.
- Director de la Obra: Dirige en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales. Resuelve las contingencias y consigna un Libro de Órdenes y Asistencias para la correcta interpretación del proyecto.



- Coordinador de Seguridad y Salud durante la Ejecución de la Obra: Integrado en la dirección facultativa, coordina la aplicación de los principios generales de prevención de riesgos laborales y de seguridad en la obra.

En caso de ocurrir un desacuerdo entre las distintas partes, el poder de decisión lo tiene el Propietario, que es el que decide quien continúa o quién se va.

El Contratista Principal será responsable de las inspecciones y deberá estar presente en las pruebas hidrostáticas y de funcionamiento de todo el equipo (o sus partes componentes) y de su suministro.

Otras definiciones:

- Medios y métodos de construcción: Se refiere a la mano de obra, materiales, estructuras provisionales, herramientas, maquinaria y equipo de la construcción y el modo y el tiempo de su ejecución, necesarios para completar este contrato.
- Obra: Los trabajos con el alcance descrito y que se refieren a este contrato.
- Zona de la obra: Área de la obra donde el Contratista Principal ejecutará el trabajo contratado y cualquier área adyacente designada como tal por el Propietario.
- Pliego de condiciones: Directrices, requisitos y normas de procedimientos, aplicables al trabajo detallado más adelante y estipulado en el Pliego de Condiciones Facultativas o cualquier otro documento o anexo incluido.
- Trabajo: El suministro y trabajos exigidos al Contratista Principal deberá incluir el trabajo contractual y el trabajo extra.
- Certificación de materiales y pruebas de funcionamiento: El Contratista Principal proporcionará al Propietario siete copias de los certificados de materiales, con características físicas y químicas, si suministra por su parte, cualquiera de los materiales siguientes:
 - Tuberías.
 - Válvulas.
 - Rácores y bridas.
 - Piezas forjadas.
 - Piezas de fundición de hierro o acero.
 - Tornillería.



3. Descripción del tratamiento adoptado.

El esquema adoptado para el pretratamiento a seguir es el siguiente:

- Bombeo de impulsión.
- Ajuste del PH mediante la dosificación de hipoclorito de sodio (NaClO).
- Dosificación de coagulante (cloruro férrico FeCl_3).
- Dosificación de acidificante (ácido sulfúrico H_2SO_4).
- Filtración en filtro multimedia de arena y antracita.
- Filtración de cartucho.
- Dosificación de dispersante (bisulfito de sodio NaHSO_3).
- Dosificación de antiescalante.

Seguidamente se llevará a cabo el método de desalación:

- Ósmosis Inversa.

Por último el Post-tratamiento:

- Remineralización.
- Cloración final.



CAPÍTULO II: DISPOSICIONES GENERALES

1. Condiciones generales de la obra.

Artículo 1. Objeto del Pliego de condiciones

El presente Pliego de Condiciones, como parte del Proyecto de ejecución de la **INSTALACIÓN DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL, GRANADA de 33.000 m³/día de agua producto**, a ubicar en un punto de playa de Motril en el sudeste peninsular que tiene como finalidad regular la ejecución de las obras fijando los niveles técnicos y la calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato, a los diferentes agentes de la edificación, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones para el cumplimiento del contrato de obra.

Artículo 2. Documentos que definen las obras.

Las obras son definidas por los **Documentos Básicos** (DB) como es el presente Pliego de Condiciones y por los igualmente DBs constitutivos del proyecto: Memoria, Anejos, Planos, Estado de Mediciones y Presupuesto. Los Documentos Básicos de Planos, Pliego de Condiciones, Mediciones y Presupuesto, que se incluyen en el presente Proyecto son documentos contractuales, los datos incluidos en la Memoria y Anejos tienen carácter meramente informativo. Cualquier cambio en el planteamiento de las obras que impliquen un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la Dirección de Obra para que lo apruebe, si es necesario, y redacte el proyecto reformado correspondiente.

Artículo 3. Compatibilidades y relación entre los diversos documentos.

En caso de producirse una contradicción o incompatibilidad entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo que prescribe el Pliego de Condiciones.

Lo que esté reflejado en los Planos e ignorado en el Pliego de Condiciones y viceversa, deberá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos, siempre que, a criterio de la Dirección de Obra, la unidad de obra esté suficientemente definida y tenga precio en el contrato.

En caso de existir contradicciones u omisiones en los documentos del proyecto, el Contratista deberá notificarlo al Director de Obra, y éste decidirá. En ningún caso, el Contratista podrá resolver directamente, sin la autorización expresa del Director de Obra. En cualquier caso, las contradicciones, errores u omisiones que sean advertidos en éstos documentos por el Director de Obra o por el Contratista deberán quedar perfectamente reflejados en el Acta de comprobación del replanteo.



Artículo 4. Objetos.

Serán objeto de las normas y prescripciones técnicas señaladas en este Pliego de Condiciones, todas las obras incluidas en el presupuesto del presente proyecto, que están suficientemente definidas en la memoria descriptiva del mismo.

Artículo 5. Situación y emplazamiento.

La situación y emplazamiento vienen perfectamente indicados en la memoria descriptiva del presente proyecto.

Artículo 6. Ejecución de las obras.

Todas las obras se ejecutarán ajustándose a los planos, mediciones, precios y memoria del proyecto y a todas las instrucciones verbales o escritas que el Director de la Obra considere oportuno dictar en cada caso particular, resolviéndose cualquier discrepancia de éste con las mediciones del proyecto, a favor de este último.

Aquellas unidades de obra no definidas o aquellos trabajos no especificados en este pliego, se ejecutarán de acuerdo con lo sancionado por la costumbre como reglas de buena construcción, debiendo seguir el Contratista escrupulosamente las normas especiales que para cada caso señale el Director de la Obra, según su inapelable juicio.

Artículo 7. Modificaciones del proyecto.

La Dirección Facultativa podrá introducir modificaciones, siempre que no afecten esencialmente al proyecto. Si las unidades de obra que resultan en estas modificaciones fuesen de tipo similar a las que figuran en el presupuesto del proyecto, no habrá lugar a variaciones en los presupuestos y precios unitarios.

Artículo 8. Normas.

Los materiales, unidades de obras y ejecución de las mismas, se ajustarán a las normas vigentes y especialmente a las siguientes:

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE). Real Decreto 2661/1998.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Normalización de Elementos Constructivos para obras de Urbanización (1987).
- Normas UNE para composición, dimensionado y ensayo de los materiales que intervienen en la ejecución de las obras objeto de este proyecto.
- Pliego para Obras de Desaladoras.



CAPÍTULO III: DISPOSICIONES FACULTATIVAS

1. Trabajos a ejecutar en la obra.

Artículo 9. Condiciones generales de ejecución.

Todos los trabajos incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente, con arreglo a las buenas prácticas de la construcción, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones de la Edificación de la Dirección General de Arquitectura de 1960, y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa, no pudiendo por tanto servir de pretexto al contratista la baja subasta, para variar esa esmerada ejecución ni la primerísima calidad de las instalaciones proyectadas en cuanto a sus materiales y mano de obra, ni pretender proyectos adicionales.

Artículo 10. Orden de ejecución de los trabajos.

La determinación del orden de los trabajos es facultad de la Contrata, excepto en aquellos casos en los que, por circunstancias de orden técnico, la Dirección de Obra estime conveniente su variación.

Artículo 11. Replanteo.

Se hará por cuenta del Contratista y en presencia del Director de la Obra. Si el Contratista no hiciese observación alguna de los errores que hubiera podido encontrar, sufrirá las consecuencias de dichos errores.

Éste empezará las obras replanteándolas en el terreno y señalando las referencias principales que mantenga como base de posteriores replanteos parciales. Todas las opciones y medios auxiliares que se necesiten para los replanteos irán a cuenta del Contratista, cosa que no le dará derecho a ninguna reclamación.

El Contratista someterá el replanteo a la aprobación de la Dirección Facultativa. Una vez ésta haya dado la aprobación, preparará el acta de replanteo, la cual irá acompañada de un plano y que deberá ser aprobada por la Dirección de Obra. Es responsabilidad del Contratista la omisión de este trámite.

El contratista se hará cargo de las operaciones, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo, responsabilizándose que nadie las substraiga o cambie de lugar, así como de reponer las señales desaparecidas.



Artículo 12. Obras accesorias.

Son obras accesorias aquellas que por su importancia secundaria no se hallen previstas o no tengan proyecto o condiciones detalladas a las que haya que obedecer su construcción.

Las obras auxiliares y accesorias se ejecutarán siguiendo las prescripciones detalladas en este Pliego, cuando por la naturaleza de aquellas sean aplicables.

Artículo 13. Movimientos de tierra.

Comprende el vaciado y relleno de los viales, así como la apertura de zanjas y pozos para la red de saneamiento, de abastecimiento, alumbrado, electricidad y telefonía.

- La Contrata deberá adoptar las medidas oportunas para que no desaparezca durante la ejecución de la obra los puntos y línea de referencia.
- Las excavaciones se mantendrán en seco y los agotamientos de agua que sea necesario realizar, subterráneos o superficiales, se realizarán con las máximas precauciones evitando así socavones o hundimientos.
- Antes de efectuar los rellenos, el terreno será rellenado, alisado y aplastado con el fin de que presente una superficie horizontal y consistente. No se permitirán los rellenos procedentes de escombros de derribos, tierras sucias o detritus.
- El terraplenado se realizará con tongadas nunca mayores de 20 cm de espesor, siendo cada una de ellas convenientemente apisonada.
- Los paramentos de los pozos y zanjas a hormigonar, deberán quedar perfectamente refinados y perfilados, y los fondos totalmente nivelados y limpios.
- Se protegerá el borde de corte mediante vallas a distancia no menor de 1 m. de la zanja, y siempre tras la formación del talud natural del terreno. Asimismo, se apuntalarán aquellas zonas del vaciado que no ofrezcan las garantías estructurales hasta su consolidación definitiva.
- Se protegerán los elementos excavados de lluvias y heladas con plásticos.
- Se mantendrán las distancias de seguridad a las instalaciones eléctricas.
- Se cumplirán las Normas de obligado Cumplimiento referentes a la Seguridad y Salud que se especifican en el Anexo correspondiente a esta memoria. Se realizarán las inspecciones previas sobre servidumbres que pudieran verse afectadas por el vaciado.

Artículo 14. Instalación eléctrica.

La ejecución de las instalaciones se ajustará a lo especificado en los reglamentos vigentes y a las disposiciones complementarias que puedan haber dictado la Delegación de Industria en el ámbito de su



competencia. Así mismo, en el ámbito de las instalaciones que sea necesario, se seguirán las normas de la Compañía Suministradora de Energía.

Se cuidará en todo momento que los trazados guarden las: Maderamen, redes y nonas en número suficiente de modo que garanticen la seguridad de los operarios y transeúntes. Todos los materiales serán de la mejor calidad, con las condiciones que impongan los documentos que componen el Proyecto, o los que se determine en el transcurso de la obra, montaje o instalación.

CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Serán de cobre electrolítico, aislados adecuadamente, siendo su tensión nominal de 0,6/1 Kilovoltios para la línea repartidora y de 750 Voltios para el resto de la instalación, debiendo estar homologados según normas UNE citadas en la Instrucción ITC-BT-06.

IDENTIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES.

Deberán poder ser identificados por el color de su aislamiento:

- Azul claro para el conductor neutro.
- Amarillo-verde para el conductor de tierra y protección.
- Marrón, negro y gris para los conductores activos o fases.

Artículo 15. Profundidad de las cimentaciones.

Dada la naturaleza de la cimentación, las cotas de profundidad que consten en el Proyecto no son, sino un dato aproximado que puede confirmarse o modificarse totalmente o parcial según la naturaleza del terreno, cambio que el Contratista, deberá asumir sin modificar el importe que resulte.

2. Condiciones que deben satisfacer los materiales.

Condiciones generales

Todos los materiales empleados deberán reunir las características que para cada uno de ellos se especifican a continuación.

Será la Dirección Facultativa quien compruebe que los materiales utilizados cumplan estos requisitos, reservándose el derecho de ordenar que sean retirados, demolidos o reemplazados los materiales, productos, elementos, etc. que a su juicio perjudiquen en cualquier grado el aspecto, seguridad o bondad de la obra.



Artículo 16. Aguas.

El Contratista deberá procurar a su costa el agua que sea necesaria para las obras de construcción que deberán reunir todas las especificaciones que se establecen en la instrucción EHE-98 especialmente la que se refiere a pH, sustancias totales disueltas, contenidos en sulfatos expresados en ion SO₄, contenido en ion cloro y sustancias solubles en éter.

Artículo 17. Áridos.

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad de morteros y hormigones. En todo caso deberán cumplir las prescripciones establecidas en la instrucción EHE-98.

Artículo 18. Cementos.

Deberán reunir las condiciones que se especifican en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos (RC-97). Se utilizará cemento Portland P-350.

En cuanto a suministro y almacenamiento, el cemento deberá recibirse en obra en los mismos envases cerrados en que fue expuesto en fábrica y se almacenará en lugar ventilado y defendido tanto de la intemperie como de la humedad de suelos y paredes, cumpliendo además todas las recomendaciones que se establezcan en la instrucción EHE-98.

Se someterá a todas las pruebas y requisitos que ordene el Director de Obra, siendo de cuenta del Contratista los gastos a los que den lugar la realización de las citadas pruebas.

El Director de la Obra se reservará el privilegio de rechazar todo el pedido de cemento, que aunque en principio hubiese sido aceptado, hubiese perdido las condiciones exigidas en el Pliego Oficial, como consecuencia de la falta de cuidado en su conservación y haber adquirido humedad durante su almacenaje.

Artículo 19. Morteros y hormigones.

Se emplearán los tipos de mortero y hormigones que figuran en el documento del presupuesto, caracterizados por su dosificación de aglomerantes y su destino en obra y los materiales que lo constituyen deberán cumplir las condiciones que se exigen en este Pliego.

Las tolerancias de las dosificaciones de los hormigones, serán las que figuran en la instrucción vigente de obras de hormigón. Se prepararán bien a mano sobre superficies impermeables y lisas, o bien a máquina, debiendo tenerse en cuenta lo prescrito en la citada instrucción.

La dosificación de áridos y agua que figuran en el documento de presupuesto, podrán ser modificadas por el Director de Obra, con objeto de obtener las compacidades y resistencias adecuadas sin que ello pueda variar el precio de cada tipo de mortero y hormigón.



Artículo 20. Materiales no especificados.

Todos los materiales que, encontrando en la obra no se determinen específicamente en este Pliego de Condiciones o en los Pliegos Particulares Correspondientes, reunirán las condiciones de bondad necesarias y antes de ser colocados en obra, serán reconocidos por el Director de obra, quedando a su juicio el hacer uso de la facultad de desecharlos.

Artículo 21. Control de materiales.

El Contratista queda obligado en todo momento a facilitar al Director de las Obra, muestras de los diferentes materiales que vayan a emplearse en la obra, para que éste resuelva si procede o no su empleo. A este respecto el Director de obra podrá someter todos los materiales a las pruebas o análisis que estime oportunas, bien sea a pie de obra o en laboratorio.

Si el resultado de las pruebas no es satisfactorio, se desechará la partida completa o el número de unidades que no reúnan las debidas condiciones. Serán de cuenta del Contratista todos los gastos de cualquier tipo a que den lugar estos ensayos, reservándose, el Director de obra Director, la facultad de interpretar y decidir sobre los mismos.

Artículo 22. Pruebas y ensayos de materiales.

Todos los materiales a que este capítulo se refiere podrán ser sometidos a los análisis o pruebas, por cuenta de la contrata, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección de las obras, bien entendido que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

Artículo 23. Materiales no consignados en proyecto.

Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias, a juicio de la Dirección Facultativa no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.

3. Derechos y deberes del contratista.

Artículo 24. Verificación de los documentos de proyecto.

Antes de empezar las obras, el Contratista indicará por escrito que la documentación aportada le permite comprender la totalidad de la obra contratada, o en caso contrario, solicitará las aclaraciones correspondientes.



Artículo 25. Plan de Seguridad y Salud.

El Contratista, una vez analizado el Proyecto de ejecución que contenga, si es necesario, Estudio de Seguridad y Salud o bien, el Estudio Básico de Seguridad y Salud, presentará el Plan de Seguridad y Salud en la obra, para que lo apruebe el técnico que asuma las funciones de Coordinador de Seguridad y Salud durante la Ejecución de la Obra.

Artículo 26. Proyecto de control de calidad.

El Contratista tendrá a su disposición el proyecto de control de calidad, si fuera necesario para la obra, en el que se especificaran las características y los requisitos que deberán cumplir los materiales y unidades de obra, y los criterios para la recepción de los materiales, según estén avalados o no por sellos o marcas de calidad, ensayos, análisis y pruebas a realizar, determinación de lotes y otros parámetros definidos en el Proyecto por el Proyectista o en la Obra por el Director de la Ejecución de la Obra.

Artículo 27. Oficina en la obra.

El Contratista habilitará en la obra una oficina en la que, como mínimo, habrá una mesa o un espacio suficiente para que se puedan desplegar y consultar los planos. En ésta oficina, el Contratista tendrá siempre a disposición de la Dirección de la Obra:

- El Proyecto de ejecución completo, incluidos los complementos que puedan redactar.
- El Director de Obra.
- La Licencia de Obras.
- El Libro de Órdenes y asistencias.
- El Libro de Incidencias.
- El Libro de Subcontratación.
- El Plan de Seguridad y Salud.
- El Proyecto de control de calidad y su libro de registro, si hubiera.
- La normativa de seguridad y salud.
- La documentación de los seguros suscritos por el Contratista

Artículo 28. Representación del contratista. Jefe de Obra.

El Contratista ha de comunicar a la Propiedad la persona designada como representante de su obra, el cual tendrá el carácter de Jefe de Obra, que tendrá suficiente nivel técnico y dedicación plena. El Jefe de Obra tendrá facultades para representar al Contratista y adoptar en todo momento las decisiones que correspondan a la Contrata.



Cuando la importancia de las obras lo aconseje, y así se consigne en el Pliego de Prescripciones Administrativas, el representante del Contratista será un facultativo de grado superior o grado medio, según los casos.

Artículo 29. Presencia del contratista en la obra.

El Jefe de Obra, por si mismo o por medio de sus técnicos o encargados, estará presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de la Obra y al Director de la Ejecución de la Obra, en las visitas que hagan a las obras, poniendo a su disposición para practicar los reconocimientos que se consideren convenientes y suministrándoles los datos necesarios para la comprobación de las mediciones y de las liquidaciones.

El Jefe de Obra no podrá estar ausente, sin el consentimiento de la Dirección Facultativa, y deberá de notificar que persona le representará en todas las funciones durante su ausencia.

Cuando no se efectúe la notificación anterior, se consideraran válidas las notificaciones que se efectúen a la persona de mayor categoría técnica dependientes de la Contrata que intervenga en las obras o, en ausencia de ellas, las depositadas en la residencia.

Artículo 30. Obras sin prescripciones.

En la ejecución de trabajos de las obras para los cuales no existen prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego ni en el resto de documentación del Proyecto, el Contratista se atenderá, en primer lugar, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción.

Artículo 31. Trabajos no estipulados expresamente.

Es obligación del Contratista ejecutar los trabajos que sean necesarios para la correcta ejecución y aspecto de las obras, aunque no esté expresamente determinado en los documentos del Proyecto, y siempre que lo disponga el Director de Obra, dentro de los límites de posibilidades que el presupuesto habilite para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

En caso de ausencia de especificaciones en el Pliego de Condiciones Particulares, se entenderá que se requiere una modificación del Proyecto con consentimiento expreso de la Propiedad, cualquier variación que suponga un incremento de precios de alguna unidad de obra por encima del 20 % del totalo del presupuesto total por encima del 10%.

Artículo 32. Libro de subcontratación.

El Contratista ha de disponer de Libro de Subcontratación y conservarlo en la obra. En este libro, el Contratista ha de reflejar, por orden cronológico desde el inicio de los trabajos, y con anterioridad al inicio de estos, todas y cada una de las subcontrataciones realizadas en la obra con empresas



subcontratistas y trabajadores autónomos, con la información que fija la Ley de la Subcontratación en el Sector de la Construcción.

Cada nueva subcontratación deberá de ser comunicada por el Subcontratista al Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de las obras y a los representantes de los trabajadores de las diferentes empresas que figuren en el Libro de Subcontratación.

Artículo 33. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.

La interpretación técnica de los documentos del Proyecto corresponde al Director de Obra. El Contratista está obligado a someterse a cualquier duda, aclaración o contradicción que surja durante la ejecución de la obra a causa del Proyecto o de circunstancias ajenas, siempre con anticipación suficiente en función de la importancia del asunto. El Contratista se hará responsable de cualquier error de la ejecución motivada por la omisión de ésta obligación y consecuentemente deberá rehacer, a su cargo, los trabajos que correspondan a la correcta interpretación del Proyecto.

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos básicos del Pliego de Condiciones o indicaciones de los planos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al Contratista, que está obligado a devolver los originales o las copias firmando el apartado de informado que figurará a pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba de la Dirección Facultativa.

Cualquier reclamación del Contratista en contra de las disposiciones tomadas por los miembros de la Dirección de Obra se deberán dirigir, en el plazo de 3 días, contra quien la haya dictado, el cual deberá dar al Contratista el correspondiente justificante de recepción, si el Contratista así lo solicita.

Artículo 34. Personal en la obra.

El Contratista destinará a la obra la cantidad de trabajadores, de reconocida aptitud y experiencia, que sean necesarios por el volumen y tipología de los trabajos a ejecutar. El Contratista deberá cumplir con los requisitos de calidad en la ocupación para las empresas contratistas y subcontratistas que se indiquen en el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la Subcontratación en el Sector de la Construcción.

El hecho de incumplir esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la topología de los trabajos, facultará al Director de la Obra para ordenar el paro de las obras sin ningún derecho a reclamación, hasta que se haya solucionado la deficiencia.

Artículo 35. Faltas de personal en la obra.

El Contratista está obligado a separar de la obra aquel personal que, a criterio de la Dirección Facultativa, no cumpla con sus obligaciones laborales, trabaje defectuosamente por falta de conocimientos o actúe de mala fe.



En consecuencia, el Contratista será el único responsable y no tendrá derecho a ninguna indemnización por el aumento del importe que pueda ocasionarle, ni por las maniobras equivocadas que cometa durante la construcción. También será responsable, frente los tribunales de los accidentes laborales, que por inexperiencia o negligencia se produjeran y se atenderá a las disposiciones de la Policía y a las leyes comunas sobre esta materia.

El Contratista tiene la obligación de cumplir todas las órdenes verbales o escritas que emita la Dirección Facultativa. Si a criterio del Director de Obra hubiera alguna parte de la obra mal ejecutada, el Contratista tendrá la obligación de derribarla y hacerla nueva las veces que sean necesarias hasta que consigan la aprobación del Director de Obra, sin que tengan derecho a ninguna indemnización, incluso si las malas condiciones de las obras se hubieran percibido después de la recepción.

El Contratista cumplirá con todas las leyes, ordenanzas, regulaciones emanadas de las Autoridades Públicas relacionadas con la ejecución de la obra y lo notificará a la Dirección Facultativa. Si el Contratista observa que alguno de los documentos de Contrata está en contradicción con alguno de estos aspectos, lo notificará rápidamente a la Dirección Facultativa para que proceda a la corrección.

Artículo 36. Desperfectos en las propiedades vecinas.

Si el Contratista ocasionara algún desperfecto en las propiedades vecinas, deberá restaurarlas y dejarlas en el estado que tienen en el inicio de la obra, haciéndose cargo del importe.

Éste adoptará todas las medidas que crea necesarias para evitar caídas de operarios, desprendimientos de herramientas y materiales que puedan herir o matar alguna persona o animal.

Artículo 37. Accesos y entorno de la obra.

El Contratista dispondrá por su cuenta de los accesos a la obra, el cierre de esta y su mantenimiento durante la ejecución de la obra, pudiendo exigir su modificación o mejora de la Dirección Facultativa.

Artículo 38. Limpieza y conservación de las obras.

Es obligación del Contratista mantener limpias las obras y sus alrededores, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra tenga un buen aspecto. Si el Contratista no lo cumpliera, la Propiedad puede hacerlo a cargo de este.

También tiene el deber de conservar en perfecto estado las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la recepción por parte de la Propiedad y corriendo a su cargo los gastos que se deriven.



Artículo 39. Medios auxiliares.

Irán a cuenta del Contratista todos los medios y máquinas auxiliares que sean necesarios para la correcta ejecución de la obra, el mantenimiento de un buen aspecto y para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la normativa de protección laboral vigente.

4. Régimen de organización de las obras.

Artículo 40. Programa de trabajos.

El programa de trabajos, caso de ser contractualmente exigible, deberá proporcionar la estimación en días calendario de los tiempos de ejecución de las actividades fundamentales en que se desglosan las obras, referidas a las distintas partes del ámbito en que estas se desarrollan.

El programa podrá ser objeto de revisión cuando sea requerido por la Dirección Técnica, si esta considera que se han producido circunstancias que así lo exijan. El Contratista adoptará las indicaciones que le transmita la Dirección Técnica, tanto en la redacción del programa inicial como en la de las sucesivas revisiones.

Artículo 41. Inicio y ritmo de ejecución de los trabajos.

El Contratista empezará las obras con el plazo fijado en el Pliego de Condiciones particulares, desarrollándolas de la forma necesaria para que los trabajos se ejecuten dentro de los plazos parciales fijados y, en consecuencia, la ejecución total se efectúe dentro del plazo exigido en el contrato. Éste ha de comunicar, obligatoriamente y por escrito, a la Dirección de Obra la fecha de inicio de los trabajos con un mínimo de 3 días de antelación.

El Director de Obra indicará en el Libro de Órdenes y Asistencias los días con inclemencia atmosférica o con otras circunstancias de fuerza mayor que comporten un período de inactividad que puede afectar los plazos de ejecución. El incumplimiento por parte del Contratista de los plazos parciales y finales, fijados en el programa de obra, faculta a la Propiedad la aplicación de las penalizaciones previstas en el presente Pliego de Condiciones.

En el plan de trabajo para el Contratista se consignará, a efectos del plazo parcial, las unidades de obra a realizar dentro de cada plazo, al igual que la maquinaria y medios auxiliares que el Contratista se comprometa a utilizar en la ejecución de los trabajos. Una vez aprobado el plan, esta maquinaria será adscrita de manera fija y permitida en la obra y no se podrá retirar sin la autorización expresa de la Dirección Facultativa. Por tanto, es necesario solicitar la correspondiente autorización para retirar una máquina adscrita a la obra aunque en este momento esté inactiva o no se prevea su utilización más adelante.



De la misma forma, el Contratista deberá aumentar los medios auxiliares propuestos y el personal técnico siempre que el Director de Obra compruebe que es necesario para el desarrollo de las obras en el plazo previsto. Si en el transcurso de los trabajos alguna máquina se averiara, el contratista tiene la obligación de arreglarla enseguida o sustituirla por otra de características similares. Las averías mecánicas no supondrán prórrogas ni demoras en el cumplimiento de los plazos establecidos.

Artículo 42. Facilidades para otros contratistas.

De acuerdo con lo que resuelva la Dirección de Obra el Contratista general deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encargados al resto de contratistas que intervengan en la Obra. Todo esto sin perjuicio de las compensaciones económicas que pueda haber entre contratistas por utilización de medios auxiliares o suministro de energía u otros conceptos. En el caso de litigio los contratistas acatarán lo que resuelva la Dirección de Obra.

Artículo 43. Ampliaciones del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor.

Cuando sea necesario ampliar el Proyecto, no se interrumpirán los trabajos sino que se continuarán según las instrucciones dadas por el Director de Obra mientras se formula o tramita el proyecto reformado.

El contratista está obligado a realizar con su personal y materiales lo que la Dirección de Obra disponga para apuntalamientos, derribos, recalces, o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, el importe del cual le será consignado en el presupuesto adicional o abonado directamente de acuerdo con lo que se acuerde.

Artículo 44. Prórroga por causa de fuerza mayor.

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del Contratista, este no pudiera comenzar las obras, y hubiera que suspenderlas, o no le fuera posible acabarlas, en los plazos prefijados, se le otorgaría una prórroga proporcionada por el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del Director de Obra. El contratista deberá exponer, en escrito dirigido al Director de Obra, la causa que impide la ejecución de los trabajos y el retraso que comportaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga solicitada.

Artículo 45. Responsabilidad de la dirección de obra en el retraso de la ejecución dela obra.

El Contratista no se podrá excusar de no haber completado los plazos de ejecución estipulados, alegando como causa la falta de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, excepto, si habiéndolos pedido por escrito no se le hayan proporcionado.



Artículo 46. Obras defectuosas.

La Dirección Facultativa podrá aceptar o rechazar las unidades de obra que no se ajusten al que se especifica en el Proyecto o en el Pliego de Condiciones, ya sea por una mala ejecución o por una deficiente calidad de los materiales o aparatos utilizados. En el primer caso, teniendo en cuenta las diferencias, el Director de Obra fijará un precio justo, que el Contratista está obligado a aceptar. En caso de rechazo, se reconstruirá a cuenta del Contratista la parte mal ejecutada sin que este hecho sea motivo de reclamación económica o de ampliación del plazo de ejecución.

Artículo 47. Obras y vicios ocultos.

Si el Director de Obra tuviera razones fundamentadas para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier momento, y antes de la recepción, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos de la demolición y de la reconstrucción que se ocasionen, serán a cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente. En caso contrario, estos gastos irán a cargo del propietario.

Artículo 48. Materiales no utilizables o defectuosos.

No se procederá a la utilización y colocación de materiales y aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por el Director de la Ejecución de la Obra, en los términos que prescribe el Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.

El Contratista deberá disponer de las muestras y modelos necesarios, para efectuar las comprobaciones, los ensayos o las pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida, el Director de Ejecución de la Obra dará la orden al Contratista para que los remplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas o, a falta de estas, a las órdenes del Director de Obra.

5. Recepciones y Liquidaciones.

Artículo 49. Pruebas antes de la recepción.

Antes de tener lugar la recepción, y siempre que sea posible, se someterán todas las obras a pruebas de resistencia, estabilidad e impermeabilidad de acuerdo con el programa de la Dirección Facultativa. Los asientos, accidentes, averías o daños que se produzcan en estas pruebas a causa de una construcción deficiente o por falta de precaución, serán a cargo del Contratista, único responsable de las mismas.



Artículo 50. Recepción de las obras.

La recepción de las obras tendrá lugar dentro de los 30 días siguientes a la fecha de finalización de las mismas, acreditada en el certificado final de obra.

Para proceder a la recepción de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, de la Dirección Facultativa y del Contratista o su representante debidamente autorizado. Después de realizar un escrupuloso reconocimiento y si la obra estuviera de acuerdo con las condiciones de este Pliego, se levantará un acta de recepción por duplicado, a la que se adjuntarán los documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la Propiedad y la otra se entregará al Contratista.

- Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas según las condiciones establecidas, se consideraran recibidas sin reservas.
- Si las obras presentan defectos leves y alegables, se consideraran recibidas con reservas.

Este hecho se hará constar explícitamente en el acta de recepción, en la que se especificaran las instrucciones del Director de Obra al Contratista para solucionar los defectos observados y se fijará un plazo para alegarlos. Una vez vencido este plazo, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, con la finalidad de proceder a la recepción de la obra. Si en el nuevo reconocimiento resultará que aún hay los defectos identificados previamente, se declarará rescindida la contrata con la pérdida de fianza, a no ser que la Propiedad crea oportuno conceder un nuevo plazo.

Artículo 51. Documentación final.

El Director de Obra, asistido por el Contratista y los técnicos que hayan intervenido en la obra, redactará la documentación final de la obra, que se facilitará a la Propiedad. De acuerdo con el Código Técnico de la Edificación, esta documentación estará constituida por la documentación del seguimiento de la obra, la documentación de control de la obra y el certificado final de obra.

Se adjuntará al acta de recepción, con la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como las instrucciones de uso y mantenimiento de la edificación y sus instalaciones. Esta documentación constituirá el libro del edificio.

Artículo 52. Plazo de garantía.

Desde la fecha en que se realiza la recepción de las obras, se empieza a contar el plazo de garantía, que será de un año. Durante este período, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables a defectos y vicios ocultos.

La conservación y la vigilancia de las obras durante el plazo de garantía irán a cuenta del Contratista, sin que esta circunstancia haga modificar las otras obligaciones i el plazo de garantía.

Si el edificio fuera ocupado o utilizado antes de finalizar el plazo de garantía, irán a cargo de la



Propiedad las limpiezas y reparaciones causadas por el uso y a cargo del Contratista las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones.

Artículo 53. Conservación de los trabajos con contrata rescindida.

Si el contrato de ejecución se rescindiera, el Contratista está obligado a retirar, en el plazo que se fije en el Pliego de Condiciones particulares, toda la maquinaria, material y medios auxiliares, a resolver los subcontratos que tuviera concertados y a dejar la obra en condiciones de ser retomada por otra empresa.

Las obras y trabajos acabados por completo se recibirán con los tramites fijados en este Pliego de Condiciones, momento en que empezará a contar el plazo de garantía. Además de por no cumplir los objetivos, otros motivos por los que pudiera quedar rescindida la contrata son: por fallecimiento o quiebra del Contratista, a no ser que los herederos o los síndicos de la quiebra ofrezcan llevarla a cabo, bajo las condiciones estipuladas en la misma. La Propiedad podrá admitir o desechar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquellos derechos a indemnización alguna.

Artículo 54. Carácter provisional de las liquidaciones parciales.

Las liquidaciones parciales son documentos provisionales ya que están sujetos a las certificaciones y modificaciones que resulten de la liquidación final, por lo que no suponen la aprobación ni recepción de las unidades de obra que comprenden.

La Propiedad se reserva, en todo momento y especialmente al hacerse efectivas las liquidaciones parciales, el derecho a comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de nóminas y materiales invertidos en la obra. A tal efecto, el Contratista deberá de presentar los comprobantes que se le exijan.

Artículo 55. Medición definitiva de los trabajos.

Una vez recibidas las obras, el Director de Ejecución de la Obra efectuará su medición definitiva, para lo que contará con la asistencia del Contratista o de su representante. Se extenderá la correspondiente certificación por triplicado la cual, una vez aprobada por Director de Obra, servirá para que la Propiedad abone el saldo resultante, descontando la cantidad retenida en concepto de fianza.

Artículo 56. Liquidación final.

Una vez acabadas las obras, se realizará la liquidación final que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del Proyecto, siempre que su ejecución y precios hayan sido aprobados previamente por la Dirección de Obra. El Contratista no tendrá derecho a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuvieran autorizados por escrito por la Propiedad, con la aprobación del Director de Obra.



Artículo 57. Liquidación en caso de rescisión.

En caso de rescisión del contrato, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo con las partes, y que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de rescisión.

6. Facultades de la dirección de obra.

Artículo 58. Facultades de la dirección de obra.

A demás de todas las facultades particulares, que corresponden al Director de Obra y que se han especificado en los artículos anteriores, es misión específica suya, efectuar la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen en las obras, directamente o por medio de sus representantes técnicos, los cuales tendrán autoridad técnica legal, completa e indiscutible, hasta en aquello no previsto específicamente en el presente Pliego de Condiciones, sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anexas se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al Contratista, si considera que adoptar esta resolución es útil y necesario para la correcta marcha de la obra.

Artículo 59. Documentación a facilitar por el Director de obra autor del proyecto.

Efectuada la adjudicación, el Contratista recibirá un ejemplar completo del proyecto libre de gastos, así como cualquier documentación complementaria que se produzca durante el transcurso de la obra.

Todo ejemplar adicional que el Contratista solicite, le será facilitado previo abono del importe. Si la nueva documentación o complementaria, produce modificaciones en los documentos originales, el Contratista deberá proceder a anular los anteriores y retirarlos de la obra para evitar confusiones.

Los diversos documentos o anejos al proyecto se completan entre sí de tal manera, que entre todos definen totalmente las diversas unidades y trabajos en obra. Se entienden comprendidos los trabajos accesorios o auxiliares, que aún no indicados o planos o documentos, sean necesarios a juicio dela Dirección Facultativa, para la ejecución de una unidad de obra de calidad irreprochable.

En caso de discrepancia entre los diferentes documentos, respecto a las especificaciones de una unidad de obra, se tomará en todo caso la de mayor calidad, siempre a juicio de la Dirección Facultativa.



Artículo 60. Libro de órdenes.

En la oficina de la obra existirá un libro de órdenes donde se anotarán las que el Director de obra dicte.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho libro es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones. Cada orden deberá ser extendida y firmada por el Director de Obra y encargado y el enterado suscrito con la firma del Contratista.

Artículo 61. Copias de documentos.

El Contratista tiene derecho a sacar copias, a su costa, de los planos, Pliegos de Condiciones, presupuestos y demás documentos, de la contrata que podrán ser autorizados por el por el Director de la Obra a instancias de aquel.

Artículo 62. Libro de Incidencias.

Bajo la responsabilidad del técnico que asuma las funciones de Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de las obras, existirá en la obra un Libro de Incidencias a disposición de la dirección Facultativa, Contratistas, Subcontratistas, trabajadores autónomos, representantes de los trabajadores y personas u organismos competentes en la materia de seguridad y salud en el trabajo, los cuales podrán realizar anotaciones en dicho Libro. Efectuada cualquier anotación, el Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución o cuando no sea necesario la designación de Coordinador, la Dirección Facultativa, lo deberá notificar al Contratista afectado y a los representantes de sus trabajadores. Si la anotación se refiere a cualquier incumplimiento de las advertencias o observaciones previamente anotadas, o bien si existe algún riesgo grave e inminente para la seguridad de los trabajadores que obligue a parar los trabajos, se comunicará a la autoridad laboral competente en un plazo de 24 horas.



CAPÍTULO IV:

DISPOSICIONES ECONÓMICAS

Base fundamental:

Como base fundamental de las Disposiciones Económicas del Pliego de Condiciones Administrativas, se establece el principio de que el Contratista ha de percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos hayan sido llevados a cabo de acuerdo al Proyecto y condiciones generales y particulares que rijan la construcción del edificio y obra anexa contratada.

1. Garantías de Cumplimiento y Fianza.

Artículo 63. Garantías.

El Director de Obra podrá exigir al Contratista la presentación de referencias de otras entidades o personas para enterarse si este reúne todas las condiciones requeridas para el correcto cumplimiento del contrato. En el caso de ser solicitadas, el Contratista deberá de presentar estas referencias antes de la firma del contrato.

Artículo 64. Fianza.

La fianza exigida al Contratista para garantizar el cumplimiento del contrato se establecerá previamente entre el Director de la obra y el Contratista entre una de las siguientes:

- a)** Depósito previo, en metálico, valores o aval bancario, del 10% del presupuesto de la obra contratada.
- b)** Descuento del 10% aplicados sobre el importe de cada certificación abonada al
- c)** Contratista.
- d)** Depósito del 5% del presupuesto de la obra contratada, más deducciones del 5% aplicadas al importe de cada certificación abonada al Contratista.

Artículo 65. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.

Si el Contratista se negara a hacer, por cuenta propia, los trabajos necesarios para acabar la obra en las condiciones contratadas, el Director de la Obra, en nombre y representación del Propietario, las mandará ejecutar a un tercero o directamente por la administración y abonará él su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a las que tenga derecho el Propietario en el caso de que



la fianza no cubriera el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran admisibles.

Artículo 66. Devolución de la fianza.

La fianza depositada será retornada al Contratista en un plazo no superior a 15 días, una vez firmada el acta de recepción de la obra, siempre y cuando el Contratista acredite que no existe ninguna reclamación en contra suya por daños y perjuicios que sean de su responsabilidad por deudas de jornales o materiales o por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo o por otras causas.

2. Precios y Revisiones

Artículo 67. Gastos.

Irán a cuenta del Contratista el pago de las nóminas, materiales y herramientas, y de todos los gastos que se originen hasta la finalización y entrega de las obras.

No habrá ninguna alteración de la calidad estipulada, en concepto de ajuste de las obras, aunque durante la realización se produzcan modificaciones de los precios de los materiales o jornales, siempre que por disposición oficial no representen un exceso superior al 5% del importe de la obra, pendiente de realizar entonces.

Artículo 68. Gastos ocasionados por análisis, pruebas y ensayos.

Todos los gastos originados por los análisis, pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras serán a cargo del Contratista.

Además, todo ensayo que no haya sido satisfactorio o que no ofrezca bastantes garantías, se deberá repetir, a su cuenta.

Artículo 69. Obras de mejora o ampliación.

Si la modificación presentara una ampliación o mejora de las obras que hiciera cambiar la cantidad del presupuesto, el Contratista está obligado a ejecutarla con la baja proporcional y a su ejecución, siempre que la valoración se ordene por escrito y vaya con la aprobación del Director de la Obra.

Artículo 70. Precios unitarios.

En los precios unitarios correspondientes se incluirán los costes directos, los costes indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.



Artículo 71. Precios contradictorios.

Si ocurriese algún caso excepcional o imprevisto por el que fuese necesaria la fijación de precios contradictorios, éstos deberán fijarse de mutuo acuerdo entre la Dirección de Obra y la Contrata, antes de que la obra se haya ejecutado. Si no fuera posible llegar a un acuerdo, el Director de Obra propondrá a la Propiedad que adopte la resolución que crea conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Contratista o bien, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por la administración o por otro adjudicatario diferente.

Si por cualquier causa la obra hubiese sido ejecutada ya, se entiende que el Contratista acepta los precios que fijó el Director de Obra.

Artículo 72. Revisión de precios.

Cuando las obras se contraten a cuenta y riesgo, no se admitirá la revisión de los precios contratados. Aunque, en períodos en el que haya incrementos importantes en los precios de las nóminas y sus cargas sociales, o en la de los materiales y transportes, se admitirá que se puedan revisar los precios contratados.

Tan pronto tenga lugar cualquier aumento de precios, el Contratista puede solicitar al Propietario una revisión de precios al alza. Las dos partes acordarán el nuevo precio unitario antes de iniciar o de continuar la ejecución de la unidad de obra donde intervenga el elemento el precio en el mercado del cual ha aumentado, así como la fecha a partir de la cual se aplicará el precio revisado y elevado, para lo que se tendrá en cuenta, cuando sea necesario, la recogida de materiales de obra, en el caso de que estuvieran totalmente o parcial abonados por el Propietario.

Si la Propiedad o el Director de Obra en su nombre no estuviera de acuerdo con los nuevos precios que el Contratista percibe como normales en el mercado, el Director de Obra tendrá la facultad de proponer al Contratista, y este tiene la obligación de aceptarlos.

Si se produce una bajada de precios, el Director de Obra concertará entre Propiedad y Contratista la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad con la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados.

Artículo 73. Reclamaciones de aumento de precios.

Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiera hecho la reclamación u observación, no podrá, bajo pretexto de error u omisión, reclamar un aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras.

Tampoco se admitirá ninguna reclamación del Contratista fundamentada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, ya que este documento no sirve de base a la Contratación.



Artículo 74. Recogida de materiales.

El Contratista queda obligado a ejecutar la recogida de materiales o maquinaria que la Propiedad ordene por escrito.

Los materiales recogidos, una vez abonados por la Propiedad, son propiedad de este, pero el Contratista se responsabiliza de su custodia y conservación.

3. Mediciones y Valoraciones de los Trabajos.

Artículo 75. Mediciones de la obra.

La medición de las obras concluidas se hará según el tipo de unidad fijada en el correspondiente presupuesto.

Artículo 76. Mediciones parciales y totales.

Las mediciones parciales se verificaran en presencia del Contratista, las mediciones finales se harán cuando se acabe la obra, con la asistencia del Contratista.

Se redactará un acta de verificación de las mediciones parciales y totales en que se hará constar la conformidad del Contratista o la de su representante. En caso de disconformidad, el Contratista expondrá resumidamente y con reserva de ampliarlas, sus alegaciones.

Las mediciones totales o parciales corresponderán a las unidades de obra completamente acabadas, de manera que el Contratista no tendrá en cuenta las diferencias que resulten entre las medidas reales y las del Proyecto.

Artículo 77. Elementos comprendidos en el presupuesto.

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el Presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de todos los elementos referidos a los medios auxiliares de la construcción, así como todo tipo de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que se hayan de hacer para cualquier concepto. No se abonará al Contratista ningún importe al respeto.

Los precios de cada unidad incluyen también todos los materiales, accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra completamente acabada.

Artículo 78. Valoración de las obras.

La valoración se deberá obtener aplicando a las diversas unidades de obra el precio que tuvieran asignado en el Presupuesto, añadiendo los porcentajes correspondientes a imprevistos y al beneficio industrial, y descontando el porcentaje correspondiente a la baja de la subasta hecha por el Contratista.



Artículo 79. Valoración de obras incompletas.

Cuando por rescisión u otras causas fuera necesario valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que se pueda pretender hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola de manera diferente a la fijada en los cuadros de descomposición de precios indicados en el Cuadro de Precios.

En ningún caso el Contratista tendrá derecho a ninguna reclamación, fundada en la insuficiencia, error u omisión de los precios de los cuadros de precios, o en omisiones de cualquiera de los elementos que constituyen los precios referidos. El Contratista tampoco podrá reclamar alegando que la obra ejecutada es mayor o menor que la proyectada.

Artículo 80. Otras obras.

Los precios de las unidades de obra que se ejecuten por orden del Director de Obra y que no estaban incluidos en el Cuadro de Precios, se valorarán conjuntamente entre el Director de Obra y el Contratista, extendiéndose por duplicado el acta correspondiente. Si no se llegara a ningún acuerdo, el Director de Obra podrá hacer ejecutar estas unidades de la manera que crea conveniente.

La fijación del precio se deberá acordar antes que se ejecute la obra afectada, pero si por cualquier motivo esta ya se hubiera ejecutado, el Contratista estará obligado a aceptar el preciodeterminado por el Director de Obra.

Artículo 81. Valoración de unidades no contempladas en este Pliego.

La valoración de las obras no contempladas en este Pliego se realizará aplicando a cada una de ellas la medida que se considere más apropiada, en la forma y condiciones que el Director de Obra considere justas, multiplicando el resultado final por su precio correspondiente.

Artículo 82. Errores en el presupuesto.

El Contratista ha de haber estudiado detalladamente los documentos del Proyecto, de manera que si no ha hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones que afecten a las mediciones y a los precios, no tendrá derecho a ninguna reclamación si la obra se realiza de acuerdo con el Proyecto y contiene más unidades de obra que las previstas. Si contrariamente, el número de unidades de obra fuera inferior, se descontarán del Presupuesto.

Artículo 83. Resolución respecto a las reclamaciones del Contratista.

El Director de Obra remitirá, con la pertinente certificación, las reclamaciones valoradas en el artículo anterior, con las que hubiera hecho el Contratista como reclamación, acompañándolo de un informe. La Propiedad aceptará o desestimarás estas reclamaciones, según lo crea pertinente en justicia y después de reconocer las obras, si se creyera conveniente.



Artículo 84. Pago de las obras.

El Propietario efectuará los pagos en los plazos previamente establecidos. El importe de los pagos corresponderá al de las Certificaciones de obra expedidas por el Director de Obra.

Artículo 85. Suspensión de los trabajos.

El Propietario se reserva el derecho de suspender las obras, y de abonar al Contratista los trabajos realizados, los materiales acumulados realmente necesarios para la obra hasta la fecha de suspensión. En ningún caso podrá el Contratista, alegando retrasos en los pagos, suspender los trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo del que les corresponda, según el plazo en que deben acabarse.

Artículo 86. Mejoras de obras entregadas ejecutadas.

Cuando el Contratista, incluso con autorización del Director de Obra, utilice materiales de mayor calidad, tamaño o precio, o bien introduzca modificaciones en la obra sin que le hayan sido pedidas, o cualquier otra modificación que a criterio del Director de Obra sea beneficiosa, sólo tendrá derecho a que se le pague lo que le corresponda en el caso de haber construido la obra con estricta sujeción a aquello proyectado y contratado.

4. Indemnizaciones.

Artículo 87. Indemnizaciones por retraso en la finalización de las obras.

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por retraso no justificado en el plazo de finalización de las obras contratadas, será de una cantidad fijada por cada día laborable de retraso del día de finalización de las obras fijado en el calendario de obra.

Esta cantidad se acordará entre las partes contratantes antes de la firma del contrato, pero no será inferior al 4,5% del importe total de los trabajos contratados. Estas cantidades se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

Artículo 88. Indemnizaciones por retraso de los pagos.

Si la Propiedad no efectúa los pagos de obra ejecutada dentro del mes siguiente al plazo convenido, el Contratista tendrá derecho a percibir el pago de un 4,5% anual en concepto de interés de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la nombrada certificación.

Si transcurridos dos meses después de este primer plazo de un mes el pago no se hubiera hecho efectivo, el Contratista tiene derecho a la resolución del contrato, se procederá a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales recogidos, siempre que éste reúna las condiciones fijadas y que su cantidad no supere la necesaria para finalizar la obra contratada.



No obstante, se rechazará cualquier solicitud de rescisión de contrato fundamentada en retraso de pagos cuando el Contratista no justifique que en la fecha de la solicitud ha invertido en obra o en materiales recogidos admisibles la parte de presupuestos correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

Artículo 90. Renuncia.

El Contratista renuncia a la indemnización por el aumento que puedan sufrir los materiales o jornales especificados en los diversos documentos del Proyecto, aunque tiene derecho a pedir una revisión de precios como se especifica en el artículo 13 del Pliego de Cláusulas Administrativas.

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicios ocasionados en las obras, excepto en los casos de fuerza mayor. A efectos de este artículo, se consideran como daños de causa mayor únicamente los siguientes:

- a)** Incendios causados por descargas eléctricas atmosféricas.
- b)** Daños producidos por terremotos y sismos marinos.
- c)** Daños producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de ríos superiores a las que sean previsibles en el país, y, siempre que haya constancia inequívoca de que el Contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar los daños.
- d)** Los que provengan de movimientos de terrenos en que son construidas las obras.
- e)** Los destrozos ocasionados violentamente a mano armada, tiempo de guerra, movimientos populares o robos tumultuosos.

5. Varios.

Artículo 91. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra.

No se admitirán mejoras de obra, excepto cuando el Director de Obra haya ordenado por escrito la ejecución de nuevos trabajos o que mejoren la calidad de los trabajos contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el Contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obras en las unidades contratadas, excepto en el caso de error en las mediciones del Proyecto, o que el Director de Obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que las partes contratantes, antes de la ejecución o de firmar el contrato, acuerden por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos a utilizar y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.



Se seguirá el mismo criterio y procedimiento cuando el Director de Obra introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratadas.

Artículo 92. Unidades de obra defectuosa pero aceptable.

Cuando por cualquier motivo hubiera que valorar una obra defectuosa pero aceptable a criterio del Director de Obra, este determinará el precio un vez escuchado al Contratista, quién deberá de conformarse con la resolución de la Dirección Facultativa, excepto si, estando dentro del plazo de ejecución, prefieran derribar la obra y rehacerla de acuerdo con las condiciones, sin superar este plazo.

Artículo 93. Seguro de obras.

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada, durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción. La cantidad del seguro coincidirá, en todo momento, con el valor que tengan, por contrata, los objetos asegurados.

El importe abonado, en caso de siniestro, por la sociedad aseguradora se ingresará en cuenta, a nombre del Propietario, para que con cargo a este, se pague la obra que se construye a medida que esta se vaya ejecutando. El reintegro de esta cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción.

En ningún caso, excepto si hay conformidad expresa del Contratista patente en un documento público, el Propietario podrá disponer de este importe para usos ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada.

La infracción de lo expuesto anteriormente será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, pago completo de gastos, materiales recogidos, y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no le hayan estado abonados, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la compañía aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, los cuales serán valorados para tales efectos por el Director de Obra.

En las obras de reforma o reparación se fijará, previamente, la proporción de edificio que se ha de asegurar y su cuantía. Si no se prevé nada al respecto, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza del seguro, el Contratista los pondrá en conocimiento del propietario antes de contratarlos, con el objeto de conocer su previa conformidad o bien su rechazo.

Artículo 94. Documentación de obras ocultas.

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos al finalizar la ejecución, se levantarán planos precisos para que queden perfectamente definidos. Estos documentos se realizarán por



triplicado, entregándose uno al Director de Obra, otro al Contratista y el último a la Propiedad. Estos planos, que han de estar suficientemente definidos, se consideraran documentos indispensables e irrecusables para efectuar los medios.

Artículo 95. Conservación de la obra.

Si el contratista, aun siendo su obligación, se desentiende de la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso que el edificio no haya sido ocupado por la Propiedad antes de la recepción, el Director de Obra, en representación de la Propiedad, podrá disponer de todo lo que sea necesario para que se atenga a la custodia, limpieza y todo aquello que haga falta para una correcta conservación, pagándose los costes a costa de la Contrata.

Cuando el Contratista abandone el edificio, tanto por la finalización de las obras como por rescisión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que fije el Director de Obra.

Después de la recepción del edificio y en caso de que su conservación vaya a cargo del Contratista, no deberá haber más herramientas, utensilios o materiales que los indispensables para su custodia y limpieza y para los trabajos que se deban ejecutar. En todo caso, esté el edificio ocupado o no, el Contratista está obligado a revisar y reparar la obra durante el plazo indicado, procediendo en la forma prevista en el presente Pliego de Condiciones Económicas.

Artículo 96. Uso del Contratista del edificio o de bienes de la propiedad.

Cuando durante la ejecución de las obras el Contratista ocupe, con la necesaria y previa autorización de la Propiedad, edificios o haga uso de materiales o herramientas que pertenezcan al Propietario, tendrá la obligación de repararlos y conservarlos para poderlos dar, cuando acabe el contrato, en perfecto estado de conservación, substituyendo los que se hayan inutilizado, sin ningún derecho a indemnización por esta substitución ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que hayan utilizado.

En caso que al finalizar el contrato y dar el material, propiedades o edificaciones, el Contratista no haya completado con lo previsto en el párrafo anterior, lo hará la Propiedad a costa del Contratista y con cargo a la fianza.

Artículo 97. Pago de arbitrios.

El pago de impuestos y arbitrios en general que haya que efectuar durante el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista, si en las condiciones particulares del Proyecto no se estipula lo contrario. No obstante, se deberá reintegrar al contratista el importe de todos aquellos conceptos que el Director de Obra considere justos.



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR UBICADA EN MOTRIL,
GRANADA.**

**DOCUMENTO Nº4
PRESUPUESTO**





Índice de contenidos

CAPÍTULO 1 – OBRA CIVIL

CAPÍTULO 2 – OBRA MARINA

CAPÍTULO 3 – EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS



Presupuesto parcial nº 1 OBRA CIVIL

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
1.1.- ACTUACIONES PREVIAS					
1.1.1	m2	Desbroce y limpieza superficial de terreno de monte bajo, incluyendo arbustos, por medios mecánicos hasta una profundidad de 15 cm., con carga y transporte de la tierra vegetal y de los productos resultantes a vertedero.	25.000,000	2,23	55.750,00
1.1.2	m3	Excavación a cielo abierto, en terrenos disgregados, por medios manuales y mecánicos, con extracción de tierras a los bordes. Ç	50.000,000	5,41	270.500,00
Total 1.1.- 1001 ACTUACIONES PREVIAS:					326.250,00
1.2.- CONTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES					
1.2.1	m2	Construcción de nave para la instalación de los bastidores de ósmosis inversa con unas dimensiones de 25x25 m	625,000	46,76	29.225,00
1.2.2	m2	Construcción de un edificio para la instalación de diversos espacios para diferentes usos como oficina, aseos, almacén, laboratorio o caseta para la toma de muestras.	4.000,000	93,12	372.480,00
1.2.3	m2	Superficie de rodadura para el tránsito de vehículos, incluyendo una zona para el aparcamiento	2.700,000	31,82	85.914,00
Total 1.2.- 1002 CONTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES:					487.619,00
Total presupuesto parcial nº 1 OBRA CIVIL:					813.869,00

Presupuesto parcial nº 2 OBRA MARINA

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
2.1.- SISTEMA DE CAPTACIÓN					
2.1.1	m3	Dragado del fondo marino para el acondicionamiento del terreno para colocar las instalaciones de captación	3.000,000	1.311,47	3.934.410,00
2.1.2	uds	Durmientes de hormigón armado que soortan la tubería sobre el fondo marino cada 10 metros	90,000	222,74	20.046,60
2.1.3	m	Tubería de polietileno de alta densidad con un diámetro de 1000mm	900,000	778,94	701.046,00
2.1.4	uds	Suministro e instaación de torre de toma de 2 metros de diámetro y una altura de 1.2 m	1,000	23.730,28	23.730,28
2.1.5	uds	Suministro e instalación de boya con destellador incluyendo el anclaje y amarre a la torre de toma	1,000	2.708,85	2.708,85
Total 2.1.- 2001 SISTEMA DE CAPTACIÓN:					4.681.941,73
2.2.- EVACUACIÓN DE SALMUERA					
2.2.1	uds	Dragado del fondo marino para el acondicionamiento del terreno para colocar las instalaciones de la evacuación de salmuera	5.000,000	1.311,47	6.557.350,00
2.2.2	uds	Durmientes de hormigón armado que soortan la tubería sobre el fondo marino cada 10 metros	11,000	222,74	2.450,14
2.2.3	m	Tubería de poliéster reforzado de fibra de vidrio para el emisario submarino de la descarga de salmuera de 700 mm de diámetro	1.400,000	105,46	147.644,00
2.2.4	m	Tubería de polietileno de alta densidad para el emisario terrestre de la evacuación de salmuera de 700 mm de diámetro	100,000	778,94	77.894,00
2.2.5	uds	Difusor para el vertido de salmuera de 12" de diámetro con un flujo de 238 m3/h por difusor	4,000	1.289,97	5.159,88
2.2.6	uds	Suministro e instalación de boya con destellador encluyendo anclaje y amarre al emisario submarino	1,000	2.708,85	2.708,85
Total 2.2.- 2002 EVACUACIÓN DE SALMUERA:					6.793.206,87
Total presupuesto parcial nº 2 OBRA MARINA:					11.475.148,60

Presupuesto parcial nº 3 EQUIPOS MECÁNICOS

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
3.1.- BOMBEO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN					
3.1.1	uds	Cántara de hormigón rectangular para la captación y la impulsión del agua de alimentación, con unas dimensiones de dimensiones 23x20x4,5 m	1,000	1.105.858,32	1.105.858,32
3.1.2	uds	Bomba centrífuga para el bombeo de impulsión del agua de alimentación al interior de la instalación, confiriendo una altura manométrica de 57 m para un caudal de alimentación de 650 m3/h	5,000	30.620,87	153.104,35
3.1.3	m	Conducción de poliéster reforzado de fibra de vidrio de diámetro 900 mm utilizada en el bombeo del agua de alimentación	125,000	105,46	13.182,50
3.1.4	uds	Equipos de control de la presión e indicadores de caudal	5,000	89,87	449,35
3.1.5	uds	Control de control para el grupo de bombas de impulsión	1,000	358.566,27	358.566,27
Total 3.1.- 3001 BOMBEO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN:					1.631.160,79
3.2.- DEPÓSITOS					
3.2.1	uds	Depósito para el almacenamiento de hipoclorito sódico con una capacidad de 9m3	1,000	6.874,96	6.874,96
3.2.2	uds	Depósito de PRFV para el almacenamiento de cloruro férrico con una capacidad de 6m3	1,000	5.654,66	5.654,66
3.2.3	uds	Depósito de acero al carbono para el almacenamiento de ácido sulfúrico con una capacidad de 2m3	1,000	15.175,60	15.175,60
3.2.4	uds	Depósito para el almacenamiento del producto antiescalante con una capacidad de 1m3	1,000	988,39	988,39
3.2.5	uds	Depósito para el almacenamiento de dióxido de carbono con una capacidad de 20m3	1,000	133.602,94	133.602,94
3.2.6	uds	Depósito para el almacenamiento de bisulfito sódico con una capacidad de 9m3	1,000	9.392,46	9.392,46
3.2.7	uds	Depósito para el almacenamiento de cloro con una capacidad de 1m3	1,000	1.941,32	1.941,32
Total 3.2.- 3002 DEPÓSITOS:					173.630,33
3.3.- FILTROS DE ARENA					
3.3.1	uds	Filtro de arena y antracita de diámetro 2800 mm y longitud 7040 mm, proporcionando un área de filtración de 18,5 m2	8,000	193.079,32	1.544.634,56
3.3.2	m	Tubería de poliéster reforzado de fibra de vidrio durante todo el sistema de filtración por filtros de arena con un diámetro de 700 mm	110,000	105,46	11.600,60
3.3.3	uds	Equipos para la medición y el control del proceso de filtración	8,000	129,32	1.034,56
Total 3.3.- 3003 FILTROS DE ARENA:					1.557.269,72
3.4.- FILTROS DE CARTUCHO					
3.4.1	uds	Suministro e instalación de portafiltros y carcasa de PRFV	5,000	24.153,42	120.767,10
3.4.2	uds	Suministro e instalación de cartuchos filtrantes de 5 micras	5,000	37,96	189,80
3.4.3	m	Conducción de poliéster reforzado de fibra de vidrio para el paso por el sistema de filtros de cartucho	60,000	108,62	6.517,20
3.4.4	uds	Instrumentos para el control del proceso, tales como caudalímetros	5,000	1.293,55	6.467,75
Total 3.4.- 3004 FILTROS DE CARTUCHO:					133.941,85
3.5.- ÓSMOSIS INVERSA					
3.5.1	uds	Membranas de ósmosis inversa de tipología enrollada en espiral y de poliamida aromática	2.880,000	426,26	1.227.628,80
3.5.2	uds	Tubo de presión fabricado de acero para un total de 6 membranas	480,000	2.123,86	1.019.452,80
3.5.3	m	TUBERÍA PRFV	80,000	108,62	8.689,60

Presupuesto parcial nº 3 EQUIPOS MECÁNICOS

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
3.5.4	uds	Bomba de alta presión que suministra una altura manométrica de 564 mca para un caudal de 240m3/h	6,000	241.971,49	1.451.828,94
3.5.5	uds	intercambiador de energía ERI PXQ/300 para un caudal de 47m3/h	36,000	31.644,92	1.139.217,12
3.5.6	uds	Bombeo de reffuerzo de alta presión procedente del recuperador de energía, para suministrar una altura manométrica de 40 mca para un caudal de 293m3/H	6,000	30.173,85	181.043,10
3.5.7	uds	Equipos e instrumentos para el control del proceso de ósmosis inversa como manómetros o medidores del caudal	8,000	1.589,78	12.718,24
3.5.8	uds	Centro de control de la nave de ósmosis inversa para el correcto funcionamiento de los procesos	1,000	443.506,14	443.506,14
Total 3.5.- 3005 ÓSMOSIS INVERSA:					5.484.084,74
3.6.- REMINERALIZACIÓN					
3.6.1	m	Tubería de PRFV para todo el sistema de remineralización con un diámetro de 700 mm	70,000	108,62	7.603,40
3.6.2	uds	Unidad de lecho de calcita rectangular de hormigón con unas dimensiones de 4x8 m y una altura de 2,5 m, incluyendo el silo de almacenamiento de calcita	4,000	358.336,23	1.433.344,92
3.6.3	uds	Disolvedor de dióxido de carbono de 2000 mm de diámetro y un caudal de 16.500 m3/h	2,000	254.188,47	508.376,94
Total 3.6.- 3006 REMINERALIZACIÓN:					1.949.325,26
3.7.- ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE AGUA POTABLE					
3.7.1	uds	Depósito cilíndrico de acero al carbono para el almacenamiento del agua producto con una capacidad de 20.000 m3 y un diámetro de 30 m	1,000	350.772,55	350.772,55
3.7.2	uds	Depósito cilíndrico de acero al carbono para el almacenamiento del agua potable con una capacidad de 20.000 m3 y un diámetro de 30 m	2,000	350.772,55	701.545,10
3.7.3	uds	Bombeo del agua potable hasta el lugar de consumo con un caudal de 687.5m3/h confiriendo una altura manométrica de 70 mca.	2,000	42.106,40	84.212,80
Total 3.7.- 3007 ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE AGUA POTABLE:					1.136.530,45
Total presupuesto parcial nº 3 EQUIPOS MECÁNICOS:					12.065.943,14

Presupuesto de ejecución material

	Importe (€)
1 OBRA CIVIL	813.869,00
1.1.- ACTUACIONES PREVIAS	326.250,00
1.2.- CONTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES	487.619,00
2 OBRA MARINA	11.475.148,60
2.1.- SISTEMA DE CAPTACIÓN	4.681.941,73
2.2.- EVACUACIÓN DE SALMUERA	6.793.206,87
3 EQUIPOS MECÁNICOS	12.065.943,14
3.1.- BOMBEO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN	1.631.160,79
3.2.- DEPÓSITOS	173.630,33
3.3.- FILTROS DE ARENA	1.557.269,72
3.4.- FILTROS DE CARTUCHO	133.941,85
3.5.- ÓSMOSIS INVERSA	5.484.084,74
3.6.- REMINERALIZACIÓN	1.949.325,26
3.7.- ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE AGUA POTABLE	1.136.530,45
Total	24.354.960,74

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de VEINTICUATRO MILLONES TRESCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA EUROS CON SETENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

Proyecto: IDAM MOTRIL

Capítulo	Importe
1 OBRA CIVIL	
1.1 ACTUACIONES PREVIAS	326.250,00
1.2 CONTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES	487.619,00
Total 1 OBRA CIVIL	813.869,00
2 OBRA MARINA	
2.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN	4.681.941,73
2.2 EVACUACIÓN DE SALMUERA	6.793.206,87
Total 2 OBRA MARINA	11.475.148,60
3 EQUIPOS MECÁNICOS	
3.1 BOMBEO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN	1.631.160,79
3.2 DEPÓSITOS	173.630,33
3.3 FILTROS DE ARENA	1.557.269,72
3.4 FILTROS DE CARTUCHO	133.941,85
3.5 ÓSMOSIS INVERSA	5.484.084,74
3.6 REMINERALIZACIÓN	1.949.325,26
3.7 ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE AGUA POTABLE	1.136.530,45
Total 3 EQUIPOS MECÁNICOS	12.065.943,14
Presupuesto de ejecución material	24.354.960,74
14% de gastos generales	3.409.694,50
6% de beneficio industrial	1.461.297,64
Suma	29.225.952,88
21% IVA	6.137.450,10
Presupuesto de ejecución por contrata	35.363.402,98

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de TREINTA Y CINCO MILLONES TRESCIENTOS SESENTA Y TRES MIL CUATROCIENTOS DOS EUROS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS.