

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)

presentado por

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN

(e)k aurkeztua

INGENIERO AGRÓNOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA

*OCTUBRE, 2014
2014 KO, URRIA*

RESUMEN

TÍTULO: Diseño de una planta desaladora en el municipio de Telde (Canarias)
DIRECTORES: Eduardo Prieto, Francisco de A. Ramírez y Andrés Seco
ALUMNO: Andrés Martínez Lezaun

El presente proyecto desarrollará el diseño de una planta de desalación de agua de mar, que se ubicará en la costa del municipio de Telde, debido a la creciente demanda de agua potable en las islas y fomentada por las subvenciones que el gobierno español destina para este tipo de plantas en esta región. El diseño se realiza para una planta con una producción de 50.000 m³/día, y se estudiarán en él las alternativas referentes a su emplazamiento, a su procesado, a sus tratamientos (tanto previos como posteriores); para así establecer un diseño básico de una planta de estas características.

La obra civil que deberá albergar el proyecto en cuestión, así como la instalación de las redes de suministro y de los distintos equipos descritos en éste, son objeto de otro proyecto que deberá abordar el ayuntamiento.

Palabras clave: Desalación, desaladora, desalinización, tratamiento de agua salada, ósmosis inversa, ultrafiltración, Canarias.

Vº B de los directores del proyectos;

Presentado por;

D. Eduardo Prieto Cobo

D. Andrés Seco Meneses

D. Andrés Martínez Lezaun

Pamplona, a 27 de Octubre de 2014

Pamplona, a 27 de Octubre de 2014

Pamplona, a 27 de Octubre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Gracias, a todas las personas que han colaborado conmigo directa o indirectamente, tanto en la elaboración del proyecto como en el largo camino hasta aquí. Un especial agradecimiento a José Manuel Montes y a mi prima Tita que tanto me han ayudado a entender más en profundidad el amplio mundo de la desalación del agua mar.

También quiero agradecer de corazón a mis amigos y a mi hermano que, sin otra cosa que hacer, siempre se han volcado conmigo cuando tenía alguna duda, o cuando estaba bloqueado, dando otro punto de vista al problema que siempre resultaba ser útil. No me quiero olvidar del resto de mi familia que tanto me han ayudado a crecer, tanto a nivel personal como formativo. Por todo ello y más, gracias a todos.

DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO

Contiene:

- ÍNDICE GENERAL
- MEMORIA
- ANEXOS
- PLANOS
- PLIEGO DE CONDICIONES
- ESTADO DE LAS MEDICIONES
- PRESUPUESTO
- ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

UPNA

ÍNDICE GENERAL

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



ÍNDICE MEMORIA

1 OBJETO.....	3
2 ALCANCE.....	3
3 ANTECEDENTES.....	3
3.1 Riqueza natural de Canarias.....	3
3.2 Técnicas de desalación.....	3
3.3 Pretratamiento.....	4
3.4 Postratamientos.....	4
4 NORMAS Y REFERENCIAS.....	5
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.....	5
4.2 Bibliografía.....	5
4.3 Programas de cálculo	5
5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	7
6 REQUISITOS DE DISEÑO.....	9
7 ANÁLISIS DE SOLUCIONES	10
7.1 Emplazamiento.....	10
7.2 Técnicas de desalación.....	10
7.3 Pretratamientos.....	13
7.4 Postratamientos.....	14
8 RESULTADOS FINALES.....	15
8.1 Emplazamiento.....	15
8.2 Proceso.....	15
8.2.1 Captación.....	16
8.2.2 Pretratamiento.....	17
8.2.3 Ósmosis inversa y sistemas auxiliares.....	19
8.2.4 Postratamiento.....	21
9 PRESUPUESTO.....	22
10 ORDEN DE PRIORIDAD DE DOCUMENTOS.....	23

ÍNDICE DE ANEXOS

--ANEXO I--

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 REQUISITOS DEL EMPLAZAMIENTO.....	4
3 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	5

--ANEXO II--

1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 PROCESOS BASADOS EN LA DESTILACIÓN.....	6
2.1 Proceso de evaporación instantánea multietapa (MSF).....	6
2.2 Proceso de evaporación multiefecto tubos horizontales (MED).....	7
2.3 Proceso de compresión mecánica/térmica de vapor.....	8
3 PROCESOS BASADOS EN MEMBRANAS.....	9
3.1 Microfiltración (MF), Nanofiltración (NF) y Ultrafiltración (UF).....	9
3.2 Ósmosis Inversa (OI).....	11
3.3 Electrodialisis (ED).....	12
4 OTROS PROCESOS DE DESALACIÓN.....	13
4.1 Intercambio iónico.....	13
5 COMPARACIÓN.....	13

--ANEXO III--

1 INTRODUCCIÓN.....	7
2 PROCESO.....	8
2.1 CAPTACIÓN.....	8
2.1.1 Torre de captación.....	8
2.1.2 Inmisario submarino.....	9
2.1.3 Cántara de captación.....	10
2.2 PRETRATAMIENTO.....	12
2.2.2 Filtrado.....	12
2.2.3 Coagulación.....	13
2.2.4 Ultrafiltración.....	14
2.3 LA ÓSMOSIS INVERSA.....	21
2.3.1 Descripción del proceso y sistemas auxiliares.....	21
2.3.2 Diseño del sistema.....	23
2.3.3 Tratamientos químicos.....	34
2.4 POSTTRATAMIENTO.....	35
2.4.1 Dosificación deCO ₂	35
2.4.1 Lechos de calcita.....	36
3 TANQUES.....	38
3.1 TANQUE INTERMEDIO.....	38
3.2 TANQUE CIP.....	38
3.3 TANQUE NEUTRALIZACIÓN.....	38
3.4 TANQUE AGUA PRODUCTO.....	38
3.5 TANQUES DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....	39
4 BOMBAS Y CONDUCCIONES.....	40
4.1 INTRODUCCIÓN.....	40
4.2 CÁLCULOS.....	41
4.2.1 Bombas de captación.....	41
4.2.2 Bombas de alta presión.....	43
4.2.3 Bombas Booster.....	44
4.2.4 Bombas intermedias.....	45
4.2.5 Bombas de contralavado.....	48
4.2.6 Bomba agua producto.....	51
4.2.7 Bombas dosificadoras.....	52

5 SISTEMAS CONTROL.....	53
5.1 INTRODUCCIÓN.....	53
5.2 CONTROL.....	54
5.2.1 Control ON/OFF.....	54
5.2.2 Control regulatorio.....	55
5.2.3 Temporizador del PLC.....	56
6 PRODUCTOS.....	57

--ANEXO IV--

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 COSTES FASE DE CONSTRUCCIÓN.....	4
3 COSTES FASE DE EXPLOTACIÓN.....	4
3.1 Costes fijos.....	4
3.2 Costes variables.....	7
3.3 Resumen costes de explotación.....	9
4 COSTE DEL m³ DE AGUA.....	10
5 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN.....	11

ÍNDICE PLANOS

- PLANO 1: PLANOS DE SITUACIÓN 1**
- PLANO 2: PLANOS DE SITUACIÓN 2**
- PLANO 3: PLANOS DE SITUACIÓN 3**
- PLANO 4: PLANOS DE SITUACIÓN 4**
- PLANO 5: PLANOS DE SITUACIÓN 5**
- PLANO 6: DIAGRAMA DE FLUJO BÁSICO**
- PLANO 7: DIAGRAMA DE FLUJO**
- PLANO 8: DIAGRAMA CONTROL REGULATORIO**
- PLANO 9: ELEMENTOS DE CONTROL**

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1 INTRODUCCIÓN.....	2
2 CONDICIONES GENERALES.....	2
2.1 Normas de aplicación	2
2.2 Ingeniero director de las obras.....	2
2.3 Inspección de las obras.....	3
2.4 Representante del contratista.....	3
2.5 Personal facultativo por cuenta del contratista.....	3
2.6 Órdenes del contratista.....	4
2.7 Permisos y licencias.....	4
2.8 Subcontratista o destajista.....	4
2.9 Señalizaciones de obras e instalaciones.	4
2.10 Precauciones.....	5
2.11 Conservación del paisaje.....	5
2.12 Limpieza final de las obras.....	5
2.13 Plazo de garantía.....	5
2.14 Relaciones valoradas y certificaciones parciales de obra ejecutada.....	5
2.15 Otros gastos por cuenta del contratista.	6
2.16 Accidentes de trabajo.....	6
2.17 Modificaciones del proyecto.	6
2.18 Contradicciones y omisiones del proyecto.....	6
2.19 Plazo de ejecución de las obras.	7
2.20 Programa de trabajo.....	7
2.21 Replanteo previo de las obras.	7
2.22 Ensayos y análisis.....	7
3 CONDICIONES PARTICULARES.....	8
3.1 Instalaciones mecánicas.....	8
3.2 Instalación de instrumentos.....	9
3.3 Instalación eléctrica.....	9
3.4 Trabajo de campo.....	9
3.5 Instalaciones en la sala de control.....	10
3.6 Calibración y pruebas.....	10

ÍNDICE ESTADO DE LAS MEDICIONES

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 EQUIPOS E INSTALACIONES.....	3
2.1 Emisarios/inmisarios.....	3
2.2 Equipos.....	3
2.3 Bombas.....	3
2.4 Tanques.....	4
2.5 Conducciones.....	4
2.5.1 De proceso.....	4
2.5.2 De lavado.....	4
2.6 Elementos de control.....	5
2.6.1 Válvulas.....	5
2.6.2 Instrumentos.....	5

ÍNDICE PRESUPUESTO

1 INTRODUCCIÓN.....	2
2 EQUIPOS E INSTALACIONES.....	2
3 RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	2

ÍNDICE ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

--ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL--

1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	6
3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	6
3.1 Alternativa cero.....	6
3.1 Realización del proyecto.....	7
4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	7
5 CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS.....	9
5.1 Descripción de impactos.....	9
5.2 Caracterización cualitativa de impactos.....	11
5.3 Evaluación de impactos.....	14
6 MEDIDAS.....	17
6.1 Medidas preventivas.....	17
6.2 Medidas correctoras.....	18
7 PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL.....	20
7.1 Durante la fase de construcción.....	20
7.2 Durante la fase de explotación.....	21
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	22

--ESTUDIO DE SEGURIDAD--

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 ESTUDIO DE SEGURIDAD.....	3
2.1 Estudio cualitativo HAZOP.....	3
2.2 Sistemas de protección.....	5
2.2.1 Sistema de lucha contra incendios.....	5
2.2.2 Protección personal.....	6

UPNA

MEMORIA

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



**Ayuntamiento
de Telde**

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

(PD0059001E03)

El presente proyecto desarrollará el diseño de una planta desalinizadora de 50.000 m³/día, que se ubicará en la zona costera del municipio de Telde, en Gran Canaria (Canarias), en la parcela, propiedad del ayuntamiento, que se especifica en los planos de situación 1-5, cuyo centro se define por las siguientes coordenadas UTM:

X: 461.763,15
Y:3.100.391,68

A continuación se indican los datos pertinentes de la persona que ha recibido el encargo, Don ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN, y el cliente que ha encargado el proyecto, el ayuntamiento de Telde, con las respectivas firmas de ambas partes contractuales:

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO

Firma;

Pamplona, a 27 de Octubre de 2014

CRISTINA PÉREZ GONZÁLEZ
Consejera delegada del ayuntamiento de
Telde

Firma;



Pamplona, a 27 de Octubre de 2014

ÍNDICE

1 OBJETO.....	3
2 ALCANCE.....	3
3 ANTECEDENTES.....	3
3.1 Riqueza natural de Canarias.....	3
3.2 Técnicas de desalación.....	3
3.3 Pretratamiento.....	4
3.4 Postratamientos.....	4
4 NORMAS Y REFERENCIAS.....	5
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.....	5
4.2 Bibliografía.....	5
4.3 Programas de cálculo	5
5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	7
6 REQUISITOS DE DISEÑO.....	9
7 ANÁLISIS DE SOLUCIONES	10
7.1 Emplazamiento.....	10
7.2 Técnicas de desalación.....	10
7.3 Pretratamientos.....	13
7.4 Postratamientos.....	14
8 RESULTADOS FINALES.....	15
8.1 Emplazamiento.....	15
8.2 Proceso.....	15
8.2.1 Captación.....	16
8.2.2 Pretratamiento.....	17
8.2.3 Ósmosis inversa y sistemas auxiliares.....	19
8.2.4 Postratamiento.....	21
9 PRESUPUESTO.....	22
10 ORDEN DE PRIORIDAD DE DOCUMENTOS.....	23

1 OBJETO

El objeto del presente proyecto es el diseño de una planta desalinizadora de 50.000 m³/día en el municipio de Telde, en la provincia de Las Palmas (Canarias), debido a la creciente demanda de agua potable en las islas y fomentada por las subvenciones que el gobierno español destina para este tipo de plantas en esta región.

2 ALCANCE

Mediante este proyecto se pretende diseñar una planta desalinizadora con una producción diaria de 50.000 m³ de agua potable. Para ello se estudiará el emplazamiento más conveniente para la ubicación de la planta en el municipio, así como el proceso más adecuado para la desalinización de agua en esta región, y los pertinentes tratamientos, tanto previos como posteriores, para el correcto desarrollo del proceso principal. Así, una vez definido el proceso, se procederá al diseño básico de una planta de estas características y todos los elementos necesarios para su ejecución. También se realizará una estimación del presupuesto necesario para su implantación, al igual que el pertinente estudio de impacto ambiental.

La obra civil que deberá albergar el proyecto en cuestión, así como la instalación de las redes de suministro y de los distintos equipos descritos en este, son objeto de otro proyecto que deberá abordar el ayuntamiento.

3 ANTECEDENTES

3.1 Riqueza natural de Canarias

Canarias es un archipiélago con una innegable riqueza natural. El gobierno de Canarias en el proceso de ordenación del territorio, ha creado una serie de categorías de protección de los espacios naturales con el objetivo de conservar su rico patrimonio natural. Estas actuaciones se reflejan en la Ley 7/2009, de 6 de mayo, *“Texto Refundido de las Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias”*.

3.2 Técnicas de desalación

Hoy en día los principales procesos de obtención de agua potable a partir de agua salobre proveniente del mar pueden clasificarse en técnicas de destilación y técnicas que utilizan membranas. Dentro de las técnicas basadas en la destilación destacan; el proceso de evaporación instantánea multietapa (MSF), el proceso de evaporación multiefecto de tubos horizontales (MED) y el proceso de compresión mecánica (CV). En cuanto a las técnicas de desalinización de agua de mar por medio de membranas, destaca la ósmosis inversa (OI), ya que el resto de técnicas de este tipo no son capaces de producir agua potable de calidad a partir de agua de mar.

3.3 Pretratamiento

Mediante el pretratamiento se trata de adecuar las características físico-químicas y biológicas del agua captada a las necesidades del proceso principal de desalación, tratando así de minimizar la corrosión y formación de incrustaciones, para evitar el deterioro prematuro de las instalaciones. Esta es una parte importante del proceso y condicionará de manera importante los costes, tanto de instalación como de explotación, de la desaladora.

Los pretratamientos actuales se centran en eliminar los sólidos en suspensión, evitar la precipitación de óxidos metálicos, evitar la precipitación de sales minerales, reducir el contenido de materia orgánica del agua y eliminar o reducir la actividad biológica del agua de entrada.

Estos procesos pueden realizarse mediante procesos químicos y/o mediante la utilización de membranas. Así pues los principales procesos químicos que suelen realizarse en las plantas desaladoras son:

- Acidificación
- Dosificación de inhibidores de la incrustación.
- Oxidación.
- Coagulación-floculación.
- Decantación.
- Flotación.
- Filtración por lecho filtrante.
- Filtración por cartuchos.
- Desinfección.
- Reducción.
- Adsorción.
- Desgasificación.

Estos procesos pueden combinarse con procesos de membranas, entre los que destacan la microfiltración, la ultrafiltración y la nanofiltración, de tal forma que se puede minimizar la utilización de agentes químicos.

3.4 Postratamientos

Una vez desalinizada el agua de mar, ésta presenta una dureza y alcalinidad bajas, por lo que tiene un carácter agresivo. Por ello, el agua desalinizada requiere un tratamiento posterior que dependerá del proceso de desalación utilizado y de la calidad del agua tratada obtenida.

Así, los siguientes procesos pueden ser necesarios o no dependiendo de la calidad del agua obtenida, la reglamentación vigente y la calidad final deseada:

- Eliminación del CO₂ o decarbonatación
- Mezcla de aguas
- Intercambio iónico
- Acondicionamiento químico
- Desinfección

4 NORMAS Y REFERENCIAS

4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Ley 7/2009, de 6 de mayo por la que se establecen las Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias.
- Norma UNE 157001, de febrero 2002, "Criterios generales para la elaboración de proyectos"
- Orden IET/1150/2014, de 30 de junio, por la que se establecen las bases reguladoras de la concesión de subvenciones a las plantas potabilizadoras para desalación de agua de mar en las Islas Canarias.

4.2 Bibliografía

- PROYECTO TECNOAGUA, "Evaluación de tecnologías potenciales de reducción de la contaminación de las aguas de canarias"
- CEDEX (2009), "Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano" (MINISTERIO DE SANIDAD Y POLÍTICA SOCIAL)
- EUROPAPRESS, artículo "Los canarios consumen una media de 149 litros de agua por persona y día" (www.europapress.es)
- CANARIAS 7, artículo "Las Palmas de G.C., con 383.343 habitantes, es la ciudad más poblada de Canarias" (www.canarias7.es)
- Página web del GOBIERNO DE CANARIAS, (www.gobiernodecanarias.org)
- DOW (2009), "Ultrafiltración. Manual de producto"
- "EDUCTORES GIGANTES", manual de producto, distribuido por centro canario del agua, (www.fcca.es)
- SULZER, "Bombas sumergibles para aguas residuales, Modelo ABS AFP M8 y M9", y "AHLSTAR End Suction Single Stage Centrifugal Pumps" (www.sulzer.com)
- ENERGY RECOVERY INC., "recuperadores de energía" (www.energyrecovery.com)
- STF, "Filtros de anillas automáticos" (www.stf-filtros.com)
- GUÍA TÉCNICA, "Tuberías de poliéster Reforzado con fibra de vidrio (PRFV)".
- TIGRE, "Catálogo polietileno de alta densidad"

4.3 Programas de cálculo

-SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL del gobierno de Canarias,
(<http://visor.grafcan.es/visorweb/>)

-IMS DESIGN (Integrated Membrane Solutions), “Hydranautics” (2012)

-AUTOCAD 2013

- OFFICE 2010

5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

En este apartado se incluyen las principales abreviaturas y definiciones técnicas, para que el presente documento tenga un carácter interdisciplinar, siendo capaz de ser comprendido por cualquier persona independientemente de su especialidad.

Agresividad del agua: Se dice que el agua presenta carácter agresivo cuando, al no encontrarse en equilibrio, presenta predisposición a desencadenar reacciones químicas, principalmente la disolución de carbonatos.

Alcalinidad: Propiedad de las sustancias capaces de ceder iones hidróxido cuando están en disolución acuosa. Podría decirse que es su capacidad de neutralizar ácidos

Bomba booster: Bomba utilizada para aumentar la presión de un fluido ya presurizado, para adecuarlo a las condiciones de diseño.

Cámaras isobáricas: Estas cámaras, situadas dentro de unos cilindros cerámicos rotatorios que giran a 1.200 rpm, forman parte del sistema de recuperación de energía. Por ellas pasará la salmuera, que, por desplazamiento positivo, impulsará parte del agua de alimentación de la OI, utilizando la energía de esta salmuera que de otra forma se perdería.

Cántara de captación: Es un depósito excavado al que el agua de mar llegará por gravedad, y del que se extraerá el agua utilizada en planta.

Carbonatación: Adición de CO₂ al agua. Se realiza para que ésta sea capaz de disolver en ella el CaCO₃.

Coagulación: Proceso por el cual los coloides presentes en el agua se agrupan formando coágulos.

Coloides: Partículas o macromoléculas en suspensión en el agua.

CV: Técnica de desalación por destilación basado en un proceso de compresión mecánica.

Desalinización por destilación: Separación de las sales disueltas en un líquido (en este caso agua) mediante procesos de evaporación del disolvente.

Desalinización por procesos de membrana: Separación de las sales disueltas en un líquido (agua en este caso) al hacerla pasar por una membrana semipermeable.

Dureza: Propiedad del agua que dependerá de su contenido en minerales. Suele expresarse como contenido equivalente en carbonato cálcico

Eductores: Elementos utilizados para disolver la salmuera en el mar, de forma que la salinidad a la salida del vertido no sea excesiva.

Equilibrio calcio carbónico: Equilibrio entre el contenido de dióxido de carbono y los carbonatos disueltos en el agua.

Elementos:

Hidróxido de calcio (Ca(OH)₂): Utilizado en algunos procesos de remineralización.

Dióxido de carbono (CO₂): Gas utilizado para la carbonatación del agua.

Cloruro férrico (FeCl₃): Utilizado como coagulante para desestabilizar los coloides.

Hipoclorito de sodio (NaClO): Compuesto utilizado como desinfectante.

Emisario de salmuera: Conducción que trasporta el vertido salino desde planta hasta el mar.

FFCA de Canarias: Fundación centro canario del agua.

Filtración: Separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

Inmisario submarino: Conducción que permite la entrada de agua de mar a la cántara de capt.

Lecho de calcita: Equipo que contiene el carbonato cálcico utilizado para la remineralización.

MED: Técnica de desalación por destilación basado en un proceso de evaporación multiefecto de tubos horizontales.

Membrana semipermeable: Barrera que permite el paso de agua pero no de sales.

Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración:

MSF: Técnica de desalación por destilación basado en un proceso de evaporación instantánea multietapa.

OI: Técnica de desalación por membranas, ósmosis inversa, también denominada RO en inglés. Consiste en separar el agua de las sales utilizando una membrana semipermeable y presión.

Permeado: Corriente de agua libre de sales proveniente del proceso de ósmosis inversa.

Rechazo: Corriente con alta concentración de sales proveniente del proceso de OI.

SIP: Sistema recuperador de energía de la salmuera (agua rechazo de la OI) mediante un sistema de intercambio de presión compuesto de cámaras isobáricas.

Tamización: Proceso de separación de los sólidos más grandes del agua de abastecimiento.

UF: Proceso de ultrafiltración.

UTM: Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (X, Y)

Unidades:

m: Medida de longitud, metro.

km: Medida de longitud, kilómetro.

µm: Medida de longitud, kilómetro (1 µm= 0,001 mm)

ha: Medida de superficie, hectárea (1ha=10.000 m²)

m³/día: medida de volumen, metros cúbicos al día.

l: Medida de capacidad, litros.

6 REQUISITOS DE DISEÑO

- Los requisitos exigidos por el cliente fueron:
 - Diseño de una planta desalinizadora capaz de producir 50.000 m³/día de agua potable.
 - Minimizar el consumo energético.
 - Preferiblemente deberá ubicarse en el municipio de Telde, lo más cerca posible de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. Esta ciudad es la más grande del archipiélago, y considerando que el consumo de agua en Canarias ronda los 150 l de agua por habitante y día, sería conveniente destinar los excedentes de agua del municipio de Telde al abastecimiento de esta población.

- Los requisitos de emplazamiento:
 - Minimizar los problemas de ruido situando la planta lo más alejada posible de los núcleos urbanos.
 - Es conveniente que la planta se ubique cerca de la red viaria de carreteras.
 - Debe encontrarse lo más cerca posible de la costa

- Los requisitos que derivan de la legislación y reglamentación específica:
 - El producto obtenido debe cumplir el Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
 - Debe cumplir el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
 - La ubicación del proyecto deberá corresponderse con una zona urbanizable según dicta la Ley 7/2009, de 6 de mayo por la que se establecen las Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias.

7 ANÁLISIS DE SOLUCIONES

7.1 Emplazamiento

Una de las alternativas estudiadas en el proyecto es la ubicación de la planta. Esta ha de situarse en una zona dónde la demanda de agua sea necesaria, pero siempre considerando la ordenación del territorio establecida por el gobierno de Canarias. En el “ANEXO I: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL PROYECTO” se estudian las distintas posibilidades que se han planteado, hasta llegar al emplazamiento final de la planta.

Esta se ubicará en la finca de la imagen, situada al norte del municipio de Telde, a escasos 9 km de la capital de la isla, disponiendo de una superficie aprovechable de más de 3 hectáreas:



Ubicación, dimensiones y topografía de la parcela disponible para el proyecto (ANEXO I, Figura 5)

7.2 Técnicas de desalación

Como ya se ha introducido en el apartado “3 ANTECEDENTES”, existen un gran número de técnicas de desalación. Si acudimos al documento básico “ANEXOS”, podemos encontrar el “ANEXO I: COMPARACIÓN DE LAS PRINCIPALES TÉCNICAS DE DESALACIÓN”, dónde se exponen una gran variedad de técnicas de desalación y su situación técnica actual. Este anexo se ha basado principalmente en un documento que fue difundido por el antiguo Ministerio de Sanidad y Política Social, en 2009 en colaboración con CEDEX, “Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano”, que puede consultarse en la bibliografía adjunta.

En este documento se mencionan un gran número de técnicas, de las cuales únicamente se han considerado cuatro como técnicas adecuadas para la desalación de agua de mar de forma óptima. Estas son:

- El proceso de evaporación instantánea multietapa (MSF)
- El proceso de evaporación multiefecto de tubos horizontales (MED)
- El proceso de compresión mecánica (CV)
- La ósmosis inversa (OI)

Una vez definidas las técnicas posibles de desalación de agua de mar, el ANEXO I concluye con una tabla comparativa entre las principales técnicas seleccionadas, que se incluye a continuación:

CARACTERÍSTICA	MSF	MED	CV	OI
Desalación de agua de mar	SI	SI	SI	SI
Tipo de energía	Térmica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
Consumo energético (kJ/kg)	Alto (>200)	Alto-Medio (150-200)	Medio (100-150)	Bajo (<80)
Coste de instalaciones	Alto	Alto/Medio	Alto	Medio
Capacidad de producción (m ³ /día)	Alta (>50.000)	Media (<20.000)	Baja (>5000, <20.000)	Alta (>50.000)
Posibilidad de ampliación	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil
Fiabilidad operación	Alta	Media	Baja	Alta
Calidad del agua desalada (ppm)	Alta (<50)	Alta (<50)	Alta (<50)	Media (300-500)
Superficie de terreno requerida	Mucha	Media	Poca	Poca
Atención requerida	Alta	Mínima	Mínima	Media
Mantenimiento requerido	Alto	Medio-Bajo	Bajo	Medio
Formación de incrustaciones	Alta	Media	Media	Media
Corrosión	Alta	Media	Media-Baja	Baja
Duración de membranas	-	-	--	5 años
Ventajas relativas	-Alta calidad de producto. -Larga experiencia. -Muchos fabricantes. -Puede acoplar turbina. -Capacidad muy alta.	-Alta calidad de producto. -Fácil operación. -Puede acoplar turbina. -Menos energía eléctrica y menos costo que MSF. -Puede operar con calor residual	-Alta calidad de producto. -Opera casi sin atención. -Fácil automatización. -Fácil instalación	-Sencilla operación. -Tamaños variados. -Consumo de energía bajo. -Puede recuperar energía. -Fácil instalación
Desventajas relativas	-Sensibles a la corrosión e Incrustaciones. -Requiere mucha atención.	-Poca experiencia operativa. -Pocos fabricantes.	-Tamaño unitario pequeño. -Poco conocimiento. -Compresor de alta velocidad requiere mantenimiento.	-Requiere pretratamiento. -Opera a alta presión. -Poca economía de escala.
Aplicaciones principales	-Agua potable - Agua de proceso o de caldera	-Agua potable - Agua de proceso o de caldera	-Agua potable. - Agua de proceso o de caldera.	-Agua potable. - Agua de proceso o de caldera -Tratamiento de aguas residuales.

Comparación entre las principales técnicas de desalación de agua de mar (ANEXO I, Tabla 2)

Como se aprecia en la tabla, las únicas técnicas capaces de producir un volumen de agua diario de 50.000 m³ son únicamente la MSF y la OI. Si comparamos entre sí estas técnicas se observa que:

-El consumo energético es considerablemente mayor en la MSF, y si consideramos además que a la OI se le puede acoplar un sistema de recuperación de energía, el consumo energético es significativamente menor para esta técnica

-Además la MSF requiere más atención y es más sensible a la corrosión y a la formación de incrustaciones.

-No obstante, la OI requiere de un tratamiento previo, y la calidad del agua producida es menor que la producida mediante MSF, pero en cualquier caso esta calidad es suficiente para la producción de agua potable.

Así pues, teniendo en cuenta que uno de los requisitos del cliente es minimizar el gasto energético, podemos concluir que la técnica que más conviene utilizar en este caso es la ósmosis inversa. Además esta técnica presenta otras ventajas útiles para nuestro proyecto, como su versatilidad o necesidad de un espacio menor, entre otras.

7.3 Pretratamientos

El pretratamiento vendrá condicionado principalmente por la técnica de desalación seleccionada. No obstante, este tratamiento previo dependerá en gran medida de la forma de captación de agua del agua de mar, tal y como se expone en el "PROYECTO DE TECNOAGUA", desarrollado por la Universidad de La Laguna en colaboración con el Gobierno de Canarias, que puede ser consultado en la bibliografía adjunta. Así pues si el agua se obtiene de:

A. Un pozo costero: Se deberá realizar un pretratamiento clásico que consiste en varios de procesos físico-químicos anteriormente mencionados:

- Adición de ácido
- Adición de coagulantes/floculantes
- Desinfección
- Filtración por arena
- Filtración por cartuchos

B. Una toma abierta: En este caso el pretratamiento convencional no elimina toda la materia en suspensión y coloidal presente en el agua. Así pues, en este caso lo mejor sería incluir un proceso previo de filtración por membranas (ya sea microfiltración, ultrafiltración o nanofiltración), previa adición de coagulantes y antiincrustantes, que protejan los equipos de un ensuciamiento o atascamiento excesivo

En nuestro caso, la captación de agua se va a realizar directamente del mar, mediante una toma abierta. Por ello, teniendo en cuenta que el agua captada tiene una cantidad significativa de sustancias en suspensión y coloides, es necesario realizar un proceso de filtración por membranas, previo a la ósmosis inversa, para evitar problemas de ensuciamiento, y así aumentar la vida útil de la membrana de ósmosis inversa.

Esta filtración previa puede realizarse mediante una microfiltración, una ultrafiltración o una nanofiltración. La nanofiltración como pretratamiento para la ósmosis inversa todavía se encuentra en desarrollo, y por contra, la microfiltración es poco selectiva debido a su gran tamaño de poro. Por tanto, el proceso de filtración que se va a seleccionar, previo a la ósmosis inversa es la ultrafiltración. Teniendo en cuenta que vamos a realizar una ultrafiltración previa, deberemos realizar un tratamiento químico adecuado que nos garantice el buen funcionamiento del proceso, tanto de la ultrafiltración como de la ósmosis inversa.

Luego, se puede concluir que el pretratamiento que se va a aplicar entre el proceso de captación y la ósmosis inversa consistirá en los siguientes procesos y en el siguiente orden:

1º Desinfección

2º Tamización

3º Filtración

4º Coagulación

5º Ultrafiltración

Una vez realizados todos estos procesos, el agua prácticamente solo contiene sales disueltas en ella, que serán separadas mediante un proceso de ósmosis inversa. No obstante, para proteger estas membranas se completará este tratamiento con la adición de un agente antiincrustante, para evitar la posible precipitación de sales en estas, y otro reductor, que contrarreste los compuestos oxidantes que pueda tener el agua, principalmente del cloro libre residual de la desinfección.

7.4 Postratamientos

Una vez el agua ha atravesado las membranas de ósmosis inversa, no tiene apenas presencia de sales. No obstante, esta agua todavía no es apta para el consumo humano. Así pues, será necesario un postratamiento para poder consumirla. Los postratamientos pueden ser muy variados y dependerán de la calidad del agua obtenida y los requerimientos legales del agua potable. En este ámbito, destacan en particular la remineralización a base de lechos de calcita o la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y CO_2 .

En nuestro caso lo más conveniente y sencillo de realizar es la carbonatación del agua a base de CO_2 gas, a la par que hacemos pasar el producto a través de lechos de calcita. De esta forma conseguimos adecuar el equilibrio calcio-carbónico del agua a los parámetros legales exigidos por la ley para el agua potable.

8 RESULTADOS FINALES

8.1 Emplazamiento

El emplazamiento del proyecto se realizará en Gran Canaria (Canarias) en el municipio de Telde, en una finca que dispone de una superficie total aprovechable de unas 3-3,5 Ha situada junto al litoral, cuyo centro aproximado se encuentra en las siguientes coordenadas UTM. La justificación de esta localización puede consultarse en el "ANEXO II".

X:461.761,80
Y:3.100.299,88

8.2 Proceso

La descripción técnica del proceso puede consultarse en el "ANEXO III: DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE EQUIPOS E INSTALACIONES". Este proceso puede resumirse en el diagrama de flujo que se expone a continuación:

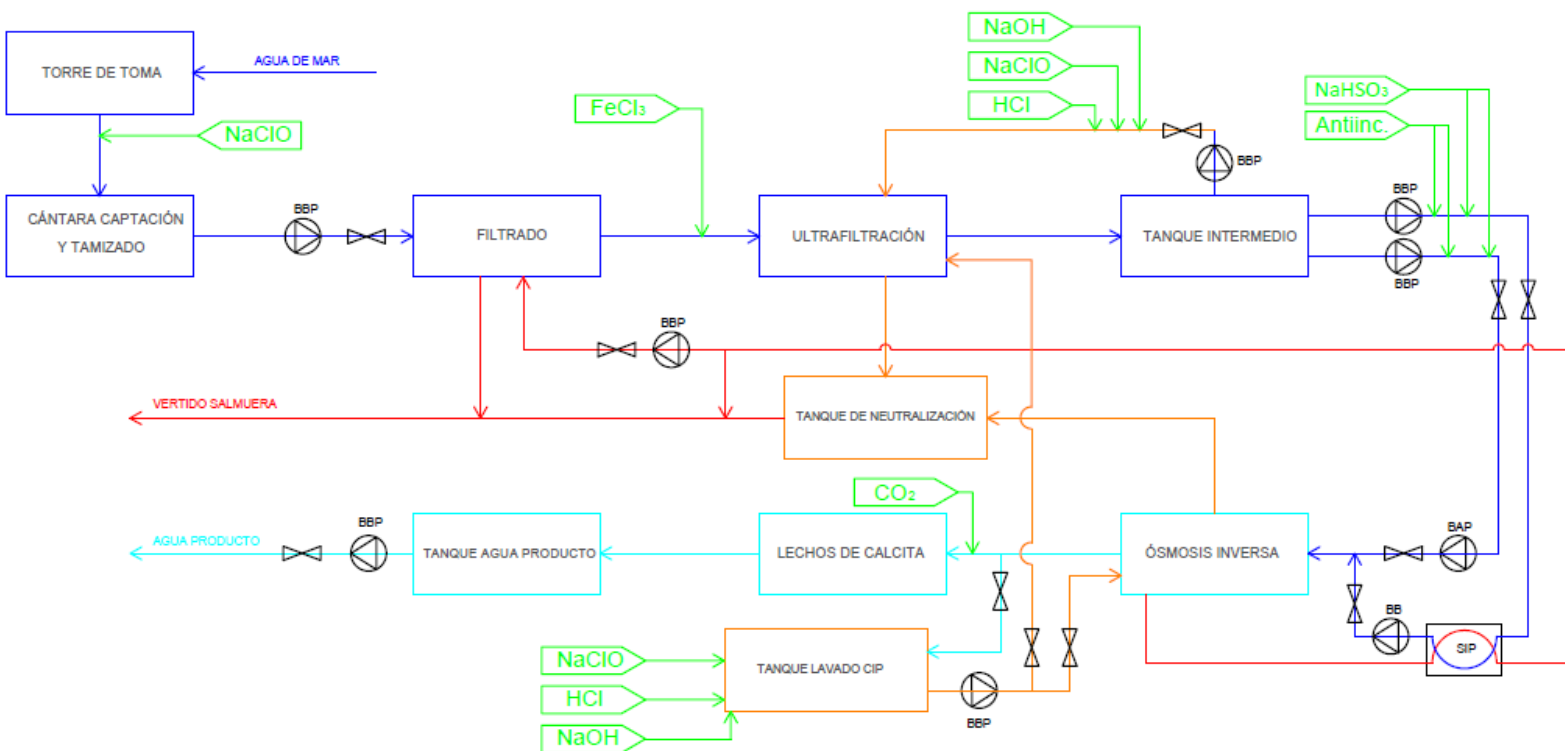


Diagrama de flujo del proceso completo (ANEXO III, Figura 1)

8.2.1 Captación

El proceso de captación de agua se realizara por medio de una toma abierta, y será conducida a través de un inmisario submarino hasta la cántara de captación para posteriormente ser bombeada a planta.

Torre de captación

La torre de captación a instalar, similar a la que se muestra en la imagen, se instalará a una distancia de unos 500-1000 m de la costa, a una profundidad de 10-12 m, considerando siempre que esta altura sea de por lo menos 8m durante marea baja, para asegurar un suministro continuo de agua a la cántara de captación.

Preferiblemente deberá situarse sobre un lecho rocoso o de arenas gruesas, evitando situarlo en una zona con gran presencia de algas que puedan llegar a colonizar la torre o el inmisario.

La torre estará fabricada en hormigón y dispondrá de unas ventanas en la parte superior de alrededor de 0,5-1 m² cada una, que han de tener una geometría adecuada, generalmente circular o hexagonal, para garantizar un flujo lo más laminar y horizontal posible para minimizar las pérdidas de carga y la posible captación de residuos, ya sean partículas en suspensión y/o fauna y flora marina. Para ello, el agua al atravesar las ventanas, deberá poseer una velocidad media de unos 0,15 m/s.



Torre de toma (ANEXO III, Figura 2)

Inmisario submarino

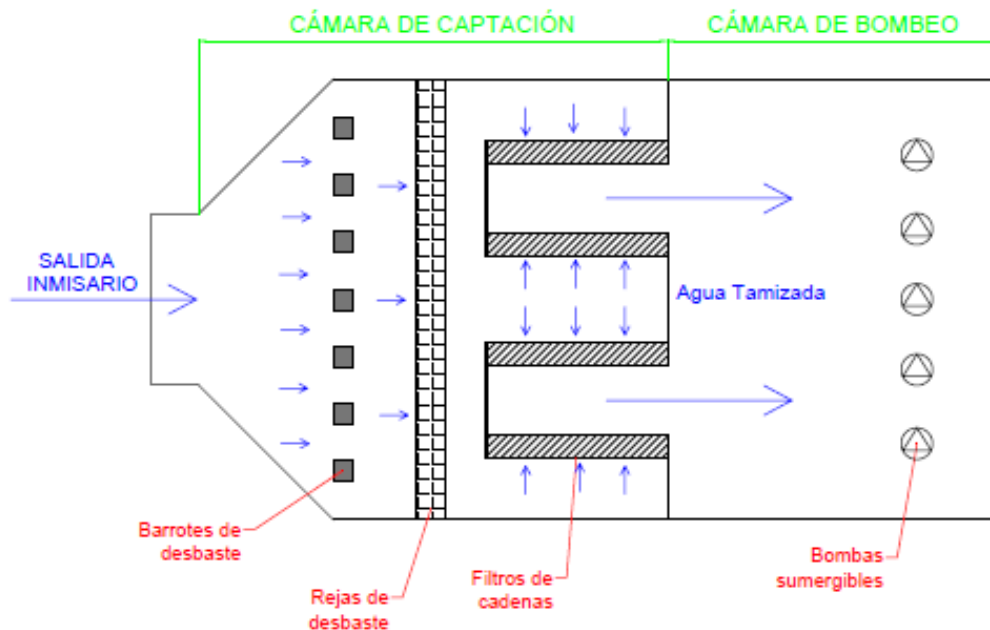
Una vez tomada el agua, esta será conducida hasta la costa a través de un inmisario de salmuera de un diámetro de 1,2 m, a través del cual se abastecerá la cántara de captación. Este inmisario será de polietileno de alta densidad (PEAD), debido a su alta resistencia a la corrosión. En él se instalará un dosificador de NaClO, utilizado para desinfectar el agua nada más entrar en esta conducción, de tal forma que las comunidades acuáticas no se instalen en él, lo que podría provocar problemas futuros de atascamiento, rotura o aumento de pérdidas de carga que pudiesen afectar al abastecimiento de la cántara de captación.



Ejemplo de estructura del inmisario submarino (ANEXO III, Figura 4)

Cántara de captación

La cántara de captación estará fabricada en hormigón y dispondrá de dos cámaras. La desembocadura del inmisario en ella no se producirá de forma brusca, sino que las paredes de la conducción se irán ensanchando con un ángulo de 45°. El agua al llegar a la primera de estas cámaras, la cámara de captación, atravesará los barrotes de desbaste (20-25 cm de luz), las rejas de desbaste extraíbles (10-15 cm) y, por último, los filtros de cadenas de doble flujo (1mm luz). Una vez atravesados estos, el agua se encontrará en la cántara de bombeo desde donde será bombeada a planta a partir de 4 bombas sumergibles situadas en ella, existiendo otra de reserva. A continuación se muestra un esquema de este proceso:



Esquema de la cántara de captación (ANEXO III, Figura 5)

8.2.2 Pretratamiento

El pretratamiento previo al proceso principal, la ósmosis inversa, comienza durante la captación, donde se aplican una **desinfección** en el inmisario submarino, y un **tamizado** en la cámara de captación de la cántara. Estos tratamientos se realizan antes de llegar a planta para evitar posibles problemas durante el proceso de captación.

Filtrado

Una vez el agua de mar ha sido bombeada a planta, atravesará en primer lugar unos filtros de anillas. En ellos las partículas de tamaño mayor a 100-200 μm , que podrían dañar las membranas de ultrafiltración, serán retenidas. Conforme el filtro va reteniendo partículas disminuye su rendimiento, aumentando la presión necesaria de trabajo. Por tanto, se realizarán contralavados de forma periódica para evitar estos problemas. Estos contralavados se realizarán con el agua de rechazo proveniente de la OI, de tal forma que optimizamos la producción, disminuyendo la cantidad de agua bruta necesaria por metro cúbico de agua potable producida. En este caso, como se describe en el "ANEXO III", se ha optado por instalar 9 bloques de filtros compactos 21x3 C de la empresa STF, de los cuales 8 estarán en continuo funcionamiento, disponiendo de otro de reserva para poder realizar los contralavados pertinentes, sin necesidad de parar la producción.

Coagulación

Este tratamiento consiste básicamente en la adición de cargas positivas a los coloides, que los desestabilicen eléctricamente y se creen unas fuerzas de atracción mayores a las de repulsión, facilitando el trabajo de las membranas de ultrafiltración. Además se consigue una optimización del rendimiento del proceso y una mejora en la vida útil de estas.

Este tratamiento se realizará en continuo mediante una bomba dosificadora, y se utilizará cloruro férrico (FeCl_3) para ello. Además colocaremos un mezclador estático después de la inyección de este compuesto para asegurarnos de que el producto queda uniformemente distribuido. Es importante considerar que el producto debe estar en contacto un mínimo de 30 segundos antes de la entrada de la entrada al proceso de UF para que su efecto sea el deseado.

Este compuesto, además de actuar como coagulante, genera cierta acidez, dificultando la precipitación del carbonato cálcico, y aumentando el poder desinfectante del NaClO .

Ultrafiltración

El proceso principal del pretratamiento es la ultrafiltración. Este proceso de membrana conducido por presión, utiliza un tamaño de poro comprendido entre 0,1 y 0,001 μm , siendo capaz de eliminar una serie de sustancias y coloides del agua, pero no siendo capaz de eliminar ni moléculas de pequeño tamaño, ni iones polivalentes, ni sales y solutos de bajo peso molecular.

No obstante, es un proceso previo idóneo a la ósmosis inversa ya que hace que este sea más fácil, rápido y "limpio". Además de este modo, a pesar de que estos equipos necesitan limpiezas químicas periódicas, se minimiza la utilización de productos químicos a la par que se consigue una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes con una mayor calidad de filtrado. También presenta ventajas como la necesidad de menor espacio y una mayor facilidad para la automatización.

En este caso se ha optado por la utilización de los módulos de ultrafiltración SFP-2880, de la reconocida empresa DOW, ideales para plantas de gran tamaño. En este caso se dispondrá de 900 módulos de estas características, montados sobre 9 bastidores. Los módulos de UF, se ensucian con rapidez, disminuyendo su rendimiento, por lo que cada 30-45 min, se deberá realizar un lavado. De esta forma, 8 bastidores trabajan de forma ininterrumpida mientras uno se encuentra en el proceso de contralavado pertinente, manteniendo una producción continua. En la imagen puede observarse la disposición de un bastidor de estas características.



Bastidores de UF (ANEXO III, Figura 14)

El agua ya ultrafiltrada será almacenada en un tanque intermedio. Este será cerrado y dispondrá de filtros de aire HEPA, de tal forma que esta no vuelva a acumular impurezas. Este tanque abastecerá tanto al proceso de ósmosis inversa, como a los procesos de limpieza de la ultrafiltración.

8.2.3 Ósmosis inversa y sistemas auxiliares

Tratamientos químicos

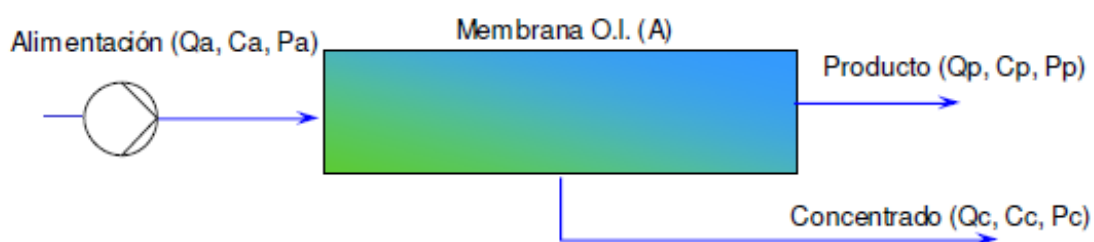
Una vez se ha tratado el agua mediante ultrafiltración, sus características son idóneas para abastecer el proceso de OI. No obstante, no debemos olvidar que en el pretratamiento realizamos una desinfección. El cloro libre proveniente de ella, principal compuesto oxidante presente el agua tratada, podría dañar irreversiblemente las membranas de OI. Por ello, realizaremos un tratamiento químico de **reducción de oxidantes** a base de metabisulfito sódico, que será dosificado en continuo tras el bombeo de baja presión del agua del tanque intermedio.

Además, a pesar de que a las temperaturas de trabajo y con una conversión de un 45% no es probable que precipiten las sales en las membranas, dosificaremos en continuo un agente **antiincrustante** que evite este proceso.

Líneas de OI

La ósmosis inversa consiste en utilizar presión para hacer pasar un flujo de agua (aporte) a través de una membrana semipermeable de tal forma que como resultado se obtenga, un flujo de agua libre de sales (permeado) y otra con una concentración salina superior a la inicial (rechazo).

En el diseño de esta planta se ha optado por la implantación de un proceso de desalación por ósmosis inversa de un paso, es decir, sin recirculación de agua de rechazo, por lo que el agua de rechazo del primer paso de ósmosis inversa será devuelta directamente al mar. El agua, proveniente del tanque intermedio, será bombeada a baja presión, hasta las bombas de alta presión y los sistemas SIP que abastecerán este sistema.



Esquema del proceso de ósmosis inversa de dos pasos (ANEXO III, Figura 16)

Mediante el programa “IMS Design”, tal como se detalla en el “ANEXO III”, se simuló la utilización de distintas membranas de OI con configuraciones diferentes hasta encontrar la más apropiada. Finalmente, se optó, por la instalación de 4 líneas de OI con una conversión aproximada de un 45%, cada una de las cuales se compondrá de 173 tubos, que a su vez estarán compuestos de 7 módulos de ósmosis inversa SWC4-LD, lo que supondrá un total de 1211 módulos de estas características.

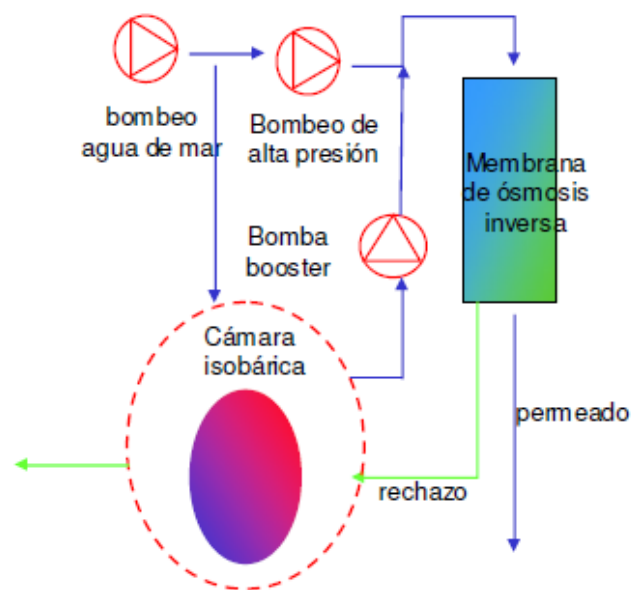
Sistema de recuperación de energía

Para optimizar el consumo eléctrico de la planta, y teniendo en cuenta que el mayor consumo se produce al conferir una gran presión al agua de entrada del proceso de OI, se instalarán unos sistemas de recuperación de energía, que utilizarán la alta presión del agua de rechazo de la OI, para aportarla a parte del agua de entrada. Por tanto, parte del agua de alimentación de la OI (alrededor de un 50%), no atravesará las bombas de alta presión.

Dentro de las posibilidades del mercado, se ha optado por la elección de sistemas de intercambio de presión (SIP). Más concretamente se instalarán 10 recuperadores PX-Q300, por línea, de la empresa “Energy Recovery Inc.”.

Estos, aprovecharán la presión del agua de rechazo mediante una cámara isobárica. De esta forma, en teoría, se conseguiría impulsar agua de mar, utilizando la presión del agua de rechazo, sin consumo energético. No obstante, esta técnica presenta un problema, la presión con la que el agua de mar entra en las membranas, es mayor que la que posee el agua de rechazo, debido a la pérdida de carga sufrida al atravesar las membranas, así como de otros elementos como válvulas y en su mismo paso a través de las tuberías.

Mediante la instalación de una bomba booster a la salida del sistema podemos solucionar el problema, aportando la presión necesaria para compensar la pérdida de carga, impulsando un caudal de agua ligeramente inferior al caudal del agua de rechazo. Así, aprovechamos la energía del caudal de rechazo con un consumo mínimo. En la figura se muestra el esquema de un sistema de estas características:



Esquema del sistema de intercambio de presión (ANEXO III, Figura 17)

Emisario de salmuera

El agua de rechazo, una vez utilizada en planta, será enviada de nuevo al mar. Para ello dispondremos de una tubería de gran diámetro, por donde discurrirá esta agua de rechazo, en lámina libre, hasta el mar. En el punto de evacuación de la tubería se instalarán unos eductores de tipo venturi.

Estos, han presentado grandes ventajas frente a otros sistemas como los difusores convencionales. De esta forma mezclamos la salmuera con el agua de mar, hasta que la diferencia salina entre el vertido y el agua de mar es imperceptible, protegiendo el ecosistema marino de posibles problemas generados por este vertido.

Para más datos sobre estos elementos, puede consultarse, en la bibliografía adjunta, el manual de producto, “EDUCTORES GIGANTES”, distribuido por el centro canario del agua en colaboración con northeast controls inc. USA.

8.2.4 Postratamiento

Una vez procesada el agua de mar presenta un carácter muy agresivo debido a su baja alcalinidad y dureza. Por ello, esta agua debe ser remineralizada para alcanzar su equilibrio calcio-carbónico. Teniendo en cuenta que este es el último paso antes de su salida de la planta, previa desinfección, es un paso clave en que además de conseguir remineralizarla, deberemos tener en cuenta otros parámetros como la turbidez de la misma entre otras. Principalmente, deberemos cumplir los requerimientos de agua potable que establece la legislación, que pueden consultarse en el Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

El proceso por el cual va a realizarse esta remineralización será a base de lechos de calcita con dosificación de CO₂, principalmente debido a su sencillez y garantía de calidad del agua final.

Carbonatación

La carbonatación se realizará por medio de la dosificación de CO₂ por medio de disolvedores de este gas. Los equipos utilizados serán los fabricados por la empresa “Drin Tec”, marca desarrollada por el FCCA de Canarias, en su continua apuesta por el departamento de I+D, y que hoy en día aparecen en el mercado como una empresa puntera en la remineralización de aguas.

Lechos de calcita

Los lechos de calcita facilitados por la empresa “Drin Tec” disponen de dosificadores de calcita granulada, vertederos perimetrales interiores, suelos filtrantes para agua y aire y silo de calcita incorporado. Los diseños incluyen un sistema de recuperación de aguas turbias y de recirculación para garantizar una planta con una autonomía de más de 30 días y vertido cero durante su funcionamiento.

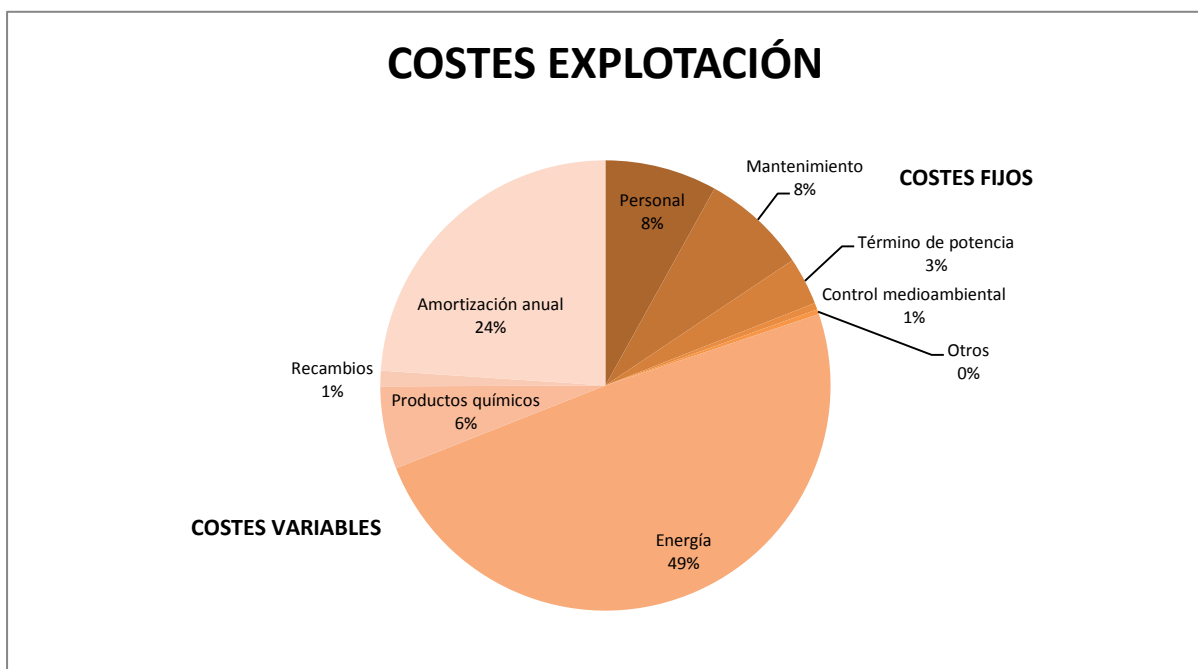
Para la remineralización, se dispone de 8 lechos de calcita que funcionarán en paralelo, con una superficie de 9x2 m², disponiendo todos de una altura de lecho de 3m, lo que facilita el diseño hidráulico del sistema de alimentación.

9 PRESUPUESTO

El presupuesto de ejecución por contrato asciende a **VEINTICUATRO MILLONES** de euros. Este presupuesto no incluiría la obra civil. Para conocimiento del promotor, basándonos en los datos proporcionados por el departamento de ingeniería aplicada de Sadyt, el coste total de inversión del proyecto, ascendería a **TREINTA MILLONES** de euros que engloban tanto los equipos necesarios como la obra civil que los albergará.

Esta inversión se amortizará a 20 años, con un sistema de amortización lineal, lo que supondrá un amortización anual de **UN MILLON QUINIENTOS MIL** euros. Luego, considerando unos costes fijos de explotación de **UN MILLON DOSCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL CIENTO SETENTA Y UNO**, y unos costes variables de explotación de **TRES MILLONES QUINIENTOS DIECINUEVE MIL QUINIENTOS OCHENTA Y TRES CON SETENTA Y UNO**, el coste de explotación anual del proyecto asciende a **SEIS MILLONES DOSCIENTOS SESENTA Y TRES MIL SETECIENTOS CINQUENTA Y CUATRO CON SETENTA Y UNO** euros.

En la siguiente figura se expresan en porcentaje los distintos costes anuales, donde destaca que el gasto energético supone más de tres millones, prácticamente la mitad del coste de explotación anual, de lo que se deduce que cuanto más optimicemos el uso de este recurso, mayor será la rentabilidad del proyecto.



Desglose Costes Explotación (PRESUPUESTO, Figura 4)

En el "ANEXO IV", se expone el análisis de viabilidad. Los resultados muestran que tanto para una tasa de descuento del 4% como del 7% el proyecto es viable y altamente rentable, siendo capaz de soportar incluso una tasa de más del 21%. Esto es así gracias a la optimización del consumo energético en el diseño de la planta.

El coste del m³ de agua producto es de 0,3432 €/m³, valor muy bueno si consideramos un precio de venta de 0,78 €/m³. Así, la inversión se recuperará en 5 años.

10 ORDEN DE PRIORIDAD DE DOCUMENTOS

En caso de que existiesen discrepancias o controversias entre los distintos documentos de este proyecto, el orden de prioridad de los documentos básicos del proyecto sería el siguiente:

- 1 Pliego de Condiciones
- 2 Planos
- 3 Anexos
- 4 Presupuesto
- 5 Memoria

UPNA

ANEXOS

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



**Ayuntamiento
de Telde**

ÍNDICE DE ANEXOS

--ANEXO I--

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 REQUISITOS DEL EMPLAZAMIENTO.....	4
3 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	5

--ANEXO II--

1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 PROCESOS BASADOS EN LA DESTILACIÓN.....	6
2.1 Proceso de evaporación instantánea multietapa (MSF).....	6
2.2 Proceso de evaporación multiefecto tubos horizontales (MED).....	7
2.3 Proceso de compresión mecánica/térmica de vapor.....	8
3 PROCESOS BASADOS EN MEMBRANAS.....	9
3.1 Microfiltración (MF), Nanofiltración (NF) y Ultrafiltración (UF).....	9
3.2 Ósmosis Inversa (OI).....	11
3.3 Electrodialisis (ED).....	12
4 OTROS PROCESOS DE DESALACIÓN.....	13
4.1 Intercambio iónico.....	13
5 COMPARACIÓN.....	13

--ANEXO III--

1 INTRODUCCIÓN.....	7
2 PROCESO.....	8
2.1 CAPTACIÓN.....	8
2.1.1 Torre de captación.....	8
2.1.2 Inmisario submarino.....	9
2.1.3 Cántara de captación.....	10
2.2 PRETRATAMIENTO.....	12
2.2.2 Filtrado.....	12
2.2.3 Coagulación.....	13
2.2.4 Ultrafiltración.....	14
2.3 LA ÓSMOSIS INVERSA.....	21
2.3.1 Descripción del proceso y sistemas auxiliares.....	21
2.3.2 Diseño del sistema.....	23
2.3.3 Tratamientos químicos.....	34
2.4 POSTTRATAMIENTO.....	35
2.4.1 Dosificación de CO ₂	35
2.4.1 Lechos de calcita.....	36
3 TANQUES.....	38
3.1 TANQUE INTERMEDIO.....	38
3.2 TANQUE CIP.....	38
3.3 TANQUE NEUTRALIZACIÓN.....	38
3.4 TANQUE AGUA PRODUCTO.....	38
3.5 TANQUES DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....	39
4 BOMBAS Y CONDUCCIONES.....	40
4.1 INTRODUCCIÓN.....	40
4.2 CÁLCULOS.....	41
4.2.1 Bombas de captación.....	41
4.2.2 Bombas de alta presión.....	43
4.2.3 Bombas Booster.....	44
4.2.4 Bombas intermedias.....	45
4.2.5 Bombas de contralavado.....	48
4.2.6 Bomba agua producto.....	51
4.2.7 Bombas dosificadoras.....	52

5 SISTEMAS CONTROL.....	53
5.1 INTRODUCCIÓN.....	53
5.2 CONTROL.....	54
5.2.1 Control ON/OFF.....	54
5.2.2 Control regulatorio.....	55
5.2.3 Temporizador del PLC.....	56
6 PRODUCTOS.....	57

--ANEXO IV--

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 COSTES FASE DE CONSTRUCCIÓN.....	4
3 COSTES FASE DE EXPLOTACIÓN.....	4
3.1 Costes fijos.....	4
3.2 Costes variables.....	7
3.3 Resumen costes de explotación.....	9
4 COSTE DEL m³ DE AGUA.....	10
5 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN.....	11

ANEXO I

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 REQUISITOS DEL EMPLAZAMIENTO.....	4
3 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	5

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los espacios naturales de Canarias.....	4
Figura 2: Clasificación del suelo del municipio de Telde.....	5
Figura 3: Zonas urbanizables cercanas al litoral del municipio de Telde.....	6
Figura 4: Zonas urbanizables 1 y 2.....	6
Figura 5: Ubicación, dimensiones y topografía del terreno disponible para el proyecto.....	7

1 INTRODUCCIÓN

Canarias es un archipiélago de gran riqueza natural. El gobierno de Canarias realiza un gran esfuerzo por mantener dentro de sus posibilidades esta riqueza natural propia de las islas, tratando de concienciar a la población de la importancia de la conservación de este patrimonio.

Desde esta perspectiva, el gobierno canario considera que la planificación territorial es clave para la mejor gestión del suelo y de los recursos naturales. Así, ha creado una serie de categorías de protección de los espacios naturales que pueden resumirse a gros modo en el siguiente mapa:



Figura 1: Clasificación de los espacios naturales de Canarias. (www.gobiernodecanarias.org)

Por tanto, deberemos considerar una zona en la que el gobierno de Canarias permita la instalación de un proyecto de estas características.

2 REQUISITOS DEL EMPLAZAMIENTO

Además de las limitaciones impuestas por el gobierno de Canarias mediante la ordenación del territorio, debemos considerar los requisitos del proyecto. Las especificaciones que se han impuesto en cuanto a emplazamiento son:

- A solicitud del cliente, la planta a de situarse en el municipio de Telde.
- Debe ubicarse junto a la costa.
- No puede ubicarse en zonas rústicas de protecciones paisajísticas o naturales, de acuerdo con la Ley 7/2009, de 6 de mayo, por la cual se establecen las Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias.

- Minimizar los problemas de ruido situando la planta lo más alejada posible de los núcleos urbanos.
- Preferiblemente deberá ubicarse en el municipio de Telde, lo más cerca posible de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, ya que es la población de mayor tamaño de la isla, y se podría aprovechar los excedentes de agua potable del municipio.
- Es conveniente que la planta se ubique cerca de la red viaria de carreteras.

De estos requisitos, los más relevantes son, que la planta debe situarse en la costa del municipio de Telde (Gran Canaria), sin ocupar ningún espacio natural, y alejándola lo más posible de las poblaciones cercanas.

3 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO

Conociendo los requisitos del emplazamiento y utilizando el “SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL” del gobierno de Canarias, procedemos a identificar las zonas costeras de este municipio dónde está permitido construir. Para ello nos ayudaremos de del catastro denominado “ORDENACIÓN EL TERRITORIO”, y dentro de este, nos centraremos en la pestaña “Planeamiento urbanístico y de Espacios Naturales”. Una primera clasificación simplificada clasifica el suelo en tres 3 categorías:

- ☐ Clasificación de suelo
- SR (Suelo rústico)
 - SUz (Suelo urbanizable)
 - SU (Suelo urbano)



Figura 2: Clasificación del suelo del municipio de Telde.

Esta sencilla clasificación es suficiente para determinar las zonas donde podemos implantar nuestro proyecto, ya que si acudimos a otras clasificaciones más específicas como “Categorías y subcategorías de suelos”, el mapa se complica, pero se resume en que los espacios rústicos por lo general son espacios protegidos de uno u otro tipo y el suelo urbano se encuentra ocupado, quedando las superficies urbanizables del mismo modo que en la clasificación inicial de suelos.

Así pues deberemos seleccionar las diferentes posibles ubicaciones de la planta entre las zonas representadas en el mapa como color naranja, y se corresponde con las superficies urbanizables. Esta selección se muestra en la siguiente imagen, dónde se han seleccionado las posibles ubicaciones, considerando que la planta debe situarse en el litoral, y dentro de una zona urbanizable:

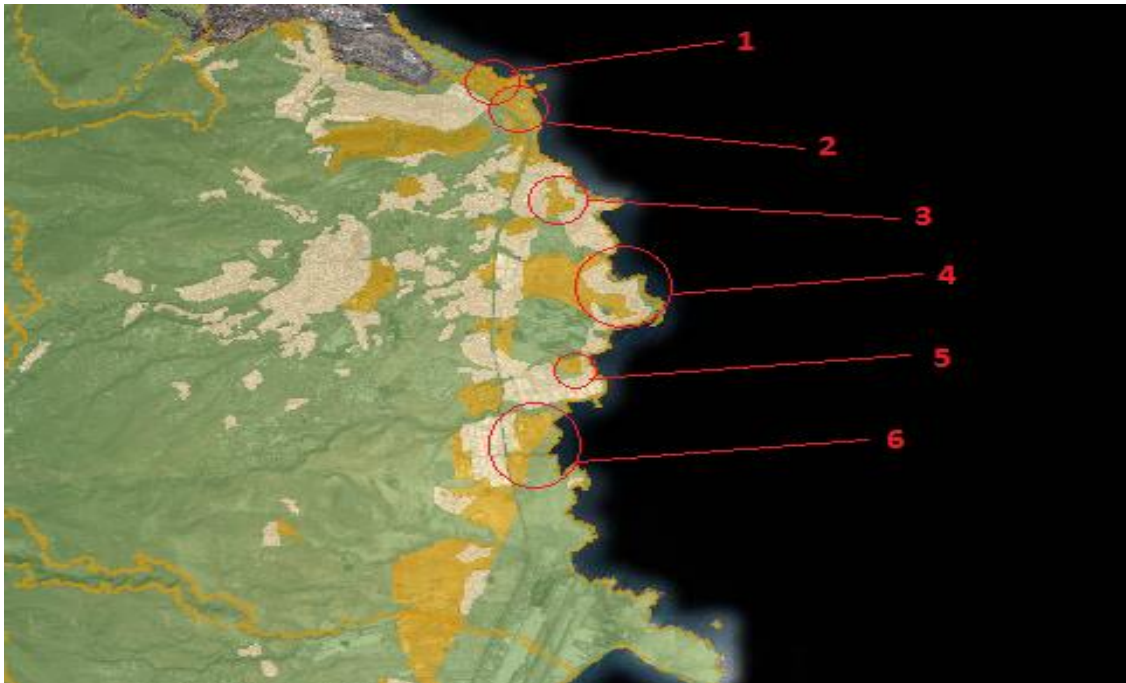


Figura 3: Zonas urbanizables cercanas al litoral del municipio de Telde.

Si observamos detenidamente, podemos observar que las zonas 3, 4, 5 y 6 se encuentran muy cerca de suelos ya urbanizados. Además todos ellos presentan una pequeña franja de espacio rústico entre la zona urbanizable y la costa, por lo que la instalación de la tubería de captación de agua podría suponer un problema de permisos y normativas. Por ello, nos centraremos en las ubicaciones 1 y 2, que se muestran en el siguiente mapa:



Figura 4: Zonas urbanizables 1 y 2.

Como podemos observar la zona 2, también se encuentra rodeada de paisaje rústico que podría conllevar problemas, mientras que la zona 1, es urbanizable hasta el mismo litoral, lo que nos puede ahorrar problemas. Además la finca 1 es propiedad del municipio de Telde lo que nos ahorraría problemas de registros, ya que la instalación de esta planta beneficia en gran medida a nuestro colaborador. Cabe destacar también que esta zona, la zona 1, también se encuentra detrás del polígono de Jinámar, lo que es un punto a favor ya que los problemas que podría ocasionar la planta en cuanto a ruido son mínimos.

Por tanto podemos concluir que la zona elegida será la zona 1, cuya ubicación, dimensiones y topografía se concreta a continuación:



Figura 5: Ubicación, dimensiones y topografía del terreno disponible para el proyecto

Además de cumplir los requisitos básicos de ubicación, la zona seleccionada se encuentra junto a una carretera ya construida, y a escasos 8-9 km de la capital de la isla, Las Palmas de Gran Canaria, por lo que la situación de la planta cumple todos los requisitos, tanto obligatorios como de preferencia, establecidos por el cliente.

Para observar la ubicación con más detalle, consultar los planos de situación. Estos se corresponden con los planos 1, 2, 3, 4 y 5.

ANEXO II

COMPARACIÓN DE LAS PRINCIPALES TÉCNICAS DE DESALACIÓN

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 PROCESOS BASADOS EN LA DESTILACIÓN.....	6
2.1 Proceso de evaporación instantánea multietapa (MSF).....	6
2.2 Proceso de evaporación multiefecto tubos horizontales (MED).....	7
2.3 Proceso de compresión mecánica/térmica de vapor.....	8
3 PROCESOS BASADOS EN MEMBRANAS.....	9
3.1 Microfiltración (MF), Nanofiltración (NF) y Ultrafiltración (UF).....	9
3.2 Ósmosis Inversa (OI).....	11
3.3 Electrodialisis (ED).....	12
4 OTROS PROCESOS DE DESALACIÓN.....	13
4.1 Intercambio iónico.....	13
5 COMPARACIÓN.....	13

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Esquema de un equipo de evaporación instantánea por efecto flash.....	6
FIGURA 2: Esquema de un equipo de evaporación multiefecto tubos horizontales.....	8
FIGURA 3: Esquema de un equipo de evaporación por compresión.....	9
FIGURA 4: Tamaños de poro de cada técnicas de separación por membranas.....	10
FIGURA 5: Esquema del fenómeno de ósmosis y ósmosis inversa.....	11
FIGURA 6: Esquema de un equipo de electrodiálisis.....	12

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Clasificación de los principales sistemas de desalación.....	5
TABLA 2: Comparación entre las principales técnicas de desalación de agua de mar.....	14

1 INTRODUCCIÓN

A la hora de diseñar una planta desalinizadora, es especialmente importante, como es obvio, elegir la técnica de separación más adecuada para separar las sales del agua. Esto dependerá fundamentalmente del caudal a tratar, de la disponibilidad de energía, de la zona del planeta dónde nos encontremos... En función de la tecnología de proceso adoptada los pretratamientos y postratamientos variarán en función de las necesidades de las características técnicas del agua para cada tecnología. En la tabla que se adjunta a continuación puede observarse un listado, entre otras, de las principales técnicas de desalación actuales y los procesos en que se basan:

TIPO DE SEPARACIÓN	PROCESO	TECNOLOGÍA
SEPARACIÓN DEL AGUA DE LAS SALES	Evaporación	Proceso de evaporación multiefecto de tubos horizontales (MED)
		Proceso de evaporación multiefecto de tubos verticales (VTE)
		Proceso de evaporación súbita multietapa (MSF)
		Proceso de compresión mecánica de vapor (VC)
		Proceso de compresión térmica de vapor (VCT)
		Proceso de destilación solar
		Proceso de destilación de tubos sumergidos
	Cristalización	Congelación
		Formación de hidratos
	Filtración	Ósmosis inversa (OI)
Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF) y Nanofiltración (NF)		
SEPARACIÓN DE LAS SALES DEL AGUA	Filtración selectiva	Electrodialisis (ED)
	Intercambio iónico	Intercambio iónico
	Disolución	Extracción con disolventes

Tabla 1: Clasificación de los principales sistemas de desalación.

Hemos de considerar de que de este listado, no todas ellas tienen una aplicación industrial, ya sea para consumo humano o industrial, debido a su limitado rendimiento o alto coste energético y/o económico. La destilación solar, por ejemplo, es adecuada para pequeñas comunidades en regiones áridas, pero es poco rentable a nivel industrial. Por otro lado las técnicas de tubos sumergidos y la evaporación multiefecto de tubos verticales, que fueron las primeras en utilizarse y que se utilizaban en barcos, han quedado obsoletas. Otras, como las técnicas basadas en congelación, todavía se encuentran en fase de planta piloto, por lo que harán falta unos años hasta que se consigan rendimientos aceptables para su aplicación industrial.

Así pues, las tecnologías que hoy en día podemos considerar viables son el proceso de evaporación multiefecto de tubos horizontales (MED), el proceso de evaporación súbita multietapa (MSF), los procesos de compresión (VC y VCT), la ósmosis inversa (OI), la electrodiálisis (ED) y diversos sistemas de filtración (Microfiltración, Nanofiltración y Ultrafiltración).

En los apartados siguientes se exponen de forma más concreta las técnicas mencionados anteriormente, así como la comparación entre ellas para la elección de la solución tecnológica más aceptable para el diseño de la planta.

2 PROCESOS BASADOS EN LA DESTILACIÓN

2.1 Proceso de evaporación instantánea multietapa (MSF)

Este proceso consiste en la destilación de agua de mar para condensar posteriormente el vapor obtenido, utilizando su calor latente para calentar más agua de mar que se evaporará posteriormente. Si utilizásemos un número infinito de etapas, con una transmisión de calor de área infinita y no se produjesen pérdidas, no sería necesario aportar más calor y el proceso se mantendría por sí solo, pero como esto no es así, es necesario aportar energía tanto para iniciar el proceso como para su mantenimiento.

Debemos tener en cuenta que para garantizar un rendimiento adecuado hay que eliminar el aire y gases presentes en el agua de mar para que no se acumulen en el evaporador, ya que además de que en el pretratamiento estos no son completamente eliminados, en el proceso existen etapas que trabajan en condiciones de vacío por lo que existen entradas de aire desde el exterior a través de los poros y juntas de los equipos. Para evitar estas acumulaciones se instala un equipo de vacío y una red de venteo en las distintas etapas

El funcionamiento de este proceso puede resumirse en el siguiente esquema, dónde se aprecian los distintos elementos que lo componen (Figura 1).

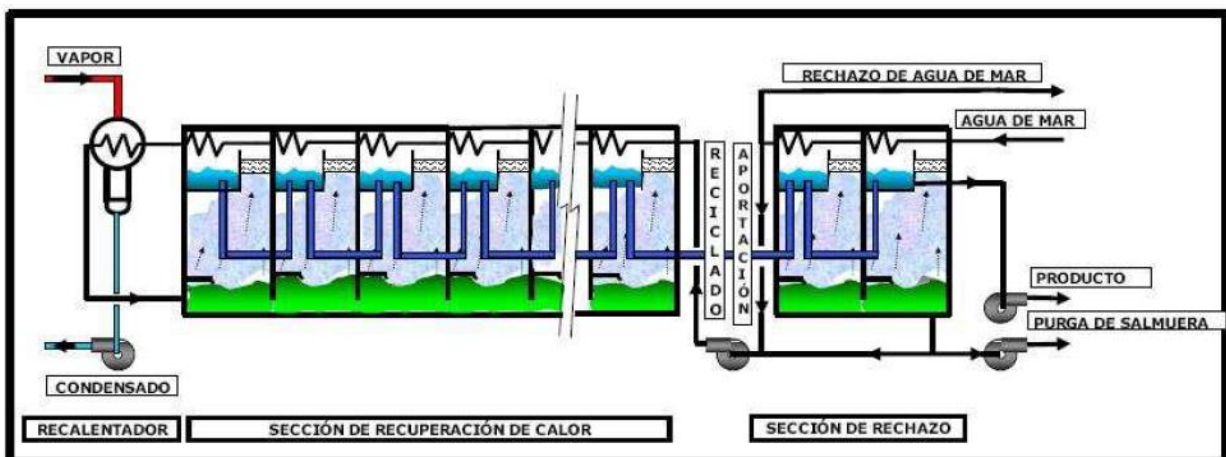


Figura 1: Esquema de un equipo de evaporación instantánea por efecto flash.

Como se aprecia en el esquema, este sistema consta de tres secciones; la sección de rechazo, la sección de recuperación de calor y la sección de recalentamiento de salmuera.

En la primera sección, la del recalentador, la salmuera se encuentra a la máxima temperatura admisible. Cuando esta agua entra en el evaporador (por la parte inferior), se encuentra con una presión inferior a la correspondiente a saturación para esa temperatura, por lo que el agua se evapora de manera “instantánea”. Debemos considerar que al ser una evaporación tan súbita este vapor ha de pasar por unos “demisters” (separadores de gotas) para eliminar las gotas de salmuera que hayan podido ser arrastradas. Una vez atravesados estos elementos, el vapor se condensará en la parte exterior de los tubos situados en la parte superior de la cámara, recogiendo el condensado en unas bandejas.

Así pues, la salmuera sobrante de esta primera etapa pasa a la parte inferior de la segunda etapa, dónde se repite el proceso de evaporación-condensación anterior al presentar esta etapa de nuevo una presión inferior a la correspondiente a saturación para esa temperatura. Este proceso se repetirá en todas las etapas hasta llegar a la última, o sección de rechazo.

En este punto podemos observar que en el interior de los tubos de condensación se introduce agua de mar fría. A la salida de los tubos de condensado de esta sección parte del agua de mar se rechaza (no por alto contenido de sales, sino por exceso de temperatura), mientras que la otra parte se mezcla con la salmuera reutilizada del proceso, constituyendo el reciclado. Este caudal de reciclado atravesará el evaporador, desde la última etapa hasta la primera por el interior de los tubos de condensado. Así, cuando llega a la primera etapa el reciclado se ha calentado. No obstante, este reciclado caliente es recalentado antes de entrar en el evaporador como materia prima, para alcanzar la temperatura necesaria de entrada en la primera etapa del evaporador. Es importante destacar que en la última sección, parte de la salmuera, la que no sido utilizada para la mezcla con el agua de mar, ha sido extraída para eliminar el exceso de sales y los problemas derivados de su acumulación.

El agua acumulada en las bandejas de condensado de la última etapa corresponden al producto obtenido del proceso, agua destilada.

El principal inconveniente de este proceso es su alto consumo específico de energía. No obstante, es uno de los procesos más utilizados en el mundo, especialmente en Oriente Medio. Esto se debe a que, además de que en esta zona del planeta el coste de la energía obtenida a partir de combustibles fósiles es uno de los más bajos, es un método especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena. Además representa uno de los procesos de destilación más robustos y de mayor capacidad que existen para operaciones diarias.

2.1 Proceso de evaporación multiefecto tubos horizontales (MED)

La idea de este proceso, al igual que todos los procesos basados en la destilación, consiste en evaporar agua de mar, condensar el vapor obtenido y recuperar el calor latente de condensación del vapor para calentar más agua de mar que volverá a ser evaporada.

En este caso, el proceso se divide en dos secciones, el condensador, que se corresponde con el punto más frío del ciclo, y los efectos, siendo el primero de estos dónde se encuentra el foco caliente del ciclo térmico.

Así, el vapor aportado como fuente energética se condensa en el interior de los tubos al hacer pasar agua fría por el exterior, que a su vez se evaporará en parte. El vapor producido pasa por unos “demisters” para separar las gotas de salmuera arrastradas, entrando en los tubos del siguiente efecto dónde se condensará, evaporando a su vez de nuevo el agua fría de mar rociada por el exterior de los tubos.

En definitiva, el vapor producido en cada efecto procede de la evaporación por desequilibrio térmico entre efectos, y por la condensación de vapor en el interior de los tubos, proceso que se va repitiendo de efecto en efecto, reduciéndose cada vez más la temperatura a la que tiene lugar y por tanto, disminuyendo así mismo la presión correspondiente en el interior de cada efecto, hasta llegar al último que es el condensador final.

En este último condensador se utiliza un gran volumen de agua para condensar el vapor, por lo que no se alcanza la temperatura suficiente para producir vapor, sino que únicamente se calienta el agua de mar. Esta, se divide en dos, una parte la aportación, volverá al ciclo, y otra se devolverá al mar como agua de rechazo. La aportación irá calentándose a través de unos cambiadores de calor que utilizan el vapor producido en los efectos, hasta llegar al primer efecto.

El vapor condensado en el primer efecto se devuelve al ciclo externo del que procede, ya que es el condensado del vapor motriz. El condensado del segundo y siguientes es el producto, que se va haciendo circular de un efecto a otro poniéndose en contacto, sucesivamente, con presiones más bajas, de modo que una parte de este producto se evapora para equilibrar las presiones y las temperaturas. Este proceso puede observarse de forma gráfica en la figura siguiente:

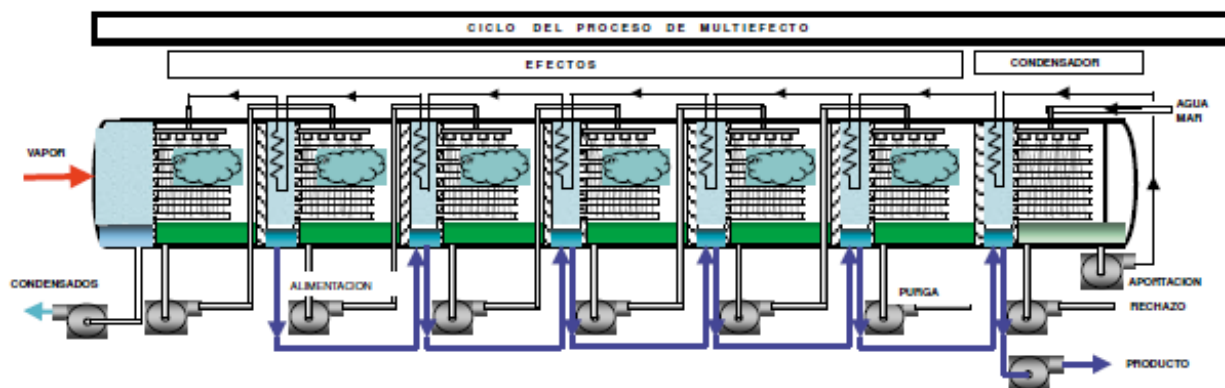


Figura 2: Esquema de un equipo de evaporación multiefecto tubos horizontales.

Al igual que el proceso anterior, también será necesario realizar una purga de salmuera en el último efecto para mantener el equilibrio salino en el evaporador, ya que gran parte del agua de la salmuera ha sido evaporado.

2.3 Proceso de compresión mecánica/térmica de vapor

En este proceso, la energía necesaria para evaporar el agua proviene de la compresión suministrada al vapor, en lugar de la energía calorífica del vapor suministrado por la caldera. Esta compresión puede ser de origen mecánico o térmico, y suelen utilizarse para plantas de pequeño y mediano tamaño.

Mediante el proceso de compresión mecánica (CV) es posible obtener agua destilada únicamente a partir de energía eléctrica, utilizando un compresor mecánico. Este compresor crea un vacío en el interior de una cámara, aspirando por un punto el vapor existente en su interior, comprimiéndolo nuevamente y condensándolo en el interior de los tubos dispuestos en la carcasa. Este proceso se esquematiza en la siguiente figura:

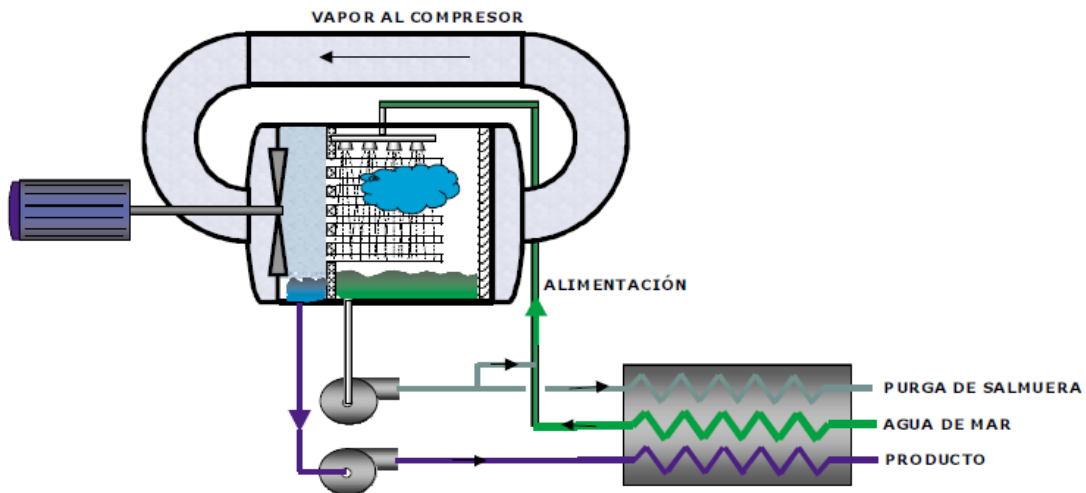


Figura 3: Esquema de un equipo de evaporación por compresión.

El proceso de compresión térmica (TVC) es similar. La principal diferencia es que en lugar de utilizar un compresor eléctrico, el vacío se obtiene al hacer pasar un chorro de vapor a través de un orificio tipo venturi.

3 PROCESOS BASADOS EN MEMBRANAS

3.1 Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF) y Nanofiltración (NF)

Las técnicas de filtración, consisten en la aplicación de tecnologías de membrana con un determinado tamaño de poro, entre las que se encuentran la microfiltración (MF), ultrafiltración (UF) y la nanofiltración (NF).

La Microfiltración (MF) fue una de las primeras tecnologías de membrana utilizadas. En sus inicios se utilizaba para el tratamiento de aguas superficiales urbanas destinadas a consumo humano. El objetivo era la eliminación o reducción de protozoos (*Cryptosporidium* y *Giardia* principalmente), de la turbidez, del color, de diversas algas, de bacterias y en algunos casos de virus ligados a partículas, utilizando un tamaño de poro de 0,1 a 0,2 μm . Hoy en día no se utiliza prácticamente en la producción de agua de consumo humano, pero sí en pretratamientos de desalación por membranas de ósmosis inversa, permite reducir su atascamiento.

La Ultrafiltración (UF) es el proceso de membrana que se encuentra entre la microfiltración y la nanofiltración, con un tamaño de poro comprendido entre 0,1 y 0,001 μm . Al igual que la técnica anterior, es capaz de eliminar una serie de sustancias y coloides del agua, pero no es capaz de eliminar ni moléculas de pequeño tamaño, ni iones polivalentes, ni sales y solutos de bajo peso molecular, además de lo expuesto en la microfiltración. No obstante, más que utilizarse como un proceso de desalación, se utiliza en los procesos previos a la ósmosis inversa de tal forma que el proceso de ósmosis inversa sea más fácil, rápido y “limpio”.

La Nanofiltración (NF) se sitúa entre la ultrafiltración y la ósmosis inversa. Puede considerarse como una ultrafiltración de tamaño de poro de un nanómetro (0,001 μm). Como característica diferencial del proceso de ósmosis inversa, cabe destacar que los iones divalentes (90 - 98%) son rechazados más selectivamente que los monovalentes (50% -75%), siendo sus características más destacadas esta capacidad selectiva de iones y su funcionamiento a menor presión. Así pues, esta técnica es ampliamente utilizada, principalmente para eliminar de las aguas superficiales las sustancias orgánicas antropogénicas, tales como plaguicidas, materia orgánica de origen natural (ácidos húmicos), dureza total y sulfato de calcio. A parte de esta utilización, también es utilizada en los procesos de desalación por evaporación por evaporación, con objeto de reducir el contenido de sulfatos y carbonatos de calcio, para facilitar la elevación de la temperatura máxima de funcionamiento y evitar la precipitación de estas sales. No se utiliza como técnica principal en los procesos de desalación de agua de mar ya que no tiene un gran efecto sobre los iones monovalentes. Cabe destacar que, al igual que la ósmosis inversa, la nanofiltración requiere de un pretratamiento del agua de aportación para evitar el atascamiento de las membranas por partículas coloidales y por precipitación química sobre ellas.

SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

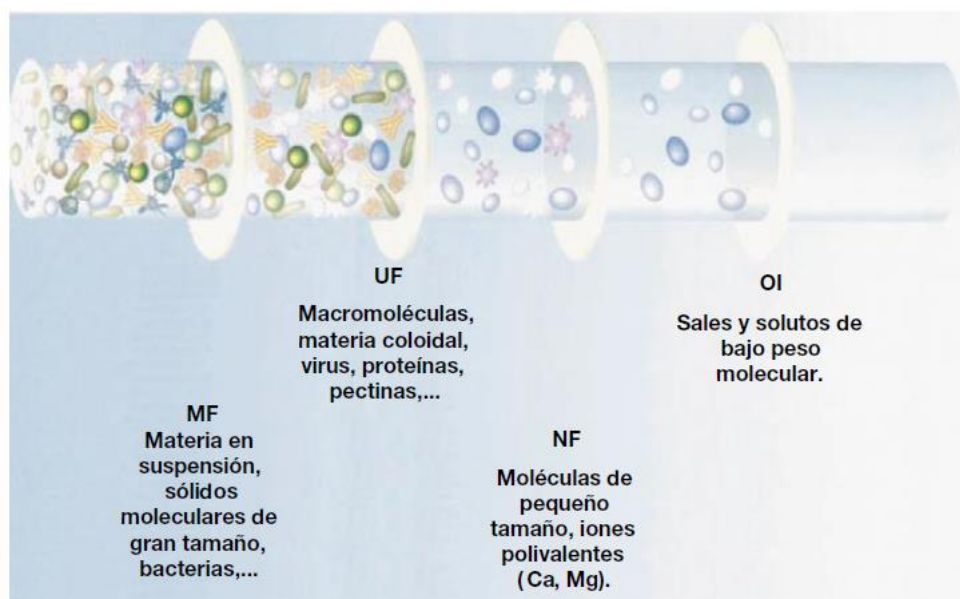


Figura 4: Tamaños de poro de cada técnicas de separación por membranas

3.1 Ósmosis Inversa (OI)

La ósmosis es un proceso natural por el cual, en dos soluciones en contacto separadas por una membrana semipermeable (que permite el paso de agua, pero no de sales), el agua fluye de la solución menos concentrada a la más concentrada para igualar las presiones (osmóticas, potenciales...). Tal y como se esquematiza en la figura siguiente, el proceso de ósmosis inversa consiste en utilizar este fenómeno para, aplicando una presión a la solución más concentrada, conseguir que el agua fluya hacia la solución no salada, creando el gradiente de presión deseado.

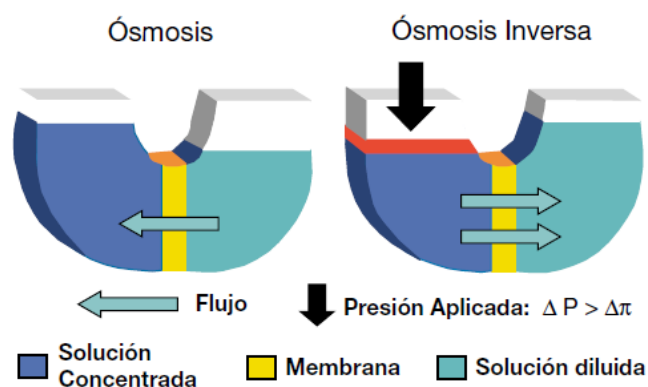


Figura 5: Esquema del fenómeno de ósmosis y ósmosis inversa.

A pesar de que la ósmosis inversa es un proceso simple, la mayor complicación es adaptar este proceso a su uso industrial, utilizando un empaquetado resistente, que evite las pérdidas de carga y el fenómeno denominado “polarización por concentración” que se debe a la acumulación de sales en la superficie de la membrana. También se debe considerar en el diseño mecánico del empaquetado que las partículas y coloides tengan una libertad suficiente de movimiento para que se reduzcan en lo posible los ensuciamientos de la membrana que podrían provocar bajos flujos y alto paso de sal con el tiempo.

Así pues, la membrana de ósmosis inversa está estructurada y empaquetada cuidadosamente para su integración en las unidades de proceso, de modo que tanto el soporte como el empaquetado tienen como objetivo maximizar el flujo de agua a través de la membrana, minimizando el paso de sales.

Comercialmente se consideran cuatro tipos de configuraciones; plato y marco, tubular, fibra hueca y arrollamiento en espiral. Las dos primeras, la configuración plato y marco, y la configuración tubular, se desarrollaron en los inicios de la utilización de la OI en los procesos de desalinización, y presentan una baja densidad de empaquetado por lo que su rendimiento es menor y costes unitarios mayores. Ambas hoy en día no se utilizan en las plantas desalinizadoras, pero sí se utilizan en algunos procesos de las industrias agroalimentarias como en la concentración de zumos, o en tratamientos de aguas residuales.

Pese a que este proceso es más sensible que los equipos de destilación, principalmente debido a la suciedad acumulada en las membranas, y que el agua obtenida tiene una mayor salinidad que la obtenida por destilación, es el proceso de desalinización más utilizado en nuestro país, imponiendo a otras técnicas debido a que:

- El consumo eléctrico específico es menor que el de otras técnicas de desalinización, además la se puede reutilizar parte energía de la salmuera rechazada que se encuentra a alta presión.
- Mayor adaptabilidad de la planta a la demanda de agua.
- La inversión inicial es menor respecto a otras técnicas.
- El coste energético, a diferencia de en otras técnicas, depende de la concentración del agua bruta, por lo que también pueden resultar interesantes para el tratamiento de aguas urbanas con una concentración salina, y/o contaminantes, menor.

3.2 Electrodiálisis (ED)

La electrodiálisis (ED) es un proceso electroquímico utilizado para la desalación de agua con una alta concentración de sales disueltas. Su funcionamiento se basa en la transferencia de iones disueltos desde el agua de aportación a otra solución donde se concentran al pasar a través de membranas selectivas de cationes o aniones al aplicar un campo eléctrico, tal y como puede observarse en el siguiente esquema.

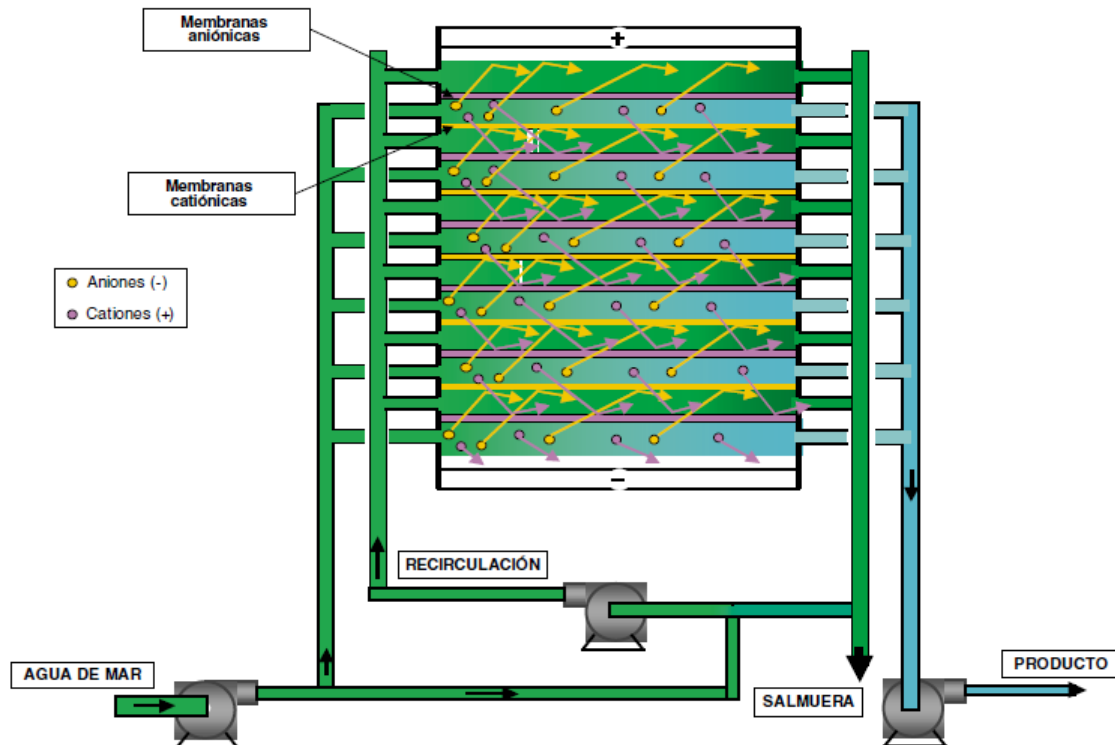


Figura 6: Esquema de un equipo de electrodiálisis.

Por tanto, en este proceso no se transporta el solvente sino que son las sales las que atravesarán las membranas selectivas para pasar de la solución a tratar, a la salmuera que luego se desechará, dónde van acumulándose las sales. Parte de esta salmuera puede recircularse mezclándose con el agua de mar para reducir las aguas de desecho, lo que produce un aumento de la salinidad inicial por lo que poder ser necesario tratar el agua para evitar incrustaciones.

También, en algunas ocasiones, se invierte la polaridad de los ánodos y cátodos para evitar el ensuciamiento de las membranas selectivas al paso de dichos iones. En este caso hablamos de electrodiálisis reversible (EDR).

4 OTROS PROCESOS DE DESALACIÓN

4.1 Intercambio iónico

Esta técnica de desalación consiste en la puesta en contacto del agua salada y unas resinas de dos tipos, aniónicas y catiónicas. Al contactar estas resinas con las sales disueltas en el agua se produce un intercambio iónico, de tal forma que las resinas aniónicas que sustituyen aniones del agua por iones OH⁻ (permutación básica) y las catiónicas sustituyen cationes por iones H⁺ (permutación ácida).

Si el agua presenta una salinidad de 1 gr/l o menor, el agua tratada es de gran calidad. Por ello no es una técnica adecuada para tratar agua de mar debido a su alta salinidad que supondría un coste elevadísimo, pero tiene una amplia aplicación en el acondicionamiento de agua para calderas a partir de vapores recogidos, acuíferos o aguas industriales. Este coste deriva de la necesidad de utilizar agentes químicos para sustituir los iones fijados en la resina.

5 COMPARACIÓN

Una vez expuestas las principales técnicas de desalación utilizadas a nivel industrial, debemos elegir la técnica más adecuada para nuestra situación. Como las técnicas de filtración de microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración, no son capaces de eliminar los iones monovalentes, se descartan ya que no son útiles para desalinizar agua de mar para consumo humano. La técnica de intercambio iónico, tampoco es de gran utilidad para el tratamiento de agua de mar para consumo humano por lo que también se desecha esta técnica. De igual modo, la electrodiálisis tampoco es una técnica adecuada para el tratamiento de agua de mar como agua de consumo. Luego las técnicas que comparamos para la elección de la técnica más adecuada serán:

- Proceso de evaporación instantánea multietapa (MSF)
- Proceso de evaporación multiefecto tubos horizontales (MED)
- Proceso de compresión mecánica/térmica de vapor (CV)
- Ósmosis Inversa (OI)

Para ello, a continuación se expone, en una tabla comparativa, las características más importantes de cada una de ellas:

CARACTERÍSTICA	MSF	MED	CV	OI
Desalación de agua de mar	SI	SI	SI	SI
Tipo de energía	Térmica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
Consumo energético (kJ/kg)	Alto (>200)	Alto-Medio (150-200)	Medio (100-150)	Bajo (<80)
Coste de instalaciones	Alto	Alto/Medio	Alto	Medio
Capacidad de producción (m ³ /día)	Alta (>50.000)	Media (<20.000)	Baja (>5000)	Alta (>50.000)
Posibilidad de ampliación	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil
Fiabilidad operación	Alta	Media	Baja	Alta
Calidad del agua desalada (ppm)	Alta (<50)	Alta (<50)	Alta (<50)	Media (300-500)
Superficie de terreno requerida	Mucha	Media	Poca	Poca
Atención requerida	Alta	Mínima	Mínima	Media
Mantenimiento requerido	Alto	Medio-Bajo	Bajo	Medio
Formación de incrustaciones	Alta	Media	Media	Media
Corrosión	Alta	Media	Media-Baja	Baja
Duración de membranas	-	-	--	5 años
Ventajas relativas	-Alta calidad de producto. -Larga experiencia. -Muchos fabricantes. -Puede acoplar turbina. -Capacidad muy altas.	-Alta calidad de producto. -Fácil operación. -Puede acoplar turbina. -Menos energía eléctrica y menos costo que MSF. -Puede operar con calor residual	-Alta calidad de producto. -Opera casi sin atención. -Fácil automatización. -Fácil instalación	-Sencilla operación. -Tamaños variados. -Consumo de energía bajo. -Puede recuperar energía. -Fácil instalación
Desventajas relativas	-Sensibles a la corrosión e Incrustaciones. -Requiere mucha atención.	-Poca experiencia operativa. -Pocos fabricantes.	-Tamaño unitario pequeño. -Poco conocimiento. -Compresor de alta velocidad requiere mantenimiento.	-Requiere pretratamiento. -Opera a alta presión. -Poca economía de escala.
Aplicaciones principales	-Agua potable - Agua de proceso o de caldera	-Agua potable - Agua de proceso o de caldera	-Agua potable. - Agua de proceso o de caldera.	-Agua potable. - Agua de proceso o de caldera -Tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2: Comparación entre las principales técnicas de desalación de agua de mar.

Una vez analizadas las distintas técnicas de desalación de agua, podemos concluir que las mejores opciones son la MSF como técnica de destilación, y la ósmosis inversa como técnica de desalación por membranas, ya que son las únicas capaces de producir grandes volúmenes diarios de agua desalinizada.

Ahora bien, a pesar de que la calidad del agua destilada es mejor que la tratada por ósmosis inversa, esta se encuentra dentro de unos valores aceptables para esta última técnica. Por tanto, teniendo en cuenta que nos encontramos en España (Canarias), y que el precio de los combustibles es alto, la solución adoptada será la ósmosis inversa como técnica principal en el proceso de desalación. Además esta técnica presenta una mayor versatilidad por lo que pueden construirse plantas de menor tamaño y posteriormente ampliarlas con un coste aceptable. Además, se pueden implantar sistemas de recuperación de energía que reducirían este gasto energético.

ANEXO III

DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE EQUIPOS E INSTALACIONES

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	7
2 PROCESO.....	8
2.1 CAPTACIÓN.....	8
2.1.1 Torre de captación.....	8
2.1.2 Inmisario submarino.....	9
2.1.3 Cántara de captación.....	10
2.2 PRETRATAMIENTO.....	12
2.2.2 Filtrado.....	12
2.2.3 Coagulación.....	13
2.2.4 Ultrafiltración.....	14
2.3 LA ÓSMOSIS INVERSA.....	21
2.3.1 Descripción del proceso y sistemas auxiliares.....	21
2.3.2 Diseño del sistema.....	23
2.3.3 Tratamientos químicos.....	34
2.4 POSTTRATAMIENTO.....	35
2.4.1 Dosificación deCO ₂	35
2.4.1 Lechos de calcita.....	36
3 TANQUES.....	38
3.1 TANQUE INTERMEDIO.....	38
3.2 TANQUE CIP.....	38
3.3 TANQUE NEUTRALIZACIÓN.....	38
3.4 TANQUE AGUA PRODUCTO.....	38
3.5 TANQUES DE PRODUCTOS QUÍMICOS.....	39

4 BOMBAS Y CONDUCCIONES.....	40
4.1 INTRODUCCIÓN.....	40
4.2 CÁLCULOS.....	41
4.2.1 Bombas de captación.....	41
4.2.2 Bombas de alta presión.....	43
4.2.3 Bombas Booster.....	44
4.2.4 Bombas intermedias.....	45
4.2.5 Bombas de contralavado.....	48
4.2.6 Bomba agua producto.....	51
4.2.7 Bombas dosificadoras.....	52
5 SISTEMAS CONTROL.....	53
5.1 INTRODUCCIÓN.....	53
5.2 CONTROL.....	54
5.2.1 Control ON/OFF.....	54
5.2.2 Control regulatorio.....	55
5.2.3 Temporizador del PLC.....	56
6 PRODUCTOS.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo básico.....	7
Figura 2: Torre de toma.....	7
Figura 3: Esquema captación.....	9
Figura 4: Ejemplo de estructura del inmisario submarino	10
Figura 5: Esquema de la cántara de captación.....	11
Figura 6: Esquema de un filtro de cadenas.....	11
Figura 7: Diseño de los filtros STF 9x3 C.....	12
Figura 8: Módulo de UF SFP-2880.....	14
Figura 9: Proceso de ultrafiltración.....	15
Figura 10: Fase 1 del proceso de lavado.....	16
Figura 11: Fase 2 del proceso de lavado.....	16
Figura 12: Fase 3 del proceso de lavado.....	16
Figura 13: Fase 4 del proceso de lavado.....	17
Figura 14: Bastidores de UF.....	18
Figura 15: Esquema del proceso de ósmosis inversa de un paso.....	21
Figura 16: Esquema del proceso de ósmosis inversa de dos pasos.....	21
Figura 17: Esquema del sistema de intercambio de presión.....	22
Figura 18: Análisis (IMS Design)	24
Figura 19: Datos diseño 1 (IMS Design)	25
Figura 20: Cálculos diseño 1 (IMS Design)	25
Figura 21: Datos diseño 2 (IMS Design)	27
Figura 22: Cálculos diseño 2 (IMS Design)	27
Figura 23: Cálculos diseño 3 (IMS Design)	31

Figura 24: Diagrama de flujo diseño 3 (IMS Design)	31
Figura 25: Software de cálculo de los recuperadores de energía.....	32
Figura 26: Rango de trabajo de los impulsores de la gama ABS XFP.....	42
Figura 27: Rango de trabajo de las bombas MSD-RO.....	43
Figura 28: Rango de trabajo y características de las bombas AHLSTAR WPP/T N.....	45
Figura 29: Principales elementos de un sistema de control.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones de operación módulos UF DOW.....	15
Tabla 2: Especificaciones de limpieza de los módulos de UF.....	17
Tabla 3: Principales iones y concentraciones en el agua de mar.....	23
Tabla 4: Simulaciones OI para distintas temperaturas (Diseño 1)	26
Tabla 5: Simulaciones OI para distintas temperaturas (Diseño 2)	28
Tabla 6: Simulaciones OI para distintas temperaturas (Diseño 3)	29
Tabla 7: Características sistema OI con membranas SWC4-LD.....	30
Tabla 8: Características de las bombas del proceso de ósmosis.....	33
Tabla 9: Determinación de necesidades de tanques de productos químicos.....	40
Tabla 10: Consumo anual de productos químicos (kg/año).....	57
Tabla 11: Consumo anual de productos químicos (l/año).....	58

1 INTRODUCCIÓN

Para lograr una producción diaria de 50.000 m³ es necesario el diseño de una planta de desalinización de agua de mar con una producción continua. Además cabe destacar que las membranas, tanto de UF como de OI, no pueden secarse, ya que perderían su permeabilidad, por lo que trabajar en régimen continuo les favorece. Además se ha optado por el diseño de una planta versátil que permita, con facilidad, aumentar o reducir la producción en función de las necesidades.

En el siguiente diagrama de flujo se muestran todos los pasos del proceso de desalación, los procesos intermedios pertinentes, así como los sistemas de control empleados. En él se distinguen claramente, por un código de color, las conducciones y equipos de agua salada (**Azul**), las conducciones y equipos de agua desalada (**Cian**), las conducciones y equipos de lavado (**Naranja**), el vertido de salmuera (**Rojo**) y los productos químicos empleados (**Verde**), así como los diversos elementos de control (**Negro**).

DIAGRAMA DE FLUJO BÁSICO DEL PROCESO DE DESALACIÓN

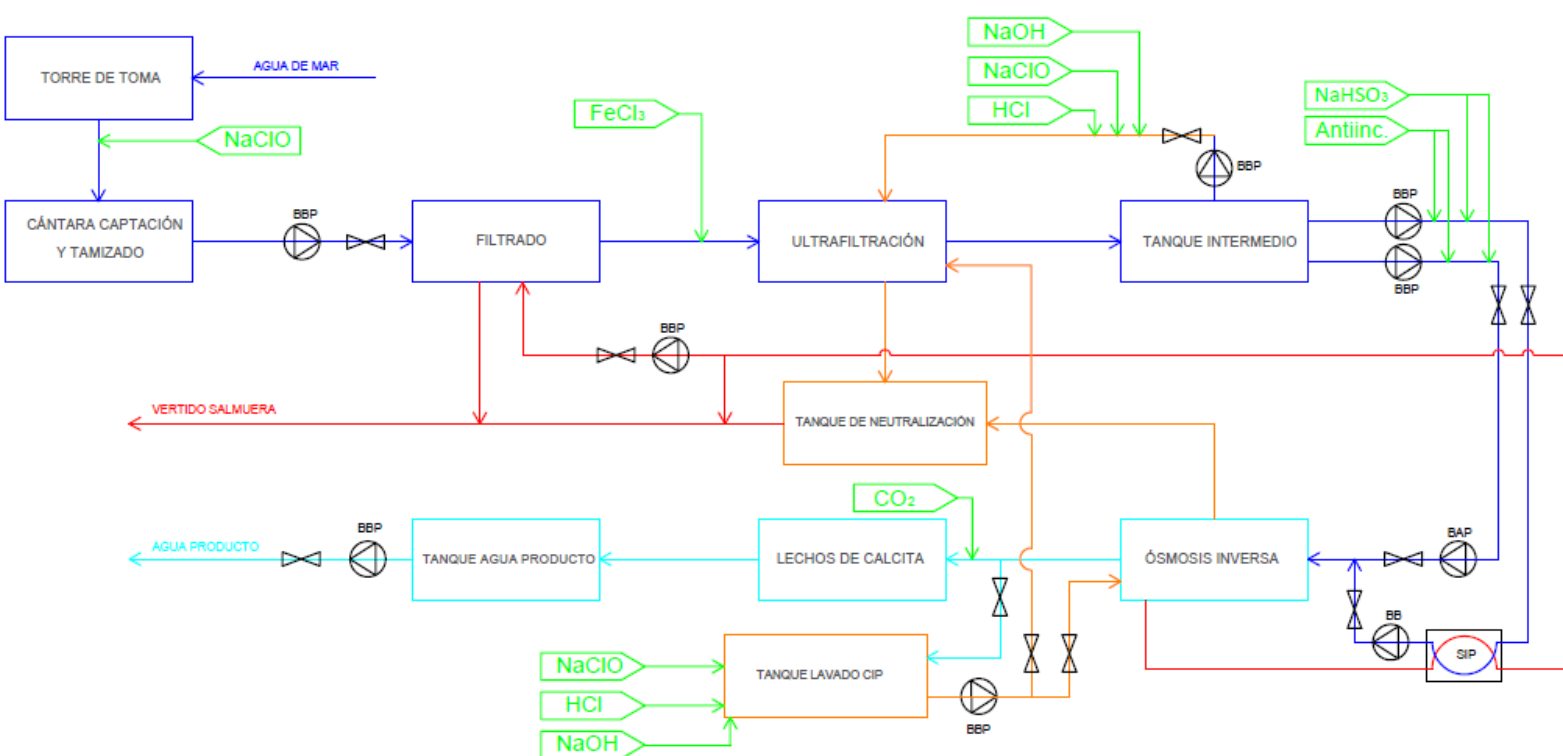


Figura 1: Diagrama de flujo del proceso completo

Este diagrama, puede observarse también en el plano 6. Además en el plano 7 se muestran más detalles del proceso y equipos de forma esquemática.

2 PROCESO

2.1 CAPTACIÓN

2.1.1 Torre de captación

La captación de agua de mar se realizará a partir de una toma abierta. Esta se realizará mediante una torre de toma que deberá situarse a una distancia y profundidad suficiente. La distancia, generalmente de unos 500-1.000 m, será la necesaria para que se encuentre a una profundidad de unos 10-12 m, considerando una profundidad mínima de 8 m bajo el nivel del mar, durante la marea baja, de tal forma que agua llegue libremente a la cántara de captación, manteniéndose el nivel de esta de forma constante.

Preferiblemente deberá situarse sobre un lecho rocoso o de arenas gruesas, evitando situarlo en una zona con gran presencia de algas que puedan llegar a colonizar la torre o el inmisario. La torre estará fabricada en hormigón y dispondrá de unas ventanas en la parte superior de alrededor de 0,5-1 m² cada una, que han de tener una geometría adecuada, generalmente circular o hexagonal, para garantizar un flujo lo más laminar y horizontal posible para minimizar las pérdidas de carga y la posible captación de residuos, ya sean partículas en suspensión y/o fauna y flora marina. Para ello, el agua al atravesar las ventanas, deberá poseer una velocidad media de unos 0,15 m/s. En la figura siguiente se muestra una torre de estas características:



Figura 2: Torre de toma

2.1.2 Inmisario submarino

Una vez tomada el agua, esta será conducida hasta la costa a través de un inmisario de salmuera de gran diámetro, a través del cual se abastecerá la cántara de captación. Este inmisario deberá estar construido de PEAD debido a su alta resistencia a la corrosión, y su dificultad para ser colonizado por las poblaciones marinas. Al igual que en el diseño de la torre deberemos considerar unas características para el inmisario que reduzcan las pérdidas de carga, de tal forma que el nivel de la cántara de captación se mantenga constante, para cualquier caudal de bombeo a planta.

Para ello se deberá dimensionar correctamente el diámetro de la tubería y la altura a la que se sitúa la cántara de captación. Para plantas con un caudal de 50.000 m³ suelen utilizarse tuberías de 1200 mm de diámetro. Luego si consideramos que el caudal mínimo que debe recibir la cántara para no vaciarse es de 4.863,55 m³/h, comprobamos a que altura deberá situarse la cántara para este diámetro, y si esta es factible.

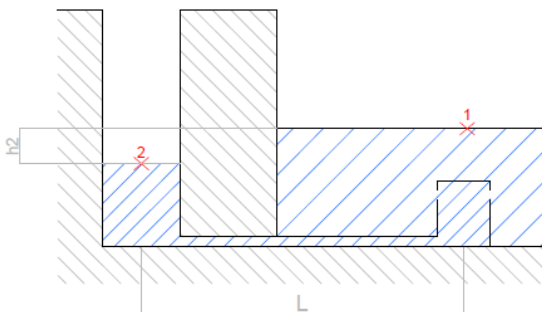


Figura 3: Esquema captación

Ec. De Bernoulli

$$h_1 + (v_1^2 / 2g) + (P_1 / \rho g) = h_2 + (v_2^2 / 2g) + (P_2 / \rho g) + \sum H$$

$$h_1 = h_2 + \sum H$$

$$h_2 = - \sum H$$

Como se aprecia de forma sencilla en este planteamiento, el nivel de la cántara de captación se corresponderá a una altura por debajo del nivel del mar, igual a las pérdidas de carga que se produzcan en el inmisario. Luego para determinar si esta la altura es factible para un diámetro de 1200mm, deberemos en primer lugar calcular las pérdidas de carga. Para ello se calculará el número de Reynolds, a partir del cual calcularemos el factor de fricción por la ecuación de Colebrook-White, que utilizaremos para calcular las pérdidas de carga de la tubería. Estos cálculos se realizarán para los valores límite de diseño (Q_{min} entrada cántara, L_{max} inmisario):

$$Re = v \text{ (m/s)} \times D \text{ (m)} / \mu = [(1,19514 / 1,2) \times 1,2 / (1,01 \times 10^{-6})] = 1.183.307$$

Una vez calculado el número de Reynolds, se introduce este en la ecuación de Colebrook-White, determinado un coeficiente de fricción de 0,011745. Este valor lo utilizamos ahora para el cálculo de las pérdidas de carga:

$$\sum h = f \times L \times v^2 / (2 \times D \times g) = 0,011745 \times 1000 \times (1,19514 / 1,2)^2 / (2 \times 1,2 \times 9,8) = 0,495326 \text{ m}$$

Luego, para un diámetro de inmisario de PEAD de 1200 mm de diámetro y considerando un caudal de entrada de 4.863,55 m³/h, la altura que alcanzará el agua en la cántara será de unos 0,5 m por debajo del nivel mar. Teniendo en cuenta que, el caudal de entrada o la velocidad de cálculo a través del inmisario podría ser mayor, consideraremos una altura mínima de 1 m bajo el nivel del mar, que se correspondería con unas pérdidas de carga para una velocidad de flujo de unos 2 m/s (máxima velocidad admisible).

En la imagen siguiente podemos observar un inmisario de estas características, similar al que se instalaría:



Figura 4: Ejemplo de estructura del inmisario submarino

Además, en el interior de este inmisario se dispondrá una tubería de pequeño diámetro que dosificará en continuo, a la entrada del mismo, una solución de NaClO. La bomba dosificadora de esta se encontrará en el interior de la planta. De esta forma evitaremos crecimientos microbiológicos en los equipos del proceso, así como el asentamiento de la fauna y flora propia de la zona. La concentración de este producto se estudiará una vez establecida la planta, ya que ha de ser la suficiente para que su concentración sea de 0,2 ppm a la entrada al proceso de UF, sin que se detecte ninguna traza de cloro libre a la entrada de la OI. Estos valores se controlarán con la instalación de dos medidores redox, o de cloro, en los puntos mencionados. Si se ajusta bien esta dosificación, se reducirá además la cantidad de NaHSO_3 necesario antes de la OI.

2.1.3 Cántara de captación

La cántara de captación, fabricada en hormigón, almacenará el agua de mar hasta su bombeo a planta. Esta estará excavada, a una profundidad suficiente para que se mantenga el nivel de agua mientras bombeamos agua desde la planta, y constará de dos cámaras, la cámara de bombeo, donde se instalarán las bombas sumergibles que bombearán agua a la planta, y la cámara de captación, donde se realizará un primer tamizado del agua bruta.

La llegada del agua del inmisario a esta última cámara no se producirá de forma brusca, sino que la desembocadura de la tubería se irá ensanchando con una abertura de 45° . Ambas cámaras estarán separadas por varias rejillas que actuarán de pretamizado. El primer tamiz, los barrotes de desbaste, estarán fabricados de hormigón y tendrán una luz de 20-25 cm. El segundo, serán unas rejillas extraíbles fabricadas en plástico, con una luz de 10-15 cm.

Tras atravesar este pretamizado, el agua atravesará los filtros de cadenas de doble flujo. Mediante la instalación de estos filtros se pretende eliminar todas las impurezas de tamaño mayor a 1mm que hayan podido ser arrastradas, como partículas en suspensión.

La configuración de la cántara, por tanto, quedará como se muestra en el siguiente esquema:

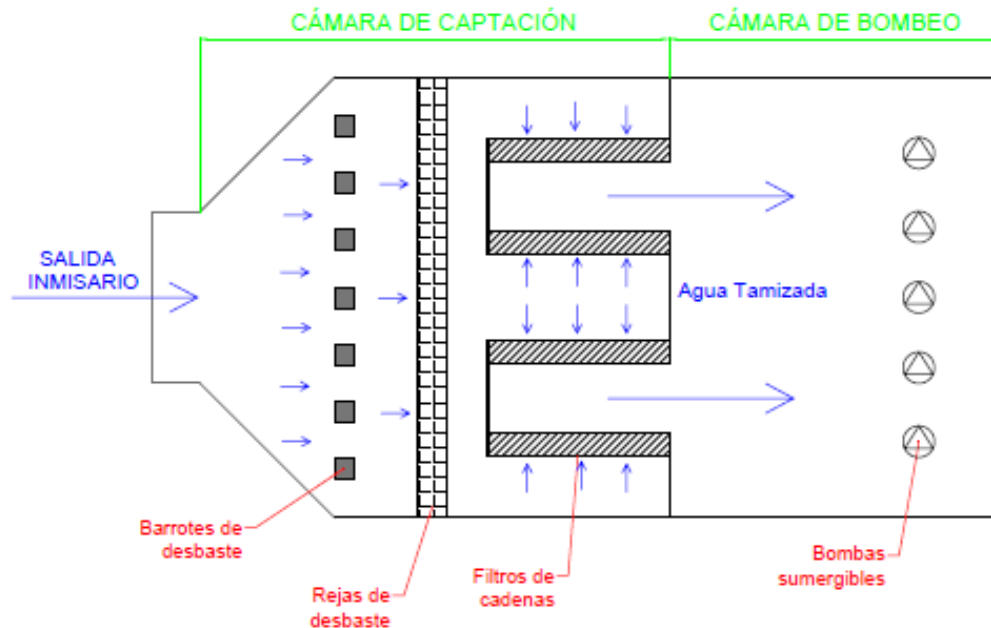


Figura 5: Esquema de la cántara de captación

Los filtros de cadenas de doble flujo que se instalarán, son los de la empresa “Beaudry”. Estos, pueden presentar tres configuraciones diferentes: “External to internal Dual-Flow”, “Internal to external Dual-Flow” o “Beaudry Traveling Band System”.

En este caso se colocaran filtros de cadenas de doble flujo, con flujo de entrada en configuración de externa a interna. Los sólidos en suspensión de tamaño mayor a 1 mm quedarán atrapados en los filtros, que por medio de cadenas serán arrastrados a la superficie, donde serán lavados en el cabezal por medio de agua a presión. De esta forma se consigue una tamización más eficiente, a la vez que se extraen los residuos, con un gasto y unas pérdidas de carga mínimas. A pesar de que estos están diseñados para grandes volúmenes de agua y con un alto grado de presencia de residuos, se instalarán dos sistemas de estas características por si fuese necesario parar uno para labores de mantenimiento, atascamiento u otros problemas similares.

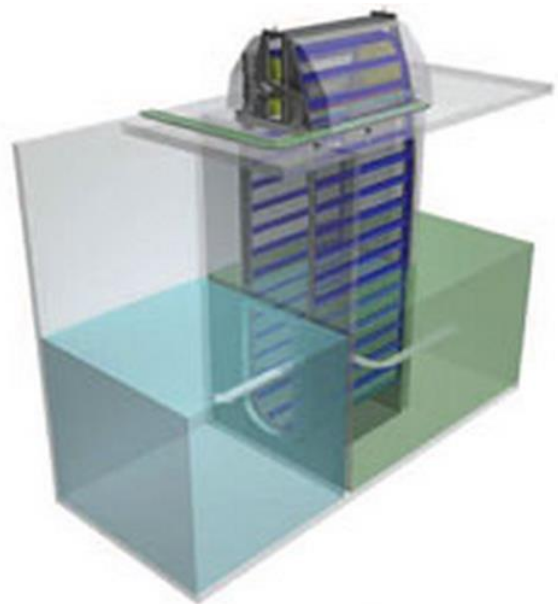


Figura 6: Esquema de un filtro de cadenas

Por tanto, considerando los cálculos anteriores de pérdidas de carga del inmisario, y teniendo en cuenta las pérdidas de carga que ocasionan los filtros de cadenas son reducidas, con un máximo de 1 m, el nivel del agua en la cántara de captación se encontrará a un máximo de 2 metros por debajo del nivel del mar. Por ello, para asegurarnos la continuidad de suministro de agua de bruta, instalaremos la cántara (su base) a unos 4 metros bajo el nivel del mar en marea baja, lo que supone una altura a planta de unos 15 metros.

2.2 PRETRATAMIENTO

El agua de abastecimiento de la planta provendrá de la cántara de captación. Esta agua bruta deberá ser tratada para satisfacer las necesidades, de calidad de agua de abastecimiento, del proceso de ósmosis inversa. Este proceso consta de varios pasos que se describen a continuación:

2.2.1 Filtrado

Una vez eliminadas las partículas de mayor tamaño, el agua se filtrará por segunda vez, haciéndola pasar por unos filtros de anillas con un tamaño de poro de 100-200 μ m para eliminar los sólidos en suspensión superiores a este diámetro que podrían dañar las membranas de ultrafiltración.

En este caso hemos optado por seleccionar un filtro de la empresa "STF Filtros", que nos ofrece una amplia gama de filtros de anillas autolimpiables, que gracias al dispositivo retardador que incluyen (efecto ciclónico) se reduce el número de limpiezas, lo que se traduce en un ahorro considerable de agua. Gracias a su modularidad, permiten adaptarse a un amplio rango de caudales. Requieren un bajo mantenimiento gracias a la ausencia de piezas móviles en su interior les proporciona una larga vida útil. Además presentan una elevada superficie filtrante.

La empresa tiene dos gamas de filtros, que ensamblan para vender modelos ya montados de filtros. En nuestro caso, debemos filtrar 4863,55 m³/h de agua, ya que prácticamente el 100% del agua filtrada llegará al proceso de ultrafiltración. Esto es así, ya que el agua utilizada para el contralavado de los mismos, será agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa.

Así pues, utilizaremos el modelo compacto preensamblado 21x3 C, con una superficie filtrante de 31.332 cm² y un caudal de trabajo de 210-630 m³/h. Si debemos hacer circular un caudal de 4.863,55 m³/h, deberemos tener en constante funcionamiento 8 filtros de estas características, trabajando a un caudal medio de 607,94 m³/h, que trabajarán a una presión máxima de 10 bares. Las pérdidas de carga de estos aparatos suponen 5 m de pérdidas de carga por módulo preensamblado. En la siguiente figura podemos ver el diseño de los filtros compactos, en este caso son filtros compactos 9x3 C, similares a los que utilizaremos:

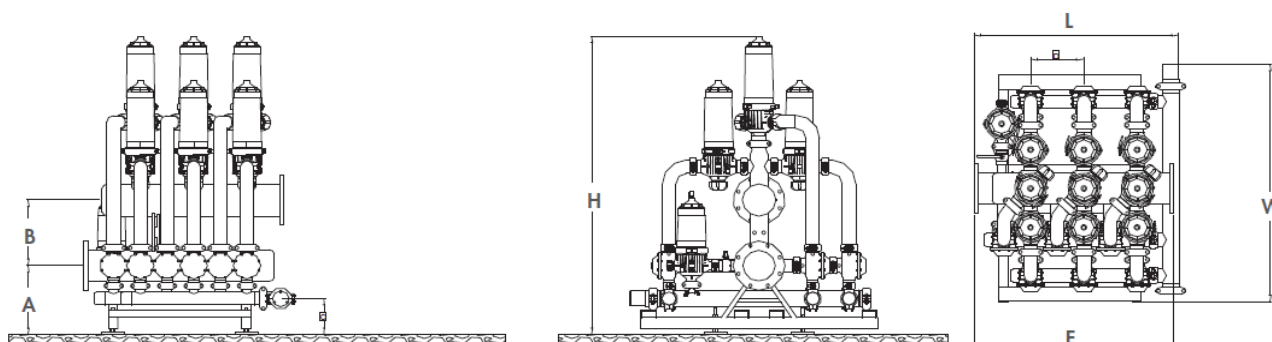


Figura7: Diseño de los filtros STF 9x3 C

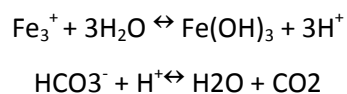
No obstante, dispondremos de 9 bloques de filtros para realizar periódicamente los lavados pertinentes. El agua de lavado que utilizaremos será el agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa. Es importante que la presión mínima de lavado sea de 3 bares.

2.2.3 Coagulación

Este tratamiento consiste básicamente en la adición de cargas positivas a los coloides, que los desestabilicen eléctricamente y se creen unas fuerzas de atracción mayores a las de repulsión, facilitando el trabajo de las membranas de ultrafiltración. Además se consigue una optimización del rendimiento del proceso y una mejora en la vida útil de estas.

Este tratamiento se realizará en continuo mediante una bomba dosificadora y se utilizará Cloruro Férrico (FeCl_3) para ello. Además colocaremos un mezclador estático después de la inyección de este compuesto para asegurarnos de que el producto queda uniformemente distribuido. Es importante considerar que el producto debe estar en contacto un mínimo de 30 segundos antes de la entrada al proceso de UF para que su efecto sea el deseado.

Este compuesto, además de actuar como coagulante, genera cierta acidez, dificultando la precipitación del carbonato cálcico, y aumentando el poder desinfectante del NaClO . La principal reacción que se produce es:



Si consideramos que el caudal a tratar es el de salida del filtro de anillas es de $4953,672 \text{ m}^3/\text{h}$, y que:

- La densidad del reactivo puro de $2,80 \text{ kg/l}$
- Riqueza del 40%
- Dosis máxima de 2ppm

Se necesitará un caudal de reactivo tal que:

$$M_{\text{FeCl}_3} (\text{kg/h}) = Q_{\text{agua}} (\text{m}^3/\text{h}) \times D_{\text{FeCl}_3} (\text{kg/m}^3) = 4953,672 (\text{m}^3/\text{h}) \times 0,002 (\text{kg/m}^3) =$$

$$M_{\text{FeCl}_3} (\text{kg/h}) = 9,7271 \text{ kg/h}$$

$$D_{\text{comercial}} (\text{l/h}) = M_{\text{FeCl}_3} (\text{kg/h}) / \text{Riqueza} (\%) \times d (\text{kg/l}) =$$

$$D_{\text{comercial}} (\text{l/h}) = 8,685 \text{ l/h}$$

$$Q_{\text{dosificación}} (\text{m}^3/\text{h}) = 0,008685 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.2.4 Ultrafiltración

Descripción del proceso

El proceso principal del pretratamiento es la ultrafiltración. Este proceso de membrana conducido por presión, utiliza un tamaño de poro comprendido entre 0,1 y 0,001 μm , siendo capaz de eliminar una serie de sustancias y coloides del agua, pero no siendo capaz de eliminar ni moléculas de pequeño tamaño, ni iones polivalentes, ni sales y solutos de bajo peso molecular. No obstante, es un proceso previo idóneo a la ósmosis inversa ya que hace que este sea más fácil, rápido y “limpio”. Además de este modo, a pesar de que estos equipos necesitan limpiezas químicas periódicas, se minimiza la utilización de productos químicos a la par que se consigue una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes con una mayor calidad de filtrado. También presenta ventajas como la necesidad de menor espacio y una mayor facilidad para la automatización.

La mayoría de membranas de UF están hechas de materiales de naturaleza orgánica como polisulfona, fluoruro de polivilideno, poliamida, acetato de celulosa... y suelen presentar tres configuraciones; en fibra capilar, plana, espiral, tubular o fibra hueca. Aunque también existen membranas inorgánicas de tipo cerámico multicanal a base de óxido de zirconio, estas son empleadas principalmente en tratamientos de aguas industriales. En nuestro caso utilizaremos membranas de tipo fibra hueca, debido a su facilidad de lavado y alta compacidad.

Tras examinar las membranas de UF presentes en el mercado, hemos optado por la garantía de una empresa reconocida “DOW”, y más concretamente hemos seleccionado el último modelo de ultrafiltración, SFP-2880, que permitirá optimizar los tiempos de tratamiento gracias a su gran superficie de filtrado, perfecta para grandes plantas. En la bibliografía se puede consultar el manual del producto, del que se exponen los datos más relevantes para el diseño de sistema a continuación.

El módulo de ultrafiltración, que presenta una disposición de fibra hueca, está construido a base de Fluoruro de Polivinilideno Hidrofílico (HPV-DF) de doble pared. El carácter Hidrofílico de este material le confiere una menor tendencia al ensuciamiento orgánico. Además este módulo presenta alta resistencia a la corrosión química, por lo que es ideal para planta donde se aplican tratamientos químicos ya que es resistente a oxidantes. Como podemos ver en la figura 8, el módulo presenta cuatro tomas; la de alimentación de agua, la de aire (utilizada en procesos de limpieza), la salida del permeado y la salida del concentrado.

Este módulo presenta un diámetro interior de 0,70 mm, y exterior de 1,30mm. Las fibras huecas de ultrafiltración del módulo se dispondrán en haces de miles de fibras que se introducirán en recipientes cilíndricos de U-PVC en configuración vertical. Cada módulo, de alta compacidad, presenta un área de filtrado por unidad de 77 m^2 , con un tamaño de corte de 0,03 μm , eliminando gran parte de los contaminantes como microorganismos, partículas, sólidos en suspensión, turbidez... Es importante considerar que la presión máxima de alimentación del sistema ha de ser de 3 barg (4,1 bar), tal y como se indica en el



Figura 8: Módulo de UF SFP-2880

En la siguiente tabla, se muestran las condiciones de operación de los módulos de ultrafiltración “DOW”:

Presión Máxima de Alimentación	3.0 barg @ 40C
Máxima presión Transmembranal	2.1 barg
Flux a 25°C	40 - 120 L/m ² /h
Temperatura (limitado por el U-PVC)	1 - 40 °C
Rango de pH	2 - 11
NaOCl, máxima concentración (en limpiezas)	2,000 ppm

Tabla 1: Condiciones de operación módulos UF DOW

En la siguiente figura se muestra cómo funcionaría el proceso durante el ciclo de filtración normal. En este proceso el agua entra por el exterior de las fibras y sale por el interior del módulo, con una duración aproximada de 30 minutos. Durante esta etapa el 100% del agua filtrada pasa al permeado:

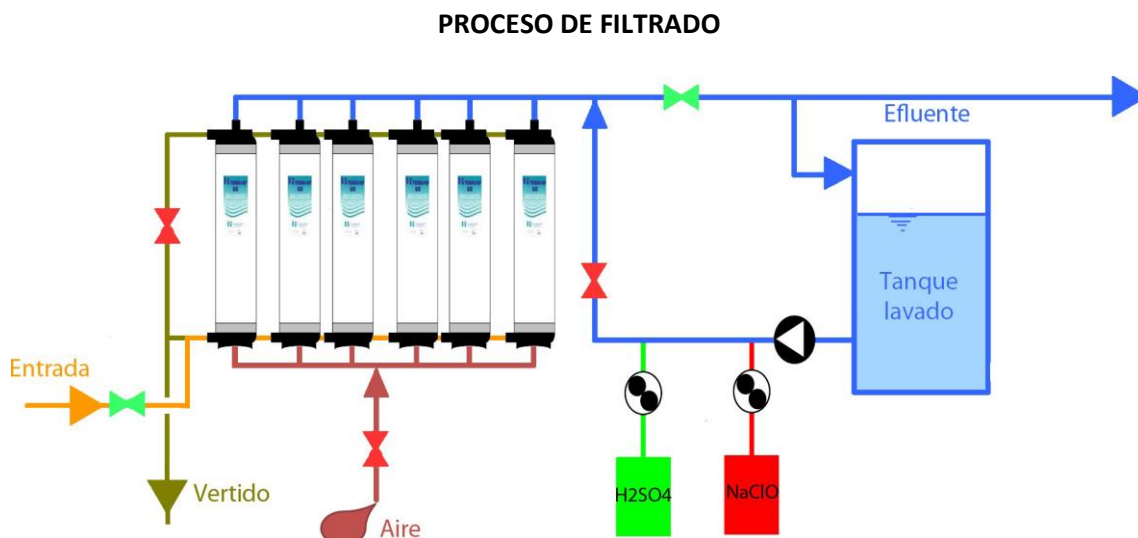


Figura 9: Proceso de ultrafiltración (FUENTE: Cristina García-Ochoa Martín et al.)

En el manual pueden consultarse los métodos de instalación de los módulos en sus respectivos bastidores. También se explica el proceso de lavado, tanto el inicial (lavado especial) como el diario, que habrá que realizarlo cada vez se produzca una parada en el sistema, para eliminar el aire o productos químicos, así como posibles crecimientos microbianos, que puedan quedar remanentes en las fibras del sistema.

Para realizar los lavados químicos diarios, se realizarán las siguientes operaciones, tal y como se explica en el manual:

FASE 1: Aireación

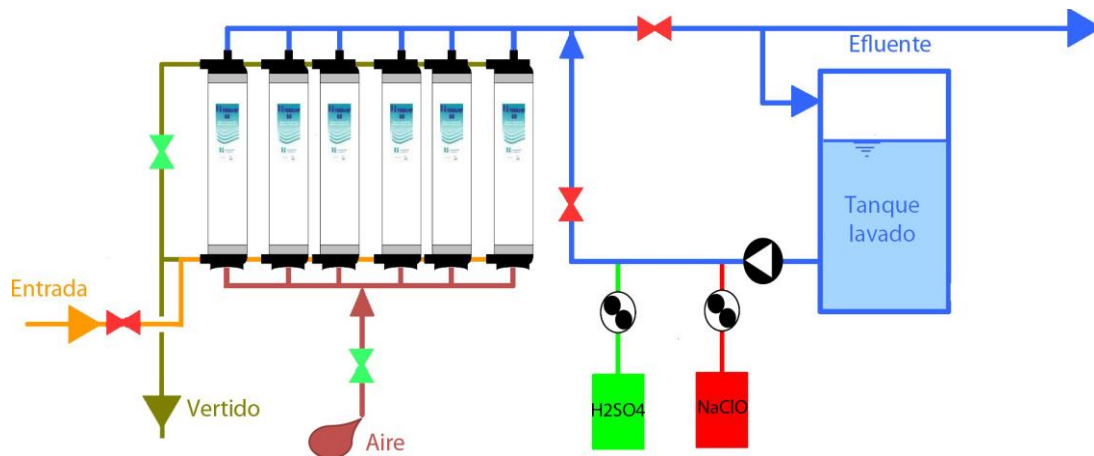


Figura 10: Fase 1 del proceso de lavado (FUENTE: Cristina García-Ochoa Martín et al.)

FASE 2: Contralavado con agua

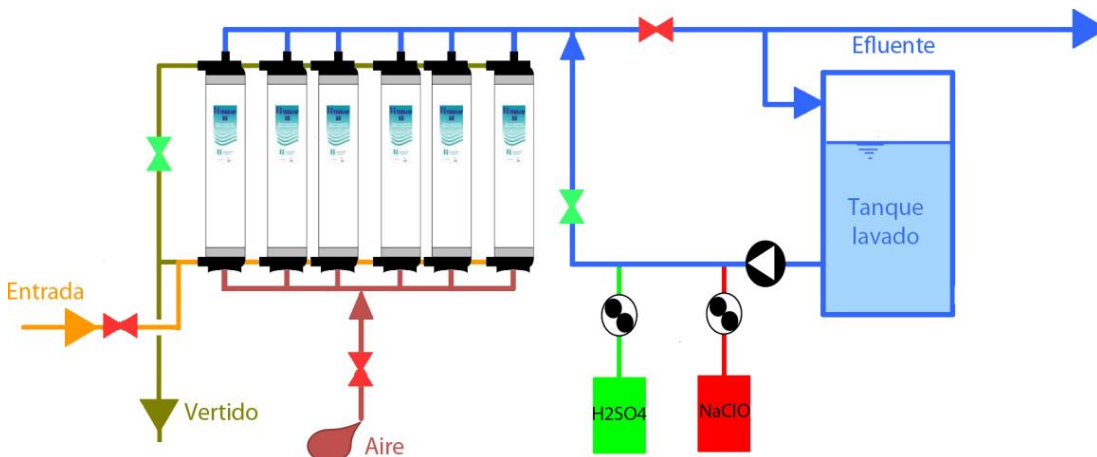


Figura 11: Fase 2 del proceso de lavado (FUENTE: Cristina García-Ochoa Martín et al.)

FASE 3: Contralavado químico (CEB)

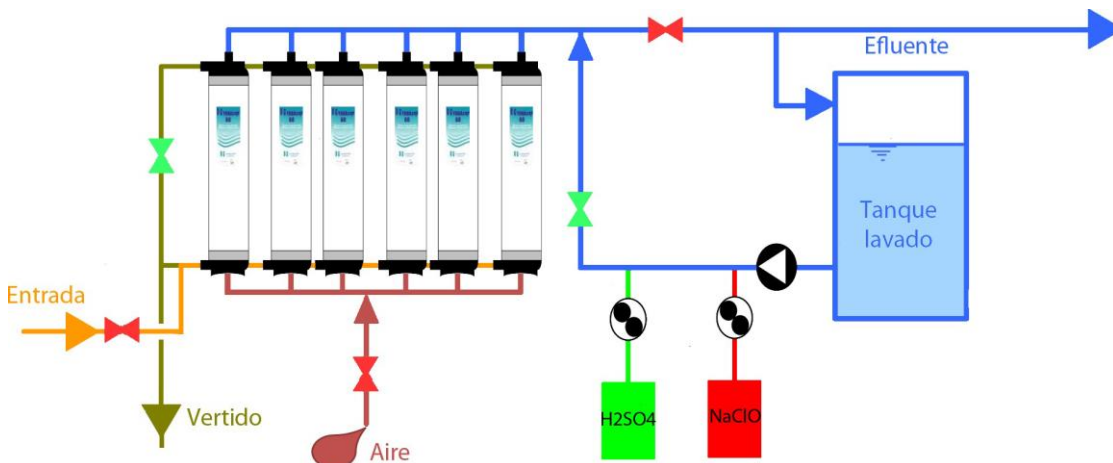


Figura 12: Fase 3 del proceso de lavado (FUENTE: Cristina García-Ochoa Martín et al.)

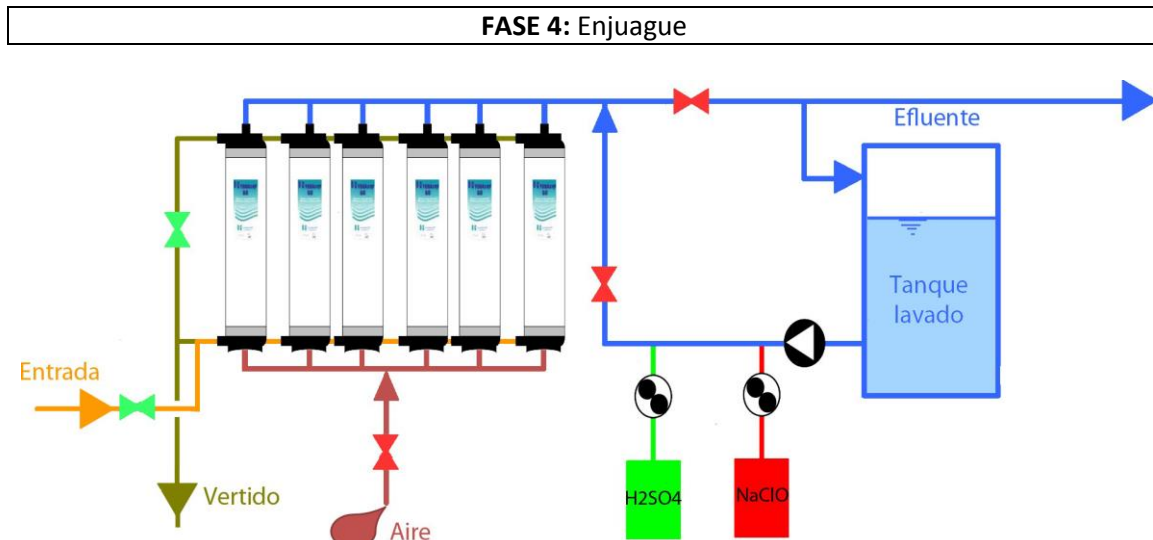


Figura 13: Fase 4 del proceso de lavado. (FUENTE: Cristina García-Ochoa Martín et al.)

Aproximadamente cada media 30-45 min, realizaremos una limpieza mediante contralavado con agua ya ultrafiltrada, procedente del tanque intermedio, que abastecerá de la OI. Sin embargo, una vez al día, o cuando los rendimientos disminuyan o la presión de entrada sea demasiado grande, realizaremos el lavado con productos químicos (CEB).

Además se realizará una intensa limpieza CIP, por lo menos una vez cada 3 meses como máximo, para regenerar las membranas, aunque podría ser necesaria a partir del primer mes de operaciones de filtrado. Esa se realizará igual que la limpieza CEB, pero con una concentración mayor de productos químicos, y un mayor tiempo de lavado.

La siguiente tabla recoge los parámetros habituales utilizados en los sistemas de limpieza para módulos DOW:

Frecuencia de Contralavado		20-60 minutos
Duración del Contralavado		40-120 segundos
Flux de Contralavado		100-150 L/m ² .h
Aireación	Presión Máxima de Entrada	2.5 bar
	Duración	20-60 segundos
	Caudal por módulo	5-7 Nm ³ /h (Modelos 2660 y 2680) 10-12 Nm ³ /h (Modelo 2860)
	Calidad del aire	Aire comprimido libre de aceite
CEB	Frecuencia	Depende de aplicación
	Duración	Inyección de reactivos: 40-120 seg. Remojo: 5-20 minutos
	Reactivos	0.1% HCl, 2% A. cítrico 0.05% NaOH + 0.1% NaOCl
CIP	Frecuencia	Depende de la aplicación y valor alcanzado de TMP
	Duración	2-4 horas (incluyendo recirculación, remojo y enjuague final)
	Caudal por módulo	1 m ³ /h (Modelos 2660 y 2680) 1.5 m ³ /h (Modelo 2860)
	Reactivos	0.2% HCl; 2% ácido cítrico u oxálico 0.1% NaOH + 0.2% NaOCl
	Temperatura	10-40°C

Tabla 2: Especificaciones de limpieza de los módulos de UF.

Diseño del proceso de ultrafiltración

En primer lugar realizaremos un predimensionamiento de la planta en función de las necesidades de caudales de la ósmosis inversa, y luego comprobaremos si se cumplen. Se sabe que las necesidades de abastecimiento de ósmosis inversa son de 4629,6 m³/h, tal como se explica en el siguiente apartado. Luego si consideramos inicialmente unas pérdidas del 6% por lavado, por ejemplo, obtenemos que el caudal necesario que debe fluir por hora a través del sistema es de 4907,376 m³/h. Luego si consideramos un flujo medio de 80 l/(m²h), se deberá disponer de un área de filtrado:

$$A_{\text{filtrado}} (\text{m}^2) = \text{Caudal}_{\text{tratamiento}} (\text{m}^3/\text{h}) / \text{Flujo}_{\text{filtrado}} (\text{m}^3/\text{h}) = 4907,376 (\text{m}^3/\text{h}) / 0,08 (\text{m}^3/\text{h})$$

$$A_{\text{necesaria}} (\text{m}^2) = 61342,2 \text{ m}^2$$

Si cada módulo presenta una superficie de filtrado de 77 (m²):

$$N_{\text{módulos}} = A_{\text{filtrado}} (\text{m}^2) / A_{\text{módulo}} (\text{m}^2) = 61342,2 (\text{m}^2) / 77 (\text{m}^2)$$

$$N_{\text{módulos}} = 796,652 \text{ módulos} \approx 800 \text{ módulos}$$

Si cada bastidor dispone de espacio para 100 módulos, deberemos instalar:

$$N_{\text{bastidores}} = N_{\text{módulos}} / N_{\text{módulos/bastidor}} = 800 (\text{módulos}) / 100 (\text{módulos/bastidor})$$

$$N_{\text{bastidores}} \approx 8 \text{ bastidores}$$

Luego teniendo en cuenta las necesidades de lavado, instalaremos 9 bastidores, 8 en continuo funcionamiento y 1 de reserva para los lavados. Así deberemos disponer de 900 módulos, agrupados en 9 bastidores. Estos módulos se dispondrán en paralelo y en posición vertical, tal como se muestra en la imagen:



Figura 14: Bastidores de UF

Diseño del proceso de contralavado

El sistema de limpieza tomará agua del tanque intermedio entre la UF y la OI, situado a la salida de este proceso. Como el flujo medio de contralavado será de 0,12 m/h, el área total a lavar será de:

$$A_{\text{lavado}} (\text{m}^2) = N_{\text{módulos/bastidor}} \times A_{\text{módulo}} (\text{m}^2) = 100 \times 77 (\text{m}^2) = 7.700 (\text{m}^2)$$

$$A_{\text{lavado}} (\text{m}^2) = 7.700 \text{ m}^2$$

Por tanto el caudal de contralavado será de:

$$Q_{\text{lavado}} (\text{m}^3/\text{h}) = \text{Flujo}_{\text{lavado}} (\text{m}/\text{h}) \times A_{\text{lavado}} (\text{m}^2) = 0,12 (\text{m}/\text{h}) \times 7.700 (\text{m}^2) =$$

$$Q_{\text{lavado}} (\text{m}^3/\text{h}) = 924 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego, si el caudal de lavado es de 924 m³/h, y este trabaja una media de 1 min en cada lavado, el volumen de agua necesario para cada lavado será de 15,4 m³. Luego si cada módulo en funcionamiento se lava, como mucho, 2 veces por hora, serán necesarios 16 lavados por hora para todos los bastidores, suponiendo un consumo de 246,4 m³ en una hora de agua ya ultrafiltrada. Si restamos este caudal al caudal sobredimensionado, este valor no ha de ser menor que las necesidades de abastecimiento del proceso de ósmosis. El caudal mínimo disponible a la salida del tanque intermedio será de 4.660,976 m³/h, valor mayor que la demanda de caudal de la OI, de 4.629,6 m³/h, por lo que en principio el diseño establecido de la OI, debería encontrarse abastecido sin problemas con una consideración de pérdidas del 6% por lavado de los módulos de UF. Es más, si evaluamos el caudal de lavado, podemos observar que estas pérdidas suponen un 5,053% del caudal obtenido por UF, por lo que con que el caudal de abastecimiento de la UF fuese de 4.863,55 m³/h sería suficiente.

Diseño del proceso de contralavado químico CEB

Además de esta limpieza continua de contralavado, deberemos utilizar una limpieza química una vez por día. El sistema CEB, limpiará una vez al día cada bastidor, de igual manera que el contralavado, pero con un caudal de 0,060 (m/h) que contendrá una concentración de 0,1% de HCl para la limpieza de residuos inorgánicos, 0,05% de NaOH para la limpieza y 0,1% de NaOCl para la desinfección, tal y como muestra la tabla 2. Por tanto, como máximo, necesitaríamos una concentración de 500 ppm de NaOH, 1000 ppm de NaClO y 1000 ppm de HCl, en función del ensuciamiento esperado. Luego:

$$A_{\text{lavadoCEB}} (\text{m}^2) = N_{\text{módulos/bastidor}} \times A_{\text{módulo}} (\text{m}^2) = 100 \times 77 (\text{m}^2) = 7.700 (\text{m}^2)$$

$$A_{\text{lavadoCEB}} (\text{m}^2) = 7.700 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{lavadoCEB}} (\text{m}^3/\text{h}) = \text{Flujo}_{\text{lavado}} (\text{m}/\text{h}) \times A_{\text{lavado}} (\text{m}^2) = 0,06 (\text{m}/\text{h}) \times 7.700 (\text{m}^2) =$$

$$Q_{\text{lavadoCEB}} (\text{m}^3/\text{h}) = 462 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por tanto, teniendo en cuenta que este lavado se realizará una media de 20 veces por día, con una duración media de 1 min, el volumen de agua utilizada será de 132,44 m³. Cabe destacar, que este lavado no deberá disponer de más agua que los lavados anteriores, por lo que se puede deducir que el volumen de agua utilizado en el enjuague, supondrá 113,96 m³. En cualquier caso, los flujos máxicos de productos químicos deberán ser:

$$M_{\text{NaClO}} \text{ (kg/h)} = [\text{NaClO}] \text{ (kg/m}^3\text{)} \times Q_{\text{lavadoCEB}} \text{ (m}^3\text{/h)} = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 462 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$M_{\text{NaClO}} \text{ (kg/h)} = 462 \text{ kg/h}$$

$$M_{\text{NaOH}} \text{ (kg/h)} = [\text{NaOH}] \text{ (kg/m}^3\text{)} \times Q_{\text{lavadoCEB}} \text{ (m}^3\text{/h)} = 0,5 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 462 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$M_{\text{NaOH}} \text{ (kg/h)} = 231 \text{ kg/h}$$

$$M_{\text{HCl}} \text{ (kg/h)} = [\text{HCl}] \text{ (kg/m}^3\text{)} \times Q_{\text{lavadoCEB}} \text{ (m}^3\text{/h)} = 1 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 462 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$M_{\text{HCl}} \text{ (kg/h)} = 462 \text{ kg/h}$$

Considerando la utilización de estos productos con una riqueza comercial, del 35% para el HCl (1,18 Kg/l), del 12% para el NaOCl (1,22 Kg/l) y del 32% para el NaOH (1,30 kg/l), el caudal que deberemos aportar para cada elemento será el siguiente:

$$Q_{\text{NaClO}} \text{ (m}^3\text{/h)} = M_{\text{NaClO}} \text{ (kg/h)} / [\text{Riqueza (\%)} \times d \text{ (kg/m}^3\text{)}] = 462 \text{ (kg/h)} / [12 \times 1,22 \text{ kg/m}^3] =$$

$$Q_{\text{NaClO}} \text{ (m}^3\text{/h)} = 31,557 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$Q_{\text{NaOH}} \text{ (m}^3\text{/h)} = M_{\text{NaOH}} \text{ (kg/h)} / [\text{Riqueza (\%)} \times d \text{ (kg/m}^3\text{)}] = 231 \text{ (kg/h)} / [32 \times 1,30 \text{ kg/m}^3] =$$

$$Q_{\text{NaOH}} \text{ (m}^3\text{/h)} = 5,553 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$Q_{\text{HCl}} \text{ (m}^3\text{/h)} = M_{\text{HCl}} \text{ (kg/h)} / [\text{Riqueza (\%)} \times d \text{ (kg/m}^3\text{)}] = 462 \text{ (kg/h)} / [35 \times 1,18 \text{ kg/m}^3] =$$

$$Q_{\text{HCl}} \text{ (m}^3\text{/h)} = 15,545 \text{ m}^3\text{/h}$$

No obstante, esta son las dosis máxicas a administrar, considerando que aplicamos un pretratamiento previo con NaClO, la necesidad de este elemento, posiblemente sea mucho menor, y la aplicación del resto de productos habrá que estudiarla en función de los problemas observados.

Diseño del proceso de contralavado químico CEB

Una vez realizado el proceso durante meses, de 1 a 3 según convenga, se realizará una limpieza CIP a base de agua y concentrado de las sustancias anteriores con el doble de concentración, con un caudal de 1,5 m³/h por módulo. Este proceso se realiza para regenerar las membranas de ultrafiltración, y puede durar unas 3 horas aproximadamente.

2.3 LA ÓSMOSIS INVERSA

2.3.1 Descripción del proceso y sistemas auxiliares

Cómo ya se definió en el “ANEXO II”, la **ósmosis inversa** consiste en utilizar presión para hacer pasar un flujo de agua (aporte) a través de una membrana semipermeable de tal forma que como resultado se obtenga, un flujo de agua libre de sales (permeado) y otra con una concentración salina superior a la inicial (rechazo).

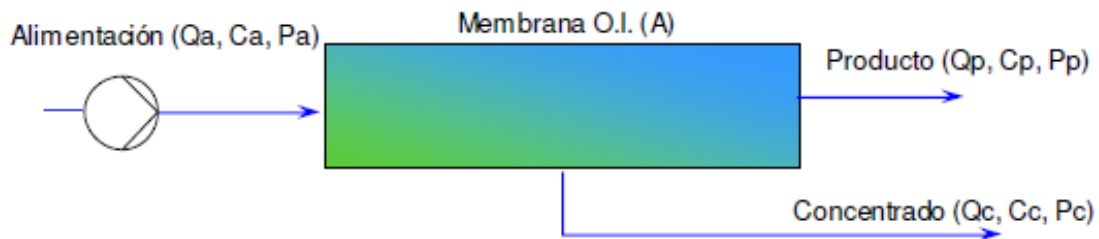


Figura 15: Esquema del proceso de ósmosis inversa de un paso. (FUENTE:BEFESA)

Este proceso puede realizarse en cadena, de forma que el agua de rechazo de un proceso de ósmosis inversa, atraviese de nuevo una membrana semipermeable. Si se reutiliza una vez el agua de rechazo, hablamos de una ósmosis inversa de 2 pasos (Figura 16). Si este proceso se realiza dos veces, hablaríamos de un proceso de ósmosis inversa de tres pasos, y así sucesivamente.

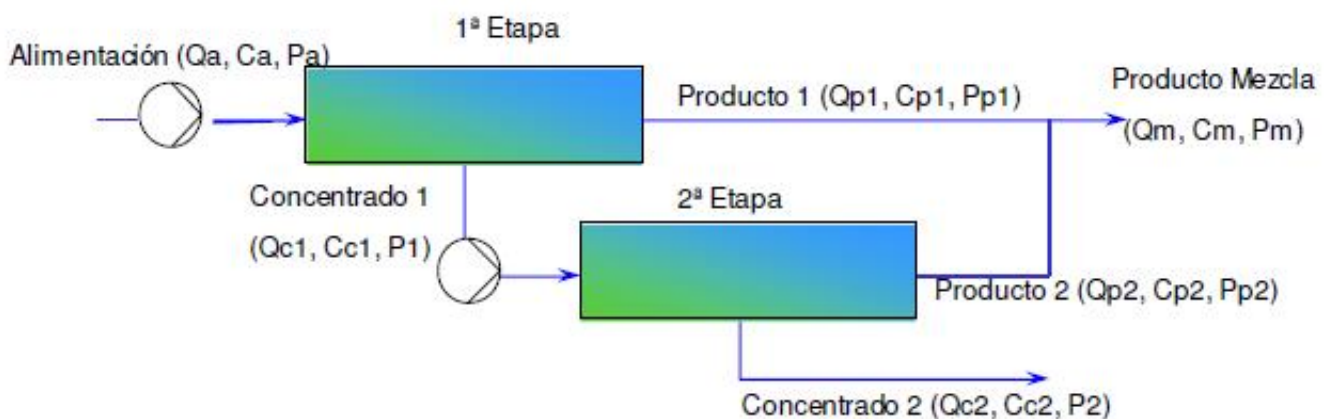


Figura 16: Esquema del proceso de ósmosis inversa de dos pasos. (FUENTE: BEFESA)

En nuestro caso vamos a realizar una ósmosis inversa de un paso, por lo que el agua de rechazo del primer, y único, paso será devuelta al mar. Para ello será necesario diseñar un **emisario de salmuera**, tratando de diluir lo máximo posible el agua de rechazo de planta.

No obstante, antes de ser devuelta al mar se utilizará un sistema de recuperación de energía, de tal forma que la presión que todavía posee esta agua de rechazo no sea desaprovechada. Este sistema de recuperación de energía será un SIP. El **sistema de intercambio de presión (SIP)**, aprovechará la presión del agua de rechazo mediante una cámara isobárica. De esta forma, en teoría, se conseguiría impulsar agua de mar, utilizando la presión del agua de rechazo, sin consumo energético.

Esta técnica presenta un problema, la presión con la que el agua de mar entra en las membranas, es mayor que la que posee el agua de rechazo, debido a la pérdida de carga sufrida al atravesar las membranas, así como de otros elementos como válvulas y en su mismo paso a través de las tuberías. Mediante la instalación de una bomba booster a la salida del sistema podemos solucionar el problema, aportando la presión necesaria para compensar la pérdida de carga, impulsando un caudal de agua ligeramente inferior al caudal del agua de rechazo. Así, aprovechamos la energía del caudal de rechazo con un consumo mínimo. En la figura siguiente se muestra el esquema de un sistema de estas características:

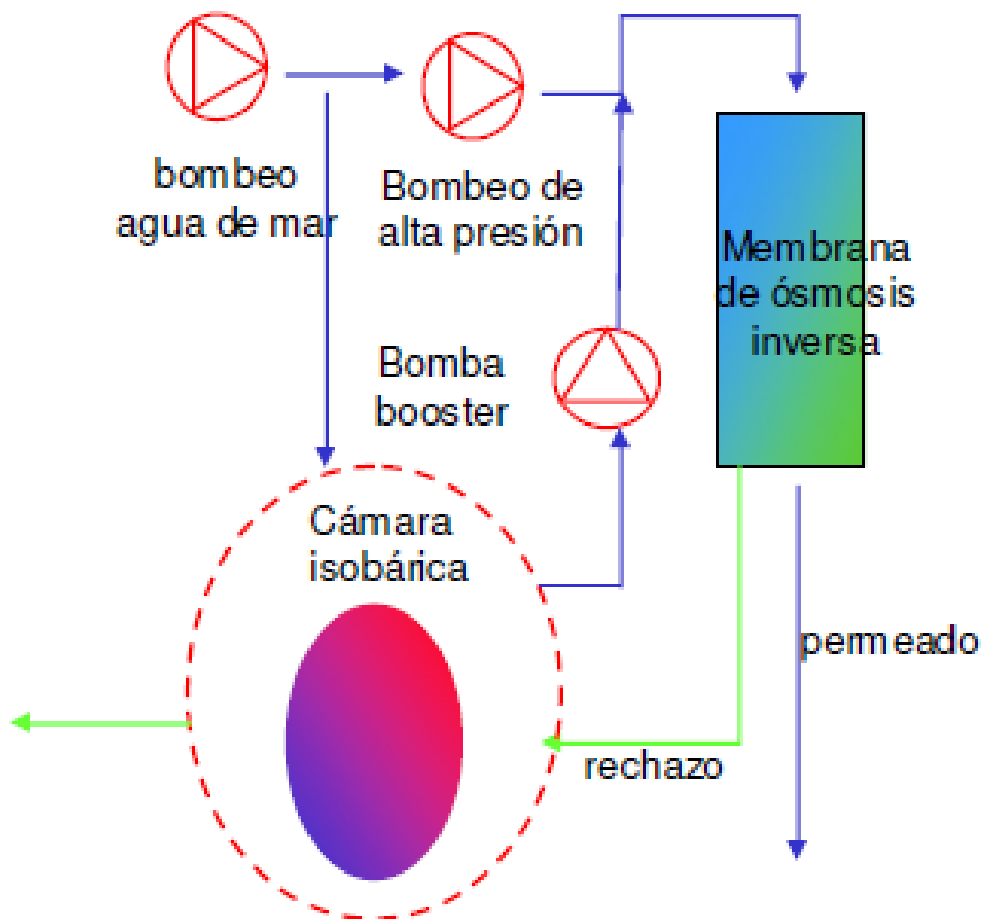


Figura 17: Esquema del sistema de intercambio de presión. (FUENTE: BEFESA)

2.3.2 Diseño del sistema

Diseño de las membranas

A la hora de diseñar un sistema de ósmosis inversa debemos considerar que algunos parámetros condicionan el rendimiento de esta. Entre ellos destacan:

- **Salinidad:** Cuanto mayor sea la salinidad, menor será el rendimiento del proceso y, además, un mayor número de sales atravesarán la membrana. La salinidad del agua bruta será un factor que nos vendrá impuesto por la zona de ejecución del proyecto. No obstante, a falta de un análisis químico de agua de mar de la zona en cuestión, se utilizarán como referencia para el diseño del proceso los datos tomados por Webber y Thurman (1991):

PRINCIPALES IONES PRESENTES EN EL AGUA DE MAR			
ANIONES		CATIONES	
Nomenclatura	ppm	Nomenclatura	ppm
HCO ₃	140	Ca	410
SO ₄	271	Mg	1300
Cl	19440	Na	10810
F	1	K	390
B	4,6	Sr	8

Tabla 3: Principales iones y concentraciones en el agua de mar.

- **pH:** Cuanto mayor sea el pH (más básico), mayor será el rechazo de sales, y por consiguiente, mayor será la concentración de estas en el agua de rechazo. Para un pH < 5 el rechazo de sales comienza a reducirse de forma considerable, mientras que para pH mayores el rechazo de sales es prácticamente del 100%. En nuestro caso se considerará un pH de 8, como valor medio del pH del mar.
- **Presión de alimentación:** Cuanto mayor sea la presión aplicada, mayor será la cantidad de permeado. Además el rechazo de sales por parte de la membrana será mayor. Este factor es uno de los factores clave a la hora de diseñar el sistema de ósmosis inversa, pero cuyo valor dependerá principalmente de las recomendaciones del vendedor de las membranas de ósmosis inversa para conseguir un rendimiento óptimo. También dependerá de la edad de las membranas y de su ensuciamiento.
- **Temperatura:** El aumento de la temperatura provoca una disminución de la viscosidad del agua de aporte, aumentando así la corriente de agua de permeado, pero también se producirá una disminución en el rechazo de sales. Como estimación se podría decir que por cada grado el flujo de permeado aumenta un 3%, mientras que la disminución del rechazo de sales será de un 6%. La temperatura también es un factor clave en el diseño del sistema de ósmosis inversa, llegando a tener un papel muy importante en la velocidad del proceso y su rendimiento en la eliminación de sales.

Para estudiar estos y otros factores, así como para decidir cuál es el tipo de membrana de ósmosis más conveniente en este caso, se ha recurrido a un programa de simulación de ósmosis inversa el "IMS Design: Integrated Membrane Solutions", facilitado por la empresa "Hydranautics". Mediante el uso de este programa se pretende definir la membrana más adecuada para el diseño, así como para estudiar distintas condiciones de trabajo.

En primer lugar, para comenzar la simulación de la ósmosis inversa, se debe introducir el análisis químico del agua de mar en cuestión, en la pestaña del software denominada “Análisis”, tal y como se muestra a continuación. Además se seleccionarán otros parámetros físicos del agua como temperatura, pH...

Archivo Análisis Diseño OI UF Tratamiento Cálculo Ayuda													
Proyecto	CANA			Código	CANA			Alim.	Agua de mar - toma abierta		Fecha		
pH	8,00		Turbid.	0,0		Cond. E	54740 $\mu\text{S/cm}$		CO2	0,715 ppm			
Temp.	25,0 C		SDI	0,0		H2S	0,0 ppm		Fe	0,000 ppm			
Ca	410,0 ppm			20,45 meq		CO3	14,7 ppm			0,47 meq			
Mg	1300,0 ppm			107,00 meq		HCO3	140,0 ppm			2,30 meq			
Na	10810,0 ppm			470,00 meq		SO4	271,0 ppm			5,65 meq			
K	390,0 ppm			10,00 meq		Cl	21243,0 ppm			599,24 meq			
NH4	0,0 ppm			0,00 meq		F	1,0 ppm			0,05 meq			
Ba	0,000 ppm			0,00 meq		NO3	0,0 ppm			0,00 meq			
Sr	8,000 ppm			0,18 meq		B	4,60 ppm			0,00 meq			
						SiO2	0,0 ppm			0,00 meq			
Total Positiv.				607,63 meq		Auto balance		Total Negativ.				607,70 meq	
SDT calculados	34592 ppm				Fuerza iónica	0,675		<input type="button" value="Impr."/>					
Sat. CaSO4	2,2 %				Sat. BaSO4	0,0 %							
Sat. Sílice	0,0 %				Saturación de	2,6 %		<input type="button" value="Guardar"/>					
Índ. saturación	1,1		Langelier		Presión osmótica	384,3 psi							

Figura 18: Análisis (IMS Design)

Como se observa, el programa aporta otros datos de interés a partir de las concentraciones de las principales sales disueltas como la CE, la presión osmótica, la STD, el índice de saturación de Langelier...

Una vez introducidos los datos químicos del análisis, pasamos a la siguiente ventana, “Diseño OI”. En ella, se pueden estudiar las distintas concentraciones finales de sales en el permeado, así como los diferentes flujos y presiones del sistema, tras ser introducidos los parámetros de diseño, en función de la membrana seleccionada. Gracias a este programa, se pueden estudiar de forma sencilla diversas situaciones de forma sencilla para cada membrana.

En este caso se diseñará un sistema de ósmosis inversa de un paso con una eficiencia de conversión de un 45% y con la utilización de un sistema recuperador de energía. Además, determinaremos un flujo de permeado diario de 50.000 m³. A partir de estos datos, el programa nos aporta los datos restantes del sistema, así como el análisis químico del permeado, para una amplia gama de membranas de ósmosis inversa.

DISEÑO 1

Luego, por ejemplo, en primer lugar se seleccionan las membranas “SWC5”, una de las más eficientes del mercado. Como se observa en la imagen, entre otros parámetros, se colocarán 6 módulos por tubo, con un total de 689 tubos lo que supondría un total de 4136 módulos:

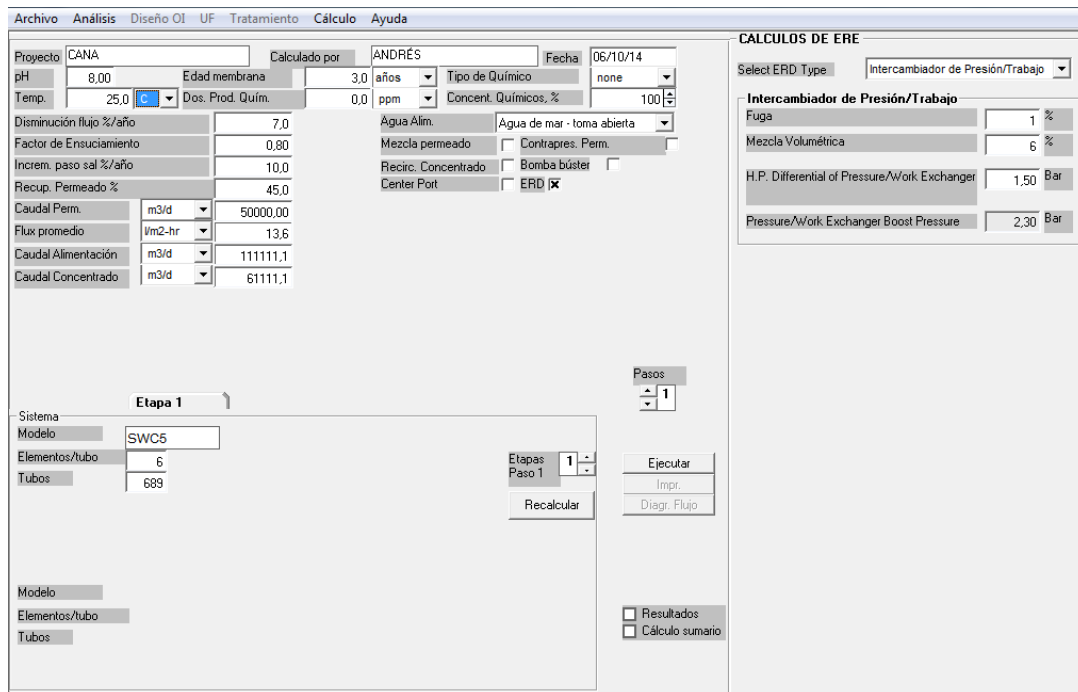


Figura 19: Datos diseño 1 (IMS Design)

Una vez seleccionadas las membranas e introducidos los datos, se debe pulsar ejecutar. Este comando determinará, para los parámetros introducidos, las características del permeado, así como los caudales y presiones del sistema de ósmosis, tal y como se muestra en la siguiente figura:

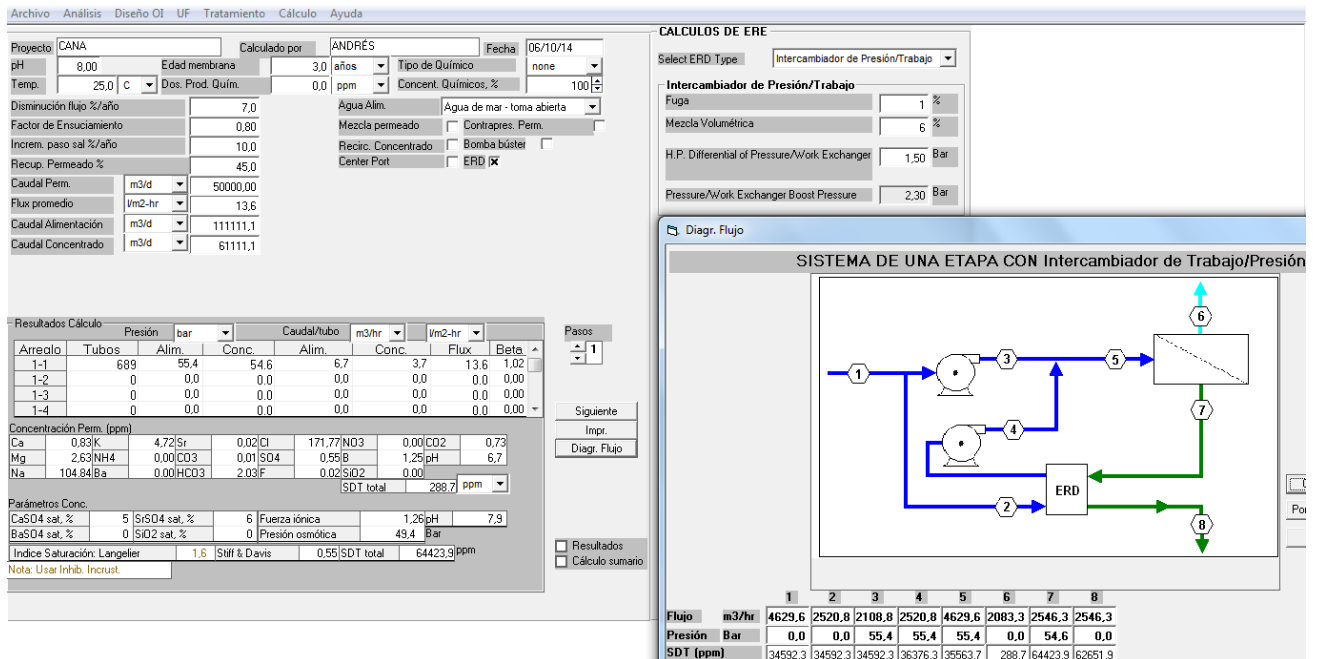


Figura 20: Cálculos diseño 1 (IMS Design)

Además del cálculo de este sistema, se han estudiado con el programa de diseño, las variaciones que sufrirían algunos de los factores más relevantes en el proceso, como la presión de entrada en las membranas, la tasa de salinidad del permeado o la presencia de boro en este, debido a un cambio en la temperatura del proceso a lo largo de su vida útil. Estos datos se han calculado considerando una disminución de un 7% de flujo por año y un aumento de paso de sal de un 10 % por año, tratando de mantener constante un rendimiento del 45 %:

	Tiempo (años)	P entrada (bar)	TSD	[Boro] (ppm)
15 °C	0	53,0	139,4	0,62
	1	53,9	152,6	0,67
	3	56,1	178,8	0,79
20°C	0	51,7	174,5	0,79
	1	52,4	190,7	0,86
	3	54,1	223,2	1,00
25°C	0	51,1	216,4	1,00
	1	51,7	236,6	1,09
	3	53,1	276,4	1,26

Tabla 4: Simulaciones OI para distintas temperaturas (Diseño 1)

Como se observa, al aumentar la temperatura disminuye la presión necesaria a aplicar, pero también aumenta la cantidad de sales presentes en el permeado. En cambio, conforme aumenta la edad de las membranas, aumenta tanto la presión necesaria para mantener el proceso, como la concentración de sales en el permeado final.

En principio parece que no existe ningún problema ya que la tasa TSD es adecuada y la presión de entrada es asumible por las membranas. No obstante, especialmente en la zona en cuestión de ubicación del proyecto, existe un problema de concentración de boro en las aguas obtenidas por desalación. La legislación vigente no permite una concentración mayor a 1 ppm en agua destinada a consumo humano, por lo que deberemos vigilar la concentración de este elemento.

Como se aprecia, incluso con las membranas en perfecto estado, la concentración de boro sería superior a la permitida para una temperatura de 25 °C (temperatura del agua típica en verano), por lo que deberemos estudiar el uso de otras membranas que sean capaces de retener este elemento en mayor medida, ya que con este sistema no se cumplirían los requerimientos exigidos por la legislación vigente.

Por tanto, teniendo en cuenta que el primer diseño para las membranas “SWC5” no cumplen los requisitos de diseño, se realizará otro diseño, ya sea con estas membranas o con otras, tratando de minimizar la concentración de boro del flujo de permeado.

DISEÑO 2

Una vez desechado el primer diseño, se tratará de modificar la configuración de estas membranas, ya que en principio son las que más nos interesan, ya que poseen un gran área de filtrado y una alta eficiencia, pero si no fuese posible, se seleccionarían otras. Para tratar de modificar el diseño, se colocarán 5 módulos en línea en lugar de 6:

Archivos | **Análisis** | **Diseño OI** | **UF** | **Tratamiento** | **Cálculo** | **Ayuda**

Proyecto: CANA | Calculado por: ANDRÉS | Fecha: 06/10/14

pH: 8,00 | Edad membrana: 3,0 años | Tipo de Químico: none

Temp.: 25,0 C | Dos. Prod. Quím.: 0,0 ppm | Concent. Químicos, %: 100

Disminución flujo %/año: 7,0 | Agua Alm.: Agua de mar - toma abierta

Factor de Ensuciamiento: 0,80 | Mezcla permeado: Contrapres. Perm.

Increment. paso sal %/año: 10,0 | Recirc. Concentrado: Bomba búster

Recup. Permeado %: 45,0 | Center Port: ERD

Caudal Perm.: m3/d | 50000,00

Flux promedio: l/m2-hr | 16,3

Caudal Alimentación: m3/d | 111111,1

Caudal Concentrado: m3/d | 61111,1

Modelo: SWC5 | Elementos/tubo: 689

Etapas Paso 1: 1

Botones: Ejecutar, Impr., Diag. Flujo, Recalcular

Intercambiador de Presión/Trabajo:

- Fuga: 1 %
- Mezcla Volumétrica: 6 %
- H.P. Differential of Pressure/Work Exchanger: 1,50 Bar
- Pressure/Work Exchanger Boost Pressure: 2,20 Bar

Figura 21: Datos diseño 2 (IMS Design)

Como se puede observar a primera vista, esto no modifica el número de módulos a colocar, pero si el flujo promedio que los debe atravesar. No obstante, se encuentra dentro de los valores admisibles determinados por el fabricante. Luego, ejecutamos para conocer el resto de valores de diseño:

Resultados Cálculo

Arreolo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	689	57,8	57,1	6,7	3,7	16,3	1,02
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Concentración Perm. (ppm)

Ca	Mg	Na	Cl	NO3	CO2	pH
0,63	2,18	86,75	0,01	142,13	0,00	1,05

Parámetros Conc.

CaSO4 sat. %	SrSO4 sat. %	Fuerza iónica	Presión osmótica	1,26 pH
5	0	0	49,4	7,9

Índice Saturación: Langlier: 1,6 | Stiff & Davis: 0,55 | SDT total: 64467,2 ppm

Nota: Usar Inhib. Incrust.

Diagr. Flujo

SISTEMA DE UNA ETAPA CON Intercambiador de Trabajo/Presión

Flujo m3/hr: 4629,6 | 2520,8 | 2108,8 | 2520,8 | 4629,6 | 2083,3 | 2546,3 | 2546,3

Presión Bar: 0,0 | 0,0 | 57,8 | 57,8 | 57,8 | 0,0 | 57,1 | 0,0

SDT (ppm): 34592,3 | 34592,3 | 34592,3 | 36378,9 | 35565,1 | 238,9 | 64467,2 | 62692,6

Figura 22: Cálculos diseño 2 (IMS Design)

De este modo, se aprecia que este diseño es más eficiente que el anterior. No obstante, su nivel de trabajo es mayor, suponiendo un flujo de filtrado y presión de trabajo mayores. En cualquier caso, estas condiciones cumplen las especificaciones del fabricante por lo que sería un diseño viable. Así pues, se estudiará, al igual que para el caso anterior, las variaciones que sufrirían algunos de los factores más relevantes en el proceso, como la presión de entrada en las membranas, la tasa de salinidad del permeado o la presencia de boro en este, debido a un cambio en la temperatura del proceso a lo largo de su vida útil. Estos datos también serán calculados considerando una disminución de un 7% de flujo por año y un aumento de paso de sal de un 10 % por año, tratando de mantener constante un rendimiento del 45 %:

	Tiempo (años)	P entrada (bar)	TSD	[Boro] (ppm)
15 °C	0	57,9	120,7	0,51
	1	59,1	132,2	0,56
	3	61,8	154,8	0,65
20°C	0	56,0	150,5	0,65
	1	57,0	164,8	0,71
	3	59,3	193,4	0,83
25°C	0	55,1	186,3	0,83
	1	55,9	204,0	0,90
	3	57,8	238,9	1,03

Tabla 5: Simulaciones OI para distintas temperaturas (Diseño 2)

Como se aprecia en los valores de la tabla, esta configuración presenta ciertas ventajas frente a la anterior. Mediante este diseño se consigue una salinidad menor del permeado, que a su vez se traduce en una reducción de la concentración final de boro. No obstante, no se debe olvidar que esto se consigue a base de un aumento de la presión de trabajo.

Además de que los niveles de boro se encuentran en los límites exigidos por la legislación, desechamos este diseño debido a este considerable aumento de presión. Este, a pesar de encontrarse dentro de unos límites admisibles, presentaría varios problemas.

En primer lugar, se debe considerar que el mayor gasto operacional que presenta una planta desaladora es el consumo eléctrico de las bombas a presión, siendo cercano a un valor del 50% de los costes de operación. Si se eligiese este diseño, por tanto, a pesar de que la inversión inicial se podría ver reducida, debida la instalación de un número menor de módulos de OI, a la larga sería contraproducente ya que nuestros costes operacionales aumentarían significativamente al aumentar la presión que el proceso de OI demanda, siendo este aumento de prácticamente 5 bar.

En segundo lugar, una excesiva presión, aunque sea matemáticamente viable, presentaría un mayor riesgo de atascamiento de las membranas, lo que provocaría un mayor número de parones en la planta debido a las necesidades de limpieza. Además, un mayor nivel de atascamiento supone un mayor número de lavados, lo que afectaría, también, a las membranas, reduciendo su vida útil.

Por tanto, a pesar de que este diseño podría resultar viable en teoría, no es aconsejable llevarlo a la práctica debido al coste que supondría, tanto operacionalmente, como en gastos de mantenimiento. Por ello, se plantea un tercer diseño.

DISEÑO 3

Teniendo en cuenta el aumento de presión necesaria para conseguir los niveles de boro exigidos por legislación, se comprueba si el uso de otra membrana resulta más eficiente. En este caso se simulará, con el “IMS Design”, la utilización de membranas de la serie “SWC4”, especialmente diseñadas para aguas con una alta concentración de boro.

Dentro de esta serie existen diversos modelos. Dentro de ellos destacan los modelos “SWC4 MAX” y “SWC4B MAX”, con la mayor superficie filtrante de la serie, y “SWC4-LD” y “SWC4B-LD”, que se corresponden con los módulos más eficientes de la serie. Teniendo en cuenta que el objetivo es reducir el coste operacional, se deberá reducir al máximo la potencia demandada por las bombas. Si se simulan distintas situaciones con todas ellas, puede observarse que los niveles boro exigidos por la legislación para la situación límite se cumplen en todas ellas. No obstante, las membranas con mayor área filtrante demandan algo más de presión que el resto, a pesar de que sería necesario instalar un número menor de ellas, lo que reduciría los costes de implantación de proyecto, aumentando en cierta medida los operacionales. Debido a ello descartamos los modelos MAX, y seleccionaremos un modelo LD. Luego, a pesar de que mediante el uso de membranas “SWC4B-LD” se reduce la concentración de boro en el permeado, la tasa de salinidad de este es menor con el uso de membranas “SWC4-LD”, por lo que seleccionaremos estas últimas.

Por tanto, al igual que para los diseños anteriores, se simularán las distintas condiciones en que trabajarán las membranas seleccionados, las “SWC4-LD”. Estas simulaciones también se realizarán considerando una disminución de un 7% de flujo por año y un aumento de paso de sal de un 10 % por año, tratando de mantener constante un rendimiento del 45 %.

	Tiempo (años)	P entrada (bar)	TSD	[Boro] (ppm)
15 °C	0	57,4	119,9	0,41
	1	58,6	131,4	0,45
	3	61,4	154,1	0,52
20°C	0	55,6	149,8	0,53
	1	56,5	164,0	0,57
	3	58,8	192,1	0,67
25°C	0	54,7	185,5	0,67
	1	55,4	203,0	0,73
	3	57,3	237,5	0,85

Tabla 6: Simulaciones OI para distintas temperaturas (Diseño 3)

Como se aprecia, mediante el uso de estas membranas conseguimos una reducción de la presión de trabajo de una media de 0,5 bar, a la par que conseguimos unos niveles de boro menores y más alejados de los límites admisibles. También puede observarse que la TSD es algo menor que en el diseño 2, por lo que produce un permeado menos salino. Por tanto, utilizaremos membranas modelo “SWC4-LD”.

En cualquier caso, se debe controlar una vez instalada la planta, que realmente se cumplen las condiciones exigidas al proceso. Es importante, también, controlar que el sistema se encuentra en unos rendimientos adecuados, de entorno a un 45% a lo largo de la vida útil de las membranas. Si a partir del tercer año estos rendimientos no han caído por debajo de un 43% no será necesario ningún proceso de recuperación o cambio de membranas, pero siempre deberemos controlar que la calidad del permeado cumple las condiciones de diseño.

En cuanto a la limpieza de las membranas, debemos considerar que la capacidad de recuperación de las membranas dependerá en gran medida de la rapidez de detección del problema, y de su lavado pertinente. Si se prolonga mucho la actuación frente a un ensuciamiento, estas membranas pueden quedar dañadas irreversiblemente.

Normalmente, las membranas suelen requerir un lavado si llevan tiempo inactivas, aunque también existen otros factores, durante la explotación, que determinan un ensuciamiento de éstas. Las membranas suelen requerir un lavado si el paso de sales aumenta 15 %, o si los caudales de salida, ya sea agua de rechazo permeado, varían en un 10% del caudal de diseño. También es un indicador de necesidad de lavado, que las pérdidas de carga en los módulos aumenten, o que la presión de alimentación se dispare, llegando a aumentar un 10% respecto a la de diseño.

No obstante teniendo en cuenta la calidad con que el agua llega al proceso de ósmosis inversa, las necesidades de limpieza de este equipo se reducen considerablemente. Por lo general, si no se producen problemas, se realizará una limpieza al año, para regenerar las membranas. Para la limpieza se utilizará agua previamente desalada con productos químicos, que dependerán del problema a solucionar, si se conoce. Principalmente suelen utilizarse para ello; un producto ácido (eliminación de precipitados inorgánicos), un producto alcalino (eliminación del ensuciamiento orgánico) y un lavado especial para ensuciamientos biológicos. En cualquier caso, se repondrán un 12% de las membranas para garantizar el correcto funcionamiento de la planta, con los requerimientos de diseño especificados.

Una vez seleccionada la membrana más apropiada para esta situación (“SWC4-LD”), procedemos a diseñar el proceso. Como se implantarán 4 líneas de proceso, cada una de ellas deberá ser capaz de producir un caudal de 12.500 de permeado al día. Por tanto, considerando una configuración de 7 módulos por tubo, las características del sistema serán:

SISTEMA DE OI CON MEMBRANAS SWC4-LD		
CARACTERÍSTICA		VALOR
Conversión aproximada (%)		0,45
Nº pasos		1
Nº líneas		4
Flujo específico (l/m ² h)		11,6
Caudales (m ³ /día)	Permeado	12.500,0
	Aporte	27.777,8
	Rechazo	15.277,8
Nº Membranas por tubo		7
Nº Tubos por línea		173
Nº membranas por línea		1.211
Nº membranas total planta		4.844

Tabla 7: Características sistema OI con membranas SWC4-LD

Por tanto si se instalan 4 líneas de ósmosis inversa, cada una de ellas dispondrá de 173 tubos de ósmosis inversa, lo que supondrá un total de 1.211 módulos de ósmosis inversa “SWC4-LD” por línea. Además, cada línea contará con su propia bomba de alta presión y su propio sistema de recuperación de energía. De esta forma, se dispondrá de una planta versátil, dónde será fácil incluir una nueva línea, o por el contrario, si fuese preciso, prescindir de una de ellas.

Una vez determinado el diseño del proceso, en la figura siguiente se muestra el diagrama la simulación realizada para a situación límite de diseño en cuanto a presión se refiere. Esta situación se corresponde con una edad de membrana de 3 años, y una temperatura de 15°C:

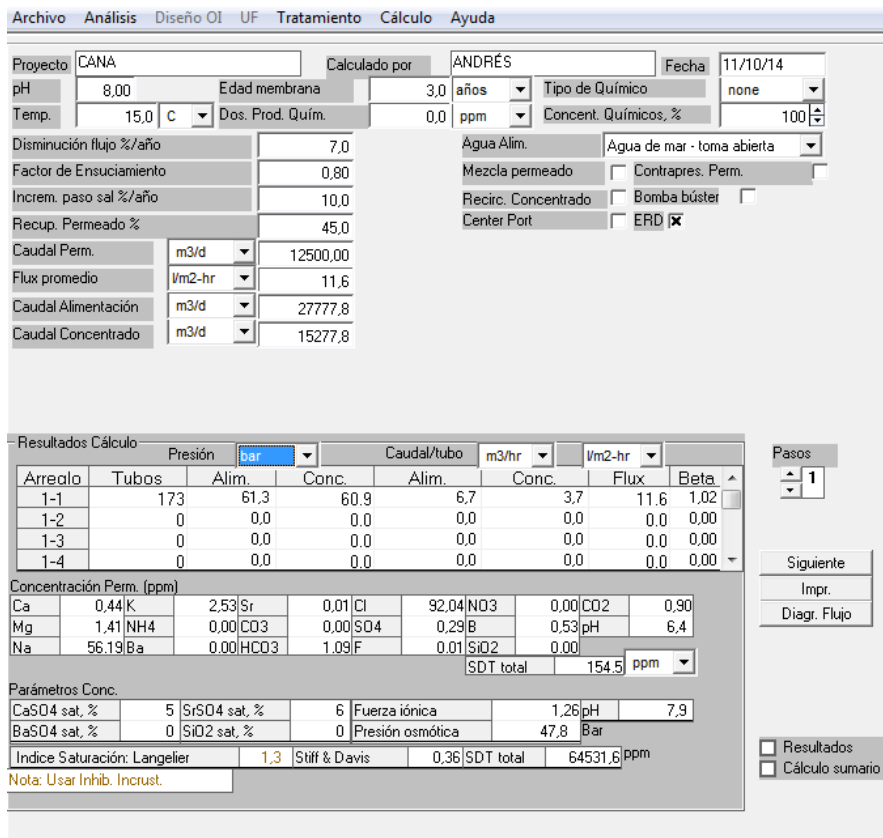


Figura 23: Cálculos diseño 3 (IMS Design)

Además la simulación también muestra un diagrama de flujo para esta situación en particular, dónde podemos observar las presiones máximas necesarias para el correcto funcionamiento del proceso.

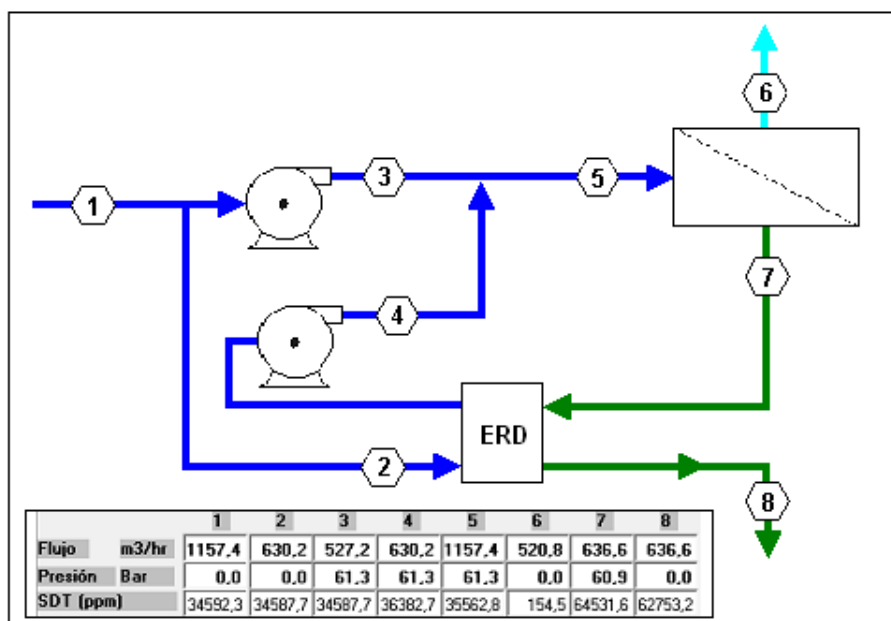


Figura 24: Diagrama de flujo diseño 3 (IMS Design)

Diseño del recuperador de energía

Una de los principales inconvenientes que presentaba el proceso de desalación por ósmosis inversa eran los altos requerimientos de energía. Hoy en día este problema se minimiza en gran medida mediante la utilización de recuperadores de energía. En este caso, como se ha expuesto anteriormente, utilizaremos un sistema de intercambiador de presión por cámaras isobáricas, de tal forma que se aprovechará la presión de salida del agua de rechazo, utilizándola para bombear de nuevo agua bruta al proceso de ósmosis inversa a alta presión.

Se instalará un sistema de estas características por línea de OI, por lo que supondrán un total de 5 bloques de sistemas recuperadores de energía. Cada uno de estos sistemas está compuesto por varios cilindros cerámicos rotatorios que giran a 1.200 rpm, que contiene las cámaras isobáricas en las que la salmuera, por desplazamiento positivo, impulsa al agua marina filtrada hacia la entrada de la ósmosis inversa, previo paso por la bomba Booster que compensa las pérdidas que se producen en el circuito. La transferencia de presión de estos equipos puede llegar incluso hasta un 98% de eficiencia.

En este caso se va a seleccionar un modelo de sistema recuperador de la marca "Energy Recovery Inc.", empresa de gran fiabilidad y cuyos equipos presentan unos rendimientos muy altos. A la hora de seleccionar el modelo, el fabricante nos adjunta una hoja Excel dónde podemos rellenar las necesidades de nuestra planta, y nos calcula el mejor modelo para la situación especificada, así como el número de estos que necesitamos. Luego, introduciendo los parámetros especificados, para cada línea de OI, considerando la situación límite de diseño (15°C y 3 años de vida):

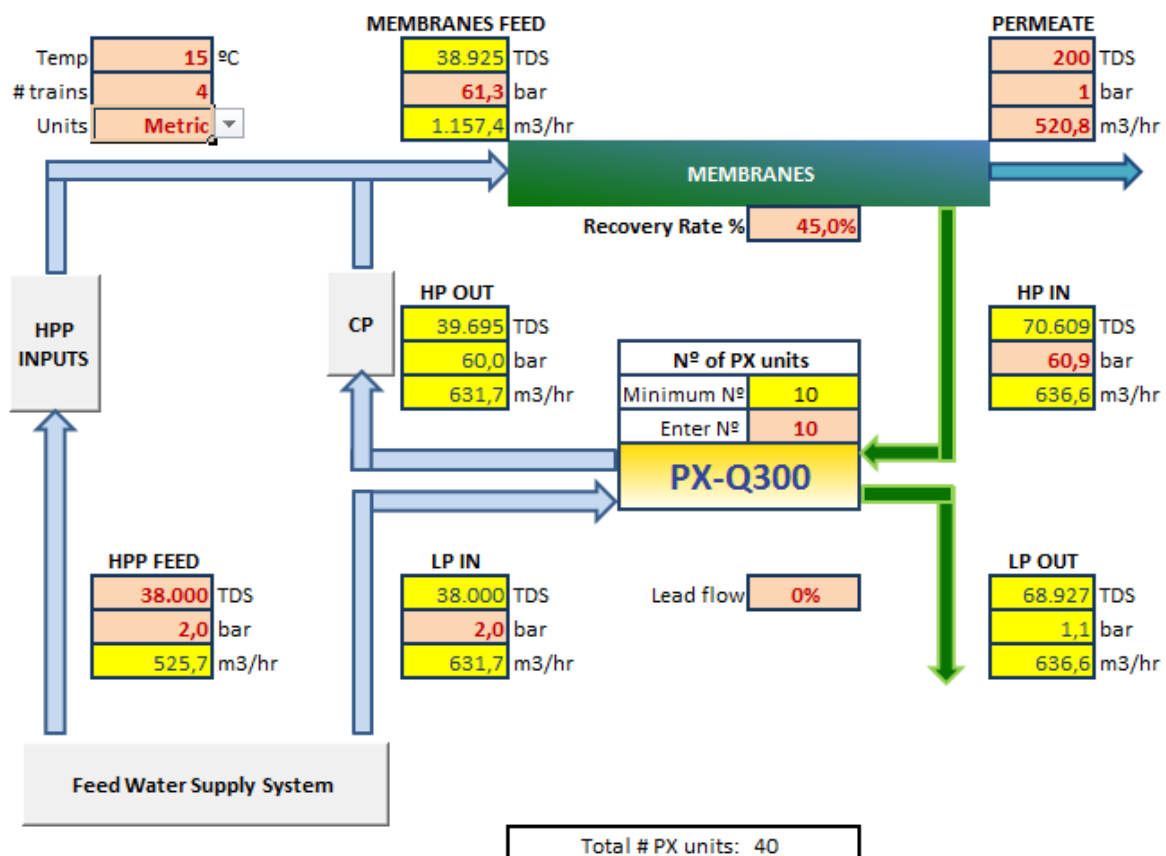


Figura 25: Software de cálculo de los recuperadores de energía

Por tanto, como se aprecia en la figura, el fabricante nos recomienda la instalación de 10 cilindros intercambiadores de presión del modelo PX-Q300 para cada línea de ósmosis inversa, lo que supondrá un total de 40 elementos de estas características para toda la planta. Estos, utilizarán todo el volumen de agua de rechazo, para conferir presión a un gran volumen de agua de mar que será reintroducido en el sistema de ósmosis inversa tras la salida de la bomba a presión.

Además, si clicamos en las bombas del diagrama, nos incluye sus características técnicas, de forma que nos resulta más sencillo elegir las bombas necesarias para el proceso:

BOMBAS		
Tipo	Bomba de alta presión	Bomba booster
Eficiencia de la bomba (%)	81	83,7
Eficiencia del motor (%)	95	93,5
Caudal (m ³ /h)	527,7	631,7
Diferencia de presión (bar)	59,3	1,3
Consumo eléctrico (kW)	1130,8	29,0

Tabla 8: Características de las bombas del proceso de ósmosis

Diseño del emisario de salmuera

El agua de rechazo, una vez utilizada en planta, será enviada de nuevo al mar. Para ello dispondremos de una tubería de gran diámetro, por donde discurrirá esta agua de rechazo, en lámina libre, hasta el mar. Este colector será de PRFV, al igual que el resto de conducciones, pero una vez alcanzada la costa, el colector será de PEAD, ya que es más resistente a la corrosión, además de ser un materia difícil de colonizar por las poblaciones marinas.

En el punto de evacuación de la tubería se instalarán unos eductores de tipo venturi. Estos, han presentado grandes ventajas frente a otros sistemas como los difusores convencionales. De esta forma mezclamos la salmuera con el agua de mar, hasta que la diferencia salina entre el vertido y el agua de mar es imperceptible, protegiendo el ecosistema marino de posibles problemas generados por este vertido.

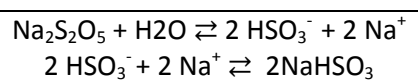
Para más datos sobre estos elementos, puede consultarse, en la bibliografía adjunta, el manual de producto, "EDUCTORES GIGANTES", distribuido por el centro canario del agua en colaboración con northeast controls inc. USA.

2.3.3 Tratamientos químicos

Pese a que nuestro objetivo es la minimización de la utilización de productos químicos, por lo que se ha elegido la UF como pretratamiento, es inevitable el uso de alguno de ellos para garantizar un rendimiento y funcionamiento adecuado. A continuación se describen los compuestos necesarios a aplicar.

Reducción de oxidantes

La presencia de oxidantes, como el cloro libre residual proveniente de la desinfección entre otros, puede dañar gravemente e irreversiblemente las membranas de ósmosis inversa. Para evitarlo es necesario aplicar algún producto químico reductor. En este caso se va a emplear Metabisulfito Sódico ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Este sólido se disociará en agua para su dosificación formando Bisulfito sódico (NaHSO_3), tal y como se muestra en la siguiente reacción:



La dosificación de este elemento, deberá ser estudiada durante la puesta en marcha de la planta ya que dependerá de la concentración de NaClO aplicada en el inmisario submarino. Para determinar la concentración de oxidantes a la salida de la UF, se utilizará un medidor redox o un medidor de cloro, y en función de la medición tomada, se dosificará la cantidad de Bisulfito sódico necesario.

Antiincrustante

Aunque con unos rendimientos del 45% y una temperatura media-baja, no es típico que precipiten las sales del agua de mar, se opta por la adición de antiincrustante antes del proceso de OI para garantizar un rendimiento óptimo del proceso, tal y como aconseja el “IMS Design” (puede apreciarse en la figura 22).

Si la concentración de una sal supera su solubilidad puede producirse la precipitación, comenzando entonces a formarse núcleos de cristales, los cuales catalizan la formación de más cristales en su superficie. Los compuestos que habitualmente pueden provocar problemas de precipitados son los carbonatos de calcio y magnesio, los sulfatos de calcio, bario y estroncio, los fosfatos cálcicos, el fluoruro cálcico, el sílice y los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio.

El mecanismo de actuación consiste en que los antiincrustantes son absorbidos en el plano de formación de los cristales de sal, impidiendo el crecimiento de los mismos y evitando la atracción de más iones desde la solución sobresaturada hacia la superficie del cristal. De esta forma, los cristales no alcanzan el tamaño suficiente como para acabar precipitando.

Existen diversos fabricantes y distribuidores de este producto, que en última instancia son los que nos recomendarán la cantidad de producto a aplicar, de tal forma que la dosis no sea demasiado abundante, lo que podría causar que se ensucie el polímero, ni tampoco demasiado escasa, lo que podría provocar precipitaciones minerales.

2.4 POSTTRATAMIENTO

Una vez procesada el agua de mar presenta un carácter muy agresivo debido a su baja alcalinidad y dureza. Por ello, esta agua debe ser remineralizada para alcanzar su equilibrio calcio-carbónico. Teniendo en cuenta que este es el último paso antes de su salida de la planta, previa desinfección, es un paso clave en que además de conseguir remineralizarla, deberemos tener en cuenta otros parámetros como la turbidez de la misma entre otras. Principalmente, deberemos cumplir los requerimientos de agua potable que establece la legislación, que pueden consultarse en el Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Como ya determinamos en la memoria, el proceso por el cual va a realizarse esta remineralización será a base de lechos de calcita con dosificación de CO₂, principalmente debido a su sencillez y garantía de calidad del agua final. Los equipos utilizados serán los fabricados por la empresa "Drin Tec", marca desarrollada por el FCCA de Canarias, en su continua apuesta por el departamento de I+D, y que hoy en día aparecen en el mercado como una empresa puntera en la remineralización de aguas.

2.4.1 Dosificación de CO₂

En primer lugar, el permeado obtenido en el proceso de ósmosis inversa, atravesará los disolvedores de CO₂. Estos aparatos constan de:

- Un depósito disolvedor: En él, el CO₂ se dosifica a contracorriente, siendo la velocidad del agua en el disolvedor, tal que no arrastre las burbujas producidas en el difusor. Deberá disponer de un número suficiente de difusores de CO₂ de baja presión para garantizar una dosificación correcta. Además el disolvedor dispone de dispositivos interiores que facilitan la mezcla de las microburbujas de CO₂. Cabe destacar, que está fabricado con materiales y adhesivos autorizados para su uso en aguas potables.
- Un difusor de CO₂: Presenta un tamaño de poro que permite la dosificación con una presión diferencial mínima, con una distancia entre poros que permite un reparto uniforme de la microburbujas. Posee un diseño que permite la aplicación de cantidades elevadas de CO₂ y, al igual que el elemento anterior, está fabricado con materiales y adhesivos autorizados para su uso en aguas potables.
- Un visor de burbujas: Está situado a lo largo de la pared del tanque como una franja semitransparente, permite visualizar el CO₂ no disuelto.

La dosificación necesaria de CO₂ se describe en el siguiente apartado, ya que la dosis necesaria de aplicación dependerá del consumo de calcita. La dosis necesaria a aplicar será de 57,75 kg/h de CO₂, como se especifica en los cálculos posteriores.

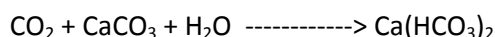
2.4.1 Lechos de calcita

Los lechos de calcita facilitados por la empresa “Drin Tec” disponen de dosificadores de calcita granulada, vertederos perimetrales interiores, suelos filtrantes para agua y aire y silo de calcita incorporado. Los diseños incluyen generalmente un sistema de recuperación de aguas turbias y de recirculación para garantizar una planta con una autonomía de más de 30 días y vertido cero durante su funcionamiento. Funcionan en paralelo, y todos presentan la misma altura de lecho, lo que facilita el diseño hidráulico del sistema de alimentación cuando se trata de varios lechos funcionando en paralelo.

Estos lechos funcionan por gravedad con una pérdida de carga baja, por lo que pueden funcionar directamente con la presión de salida del agua de los bastidores. La turbiedad de los lechos se controla utilizando material limpio y manteniendo el caudal de alimentación constante, evitando cambios bruscos en el mismo. En caso de arranque de nuevos bastidores se utiliza un sistema que permite la alimentación del exceso de caudal de forma suave y paulatina.

No es necesario hacer purgas de los lechos con demasiada frecuencia, pues al ser lechos ascendentes no se obstruyen con facilidad. Basta con un esponjamiento 1 ó 2 veces al año para evitar posibles cauces preferenciales y mantener un funcionamiento óptimo. La turbiedad durante el esponjamiento de los lechos se mantiene controlada con el sistema de control y reutilización de aguas turbias.

Se conoce que la reacción que se lleva a cabo es la que se muestra a continuación, y se sabe que en esta reacción el agua disuelve solo el reactivo necesario para equilibrar su índice de Langelier, por lo que no hay riesgo de infra o sobredosificación:



Luego si el caudal de permeado es de 2.083,33 m³/h, y nuestro objetivo es alcanzar una dureza de 6-8 (ºf), con una concentración de entre 8-9 ppm de CaCO₃ por (ºf):

$$\text{Dosis consumida (g/m}^3\text{)} = 7 \text{ (ºf)} \times 9 \text{ (ppm)} = 63 \text{ ppm} = 63 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Flujo másico consumo CaCO}_3 \text{ (kg/h)} = 63 \text{ (g/m}^3\text{)} \times 2083,33 \text{ (m}^3\text{/h)} = 131,25 \text{ kg/h}$$

Aplicando estequiometria, podemos saber cuál es la necesidad de CO₂ del dosificador de CO₂, descrito anteriormente:

$$\text{Flujo másico consumo CO}_2 \text{ (kg/h)} = 131,25 \text{ (kg/h)} \times 0,44 = 57,75 \text{ kg/h}$$

Ahora bien, para determinar el número de lechos que necesitamos y la altura de los mismos, consideraremos que:

- Caudal a tratar: 2.083,33 m³/h
- Velocidad ascensional: 8-15 m/h (15 m/h la más limitante)
- Superficie unitaria de cada lecho: (9x2 m²)
- Tiempo necesario de contacto: 8-12 min (12 min la más limitante)

La situación más desfavorable que deben cumplir los lechos es remineralizar todo el caudal, a una velocidad de 15 m/h, en 8 minutos. Luego si consideramos que cada módulo dispone de 18 m² de superficie, deberemos disponer de:

- Superficie necesaria = 2083,33 (m³/h) / 15 (m/h) = 138,9 m²
- Número de lechos = 138,9 (m²) / 18 (m²) ≈ 8 lechos
- Altura lecho = 15 (m/h) x 12 (min) / 60 = 3 m

Luego, dispondremos de 8 lechos de calcita, de 9 m x 2 m de base, y una altura de 3 m, con un caudal unitario por lecho de 108,33 m³/h, a una velocidad máxima de 15 m/h, suponiendo una estancia de 12 minutos dentro del lecho. Con este dimensionamiento se garantiza un pH y una dureza mínimas, que cumplan las exigencias especificadas en la legislación vigente.

3 TANQUES

3.1 TANQUE INTERMEDIO

Este tanque se instalará entre el proceso de ultrafiltración y el de ósmosis inversa. Este recibirá y almacenará el agua proveniente del proceso de ultrafiltración y deberá abastecer el proceso de lavado de la ultrafiltración y la alimentación hídrica del proceso de ósmosis inversa, ya sea la alimentación de las bombas de alta presión o las de las bombas booster. De no instalar este tanque con sus respectivos bombeos, se debería instalar en línea bombas de alta presión con variadores que complicarían este proceso innecesariamente, especialmente complicaría la automatización del mismo, por lo que sea optado por la instalación de un tanque intermedio.

Este tanque deberá estar cerrado, ya que el agua que almacenará será la proveniente de la ultrafiltración, libre de residuos y contaminantes. Además deberá disponer de un filtro de aire (HEPA) para evitar la contaminación con partículas provenientes del aire. Se aconseja que este tanque posea un volumen de unos 500 m³, para disponer de un nivel suficiente para abastecer a las bombas, sin que estas caviten. Posteriormente se definirá el cómo se controlará este nivel.

3.2 TANQUE CIP

Este tanque contendrá el agua que se utilizará para las limpiezas CIP. Este, será abastecido de agua producto del proceso de ósmosis inversa. Debido a que el proceso de limpieza CIP es considerablemente más largo que los lavados diarios, ya sea contralavado o lavado CEB, por lo que se dispondrá de un tanque que abastezca este proceso. Al igual que el tanque intermedio, este tanque será cerrado y deberá disponer de un filtro de aire HEPA que impida la introducción de contaminantes en él, que podrían dañar las membranas de ultrafiltración y de ósmosis inversa. Además se administrará NaClO, NaOH y HCl en las concentraciones previamente estudiadas para realizar los lavados químicos pertinentes. El volumen de este tanque deberá ser de unos 120-150 m³, para poder almacenar toda el agua necesaria para realizar los lavados CIP, tanto de las membranas de OI como de las de UF.

3.3 TANQUE NEUTRALIZACIÓN

Antes de verter las aguas de lavado al mar, deberán atravesar este tanque. En él se contrarrestarán los productos químicos utilizados para que el impacto sobre el medio marino sea el mínimo. Este deberá tener un volumen mínimo capaz de almacenar toda el agua de lavado químico utilizada en la planta. Los productos que se utilizaran serán HCl, NaOH y Metabisulfito sódico, en función de las necesidades que se observen durante el funcionamiento de la planta. Este, también dispondrá de un filtro de aire HEPA.

3.4 TANQUE AGUA PRODUCTO

Este tanque almacenará el agua ya tratada, y potable, hasta su posterior bombeo fuera de planta. Su volumen representará un 10% de la producción total diaria de la planta, por lo que instalaremos 2 tanques de 2.500 m³. Al igual que los tanques anteriores, este también dispondrá de un filtro de aire HEPA para mantener las características conseguidas durante el procesado.

3.5 TANQUES DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Además de los tanques anteriores, dispondremos de varios tanques que almacenaran los productos químicos necesarios tanto para los lavados pertinentes como para los tratamientos. Luego, teniendo en cuenta los consumos que se adjuntan en la siguiente tabla, dispondremos de:

Tanques	Consumo (l/año)	Reposición (días)	Volumen unitario (m ³)	Número
NaClO	108.184,1	7 (semanal)	2	1
FeCl ₃	61.745,9	7 (semanal)	1,2	1
NaOH	2.127,1	90 (trimestral)	1	1
HCl (CEB)	3.534,3	90 (trimestral)	1	1
Na ₂ S ₂ O ₅ (NaHSO ₃)	10.950,0	30 (mensual)	1	1
Antiincrustante	5.256.000	2	15	2
CO ₂	401.500	7 (semanal)	8	1

Tabla 9: Determinación de necesidades de tanques de productos químicos

4 BOMBAS Y CONDUCCIONES

4.1 INTRODUCCIÓN

Para las conducciones, tanto desde la cántara de captación a planta, como dentro de la planta, utilizaremos conducciones de PRFV (poliéster reforzado con vidrio), debido a principalmente a su buen comportamiento frente a la corrosión y al desgaste. También presenta otras ventajas, como su ligereza. No obstante, el emisario de agua de mar, el emisario de salmuera y las conducciones de los sistemas de limpieza CIP y CEB, serán de polietileno debido a su mayor exposición a la corrosión, ya que este material ofrece una alta resistencia química.

Para el cálculo de la potencia de las bombas, que impulsaran los fluidos a través de estas conducciones se utilizarán las fórmulas siguientes:

POTENCIA DE BOMBEO

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot \eta}$$

donde:

P: potencia de bombeo (Kw)

Q: caudal de agua a bombear (m³/h)

H: altura manométrica (m)

ρ : densidad (Kg/l)

η : rendimiento de la bomba

f: coeficiente de rozamiento.

v: velocidad (m/s)

L: longitud de la conducción (m)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

D: diámetro (m)

ΔZ : diferencia de cotas entre los puntos de aspiración y de entrega (m)

ΣF : pérdidas de carga (m)

ΔP : diferencia de presión entre los puntos de aspiración y de entrega (m)

ecuación de Fanning:

$$\Sigma F = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

ϵ : rugosidad del material (m)

D: diámetro del material (m)

Re: número de Reynolds

En primer lugar, tras calcular el número de Reynolds, se calculará el coeficiente de rozamiento a través de la ecuación de Colebrook-White, para utilizarlo en el cálculo de las pérdidas de carga primarias con la ecuación de Fanning, mediante las cuales calcularemos la altura manométrica utilizada para calcular la potencia de cada bomba. Gracias al sobredimensionamiento de las pérdidas de carga primarias para el cálculo de las bombas, consideramos las pérdidas secundarias despreciables.

4.2 CÁLCULOS

4.2.1 Bombas de captación

Las bombas de captación estarán situadas en la cámara de bombeo de la cántara de captación. Estas bombas serán las encargadas de bombear el agua desde la cántara de captación hasta la planta. Además, deberán de bombear el agua a través de filtros de anillas, garantizando una presión suficiente a la entrada del proceso de ultrafiltración.

Suponiendo que la base de la cántara de captación se encuentra a 4 m bajo el nivel del mar en marea baja, y que la planta se encontrará como mucho a 10 m sobre el nivel de este, la bomba deberá salvar una altura, sobredimensionada, de 15 m y una distancia máxima de 200 m. Si el caudal mínimo que se debe bombear es de 4.863,55 m³/h, y considerando que se instalarán 4 conducciones simultáneas, con una velocidad máxima de diseño de 1,8 m/s, el diámetro de tuberías será de:

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 1.215,89 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3.600 \text{ (s/h)}] = 0,18764 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2\text{)} / \pi)^{1/2} = 0,489 \text{ m}$$

Diámetro _{nominal} = 500 mm

Por tanto, una vez calculado el diámetro de la tubería, se procede a calcular el número de Reynolds, para una viscosidad de 0,001 kg/ms y una densidad de agua salada de 1020 kg/m³:

$$R_e = [1020 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 1,8 \text{ (m/s)} \times 0,5 \text{ (m)}] / 0,001 \text{ (kg/ms)} = 918.000$$

A partir del número de Reynolds, y conocido el coeficiente de rugosidad para el PRFV, de 0,000021, calculamos mediante ecuación de Colebrook-White el coeficiente de rozamiento para estas condiciones. El resultado fue un coeficiente de rozamiento de $f = 0,01264$. Este valor lo introducimos ahora en la ecuación de Fanning, que a partir de la longitud de la tubería y su diámetro, la velocidad del fluido y la aceleración de la gravedad, nos dan las pérdidas de cargas debidas a la conducción. Debido a la buena situación de la planta, estas pérdidas suponen 0,836 m de pérdidas de carga.

Si suponemos que las pérdidas de carga de las conducciones dentro de planta, sobredimensionando, suponen 1 m y las debidas a equipos son de 5 m para cada módulo de filtros de anillas, y deben salvar un desnivel de 15 m hasta planta, llegando al proceso de ultrafiltración con una presión de unos 2-4 bar, la altura manométrica a salvar será de:

$$H \text{ (m)} = 15 \text{ (m)} + (1+5) \text{ (m)} + (3 \times 10,2) \text{ (m)} = 51,6 \text{ m}$$

Se pretenden instalar bombas que aporten la mayor versatilidad a la planta. Teniendo en cuenta que estas bombas deberán abastecer a 8 módulos de filtrado y a 8 bastidores de UF, trataremos de colocar 4 bombas en continuo funcionamiento, y otra de reserva. Por tanto, cada bomba deberá ser capaz de bombear un caudal de 1.215,89 m³/h (338 l/s). Luego, teniendo en cuenta que queremos instalar una bomba sumergida ($\eta = 85\%$), la potencia requerida para la bomba será de:

$$P_{BC} \text{ (kW)} = [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] =$$

$$= 1.215,89 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 51,6 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3) / (367 \times 0,85)$$

$$P_{BC} \text{ (kW)} = 205,1437 \text{ kW}$$

Si además consideramos que los motores presentan un rendimiento medio del 95%, la potencia total demandada por cada bomba será de:

$$P_{BC} \text{ (Kw)} = 205,1437 / 0,95 = 215,941 \text{ kW}$$

$$P_{BC} \text{ (kW)} \approx 216 \text{ kW}$$

Por tanto la potencia total demandada para el bombeo de agua salada será de 864 kW. En cuanto a la elección de la bomba, se seleccionará una bomba de la empresa “Sulzer”, ya que es una empresa con una larga experiencia que ofrece productos de gran calidad. Teniendo en cuenta el consumo de cada bomba y el caudal a bombear, se ha seleccionado bombas sumergibles de la gama ABS XFP (30-400 kW). Estas bombas, de los modelos PE4 a PE6, están equipadas con motores Premium-Efficiency IE3, especialmente indicadas para estaciones de bombeo de diseño a medida. Los motores Premium Efficiency IE3 ofrecen un gran ahorro energético, excelente transporte de sólidos y fiabilidad duradera con un diseño a prueba de futuro. En este caso, considerando el rango de trabajo (338 l/s, 51,6m), se han seleccionado bombas PE-6 modelo 250M-CH2:

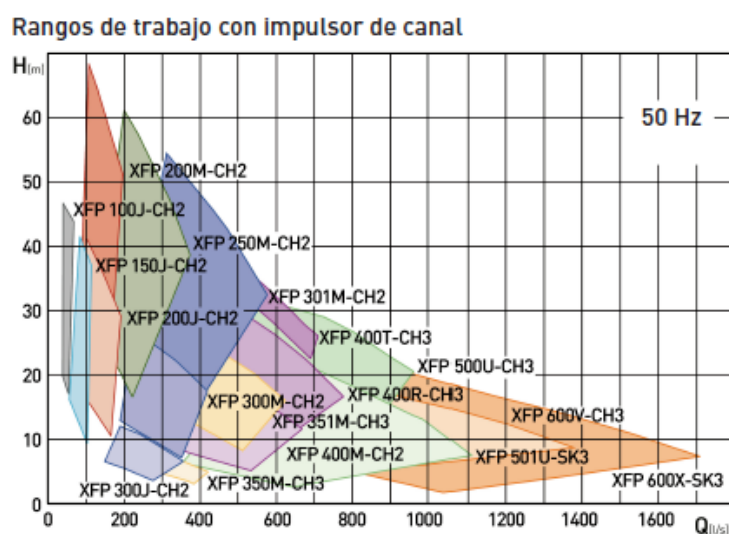


Figura 26: Rangos de trabajo de los impulsores de la gama ABS XFP

4.2.2 Bombas de alta presión

Estas bombas serán las encargadas de bombear, a alta presión, el agua proveniente del pretratamiento, que no sea presurizada a través del sistema de intercambio de presión. Aunque esta bomba ya ha sido predimensionada por el software que nos proporcionaba “Energy Recovery Inc.”, comprobamos sus valores. Al igual que en el caso anterior, utilizaremos bombas de la empresa “Sulzer”, debido a su alta eficiencia y fiabilidad. En este caso se seleccionará una bomba de alta presión multietapa de cámara partida, más concretamente un modelo desarrollado por “Sulzer” especialmente para este tipo de procesos, MSD-RO. Estas bombas presentan las siguientes características y rangos de trabajo:

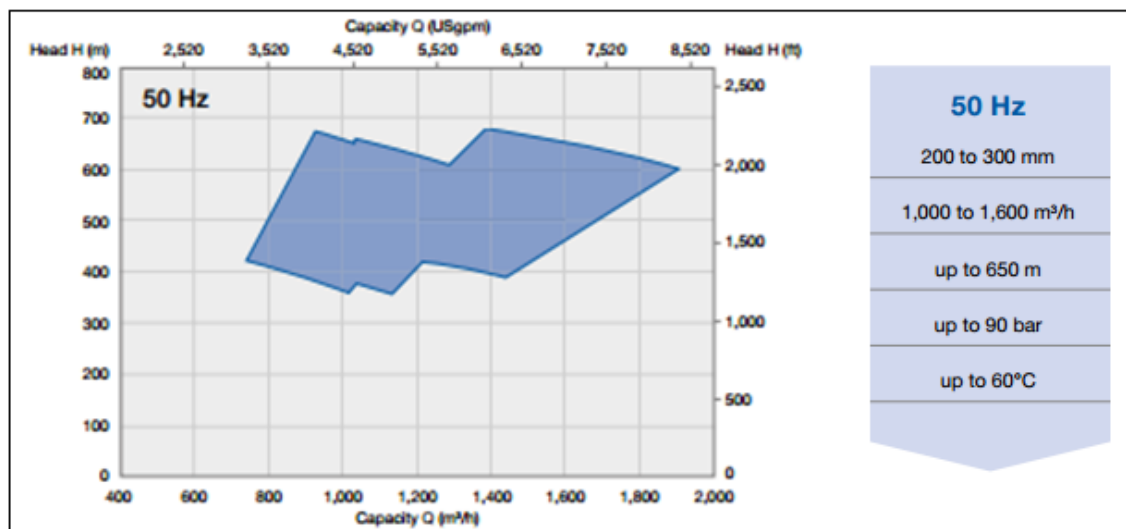


Figura 27: Rango de trabajo de las bombas MSD-RO

Luego, teniendo en cuenta que el caudal de alimentación, proveniente de las bombas de alta presión, de la OI es de 527,2 m³/h por línea, y que estas líneas tienen un caudal de trabajo de 1.000-1.600 m³/h, se instalará una bomba para cada dos líneas. Por tanto, si el caudal que deber circular, a una velocidad de 1,8 m/s, es de 1.054,4 m³/h, el diámetro de la conducción que llega a la bomba ha de ser:

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 1054,4 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3600 \text{ (s/h)}] = 0,1627 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2) / \pi)^{1/2} = 0,455 \text{ m}$$

$$\boxed{\text{Diámetro}_{\text{nominal}} = 500 \text{ mm}}$$

Teniendo en cuenta que la presión necesaria a alcanzar es de 61,3 bares para la situación límite de estudio, y que la presión que llega a la bomba es de 2 bares, considerando las pérdidas de cargas y diferencia de altura despreciables (sobredimensionadas a 1m cada una), la altura manométrica a salvar será de:

$$H \text{ (m)} = 1 \text{ (m)} + 1 \text{ (m)} + (59,3 \times 10,2) \text{ (m)} = 606,86 \text{ m}$$

Si se observa la gráfica anterior, se puede apreciar que para esta altura manométrica y este caudal nos encontramos en un rango aceptable. Luego, si consideramos que las eficiencias son de 81% para la bomba y un 95% para el motor, la potencia total requerida será de:

$$P_{BAP} \text{ (Kw)} = [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] =$$

$$= 1.054,4 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 606,86 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3\text{)} / (367 \times 0,81 \times 0,95) =$$

$$P_{BC} \text{ (Kw)} = 2.311,1035 \text{ kW}$$

La potencia requerida será por tanto de unos 2.311 kW. Como cada bomba abastecerá a dos líneas de OI, se deberá disponer de dos bombas de estas características, lo que supondrá un consumo aproximado de 4.622 kW.

4.2.3 Bombas Booster

La bomba Booster es la encargada de adecuar la presión del agua, a la presión de entrada al proceso de ósmosis, del caudal de agua proveniente del sistema de intercambio de presión. Cada línea de OI dispondrá una bomba booster, de tal forma que incrementará la presión del agua en 1,3 tras salir del SIP. Las características de esta bomba, facilitadas por el software del cálculo de los recuperadores de energía, de la empresa "Energy Recovery Inc.", han de ser las siguientes:

BOMBAS	
Tipo	Bomba booster
Eficiencia de la bomba (%)	83,7
Eficiencia del motor (%)	93,5
Caudal (m ³ /h)	631,7
Diferencia de presión (bar)	1,3
Consumo eléctrico (kW)	29,0

Luego, si se dispone de 4 bombas de estas características el consumo aproximado total de estas bombas rondará los 120 kW.

4.2.4 Bombas intermedias

Una vez el agua haya atravesado el proceso de ultrafiltración, ésta llegará al tanque intermedio. El agua de este tanque, será bombeada a las bombas de alta presión del proceso de OI o al sistema SIP, según corresponda. Los caudales unitarios para cada línea son de 631,7 m³/h al sistema SIP, y 525,7 m³/h a las bombas de alta presión de la OI.

Considerando estos valores, y tratando de optimizar costes de operación se ha decidido utilizar son bombas monoetapa ISO 5199, de gama AHLSTAR NPP/T, más concretamente del modelo N. Además de ser bombas normalizadas según los estándares ISO, estas bombas son idóneas para aplicaciones industriales con una gran fiabilidad del proceso, un alto rendimiento y unos bajos costes de operación. Sus características operativas alcanzan un volumen de impulsión de hasta 2.000 m³/h, con una presión máxima de trabajo de 16 bares. Las características técnicas de la misma se especifican en la siguiente imagen:

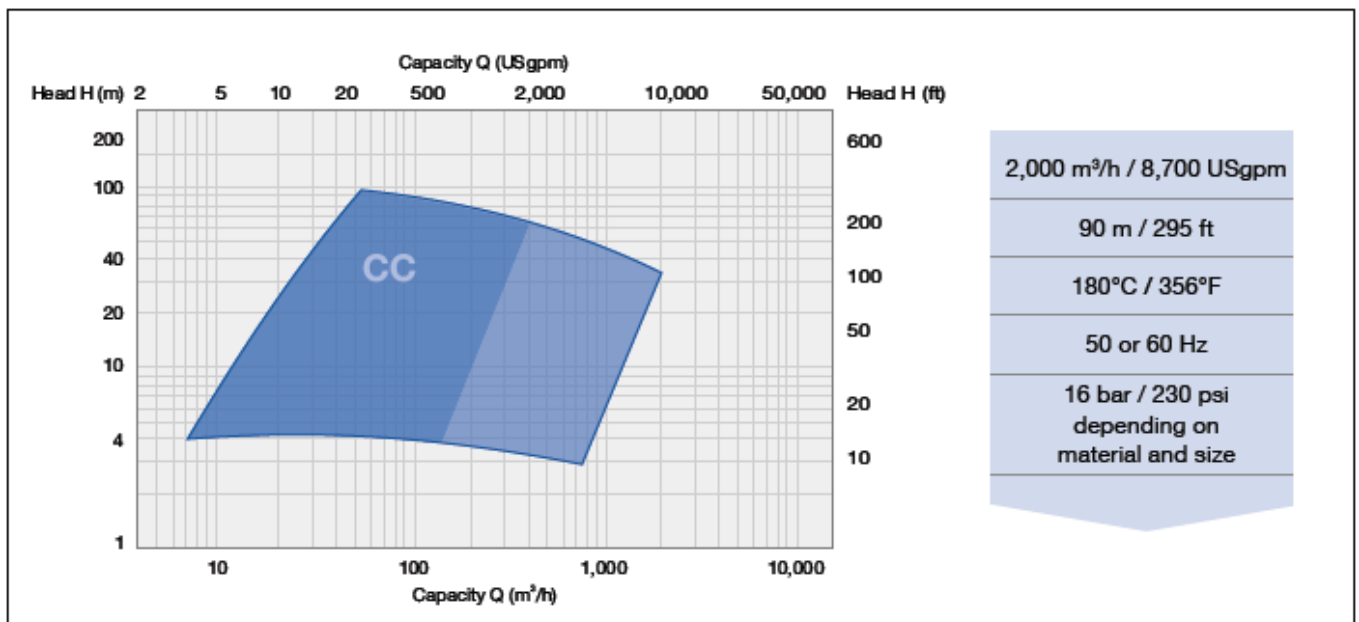


Figura 28: Rango de trabajo y características de las bombas AHLSTAR WPP/T N

Por tanto, teniendo en cuenta estos valores, instalaremos 4 bombas. Dos de ellas, abastecerán a los SIP y las otras dos alimentarán las bombas de alta presión de la OI. La presión de diseño con que deberán llegar a sus respectivos sistemas es de 2 bar, y la velocidad del agua por las conducciones es de 1,8 m/s. Luego, si las bombas de AP deberán bombear un caudal de 1.051,4 m³/h cada una, y los sistemas de intercambio de presión presurizan un caudal de 631,7 m³/h por línea de OI, las potencias que demandarán cada bomba serán de:

Bomba intermedia hacia bombas AP:

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 1.051,4 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3.600 \text{ (s/h)}] = 0,1623 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2) / \pi)^{1/2} = 0,4545 \text{ m}$$

$$\boxed{\text{Diámetro}_{\text{nominal}} = 500 \text{ mm}}$$

Por tanto, una vez calculado el diámetro de la conducción, procedemos a calcular el número de Reynolds, para una viscosidad de 0,001 kg/ms y una densidad de agua salada de 1.020 kg/m³:

$$Re = [1.020 \text{ (kg/m}^3) \times 1,8 \text{ (m/s)} \times 0,5 \text{ (m)}] / 0,001 \text{ (kg/ms)} = 918.000$$

A partir del número de Reynolds, y conocido el coeficiente de rugosidad para el PRFV, de 0,000021, calculamos mediante ecuación de Colebrook-White el coeficiente de rozamiento para estas condiciones. El resultado fue un coeficiente de rozamiento de $f = 0,01264$. Este valor lo introducimos ahora en la ecuación de Fanning, que a partir de la longitud de la tubería y su diámetro, la velocidad del fluido y la aceleración de la gravedad, nos dan las pérdidas de cargas debidas a la conducción. Estas, suponiendo una distancia de 50 m (sobredimensionado), supondrán un total de 0,2089 m. Luego, la altura manométrica a salvar supondrá la suma de estas pérdidas de carga y el diferencial de presión que queremos conseguir (2 bar = 20,4 m), ya que suponemos un diferencial de altura mínimo (2 m):

$$H \text{ (m)} = 2 \text{ (m)} + 0,21 \text{ (m)} + (2 \times 10,2) \text{ (m)} = 22,61$$

Luego la potencia que demandará esta bomba será de:

$$\begin{aligned} P_{BC} \text{ (kW)} &= [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] = \\ &= 1.051,4 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 22,61 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3) / (367 \times 0,85 \times 0,95) = \end{aligned}$$

$$\boxed{P_{BC} \text{ (kW)} = 81,82 \text{ kW}}$$

Por tanto, teniendo en cuenta que se instalarán 2 bombas de estas características, la potencia que demandarán será de 163,64 kW. Al igual que en los casos anteriores, instalaremos bombas monoetapa ISO 5199, de gama AHLSTAR NPP/T, modelo N

Bomba intermedia hacia sistema SIP:

Como se instalarán 2 bombas para este tipo de bombeo, cada bomba abastecerá a los SIP de dos líneas de OI. Por tanto, como la demanda de los SIP es de 631,7 m³/h por línea, cada bomba deberá bombear un caudal de 1.263,4 m³/h. Por tanto;

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 1.263,4 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3.600 \text{ (s/h)}] = 0,195 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2\text{)} / \pi)^{1/2} = 0,4982 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro}_{\text{nominal}} = 500 \text{ mm}$$

Por tanto, una vez calculado el diámetro de la conducción, procedemos a calcular el número de Reynolds, para una viscosidad de 0,001 kg/ms y una densidad de agua salada de 1.020 kg/m³:

$$R_e = [1.020 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 1,8 \text{ (m/s)} \times 0,5 \text{ (m)}] / 0,001 \text{ (kg/ms)} = 918.000$$

A partir del número de Reynolds, y conocido el coeficiente de rugosidad para el PRFV, de 0,000021, calculamos mediante ecuación de Colebrook-White el coeficiente de rozamiento para estas condiciones. El resultado fue un coeficiente de rozamiento de $f = 0,01264$. Este valor lo introducimos ahora en la ecuación de Fanning, que a partir de la longitud de la tubería y su diámetro, la velocidad del fluido y la aceleración de la gravedad, nos dan las pérdidas de cargas debidas a la conducción. Estas, suponiendo una distancia de 50 m (sobredimensionado), supondrán un total de 0,2089 m. Luego, la altura manométrica a salvar supondrá la suma de estas pérdidas de carga y el diferencial de presión que queremos conseguir (2 bar = 20,4 m), ya que suponemos un diferencial de altura mínimo (2 m):

$$H \text{ (m)} = 2 \text{ (m)} + 0,21 \text{ (m)} + (2 \times 10,2) \text{ (m)} = 22,61$$

Luego la potencia que demandará esta bomba será de:

$$\begin{aligned} P_{\text{BC}} \text{ (kW)} &= [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] = \\ &= 1.263,4 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 22,61 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3\text{)} / (367 \times 0,85 \times 0,95) = \end{aligned}$$

$$P_{\text{BC}} \text{ (kW)} = 98,32 \text{ kW}$$

Por tanto, teniendo en cuenta que se instalarán 2 bombas de estas características, la potencia que demandarán será de 196,64 kW. Al igual que en los casos anteriores, instalaremos bombas monoetapa ISO 5199, de gama AHLSTAR NPP/T, modelo N.

4.2.5 Bombas de contralavado

Bombas contralavado FA

El lavado de los filtros de anillas se realizará con agua de rechazo de la OI. Estos lavados se realizarán por turnos, de forma que se lavarán individualmente con un caudal de 607,94 m³/h, al igual que en el proceso de filtrado pero en sentido contrario. Por tanto;

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 607,94 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3.600 \text{ (s/h)}] = 0,0938\text{m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2) / \pi)^{1/2} = 0,3456 \text{ m}$$

$$\boxed{\text{Diámetro}_{\text{nominal}} = 350 \text{ mm}}$$

Por tanto, una vez calculado el diámetro de la conducción, procedemos a calcular el número de Reynolds, para una viscosidad de 0,001 kg/ms y una densidad de agua salada de 1.020 kg/m³:

$$Re = [1.020 \text{ (kg/m}^3) \times 1,8 \text{ (m/s)} \times 0,5 \text{ (m)}] / 0,001 \text{ (kg/ms)} = 642.600$$

A partir del número de Reynolds, y conocido el coeficiente de rugosidad para el PRFV, de 0,000021, calculamos mediante ecuación de Colebrook-White el coeficiente de rozamiento para estas condiciones. El resultado fue un coeficiente de rozamiento de $f = 0,0135015$. Este valor lo introducimos ahora en la ecuación de Fanning, que a partir de la longitud de la tubería y su diámetro, la velocidad del fluido y la aceleración de la gravedad, nos dan las pérdidas de cargas debidas a la conducción. Estas, suponiendo una distancia de 150 m (sobredimensionado), supondrán un total de 0,9565 m. Luego, la altura manométrica a salvar supondrá la suma de estas pérdidas de carga y el diferencial de presión que queremos conseguir (3 bar = 30,6 m), ya que suponemos un diferencial de altura mínimo (2 m):

$$H \text{ (m)} = 2 \text{ (m)} + 1 \text{ (m)} + (3 \times 10,2) \text{ (m)} = 33,6 \text{ m}$$

Luego la potencia que demandará esta bomba será de:

$$\begin{aligned} P_{BC} \text{ (kW)} &= [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] = \\ &= 607,94 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 33,6 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3) / (367 \times 0,85 \times 0,95) = \end{aligned}$$

$$\boxed{P_{BC} \text{ (kW)} = 70,31 \text{ kW}}$$

Al igual que en los casos anteriores, instalaremos bombas monoetapa ISO 5199, de gama AHLSTAR NPP/T, modelo N, aunque podría estudiarse la implantación bombas AHLSTAR WPP/T del modelo W, similares pero más resistentes a la corrosión.

Bombas contralavado UF (Agua, CEB)

La bomba principal del sistema CEB será la encargada de bombear el agua captada del tanque intermedio, a través del sistema de membranas de ultrafiltración en sentido contrario al de filtrado. Luego, si el caudal de máximo instantáneo de contralavado ha de ser de 924 m³/h;

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 924 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3.600 \text{ (s/h)}] = 0,1426\text{m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2) / \pi)^{1/2} = 0,426 \text{ m}$$

$$\boxed{\text{Diámetro}_{\text{nominal}} = 500 \text{ mm}}$$

Por tanto, una vez calculado el diámetro de la conducción, procedemos a calcular el número de Reynolds, para una viscosidad de 0,001 kg/ms y una densidad de agua salada de 1.020 kg/m³:

$$R_e = [1.020 \text{ (kg/m}^3) \times 1,8 \text{ (m/s)} \times 0,5 \text{ (m)}] / 0,001 \text{ (kg/ms)} = 918.000$$

A partir del número de Reynolds, y conocido el coeficiente de rugosidad para el PRFV, de 0,000021, calculamos mediante ecuación de Colebrook-White el coeficiente de rozamiento para estas condiciones. El resultado fue un coeficiente de rozamiento de $f = 0,01264$. Este valor lo introducimos ahora en la ecuación de Fanning, que a partir de la longitud de la tubería y su diámetro, la velocidad del fluido y la aceleración de la gravedad, nos dan las pérdidas de cargas debidas a la conducción. Estas, suponiendo una distancia de 50 m (sobredimensionado), supondrán un total de 0,2089 m. Luego, la altura manométrica a salvar supondrá la suma de estas pérdidas de carga y el diferencial de presión que queremos conseguir (2 bar = 20,4 m), ya que suponemos un diferencial de altura mínimo (1 m):

$$H \text{ (m)} = 1 \text{ (m)} + 0,21 \text{ (m)} + (2 \times 10,2) \text{ (m)} = 21,61$$

Luego la potencia que demandará esta bomba será de:

$$\begin{aligned} P_{BC} \text{ (kW)} &= [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] = \\ &= 1.263,4 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 21,61 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3) / (367 \times 0,85 \times 0,95) = \end{aligned}$$

$$\boxed{P_{BC} \text{ (kW)} = 93,97 \text{ kW}}$$

Al igual que en los casos anteriores, instalaremos bombas monoetapa ISO 5199, de gama AHLSTAR WPP/T, modelo N, aunque podría estudiarse la implantación bombas del modelo W, similares pero más resistentes a la corrosión.

Bombas tanque CIP

El caudal máximo instantáneo que se deberá bombear para los lavados CIP, tanto de UF como de OI (basándonos en la limpieza de los sistemas de UF), es de 300 m³/h, considerando que lavamos cada 2 bastidores UF/1 línea de OI de forma independiente. Teniendo en cuenta que instalaremos una única bomba, la potencia que demandará se calcula a continuación.

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 300 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3.600 \text{ (s/h)}] = 0,0463 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2) / \pi)^{1/2} = 0,243 \text{ m}$$

$$\boxed{\text{Diámetro}_{\text{nominal}} = 300 \text{ mm}}$$

Por tanto, una vez calculado el diámetro de la conducción, procedemos a calcular el número de Reynolds, para una viscosidad de 0,001 kg/ms y una densidad de agua salada de 1.020 kg/m³:

$$Re = [1.020 \text{ (kg/m}^3) \times 1,8 \text{ (m/s)} \times 0,3 \text{ (m)}] / 0,001 \text{ (kg/ms)} = 550.800$$

A partir del número de Reynolds, y conocido el coeficiente de rugosidad para el PRFV, de 0,000021, calculamos mediante ecuación de Colebrook-White el coeficiente de rozamiento para estas condiciones. El resultado fue un coeficiente de rozamiento de $f = 0,01391$. Este valor lo introducimos ahora en la ecuación de Fanning, que a partir de la longitud de la tubería y su diámetro, la velocidad del fluido y la aceleración de la gravedad, nos dan las pérdidas de cargas debidas a la conducción. Estas, suponiendo una distancia de 100 m, supondrán un total de 0,7665 m. Luego, la altura manométrica a salvar supondrá la suma de estas pérdidas de carga y el diferencial de presión que queremos conseguir (3 bar = 30,6 m), ya que suponemos un diferencial de altura mínimo (2 m):

$$H \text{ (m)} = 2 \text{ (m)} + 0,8 \text{ (m)} + (3 \times 10,2) \text{ (m)} = 33,4 \text{ m}$$

Luego la potencia que demandará esta bomba será de:

$$\begin{aligned} P_{BC} \text{ (kW)} &= [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] = \\ &= 300 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 33,4 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3) / (367 \times 0,85 \times 0,95) = \end{aligned}$$

$$\boxed{P_{BC} \text{ (kW)} = 34,48 \text{ kW}}$$

A pesar de que a simple vista pueda parecer que el consumo es menor al de otras bombas, se debe considerar que esta bomba estará en funcionamiento varias horas cuando se deban realizar los lavados CIP (cada 1-3 meses). Al igual que en otras operaciones de lavado, utilizaremos una bomba monoetapa ISO 5199, de gama AHLSTAR WPP/T, modelo W, con un rango de trabajo aceptable para los requisitos de este proceso.

4.2.6 Bomba agua producto

Estas bombas, encargadas de bombear el agua producto a la red de suministro hídrico, deberán ser capaces de bombear volumen diario de 50.000 m³, lo que supone un caudal de 2.083,33 m³/h. Para ello se pretende instalar dos bombas gama AHLSTAR NPP/T, modelo N, cuyo consumo aproximado será:

$$\text{Sección} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / v \text{ (m/h)} = 1.041,67 \text{ (m}^3\text{/h)} / [1,8 \text{ (m/s)} \times 3.600 \text{ (s/h)}] = 0,1608 \text{ m}^2$$

$$\text{Diámetro} = (4 \times S \text{ (m}^2) / \pi)^{1/2} = 0,4524 \text{ m}$$

$$\boxed{\text{Diámetro}_{\text{nominal}} = 500 \text{ mm}}$$

Por tanto, una vez calculado el diámetro de la conducción, procedemos a calcular el número de Reynolds, para una viscosidad de 0,001 kg/ms y una densidad de agua salada de 1.020 kg/m³:

$$R_e = [1.020 \text{ (kg/m}^3) \times 1,8 \text{ (m/s)} \times 0,5 \text{ (m)}] / 0,001 \text{ (kg/ms)} = 918.000$$

A partir del número de Reynolds, y conocido el coeficiente de rugosidad para el PRFV, de 0,000021, calculamos mediante ecuación de Colebrook-White el coeficiente de rozamiento para estas condiciones. El resultado fue un coeficiente de rozamiento de $f = 0,01264$. Este valor lo introducimos ahora en la ecuación de Fanning, que a partir de la longitud de la tubería y su diámetro, la velocidad del fluido y la aceleración de la gravedad, nos dan las pérdidas de cargas debidas a la conducción. Estas, suponiendo una larga distancia de bombeo, 500 m por ejemplo, supondrán un total de 2,09 m. Luego, la altura manométrica a salvar supondrá la suma de estas pérdidas de carga y el diferencial de presión que queremos conseguir (2 bar = 20,4 m), y suponiendo un diferencial de altura de 5 m:

$$H \text{ (m)} = 5 \text{ (m)} + 2,1 \text{ (m)} + (2 \times 10,2) \text{ (m)} = 27,5 \text{ m}$$

Luego la potencia que demandará esta bomba será de:

$$\begin{aligned} P_{BC} \text{ (kW)} &= [Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times H \text{ (m)} \times \rho \text{ (kg/l)}] / [367 \times \eta] = \\ &= 1.041,67 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 27,5 \text{ (m)} \times 1,02 \text{ (kg/m}^3) / (367 \times 0,85 \times 0,95) = \end{aligned}$$

$$\boxed{P_{BC} \text{ (kW)} = 98,6 \text{ kW}}$$

4.2.7 Bombas dosificadoras

Además de las bombas descritas anteriormente, deberemos instalar también una serie de bombas dosificadoras de productos químicos de sus respectivos tanques a las conducciones y/o tanques pertinentes. Las bombas necesarias son:

- 1 Bombas dosificadora desinfectante (tanque de NaClO)
- 1 Bomba dosificadora coagulante (tanque de FeCl₃)
- 1 Bomba dosificadora agente reductor (tanque NaHSO₃)
- 1 Bomba dosificadora antiincrustante (tanque de antiincrustante)

- 3 Bombas dosificadoras de lavado CEB de la UF (tanques NaOH, NaClO y HCl): Estas bombas, durante las operaciones de mantenimiento y limpieza de la planta (cuando no hay producción) también abastecerán de estos productos a los tanques de lavado CIP de la UF y de la OI.

5 SISTEMAS CONTROL

5.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de mantener el proceso funcionando bajo las condiciones óptimas, es decir las de diseño, es necesario implementar un sistema de control que sea capaz de mantener el proceso controlado en todo momento. El esquema básico de un sistema de control es el siguiente:

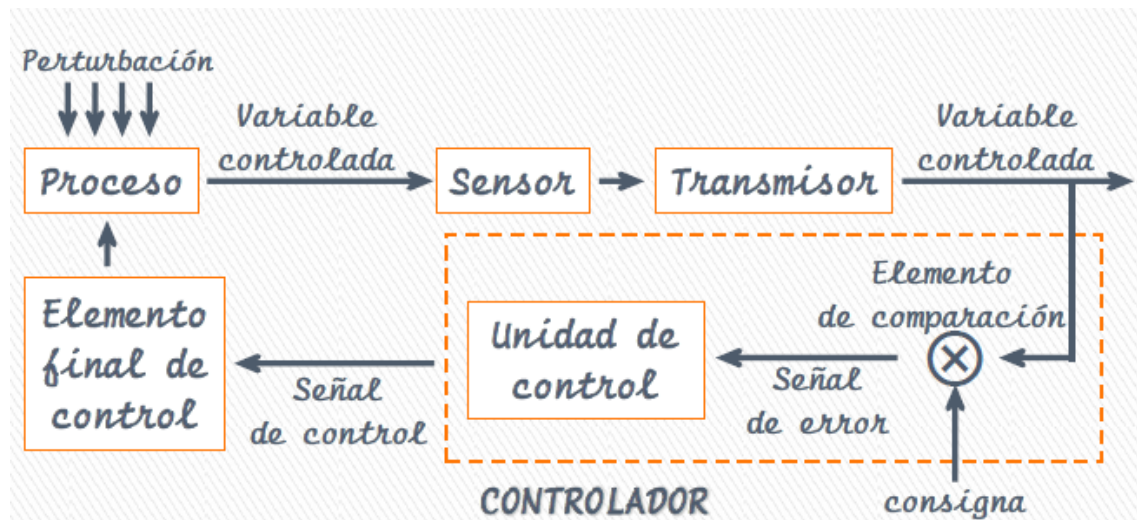


Figura 29: Principales elementos de un sistema de control

Dadas las características del proceso, que en ocasiones, como en el lavado de filtros o de membranas, requiere controlar el tiempo de operación y la necesidad de activar o desactivar bombas o sistemas según se quiera utilizar una u otra configuración de bastidores, se utilizará un autómata programable PLC (Programmable Logic Controller), también conocido como controlador lógico programable. Este sistema incorpora funciones como contadores, temporizadores y reguladores (normalmente reguladores PID).

La programación del PLC así como el control y el seguimiento de las operaciones en planta se realizarán a través de un PC. El control realizado a través del computador ofrece las siguientes ventajas:

- Mayor eficiencia en el control
- Gran flexibilidad del sistema
- Invariabilidad de los cálculos de diseño de este sistema de control en el tiempo.
- Mayor precisión en los anteriores cálculos
- Centralización de la información en formato homogéneo y con marcas de tiempo definidas, lo cual facilita mucho el procesamiento
- Funciones complementarias, cálculos, información, alarmas, etc.

Sin embargo también presente ciertos inconvenientes. Entre ellos destacan los siguientes inconvenientes:

- Coste de los equipos.
- Excesiva centralización de las funciones de control.

Aunque se podría estudiar la instalación de una transmisión digital, la transmisión de las señales será eléctrica. Por tanto, las señales de sensores y alarmas presentan salidas normalizadas de 4-20 mA que el PLC interpretará. Además utilizaremos un control distribuido o redundante, de tal forma que se instalarán dos controladores, de tal forma que si uno falla, el otro, en principio, seguirá actuando correctamente.

5.2 CONTROL

5.2.1 Control ON/OFF

El control general del proceso se realiza a través del PLC. El PLC marcará de forma automática el número de bombas sumergibles en funcionamiento, según el número de bastidores de UF y OI que quieran utilizarse, que a su vez determinará el número de filtros y bombas, de alta y baja presión, y dosificadoras de productos químicos que deberán encontrarse en funcionamiento.

Actuadores

Todos los actuadores de las válvulas del proceso están controlados por el PLC. A excepción de las válvulas de control de la conversión de los bastidores de ósmosis inversa, todos los demás actuadores presentan solo dos posiciones, abierto (posición 1) y cerrado (posición 0).

Para las válvulas de control de conversión de los bastidores, los accionadores podrán tomar un amplio número de posiciones de forma que la válvula permita el control de la conversión producida.

Bombas y sopladores.

Para controlar bombas y sopladores, el PLC envía una señal de accionamiento remoto a los motores de cada uno de estos equipos. Las bombas de baja presión (de agua bruta, agua filtrada, agua producto... y las de lavados), se podrán encontrar en parada (posición 0), o en marcha (posición 1). Para las bombas de alta presión, no obstante, el control se realizará mediante variadores de frecuencia conectados al PLC central.

Sensores y alarmas

Todos los sensores y alarmas del sistema deben estar conectados al PLC central, el cual a través del computador mostrará en tiempo real los valores de los sensores y las alarmas producidas.

5.2.2 Control regulatorio

El control de una instalación de desalación de agua marina por ósmosis inversa es muy sencillo, de forma que si todos los equipos se encuentran en buenas condiciones el control se limita a controlar el volumen de agua almacenado. En este caso se controlará el nivel de agua del tanque intermedio, el del tanque de agua producto y al control de los bastidores de ósmosis inversa. Los lazos de control regulatorio básicos se encuentran definidos en el plano 8, donde se omite la unión de cada lazo con el controlador central, para visión más clara de cada uno de los lazos.

Control del nivel del tanque intermedio

El tanque intermedio debe disponer de un volumen de agua suficiente para garantizar el buen funcionamiento de las bombas de agua filtrada que requieren de cierta altura de líquido para que el agua llegue a estas a una presión suficiente para evitar cavitación a la entrada de las mismas, para permitir el retrolavado de filtros sin que esto afecte al normal funcionamiento de la planta, para abastecer sistemas antiincendios en caso de emergencia y evitar que entre aire en el sistema estén o no en funcionamiento los bastidores de ósmosis inversa.

Para controlar este volumen existe un controlador de nivel. El Set Point del controlador se fija al 80 % de nivel, la variable controlable es el volumen de agua presente en el depósito o lo que es lo mismo el nivel de agua en el depósito, mientras que la variable manipulable es el caudal de agua de alimentación que llega a la planta y el elemento final de control es el variador de frecuencia conectado a las bombas sumergibles de la cántara de captación. Si fuese necesario se pondría en funcionamiento una quinta bomba sumergible (la de reserva).

En el caso de que el nivel baje del 80 %, enviará una señal que modificará la frecuencia de funcionamiento para aumentar el caudal de bombeo, hasta recuperar el nivel del 80 % recomendado. Si fuese necesario se pondría en funcionamiento la bomba de reserva. Por otra parte, cuando el nivel del agua vuelva a estar por encima del 95 % del nivel de diseño, el controlador del PLC enviará una señal para volver a un bombeo estándar.

Control del nivel del depósito de agua producto

Como en el caso del depósito de agua filtrada, el depósito de agua producto, debe disponer de un volumen de agua suficiente para garantizar el buen funcionamiento de las bombas de agua producto, que requieren de cierta altura de líquido para que el agua llegue a estas a una presión suficiente para evitar cavitación a la entrada de las mismas

Para controlar este volumen existe otro controlador de nivel para este tanque, que en el caso de que este baje del 80 % envía una señal a la consola de control de la planta, deteniendo la bomba de agua producto, hasta alcanzarse el nivel deseado. Por otra parte si el nivel del tanque sobrepasa el 90 % la señal enviada modificará la frecuencia de funcionamiento para aumentar el caudal de bombeo, mediante un variador de frecuencia.

El Set Point del controlador se fijará también en un valor del 80% de nivel, la variable controlable será el volumen de agua presente en el depósito o lo que es lo mismo el nivel de agua en el depósito, mientras que la variable manipulable es el caudal de agua producto impulsado al exterior de la planta, siendo el elemento final de control el variador de frecuencia de funcionamiento de las bombas.

Control de los bastidores de ósmosis inversa

Para controlar el funcionamiento de los bastidores de ósmosis inversa se utilizarán como variables de control la presión de alimentación de la primera etapa y la conversión de esta. El control del proceso mediante estas variables permiten mantenerlo de forma sencilla y segura dentro de las condiciones de diseño del proceso.

a) Control de la presión de alimentación

La presión a la que el agua marina es alimentada a las membranas debe controlarse ya que un exceso de presión puede llegar a deteriorar las membranas si se supera la presión máxima de operación para la que han sido diseñadas.

Para controlar la presión de entrada al primer paso de los bastidores se dispone de variadores de frecuencia del motor de la bomba, y controlados por el PLC central a través de sus controladores. La variable controlable es la presión de entrada a membranas del agua de alimentación, la variable manipulable es la frecuencia del motor de la bomba y el elemento final de control es la bomba de alta presión.

La acción del controlador es directa, a mayor frecuencia más presión. El set point de estos controladores es de 64,8 bar. Para medir la presión a la entrada de las membranas se utilizarán transmisores de presión.

La instalación de un sistema de control de presión utilizando variadores de frecuencia es muy costosa, pero en plantas donde se prevé una vida útil de la instalación larga, como es en este caso, superior a 20 años, es altamente recomendable, no solo porque permite un control eficiente de la presión, sino porque además permite obtener un ahorro energético significativo frente a otros sistemas de control de presión clásicos como puede ser el control de la presión de entrada mediante una válvula de control, elemento en el cual se pierde parte de la presión alimentada, con la consecuente disminución del rendimiento energético del sistema. Por otro lado los variadores de frecuencia permiten obtener una mayor eficiencia del motor de la bomba al reducir la energía reactiva a un valor prácticamente nulo.

b) Control de la conversión de la 1ª etapa

Para controlar la conversión del proceso de OI se dispone de los “controladores de conversión” (controladores de comparación de volúmenes). La variable controlable es la conversión producida en cada bastidor, es decir el volumen de agua desalada por unidad de volumen de agua alimentada, siendo la variable manipulable es el caudal de rechazo. El elemento final de control son las válvulas de entrada. La acción de los controladores es directa, a mayor conversión mayor apertura de la válvula. Se fijará el set point del controlador al 41.6% de conversión.

5.2.3 Temporizador del PLC.

El PLC, en su función de autómatas temporizador también controla los procesos de contralavado y puesta en marcha de bastidores. Las secuencias temporales exactas deben programarse en función de datos obtenidos en ensayos prácticos. Así, el autómatas temporizador, abrirá y cerrará válvulas, activando las bombas pertinentes para los lavados, tanto de los contralavados con agua, como de los lavados CEB diarios de UF.

Todos los elementos de control utilizados (válvulas e instrumentos), cuyas partidas pueden consultarse en el documento básico “ESTADO DE LAS MEDICIONES” se muestran en el plano 9. En él se omiten los elementos de puesta en marcha/parada de las bombas, así como las conexiones de estos sistemas al PLC, para tener una visión clara de la posición de todos ellos. Las conexiones de cada transmisor al PLC también se omiten. En el plano 8, a su vez, puede consultarse el principal control regulatorio de la planta. El resto, los controles tipo ON/OFF, determinan la apertura/cierre de todas las válvulas neumáticas, motorizadas, de venteo y de control, listadas en el apartado anterior.

6 PRODUCTOS

Para el cálculo del consumo anual de productos químicos se han realizado una serie de supuestos. En primer lugar, se supone una dosificación de NaClO como desinfección inicial de 3 ppm (en la realidad dependerá del nivel de Cl libre detectado en el bombeo hacia los bastidores de OI). En segundo lugar, también se supone que el lavado CIP de los equipos se realizará cada 3 meses (podría ser antes), y se consideran 4 lavados para cada bastidor de OI y UF, con un total de 8,5 “elementos” (lavado de 2 bastidores de UF ó 1 bastidores de OI como referencia) a lavar. Las consideraciones de lavado CEB, se corresponden con lo descrito en los anteriores anexos, considerando un lavado diario de 1 min de estas características. En cuanto a las necesidades de Metabisulfito sódico, se han estimado debido a que no disponemos de datos para su cálculo, pero se tratará de minimizar su utilización mediante el ajuste de la dosis de NaClO. Al igual que en el caso anterior, la dosis de antiincrustante a aplicar será la recomendada por el proveedor, por lo que, a falta de datos, suponemos un consumo estándar. Se debe considerar también que el consumo del tanque de neutralización no se encuentra reflejado en ninguno de los consumos expuestos en el proyecto, por lo que el consumo de los reactivos NaOH, HCl y Na₂S₂O₅, será algo superior al de diseño.

Producto	Función	Consumo (kg/h)	Consumo (kg/día)	Consumo (kg/año)
NaClO	Desinfectante	14,6	350,18	127.814,1
FeCl ₃	Coagulante	9,7271	233,4504	85.209,396
NaClO (CEB)	Desinfectante	462	7,7	2.810,5
NaOH (CEB)	Limpieza general	231	3,85	1.405,25
HCl (CEB)	Eliminación res. inorg.	462	7,7	2.810,5
NaClO (CIP)	Desinfectante	600	340 (cada 3 meses)	1.360
NaOH (CIP)	Limpieza general	300	170 (cada 3 meses)	1.200
HCl (CIP)	Eliminación res. inorg.	600	340 (cada 3 meses)	1.360
Na ₂ S ₂ O ₅ (NaHSO ₃)	Agente reductor	0,125	3 (supuesto)	1.095
Antiincrustante	Antiincrustante	60	1.440	525.600
CO ₂	Carbonatación	57,75	1.386	505.890
CaCO ₃	Remineralización	131,25	3.150	1.149.750

Tabla 10: Consumo anual de productos químicos (kg/año)

Por tanto, el consumo anual de cada reactivo será de:

Producto	Densidad (kg /l)	Consumo (kg/año)	Consumo (l/año)
NaClO	1,22 (riqueza 12%)	131.984,600	108.184,1
FeCl ₃	1,38 (riqueza 40%)	85.209,396	61.745,9
NaOH	1,30 (riqueza 32%)	2.765,250	2.127,1
HCl (CEB)	1,18 (riqueza 35%)	4.170,500	3.534,3
Na ₂ S ₂ O ₅ (NaHSO ₃)	0,1(diluido 10%)	1.095,000	10.950,0
Antiincrustante	0,1 (diluido 10%)	525.600,000	5.256.000
CO ₂	1,26 (liquido al 100%)	505.890,000	401.500
CaCO ₃	-	1.149.750,000	-

Tabla 11: Consumo anual de productos químicos (l/año)

UPNA

ANEXO IV

ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 COSTES FASE DE CONSTRUCCIÓN.....	4
3 COSTES FASE DE EXPLOTACIÓN.....	4
3.1 Costes fijos.....	4
3.2 Costes variables.....	7
3.3 Resumen costes de explotación.....	9
4 COSTE DEL m³ DE AGUA.....	10
5 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN.....	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costes fase de construcción.....	4
Tabla 2: Costes fijos de personal.....	5
Tabla 3: Costes fijos de mantenimiento.....	5
Tabla 4: Costes fijos de término de potencia.....	5
Tabla 5: Costes fijos de otros gastos.....	6
Tabla 6: Resumen CF.....	6
Tabla 7: Costes variables de consumo energético.....	7
Tabla 8: Costes variables de consumo de productos químicos.....	7
Tabla 9: Costes variables de recambios.....	8
Tabla 10: Resumen de CV.....	8
Tabla 11: Resumen costes explotación.....	9
Tabla 11: Análisis de viabilidad del proyecto.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resumen CF.....	6
Figura 2: Resumen CV.....	8
Figura 3: Resumen Costes Explotación.....	9
Figura 4: Desglose Costes Explotación.....	10

1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento, se estudia la viabilidad económica de la planta. Para ello se considerarán los costes de instalación y compra de equipos (descritos en el presupuesto), los costes de construcción de la obra civil y los costes de explotación de la planta. Una vez estudiados éstos, se expresará el coste anual de explotación del proyecto, así como el coste medio de producción del m³ de agua tratada.

2 COSTES FASE DE CONSTRUCCIÓN

En esta fase se considerarán los costes de inversión del proyecto, que englobarán los costes de la obra civil, y el coste de equipos e instalaciones. Basándose en los datos proporcionados por el departamento de ingeniería aplicada de Sadyt, los costes totales de la obra civil supondrán unos SEIS MILLONES de euros, que se sumados a los VEINTICUATRO MILLONES de euros que suponen los equipos e instalaciones, tal y como se muestra en el documento básico "PRESUPUESTO", la inversión total ascendería a **TREINTA MILLONES** de euros. Así, se aprecia que los costes derivados de la obra civil suponen un 20 % de los gastos totales de construcción, siendo el 80 % restante derivado de los equipos y su instalación. Así, el desglose del coste de inversión será:

Concepto	Repercusión (%)	Coste (€)	Periodo amort. (años)	Amortización (€/año)
Obra civil	20	6.000.000	20	300.000
Equipos	80	24.000.000	20	1.200.000
TOTAL	100	30.000.000	20	1.500.000

Tabla 1: Costes fase de construcción

La amortización de la inversión se realizará de forma lineal con un periodo de amortización de 20 años, tal y como se expone en la tabla anterior, suponiendo una amortización anual de **UN MILLON QUINIENTOS MIL EUROS**.

3 COSTES FASE DE EXPLOTACIÓN

Durante la fase de explotación se distinguen dos tipos de gastos, los costes fijos y los costes variables, cuyos valores se desglosan en este apartado.

3.1 Costes fijos

Los costes fijos se corresponden con los gastos constantes en el tiempo. Entre ellos se encuentran gastos de personal, mantenimiento, término de potencia y otros costos fijos relacionados.

Personal

Los salarios del personal de la planta se han estimado en función a los salarios base de cada cargo. Estos valores son una estimación para el cálculo de los costes, no siendo vinculantes para los salarios reales futuros del personal del proyecto.

Personal	Número	Coste unitario (€/año)	Total (€/año)
Jefe de planta	1	60.000	60.000
Sub jefe de plata	1	40.000	40.000
Oficial	1	20.000	20.000
Jefe de laboratorio	1	35.000	35.000
Operadores	12	20.000	240.000
Auxiliares de laboratorio	3	17.500	52.500
Administrativo	3	19.000	57.000
TOTAL	22	-	504.500

Tabla 2: Costes fijos de personal

Mantenimiento

Los costes derivados del mantenimiento de la planta y equipos se estiman como un porcentaje del coste de inversión para cada concepto. Además en este apartado también se considerarán la reposición de membranas.

Concepto	Inversión (€)	Mantenimiento (%)	Total (€/año)	
Equipos	24.000.000	1,0 %	240.000	
Obra civil	6.000.000	0,5%	30.000	
Concepto	Número	Reposición (%)	Coste unt. (€)	Total (€/año)
Membranas	4844	12 %	350	203.448
TOTAL				473.448

Tabla 3: Costes fijos de mantenimiento

Término de potencia

El término de potencia de facturación eléctrica se considerará como un coste fijo, debido a que no depende del régimen de funcionamiento de las instalaciones. Éste, es función de la potencia contratada y la demandada por el usuario. Las bases de partida para los cálculos y consideraciones realizadas, se encuentran establecidas en la Orden ITC/3519/2009, de 28 de diciembre.

Término fijo de potencia (kW)	Tasa (€/kW)	Coste (€/año)
10.379	20,64	214.223

Tabla 4: Costes fijos de término de potencia

Otros

Entre otros gastos fijos no reflejados en los apartados anteriores, se pueden considerar los controles medioambientales regulares, diversos gastos de oficina, asesorías y seguros, los derivados de la seguridad laboral....

Concepto	Coste (€/año)
Control medioambiental (informes, análisis...)	30.000
Gastos de oficina	2.000
Asesoría	3.000
Seguros	8.000
Seguridad y salud	4.500
Transporte	5.000
TOTAL	52.000

Tabla 5: Costes fijos de otros gastos

Resumen

Luego, el total de costes fijos, clasificados por cada concepto, se resumen en la siguiente tabla. Además, se incluye un diagrama que expresa la proporción de coste para cada concepto:

CONCEPTO	COSTE (€/año)
Personal	504.500
Mantenimiento	473.448
Término de potencia	214.223
Control medioambiental	30.000
Otros	22.000
TOTAL COSTES FIJOS	1.244.171

Tabla 6: Resumen CF

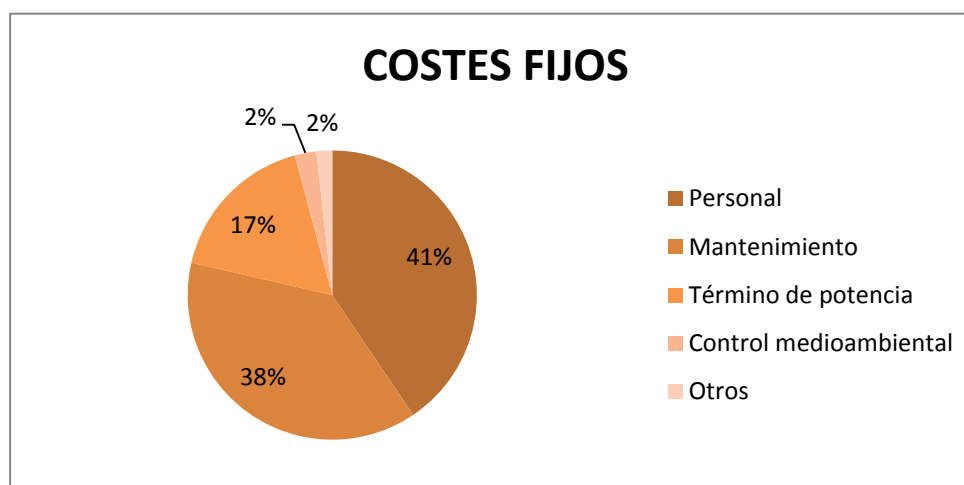


Figura 1: Resumen CF

3.2 Costes variables

Los costes variables se considerarán como los costes que dependen del caudal de agua tratado. Entre ellos se encuentran como principales gastos el consumo eléctrico, el consumo de productos químicos y los recambios derivados del uso.

Energía

El Término de energía es función de la energía consumida, medida por el contador, que dependerá del caudal tratado. Este coste dependerá principalmente del consumo de las bombas instaladas en la planta. Se establecido un coste orientativo para el kW en función de los datos proporcionados por Sadyt, ya que para obtener la tarifa real sería necesario un estudio tarifario en detalle que se encuentra fuera del ámbito de este proyecto.

Concepto	Número	P _{absorbida} (kW)	t _{funcionamiento} (h)	Consumo diario (kWh)	Coste unitario (€/kWh)	Coste (€/año)
B. Sumergibles	5	864,00	24	20.736,00		
B. Alta Presión	2	2.311,00	24	55.464,00		
B. Booster	4	120,00	24	2.880,00		
B. Intermedias	4 + 2	377,20	24	9.052,80		
B. Lavados	3	198,76	12,8 (Aprox.)	2.544,13		
Otros	-	-	-	15.000,00		
TOTAL (calculado con 5% de margen de seguridad)				110.960,78	0,076	3.078.051,94

Tabla 7: Costes variables de consumo energético

Productos químicos

Los cálculos de costes de productos químicos se encuentran muy condicionados por los precios fijados proveedores, y las cantidades adquiridas, que habría que estudiar in situ. En la siguiente tabla se ha realizado una estimación del gasto, en función de los precios que figuran en ella:

Producto	Consumo (kg/año)	Consumo (l/año)	Coste unitario (€/l)	Coste (€/año)
NaClO	131.984,600	108.184,1	0,1560	16.876,72
FeCl ₃	85.209,396	61.745,9	0,0152	938,54
NaOH	2.765,250	2.127,1	0,3000	638,10
HCl (CEB)	4.170,500	3.534,3	0,0920	3.251,56
Na ₂ S ₂ O ₅ (NaHSO ₃)	1.095,000	10.950,0	0,4000	4.380,00
Antiincrustante	525.600,000	5.256.000	0,0026	13.665,60
CO ₂	505.890,000	401.500	0,1675	67.251,25
CaCO ₃	1.149.750,000	-	0,23 (€/kg)	264.442,50
TOTAL				371.444,27

Tabla 8: Costes variables de consumo de productos químicos

Recambios

Así como las membranas de OI se han considerado un gasto fijo, ya que repondremos un 12% independientemente de su estado, los recambios de los filtros de anillas y de los módulos de UF se realizarán únicamente cuando sea necesario. Para calcular estos costes se supone un recambio medio, pero en la práctica dependerá fundamentalmente del caudal de agua que atraviese estos sistemas.

Concepto	Número	Recambio	Coste unitario (€)	Coste (€/año)
Recambio FA	9 (de 21x3)	1 vez/año	12,5	7.087,50
Recambio módulos UF	900	5%	1.400,0	63.000,00
TOTAL				70.087,50

Tabla 9: Costes variables de recambios

Resumen

Luego, el total de costes variables, clasificados por cada concepto, se resumen en la siguiente tabla. Además, se incluye un diagrama que expresa la proporción de coste para cada concepto:

CONCEPTO	COSTE (€/año)
Energía	3.078.051,94
Productos químicos	371.444,27
Recambios	70.087,50
TOTAL COSTES VARIABLES	3.519.583,71

Tabla 10: Resumen de CV

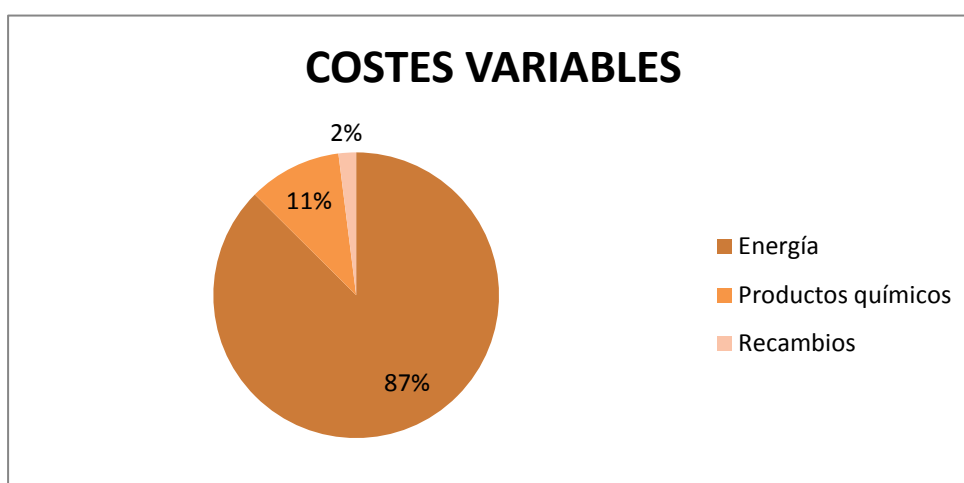


Figura 2: Resumen CV

3.3 Resumen costes de explotación

Por tanto, considerando el total de costes fijos, el total de costes variables y la amortización anual, podemos obtener el coste total durante la fase de explotación. Este análisis se expone en la siguiente tabla y figuras:

CONCEPTO	COSTE (€/año)
Personal	504.500
Mantenimiento	473.448
Término de potencia	214.223
Control medioambiental	30.000
Otros	22.000
TOTAL COSTES FIJOS	1.244.171
Energía	3.078.051,94
Productos químicos	371.444,27
Recambios	70.087,50
TOTAL COSTES VARIABLES	3.519.583,71
AMORTIZACIÓN ANUAL	1.500.000
GASTO DE EXPLOTACIÓN ANUAL	6.263.754,71

Tabla 11: Resumen costes explotación

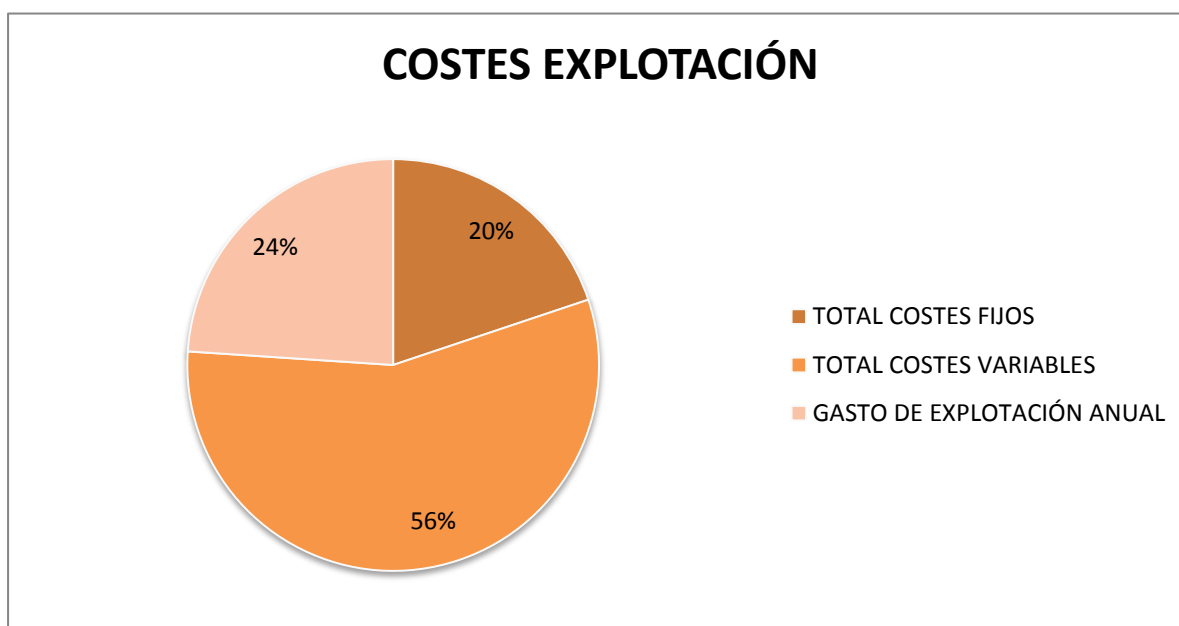


Figura 3: Resumen Costes Explotación

Como se aprecia en el diagrama, los costes variables suponen más de la mitad del gasto anual de la planta. Además el pago de la amortización supone casi un cuarto del gasto total.

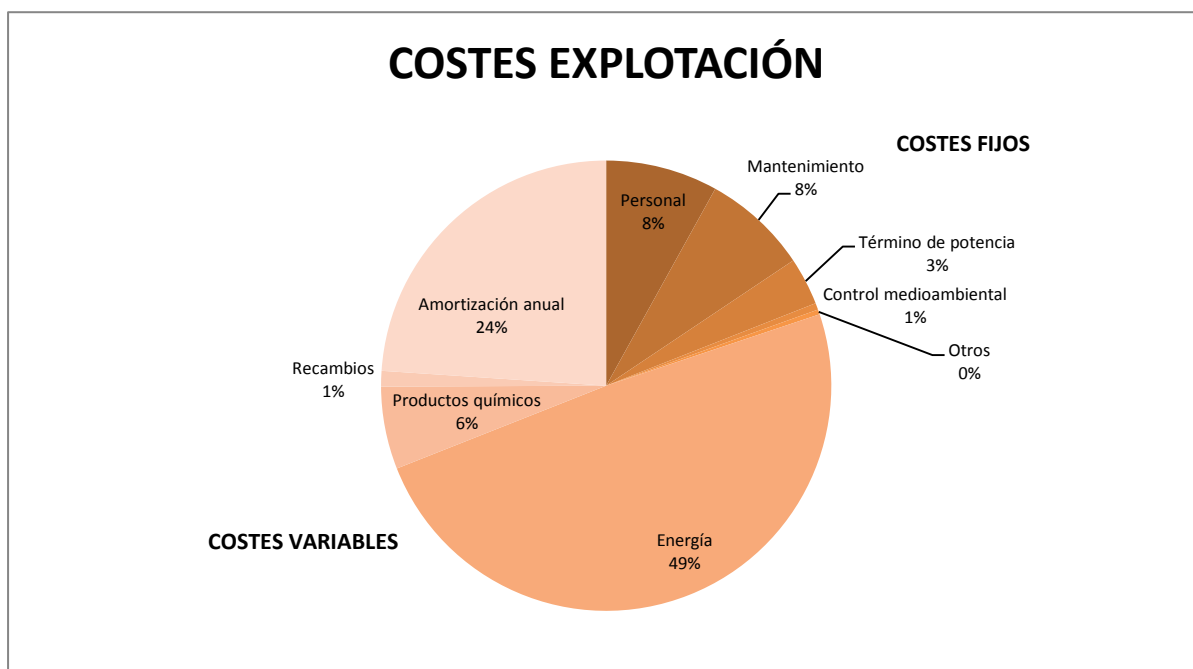


Figura 4: Desglose Costes Explotación

En este diagrama desglosado de los costes de explotación se aprecia un dato de especial importancia, el coste energético de la planta, principalmente el funcionamiento de las bombas, supone un 50 % del coste total de explotación.

Así, el coste total de la explotación asciende a **SEIS MILLONES DOSCIENTOS SESENTA Y TRES MIL SETECIENTOS CINQUENTA Y CUATRO CON SETENTA Y UNO** euros, suponiendo el gasto energético más de tres millones.

4 COSTE DEL m³ DE AGUA

Una vez determinados los costes totales durante el funcionamiento de la planta, calculas el precio de cada m³ producido en esta. Este coste asciende a:

- Producción anual = 50.000 m³/día x 365 días = 18.250.000 m³/año

- Costes anuales = 6.263.754,71 €

Luego:

$$\text{Coste m}^3 = \text{Coste anual} / \text{Producción anual} = 18.250.000 / 6.263.754,71 =$$

$$\text{Coste m}^3 = 0,3432 \text{ €/m}^3$$

5 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

A pesar de que este tipo de proyectos reciben subvenciones del gobierno, como se puede consultar en el documento adjunto en la bibliografía, se ha realizado un estudio de la viabilidad de la planta en caso de que no recibiésemos subvención alguna. Para ello se han considerado unos impuestos del 35 %, con un precio de venta de 0,78 € por m³ y una amortización lineal a 20 años, tal como se expuso en los apartados anteriores.

El resultado del análisis, cuyo desglose se adjunta en la página siguiente es que tanto para una tasa del 4 % como del 7 % el proyecto resulta viable, siendo el **plazo de recuperación de 5 años**, por lo que el sexto año, el proyecto ya presenta beneficios. Además se han calculado una serie de indicadores de rentabilidad, el VAN y el TIR, que muestran la viabilidad de la planta:

	VAN (4%)	VAN (7%)	TIR
Proyecto	60.801.176	75.736.619	21,84%

Como podemos observar el proyecto resulta muy rentable considerando un funcionamiento de 20 años, tanto para una tasa del 4% como del 7%. El proyecto, tal como nos muestra el TIR, **sería capaz de soportar incluso una tasa de descuento del 21,84%**. Esta gran rentabilidad deriva de la optimización del consumo energético, que en una planta de estas características representa el mayor gasto.

Cabe destacar que el terreno ha sido cedido por el ayuntamiento con un coste nulo, por lo que estos valores serían algo menores si considerásemos un arrendamiento o compra. No obstante, por otro lado, se ha estudiado la viabilidad sin tener en cuenta las subvenciones destinadas a este tipo de proyectos, que aumentarían el margen de beneficios, por lo que el resultado global sería similar al planteado. El estudio de la viabilidad comentado, se analiza en la siguiente tabla:

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO (Tabla 12)

Año explotación	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Facturación		14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000
TOTAL GASTOS INDIRECTOS		3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584
TOTAL GASTOS DIRECTOS		1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171
Amortización Inmovilizado (sistema lineal)		1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000
BAIT = BAT		7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245
Impuestos (35%)		2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936
Beneficio líquido		5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309
Amortización Inmovilizado (sistema lineal)		1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000
Inversión Infraestructura	6.000.000										
Inversión Equipamiento	24.000.000										
CASH FLOW	-30.000.000	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309
PLAZO DE RECUPERACIÓN											
r= 4% y sin subvención	-30.000.000	-23.575.664	-17.398.418	-11.458.758	-5.747.547	-255.997	5.024.338	10.101.585	14.983.552	19.677.751	24.191.405
r= 7% y sin subvención	-30.000.000	-23.755.786	-17.920.071	-12.466.132	-7.368.993	-2.605.312	1.846.726	6.007.510	9.896.093	13.530.283	16.926.722
Año explotación											
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Facturación		14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000	14.235.000
TOTAL GASTOS INDIRECTOS		3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584	3.519.584
TOTAL GASTOS DIRECTOS		1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171	1.244.171
Amortización Inmovilizado (sistema lineal)		1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000
BAIT = BAT		7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245	7.971.245
Impuestos (35%)		2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936	2.789.936
Beneficio líquido		5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309	5.181.309
Amortización Inmovilizado (sistema lineal)		1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000
Inversión Infraestructura											
Inversión Equipamiento											
CASH FLOW		6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309	6.681.309
PLAZO DE RECUPERACIÓN											
r= 4% y sin subvención		28.531.456	32.704.582	36.717.203	40.575.493	44.285.387	47.852.593	51.282.598	54.580.680	57.751.913	60.801.176
r= 7% y sin subvención		20.100.964	23.067.545	25.840.051	28.431.178	30.852.792	33.115.982	35.231.114	37.207.872	39.055.310	40.781.887

UPNA

PLANOS

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



ÍNDICE

PLANO 1: PLANOS DE SITUACIÓN 1

PLANO 2: PLANOS DE SITUACIÓN 2

PLANO 3: PLANOS DE SITUACIÓN 3

PLANO 4: PLANOS DE SITUACIÓN 4

PLANO 5: PLANOS DE SITUACIÓN 5

PLANO 6: DIAGRAMA DE FLUJO BÁSICO

PLANO 7: DIAGRAMA DE FLUJO

PLANO 8: DIAGRAMA CONTROL REGULATORIO

PLANO 9: ELEMENTOS DE CONTROL

395.679,54 3.148.097,75

489.679,54 3.148.097,75

28°27'18,94" N 16°03'55,73" O

28°27'33,91" N 15°06'19,90" O

GRAN CANARIA



27°26'51,92" N 16°03'20,29" O

27°27'06,17" N 15°06'15,99" O

395.679,54 3.036.472,75

489.679,54 3.036.472,75

Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias



Información Técnica
 Sistema de Referencia ITRF93
 Elipsoide WGS84:
 -semieje mayor: a=6.378.137
 -aplanamiento: f=298,257223563
 Red Geodésica REGCAN95 (v. 2001)
 Sistema de representación UTM
 Huso 28 (extendido)

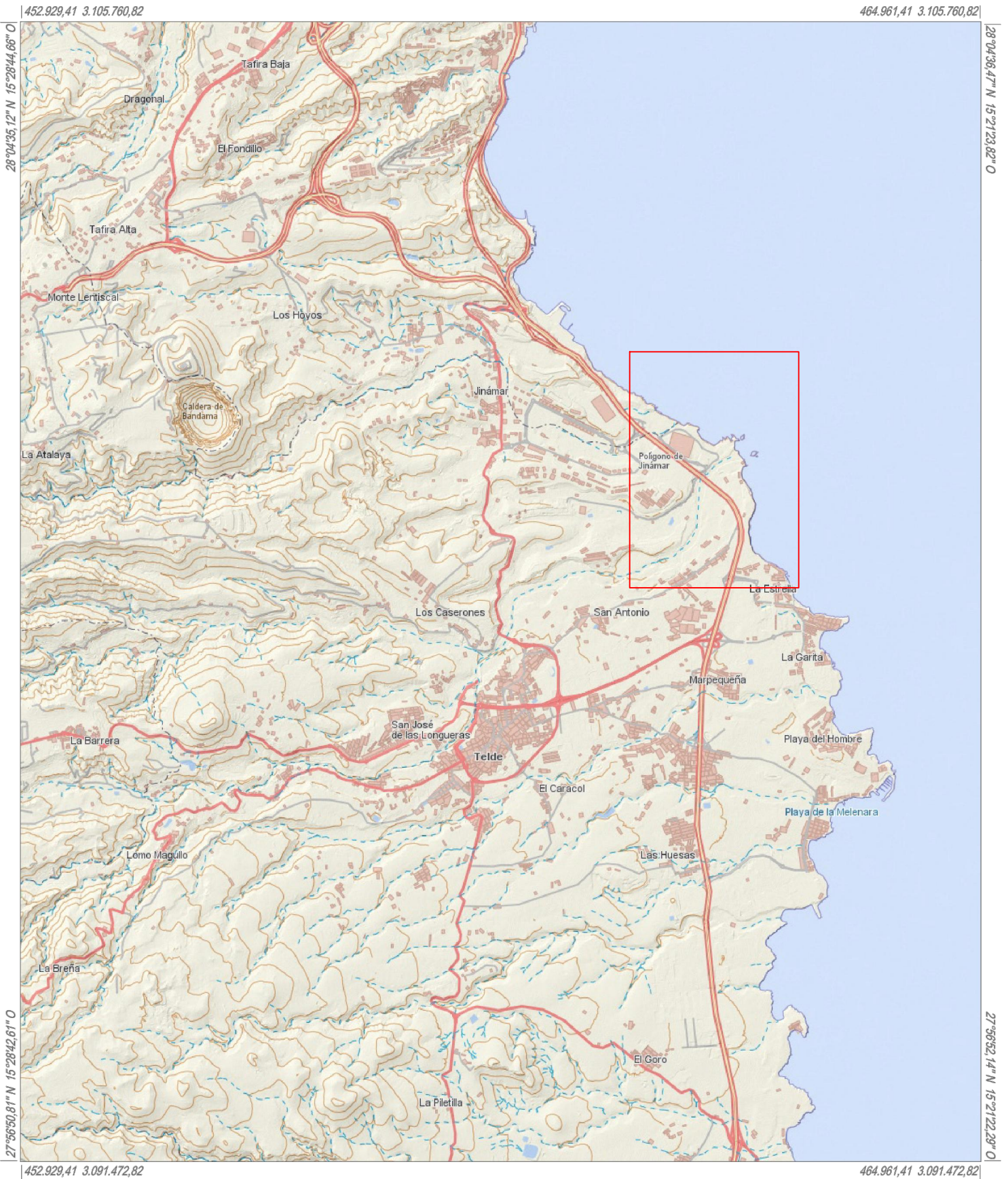
Mapa Topográfico Integrado
 Escala aprox.: 1:500.000
PLANO DE SITUACIÓN 1
 PD0059001E03

Fecha y hora de impresión: 15/10/2014 18:46:19



www.idecan.grafcan.es





Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias

Información Técnica

Sistema de Referencia ITRF93
 Elipsoide WGS84:
 -semieje mayor: a=6.378.137
 -aplanamiento: f=298,257223563
 Red Geodésica REGCAN95 (v. 2001)
 Sistema de representación UTM
 Huso 28 (extendido)

Mapa Topográfico Integrado
 Escala aprox.: 1:64.000
PLANO DE SITUACIÓN 2
 PD0059001E03

Fecha y hora de impresión: 15/10/2014 18:47:11



Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias

Información Técnica

Sistema de Referencia ITRF93
 Elipsoide WGS84:
 -semieje mayor: a=6.378.137
 -aplantamiento: f=298.257223563
 Red Geodésica REGCAN95 (v. 2001)
 Sistema de representación UTM
 Huso 28 (extendido)

Mapa Topográfico Integrado
 Escala aprox.: 1:16.000
PLANO DE SITUACIÓN 3
 PD0059001E03

Fecha y hora de impresión: 15/10/2014 18:48:31



Todos los derechos reservados
 Eskubide guztiak erreserbatu dira



www.idecan.grafcan.es





Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias



Información Técnica
 Sistema de Referencia ITRF93
 Elipsoide WGS84:
 -semieje mayor: a=6.378.137
 -aplanamiento: f=298,257223563
 Red Geodésica REGCAN95 (v. 2001)
 Sistema de representación UTM
 Huso 28 (extendido)

Mapa Topográfico Integrado
 Escala aprox.: 1:4.000
PLANO DE SITUACIÓN 4
 PD0059001E03

Fecha y hora de impresión: 15/10/2014 18:50:07



www.idecan.grafcan.es

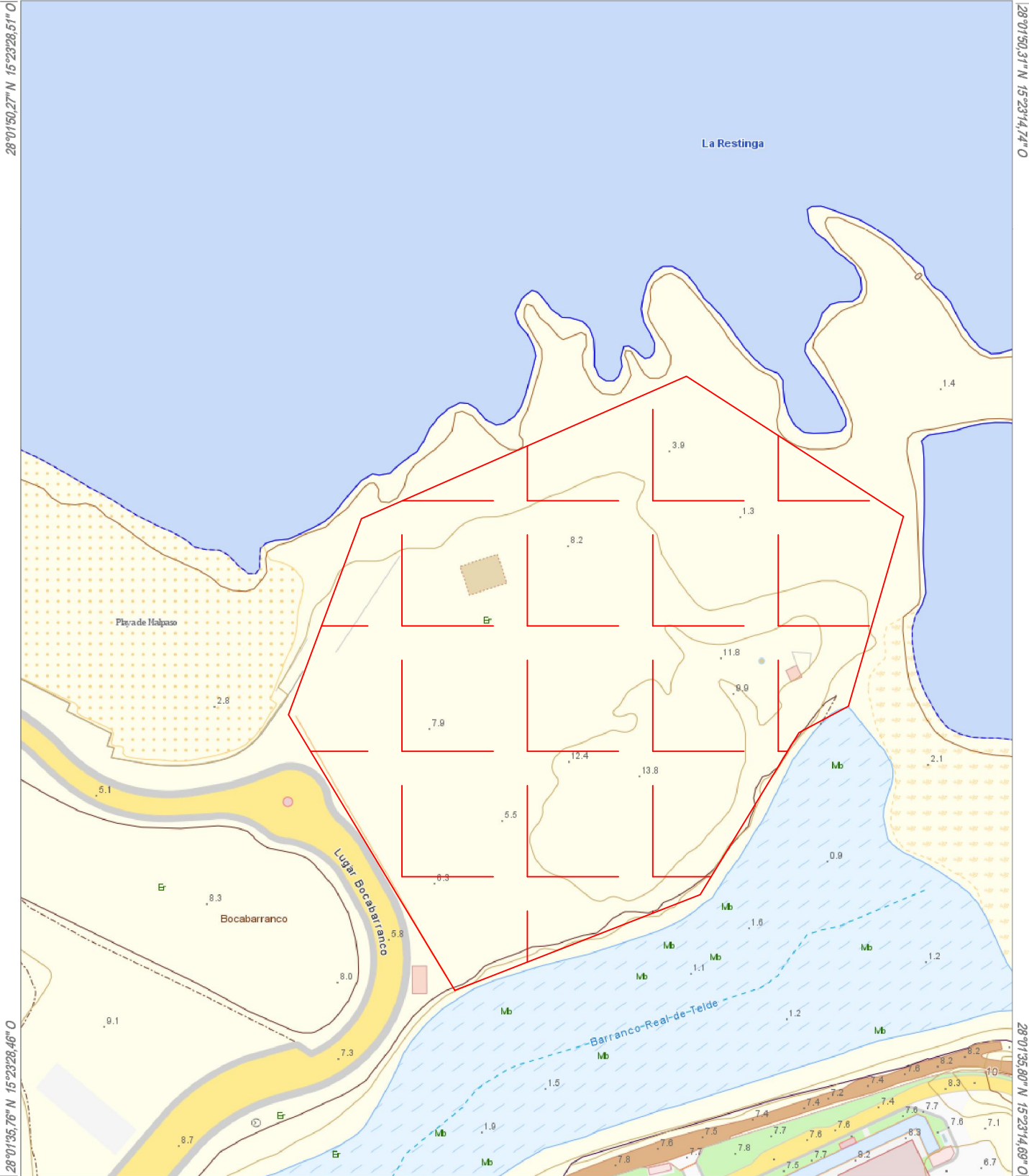


461.541,82 3.100.657,26

461.917,82 3.100.657,26

28°01'50,27" N 15°23'28,51" O

28°01'50,31" N 15°23'14,74" O



461.541,82 3.100.210,76

461.917,82 3.100.210,76

28°01'35,76" N 15°23'28,46" O

28°01'35,80" N 15°23'14,69" O

Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias

Información Técnica

Sistema de Referencia ITRF93
 Elipsoide WGS84:
 -semieje mayor: a=6.378.137
 -aplanamiento: f=298,257223563
 Red Geodésica REGCAN95 (v. 2001)
 Sistema de representación UTM
 Huso 28 (extendido)

Mapa Topográfico Integrado

Escala aprox.: 1:2.000

PLANO DE SITUACIÓN 5

PD0059001E03

Fecha y hora de impresión: 16/10/2014 15:53:57

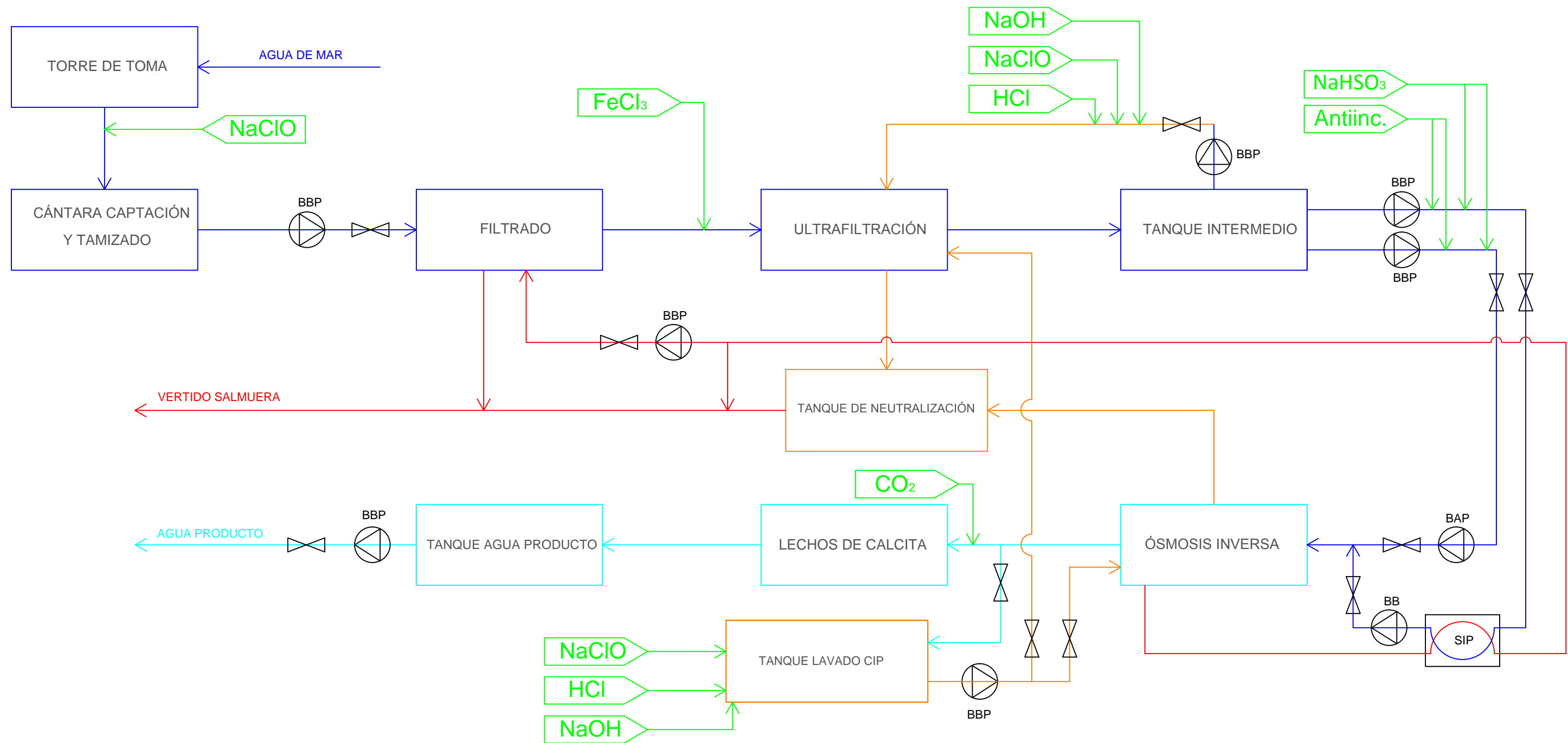


Todos los derechos reservados.
Eskubide guztiak erresabatu dira



www.idecan.grafcan.es

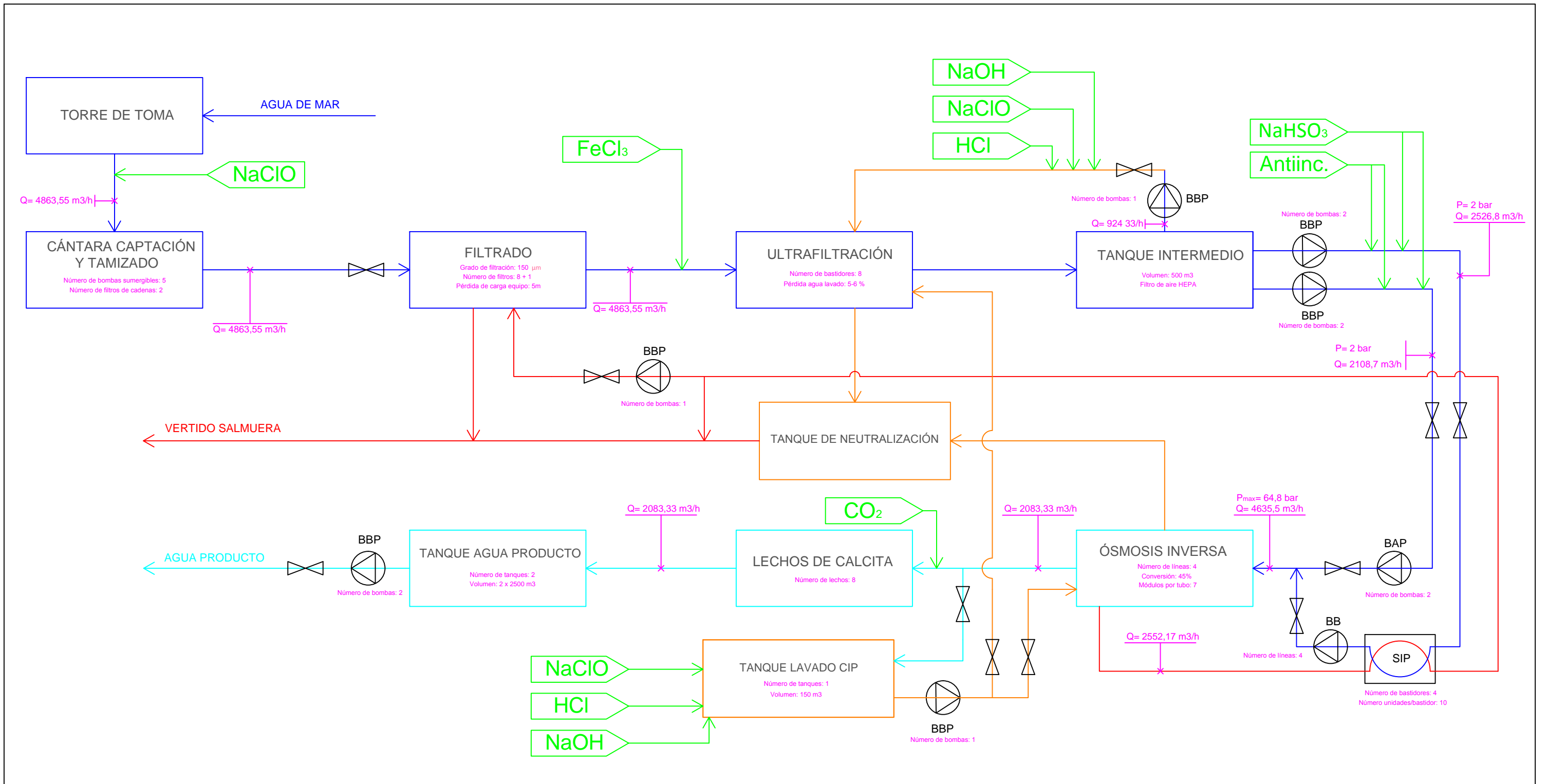




LEYENDA:

- Válvula antirretorno
- Bomba de baja presión
- Bomba de alta presión
- Bomba booster
- Sistema de intercambio de presión
- Agua de rechazo (salmuera)
- Agua bruta
- Agua de lavado
- Productos químicos
- Agua producto

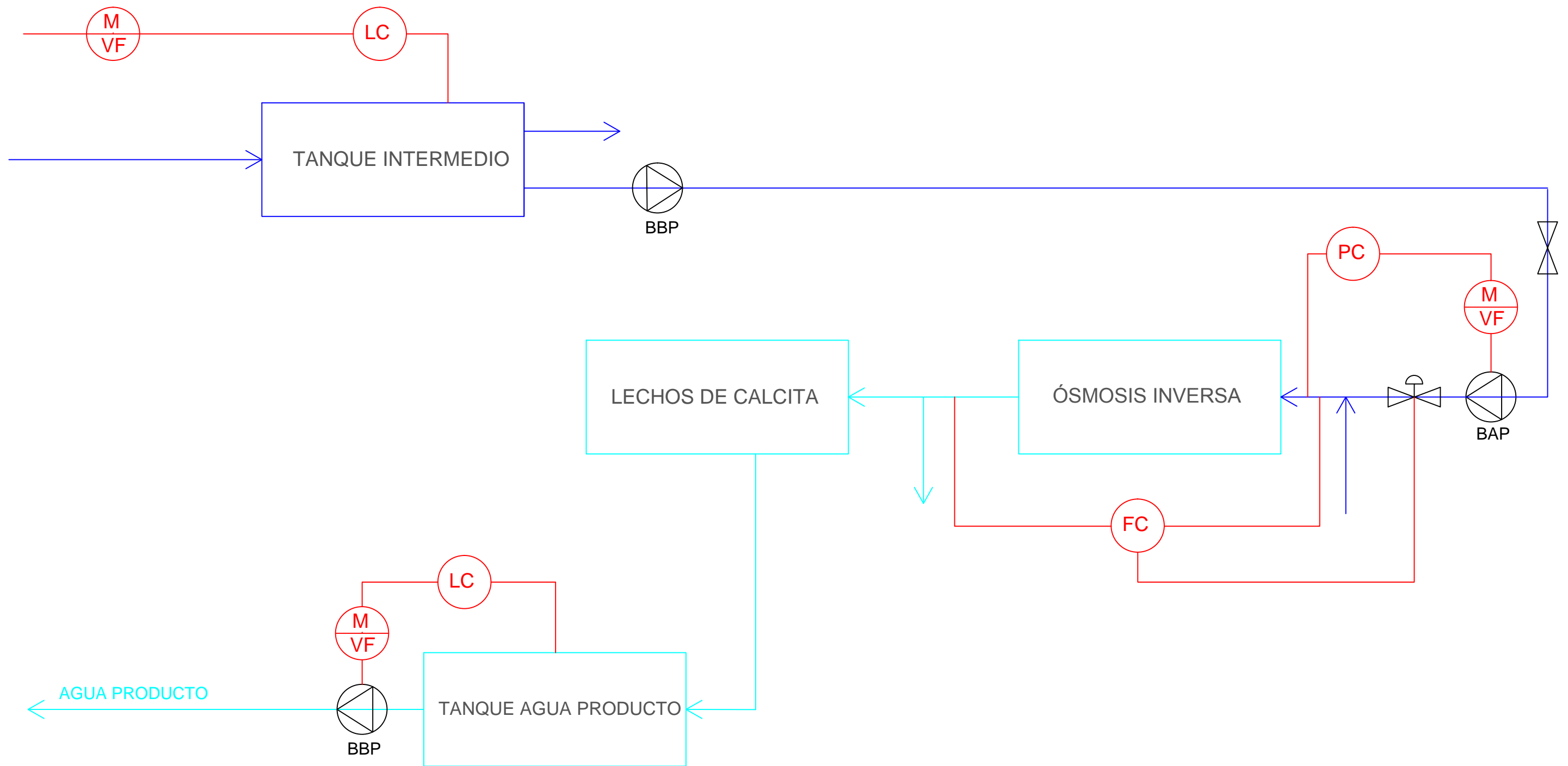
Nº PLANO:	6	NOMBRE:	DIAGRAMA DE FLUJO BÁSICO
PROYECTO:	PD0059001E03		
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	AUTOR:	ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN INGENIERO AGRÓNOMO	
	FECHA:	09 / 10 / 2014	FIRMA:













LEYENDA:


	Válvula antirretorno		Agua de rechazo (salmuera)
	Bomba de baja presión		Agua bruta
	Bomba de alta presión		Agua de lavado
	Bomba booster		Productos químicos
	Sistema de intercambio de presión		Agua producto

Nº PLANO: 7	NOMBRE: DIAGRAMA DE FLUJO
PROYECTO: PD0059001E03	
AUTOR: ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN INGENIERO AGRÓNOMO	
FECHA: 09 / 10 / 2014	FIRMA:

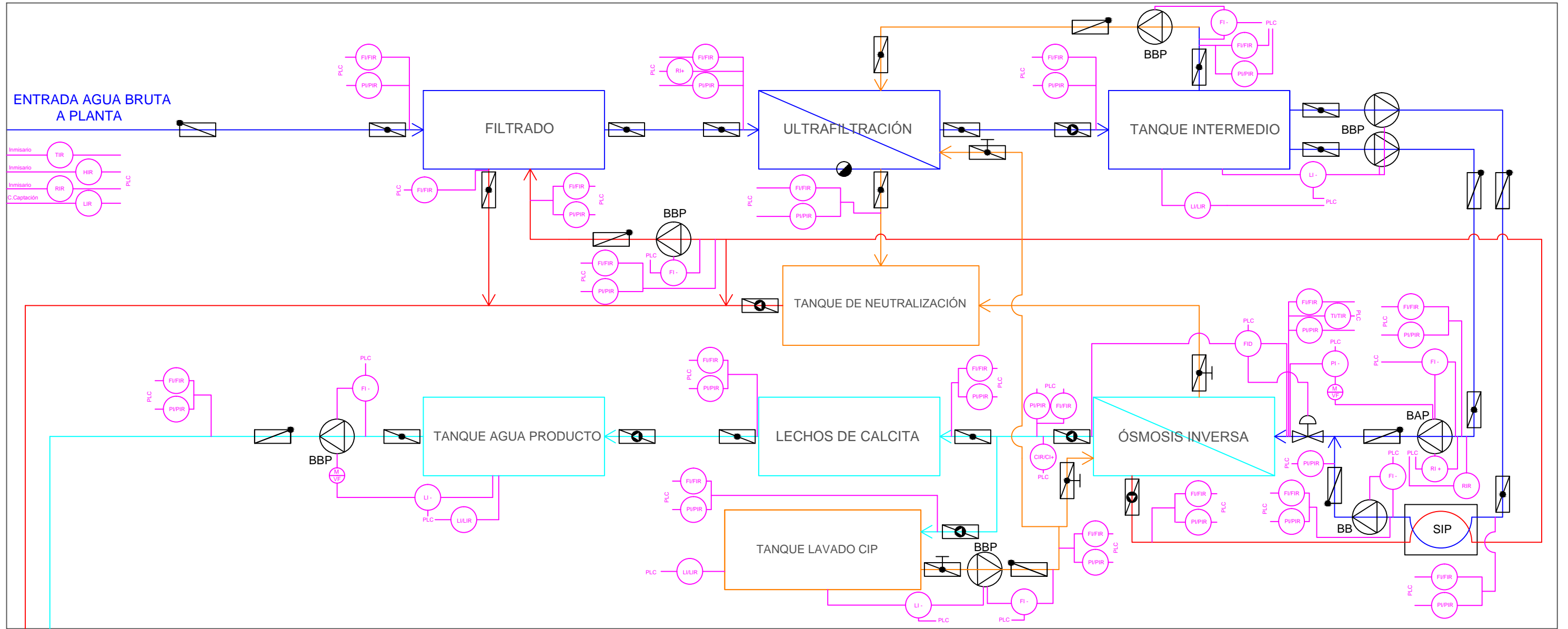


LEYENDA:

- | | |
|---|--|
|  Válvula de control |  Transmisor de nivel |
|  Bomba de baja presión |  Transmisor de presión |
|  Bomba de alta presión |  Transmisor de caudal |
|  Lazos de control |  Variador de frecuencia |
|  Agua bruta | |
|  Agua producto | |

Nº PLANO: 8	NOMBRE: DIAGRAMA CONTROL REGULATORIO
PROYECTO: PD0059001E03	
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	AUTOR: ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN INGENIEROAGRÓNOMO
	FECHA: 09 / 10 / 2014

PLANTA



SALIDA AGUA PRODUCTO PLANTA
 SALIDA VERTIDO DE SALMUERA PLANTA

LEYENDA:

	Bomba Booster		Indicador/Transmisor de nivel
	Bomba de baja presión		Switch/Alarma de bajo nivel
	Bomba de alta presión		Indicador/Transmisor de caudal
	Válvula antirretorno		Switch/Alarma de bajo caudal
	Válvula de mariposa neumática		Indicador/Transmisor de presión
	Válvula de mariposa manual		Switch/Alarma de baja presión
	Válvula de mariposa motorizada		Transmisor/Switch-Alarma de alto potencial redox
	Válvula de control		Transmisor/Switch de alto conductividad eléctrica
	Válvula de venteo		Transmisor de pH
	Variador de frecuencia		Transmisor de temperatura

Nº PLANO: 9	NOMBRE: ELEMENTOS DE CONTROL
PROYECTO: PD0059001E03	
AUTOR: ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN INGENIEROAGRÓNOMO	
FECHA: 09 / 10 / 2014	FIRMA:

UPNA

PLIEGO DE CONDICIONES

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



Ayuntamiento
de Telde

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....2

2 CONDICIONES GENERALES.....2

2.1 Normas de aplicación	2
2.2 Ingeniero director de las obras.....	2
2.3 Inspección de las obras.....	3
2.4 Representante del contratista.....	3
2.5 Personal facultativo por cuenta del contratista.....	3
2.6 Órdenes del contratista.....	4
2.7 Permisos y licencias.....	4
2.8 Subcontratista o destajista.....	4
2.9 Señalizaciones de obras e instalaciones.	4
2.10 Precauciones.....	5
2.11 Conservación del paisaje.....	5
2.12 Limpieza final de las obras.....	5
2.13 Plazo de garantía.....	5
2.14 Relaciones valoradas y certificaciones parciales de obra ejecutada.....	5
2.15 Otros gastos por cuenta del contratista.	6
2.16 Accidentes de trabajo.....	6
2.17 Modificaciones del proyecto.	6
2.18 Contradicciones y omisiones del proyecto.....	6
2.19 Plazo de ejecución de las obras.	7
2.20 Programa de trabajo.....	7
2.21 Replanteo previo de las obras.	7
2.22 Ensayos y análisis.....	7

3 CONDICIONES PARTICULARES.....8

3.1 Instalaciones mecánicas.....	8
3.2 Instalación de instrumentos.....	9
3.3 Instalación eléctrica.....	9
3.4 Trabajo de campo.....	9
3.5 Instalaciones en la sala de control.....	10
3.6 Calibración y pruebas.....	10

1 INTRODUCCIÓN

El pliego de condiciones generales se compone de una serie de prescripciones técnicas que tienen por objeto establecer las cualidades que deben reunir los materiales y elementos a utilizar y el modo de ejecución del presente proyecto.

2 CONDICIONES GENERALES

2.1 Normas de aplicación.

Todas las prescripciones de este pliego de condiciones son de obligado cumplimiento, debiéndose cumplir también con las siguientes disposiciones de carácter general:

-Ley de bases de contratos del Estado, de 8 de Abril de 1965, su modificación del 17 de Marzo de 1973, y su reglamento del 25 de Noviembre de 1975.

-Pliego de cláusulas administrativas generales para la contratación de obras del Estado, de 31 de Diciembre de 1970.

-Ordenanzas de trabajo de la construcción, vidrio y cerámica, de 28 de Agosto de 1970 y sus modificaciones de 27 de Julio de 1973.

2.2 Ingeniero Director de las obras

La administración designará al ingeniero director de las obras que, por sí o por aquellos que actúen en su representación, será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato, y asumirá la representación de la Administración frente al contratista. Las funciones del ingeniero director de las obras serán las siguientes:

-Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.

-Definir aquellas condiciones técnicas que el presente pliego de prescripciones deja a su decisión.

-Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.

-Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.

-Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbre relacionados con las mismas.

-Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual el contratista deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.

-Acreditar al contratista las obras realizadas, conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.

El contratista, el ayuntamiento de Telde, estará obligado a prestar su colaboración al ingeniero director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

2.3 Inspección de las obras

El contratista, el ayuntamiento de Telde, proporcionará al ingeniero director, o a sus subalternos o delegados, toda clase de facilidades para los replanteos, reconocimientos, mediciones y pruebas de materiales de todos los trabajos, permitiendo y facilitando el acceso a todas las partes de la obra, con objeto de comprobar el cumplimiento de las condiciones establecidas en este pliego.

2.4 Representante del Contratista

Una vez adjudicadas las obras definitivamente, el contratista designará una persona que actúe como representante suyo ante la Administración durante la ejecución de las obras. Antes del nombramiento del representante, el contratista deberá someterlo a la aprobación de la Administración, pudiendo ésta aceptar o denegar el nombramiento. Si no fuese nombrado dicho representante quedará entendido tácitamente que actuará como tal el contratista adjudicatario o apoderado legalmente reconocido.

2.5 Personal facultativo por cuenta del Contratista

En todas aquellas obras cuyo presupuesto total sea igual o superior a treinta mil euros (cinco millones de pesetas), será obligatorio que los trabajos se realicen bajo la dirección inmediata de un técnico de grado medio o superior que tenga competencia legal para ello.

Este técnico será designado por el contratista, dando cuenta a la Administración de dicho nombramiento, pudiendo ésta aceptar o denegar el mismo. El ingeniero director vigilará el estricto cumplimiento de tal exigencia, pudiendo suspender los trabajos, sin que de ello se deduzca alteración alguna de los términos y plazos del contrato, cuando no se realicen bajo la dirección del personal facultativo designado para las mismas.

El ingeniero director de las obras podrá exigir del contratista la designación de nuevo personal facultativo cuando así lo requiera la importancia de las necesidades de los trabajos a realizar.

2.6 Órdenes del Contratista

Las órdenes al contratista se darán por escrito y numeradas correlativamente, reflejándose en el correspondiente libro de órdenes. Éste quedará obligado a firmar el recibo en el duplicado de la orden.

Se hará constar en el libro de órdenes al iniciarse las obras o, en caso de modificaciones, durante el curso de las mismas, con carácter de orden al contratista, la relación de personas que, por el cargo que ostentan o la delegación que ejercen, tienen facultades para acceder a dicho libro y transcribir en él las que consideren necesario comunicar al contratista.

2.7 Permisos y licencias

El contratista deberá obtener, a su costa, todos los permisos o licencias necesarias para la ejecución de las obras, con excepción de las correspondientes a las expropiaciones, servidumbres y servicios definidos en el contrato.

2.8 Subcontratista o destajista

El contratista podrá dar a destajo o en subcontrato cualquier parte de la obra, pero con la previa autorización del ingeniero director de las obras, el cual está facultado para decidir la exclusión de un subcontratista, por ser el mismo incompetente o no reunir condiciones idóneas para realizar el trabajo correspondiente. Comunicada la decisión al contratista, éste deberá tomar las medidas precisas e inmediatas para la rescisión del trabajo con el subcontratista.

El contratista será siempre responsable ante la Administración de todas las actividades del destajista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones expresadas en este pliego.

2.9 Señalizaciones de obras e instalaciones.

El contratista quedará obligado a señalar, a su costa, las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y modelos que reciba el ingeniero director. Sin perjuicio de lo que sobre el particular ordene al ingeniero director, el contratista será el responsable del estricto cumplimiento de las disposiciones vigentes en la materia.

Las obras se ejecutarán de forma que el tráfico ajeno a ellas encuentre, en todo momento, un paso en buenas condiciones de viabilidad y seguridad, ejecutándose caminos provisionales para desviarle.

2.10 Precauciones

Para evitar accidentes y perjuicios, tanto a los obreros como a los propietarios colindantes a las obras, el contratista está obligado a entibar y acodalar las excavaciones o edificios, si fuera necesario, siendo de su exclusiva cuenta las consecuencias que de su incumplimiento pudieran derivarse.

Si en el transcurso de las obras existiese duda por parte del contratista sobre la forma de realizar alguna de las precauciones anteriores está obligado a solicitar información y aclaraciones necesarias a la dirección de la obra. La falta de su consulta responsabiliza al contratista en cuanto a cualquier efecto que se derive, incluso ante terceros.

2.11 Conservación del paisaje

El contratista prestará atención al efecto que puedan tener las distintas operaciones e instalaciones que necesite realizar para la ejecución de las obras sobre la estética y el paisaje en las zonas en que se encuentren ubicadas. En tal sentido cuidará que los árboles, hitos, pretilos y demás elementos que puedan ser dañados durante las obras sean debidamente protegidos, en evitación de posibles destrozos, que de producirse, serán restaurados a su costa.

Así mismo cuidará del sentido estético de sus construcciones auxiliares, depósitos y acopios, que podrán ser modificados por indicación del ingeniero director.

2.12 Limpieza final de las obras

Una vez que las obras se hayan terminado, todas las instalaciones, depósitos y edificios con carácter temporal para el servicio de la obra, deberán ser demolidos antes de proceder a la recepción provisional de las obras. Todo ello se ejecutará de forma que las zonas afectadas queden completamente limpias y en condiciones estéticas, haciéndose extensivo a todos aquellos materiales sobrantes procedentes de acopios, excavaciones u otras operaciones. Estos trabajos no serán objeto de abono alguno, siendo, pues, por cuenta del contratista.

2.13 Plazo de garantía

El plazo de garantía de las obras comprendidas en el presente proyecto será de 5 meses a contar desde la fecha de recepción provisional de las obras. Los gastos de conservación de las obras y la reparación de los desperfectos imputables a una deficiente ejecución, correrán a cargo del contratista.

2.14 Relaciones valoradas y certificaciones parciales de obra ejecutada

Quincenalmente se procederá por parte de la dirección de la obra a la medición de la obra ejecutada en la semana correspondiente, cuya relación valorada con los precios del presente proyecto, servirá de base para determinar el importe de la oportuna certificación. Así mismo, la dirección de la obra podrá no certificar acopios si por alguna circunstancia lo cree oportuno.

2.15 Otros gastos por cuenta del Contratista.

Además de los gastos establecidos en los artículos anteriores serán de cuenta del contratista los siguientes:

- Gastos de control de calidad, cuya valoración no se ha tenido en cuenta en la determinación del Presupuesto de las obras.
- Gastos de alquiler o adquisición de terrenos para depósitos de maquinaria y materiales.
- Gastos de retirada de los materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

Todos los gastos mencionados en éste y otros artículos, así como los financieros y fiscales, quedan incluidos dentro de los gastos generales en que se incrementa el presupuesto de ejecución material, dirección e inspección de obra que, no siendo de cuenta del contratista, se reflejan por separado en el correspondiente presupuesto general.

2.16 Accidentes de trabajo

El contratista queda obligado al cumplimiento de lo dispuesto en la legislación vigente referente a accidentes laborales, seguros obligatorios y demás disposiciones de carácter social. La administración contratante no se hace responsable del incumplimiento de las obligaciones sociales, laborales y económicas que le incumben al contratista.

2.17 Modificaciones del Proyecto.

El contratista deberá ejecutar las modificaciones autorizadas que se introduzcan en el Proyecto, siempre que las mismas no produzcan aumento o disminución superior al 20 por ciento del presupuesto total de las obras contratadas.

2.18 Contradicciones y omisiones del Proyecto

Lo mencionado en el pliego de condiciones y omitido en los planos o viceversa habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre planos y pliego de condiciones prevalecerá lo prescrito en este último, tal y como se describe en la memoria.

Las omisiones en planos y pliego de condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de las obras que sean indispensables para llevar a cabo el espíritu o intención expuesto en los planos y pliego de condiciones, o que por su uso y costumbre deban ser realizados, no sólo no eximen al contratista de la obligación de ejecutar estos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubieran sido completas y correctamente especificados en los planos y pliegos de condiciones.

2.19 Plazo de ejecución de las obras.

Las obras se iniciarán dentro de los treinta días siguientes al de la fecha de la firma de la escritura de contratación y el plazo de ejecución de las obras se estima en 2 meses.

2.20 Programa de trabajo

Dentro de los treinta días siguientes a la fecha en que se notifique la adjudicación definitiva al contratista de las obras, deberá presentar el Programa de Trabajo, en el que se especificarán los plazos parciales y fecha de terminación de las clases de obra previstas ajustándose a las anualidades contractuales previstas. El programa una vez aprobado por el Director de las obras tendrá carácter de compromiso formal para el cumplimiento de los plazos en él establecidos.

2.21 Replanteo previo de las obras.

Firmada la escritura de contratación, el director de las obras en presencia del contratista, comprobará sobre el terreno el replanteo que se haya realizado de las obras. Se levantará acta por triplicado de la concordancia o discrepancia existentes. En el primer caso podrán empezarse las obras. En el segundo caso se dará cuenta a la Administración contratante para que tome la resolución que proceda.

2.22 Ensayos y análisis

Los ensayos de materiales deberán hacerse en Laboratorio Homologado por el M.O.P.U. Los ensayos de suministros fabricados deberán realizarse previamente a su expedición a obra.

Aquellos que la dirección de las obras así lo disponga, deberán efectuarse bajo la inspección de un delegado de laboratorio homologado en la misma fábrica o laboratorio que se designe.

Los ensayos y análisis que durante la ejecución de las obras dicte la Dirección de las mismas se ejecutarán en el laboratorio homologado que de acuerdo con el contratista se designe.

La Dirección de las Obras antes del comienzo de las mismas podrá proponer los estudios previos que estime convenientes a fin de asegurar la estabilidad de las fábricas y canalizaciones proyectadas.

3 CONDICIONES PARTICULARES

A demás de las condiciones generales anteriormente citadas el contratista debe cumplir con una serie de condiciones específicas. No obstante estas no son excluyentes de las anteriores y viceversa.

3.1 Instalaciones mecánicas

Las obligaciones del contratista respecto a la instalación de elementos mecánicos son las siguientes:

- Realización de los trabajos según los requisitos.
- Transporte de los elementos desde almacenes hasta talleres de prefabricación y planta.
- Ajuste de los elementos que no se corresponden con las especificaciones por cuenta propia.
- Suministro de todos los consumibles, maquinaria y elementos necesario para la instalación.
- Devolución al almacén de la propiedad de los sobrantes producidos. Estos no deben ser más del 2% del total.
- Realizar las pruebas hidráulicas de tuberías según las presiones especificadas.
- Ajuste de tuberías a equipos.
- Desmontar y reponer aquellos elementos defectuosos.
- Instalar los soportes de tuberías correspondientes en tramos largos.
- Eliminar los posibles fallos en el sistema de tuberías y volver a probar las líneas reparadas.
- Realizar las uniones entre tuberías mediante la soldadura adecuada para cada material, según las normas correspondientes en cada caso.
- Revisar las soldaduras.
- Reparar las soldaduras defectuosas.

3.2 Instalación de instrumentos

Las obligaciones del contratista respecto a la instalación de instrumentos son las siguientes:

- Comprobar los valores nominales de los instrumentos
- Instalar los instrumentos en líneas no sometidas a vibraciones.
- Prever las dilataciones térmicas de las líneas en cada caso.

3.3 Instalación eléctrica

Las obligaciones del contratista respecto a la instalación eléctrica son las siguientes:

- Realizar la instalación mediante personal autorizado.
- La instalación eléctrica se realizará siguiendo la normativa aplicable en cada caso según la tensión instalada.
- Conectar líneas a tierra en aquellos elementos y estructuras metálicas no sometidas a tensión.
- Conectar a tierra enchufes, cajas de derivación y demás elementos que lo requieran.
- Comprobar los aislamientos, cables y valores nominales de instrumentos eléctricos.
- Identificar correcta y claramente cada una de las líneas.

3.4 Trabajo de campo

Además deberá:

- Identificación de tubería y cables, a ser posible en tramos largos, y en aquellos puntos donde se produzcan cambios de sentido.
- Conectar ambos extremos de cables y tubos a los equipos correspondientes.
- Instalar todos los tubos de suministro de aire en acero galvanizado y sin soldaduras según normas.

3.5 Instalaciones en la sala de control

Las obligaciones del contratista respecto a la instalación de elementos de la sala de control son las siguientes:

- Instalación de cables y consolas de control.
- Conexión de transmisores, alarmas y demás instrumentos de control.
- Comprobación de los valores nominales y señal de instrumentos.

3.6 Calibración y pruebas

Las obligaciones del contratista respecto la calibración de instrumentos y pruebas son las siguientes:

- Realizar todas las calibraciones y pruebas requeridas.
- Calibrar transmisores y receptores por separado.
- Calibrar los instrumentos de medida al menos en los puntos de 0, 10,50 y 100 % de su valor nominal.
- Conectar y verificar las líneas de aire de instrumentación

UPNA

ESTADO DE LAS MEDICIONES

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



Ayuntamiento
de Telde

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 EQUIPOS E INSTALACIONES.....	3
2.1 Emisarios/inmisarios.....	3
2.2 Equipos.....	3
2.3 Bombas.....	3
2.4 Tanques.....	4
2.5 Conducciones.....	4
2.5.1 De proceso.....	4
2.5.2 De lavado.....	4
2.6 Elementos de control.....	5
2.6.1 Válvulas.....	5
2.6.2 Instrumentos.....	5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Emisarios/inmisarios.....	3
Tabla 2: Equipos.....	3
Tabla 3: Bombas.....	3
Tabla 4: Tanques.....	4
Tabla 5: Conducciones de proceso.....	4
Tabla 6: Conducciones de lavado.....	4
Tabla 7: Válvulas.....	5
Tabla 8: Instrumentos.....	5

1 INTRODUCCIÓN

En este documento básico del proyecto se enumerarán y definirán todos los elementos necesarios para la ejecución del proyecto. Además servirá de base para el desarrollo del documento básico "PRESUPUESTO".

2 EQUIPOS E INSTALACIONES

2.1 Emisarios/inmisarios

Elemento	Número	Marca
Torre de captación	1	-
Eductores gigantes	3-4	NORTHEAST CONTROLS INC. USA

Tabla 1: Emisarios/inmisarios

2.2 Equipos:

Equipo	Número	Marca
Filtros de cadenas de doble flujo	2	BEAUDRY
Filtros de anillas automáticos 9x3 C	9	STF Filtros
Módulo de UF SFP-2880	900	DOW
Bastidores de módulos SFP-2880	9	DOW
Membranas de OI SWC4B-LD	4.844	HYDRANAUTICS
SIP PX-Q300	40	ENERGY RECOVERY INC
Bastidores SIP	4	ENERGY RECOVERY INC
Dosificadores de CO ₂	1	DRIN TEC
Lechos de calcita	8	DRIN TEC

Tabla 2: Equipos

2.3 Bombas:

Bomba	Marca	Número	Q _{max} (m ³ /h)	H _{max} (m)	P _{max} (bar)	Consumo (kW)
Bombas sumergibles ABS XFP, PE-6 250M-CH2	SULZER	5	570	57	-	864
Bombas multietapa de cámara partida MSD-RO	SULZER	2	1.000-1.600	650	90	2.311
Bomba booster	Energy Recovery Inc	4	-	-	-	120
Bomba monoetapa N AHLSTAR NPP/T	SULZER	4 + 2	2.000	90	16	377,2
Bomba monoetapa W AHLSTAR WPP/T	SULZER	3	2.000	90	16	198,76
Bombas dosificadoras productos químicos	-	7	-	-	-	mínimo

Tabla 3: Bombas

2.4 Tanques:

Tanque	Número	Volumen (m ³)	Consideraciones
Tanques intermedio	1	500	Con filtro HEPA
Tanques de agua producto	2	2.500	Con filtro HEPA
Tanques de lavados CIP	1	150	Con filtro HEPA
Tanque de neutralización	1	-	Dosificación de NaOH, HCl y Na ₂ S ₂ O ₅ según necesidades.
Tanques de NaClO	1	2	Reposición semanal
Tanques de FeCl ₃	1	1,2	Reposición semanal
Tanques de NaOH	1	1	Reposición trimestral
Tanques de HCl	1	1	Reposición trimestral
Tanques de Na ₂ S ₂ O ₅ (NaHSO ₃)	1	1	Reposición mensual
Tanques de Antiincrustante	2	15	Reposición cada 2 días
Tanques de CO ₂	1	8	Reposición semanal

Tabla 4: Tanques

2.5 Conducciones**2.5.1 De proceso:**

Línea	Material	DN (mm)	Nº conducciones paralelas simultáneas
Inmisario submarino	PEAD	1.200	1
Bombeo inicial hasta FA	PRFV	500	4
Conducción entrada/salida FA	PRFV	350	8
Conducción entrada/salida UF	PRFV	350	8
Bombeo hacia SIP	PRFV	500	2
Conducción entrada/salida SIP	PRFV	400	4
Bombeo hacia BAP	PRFV	500	2
Conducción entrada BAP	PRFV	500	2
Conducción salida BAP	PRFV	350	4
Conducción salida OI (permeado)	PRFV	350	4
Conducción salida OI (Rechazo)	PRFV	400	4
Bombeo fuera de plata	PRFV	500	2
Emisario submarino	PRFV/PEAD	1.000	1

Tabla 5: Conducciones de proceso

2.5.2 De lavado:

Línea	Material	DN (mm)	Nº conducciones paralelas simultáneas
Contralavado FA	PEAD	350	1
Contralavado UF	PEAD	500	1
Bombeo tanque CIP	PEAD	300	1

Tabla 6: Conducciones de lavado

2.6 Elementos de control

2.6.1 Válvulas:

Posición	Tipo de válvula
Entrada planta	Antirretorno
Entrada FA	Mariposa neumática
Salida FA	Mariposa neumática
Desagüe FA	Mariposa neumática
Entrada UF	Mariposa neumática
Salida UF	Mariposa neumática
Bombeo agua lavado	Antirretorno
Entrada agua lavado UF	Mariposa neumática
Salida agua lavado UF	Mariposa neumática
Entrada agua lavado CIP a UF	Mariposa manual
Venteo UF	De venteo
Entrada tanque intermedio	Mariposa motorizada
Salida tanque para lavado UF	Mariposa neumática
Salida tanque para bombeo intermedio	Mariposa neumática
Bombeo intermedio	Antirretorno
Entrada sistema SIP	Mariposa neumática
Salida sistema SIP	Mariposa neumática
Bombeo booster	Antirretorno
Bombeo alta presión	Antirretorno
Entrada OI	Control
Salida OI permeado	Mariposa motorizada
Salida OI rechazo	Mariposa motorizada
Desagüe lavados OI	Mariposa Manual
Entrada lavados OI	Mariposa Manual
Entrada lechos calcita	Mariposa neumática
Salida lechos calcita	Mariposa neumática
Entrada tanque agua producto	Mariposa motorizada
Salida tanque agua producto	Mariposa neumática
Bombeo agua producto	Antirretorno
Entrada tanque CIP	Mariposa motorizada
Salida tanque CIP	Mariposa Manual
Bombeo agua lavado CIP	Antirretorno
Salida tanque neutralización	Mariposa motorizada

Tabla 7: Válvulas

2.6.2 Instrumentos:

Instrumento	Posición	Tipo
Transmisor temperatura	Inmisario submarino	TIR/ Remoto
Transmisor pH	Inmisario submarino	PHR/ Remoto
Transmisor potencial redox	Inmisario submarino	CIR/ Remoto
Transmisor nivel	Cántara captación	LIR/ Remoto
Indicador de presión	Entrada FA	PI/ Local
Transmisor de presión	Entrada FA	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Entrada FA	FI/ Local
Transmisor de caudal	Entrada FA	FIR/ Remoto
Indicador de caudal	Entrada lavado FA	FI/ Local
Transmisor de caudal	Entrada lavado FA	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Entrada lavado FA	PI/ Local
Transmisor de presión	Entrada lavado FA	PIR/ Remoto

Indicador de caudal	Salida lavado FA	FI/ Local
Transmisor de caudal	Salida lavado FA	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Salida FA/Entrada UF	PI/ Local
Transmisor de presión	Salida FA/Entrada UF	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Salida FA/Entrada UF	FI/ Local
Transmisor de caudal	Salida FA/Entrada UF	FIR/ Remoto
Transmisor potencial redox	Salida FA/Entrada UF	RIR/ Remoto
Alarma alto redox	Salida FA/Entrada UF	RI+/Remoto
Indicador de presión	Salida UF/entrada TI	PI/ Local
Transmisor de presión	Salida UF/entrada TI	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Salida UF/entrada TI	FI/ Local
Transmisor de caudal	Salida UF/entrada TI	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Bombeo lavado UF	PI/ Local
Transmisor de presión	Bombeo lavado UF	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Bombeo lavado UF	FI/ Local
Transmisor de caudal	Bombeo lavado UF	FIR/ Remoto
Switch bajo caudal/Alarma	Bombeo lavado UF	FI-/Remoto
Indicador de caudal	Salida lavado UF	FI/ Local
Transmisor de caudal	Salida lavado UF	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Salida lavado UF	PI/ Local
Transmisor de presión	Salida lavado UF	PIR/ Remoto
Indicador de nivel	Tanque intermedio	LI/Local
Transmisor de nivel	Tanque intermedio	LIR/ Remoto
Switch bajo nivel/Alarma	Tanque intermedio	LI-/Remoto
Indicador de caudal	Bombeo hacia AP	FI/ Local
Transmisor de caudal	Bombeo hacia AP	FIR/ Remoto
Switch bajo caudal/Alarma	Bombeo hacia AP	FI-/Remoto
Indicador de presión	Bombeo hacia AP	PI/ Local
Transmisor de presión	Bombeo hacia AP	PIR/ Remoto
Transmisor potencial redox	Bombeo hacia AP	RIR/ Remoto
Switch alto redox/Alarma	Bombeo hacia AP	RI+/Remoto
Indicador de caudal	Bombeo hacia SIP	FI/ Local
Transmisor de caudal	Bombeo hacia SIP	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Bombeo hacia SIP	PI/ Local
Transmisor de presión	Bombeo hacia SIP	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Bombeo salida SIP	FI/ Local
Transmisor de caudal	Bombeo salida SIP	FIR/ Remoto
Switch bajo caudal/Alarma	Bombeo salida SIP	FI-/Remoto
Indicador de presión	Bombeo salida SIP	PI/ Local
Transmisor de presión	Bombeo salida SIP	PIR/ Remoto
Indicador de presión	Después de BB	PI/ Local
Transmisor de presión	Después de BB	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Entrada bastidores OI	FI/ Local
Transmisor de caudal	Entrada bastidores OI	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Entrada bastidores OI	PI/ Local
Transmisor de presión	Entrada bastidores OI	PIR/ Remoto
Alarma baja presión	Entrada bastidores OI	PI-/Remoto
Indicador de temperatura	Entrada bastidores OI	TI/Local
Transmisor temperatura	Entrada bastidores OI	TIR/ Remoto
Transmisor de pH	Entrada bastidores OI	HIR/Remoto
Transmisor de caudal diferencial	Entrada/Salida bastidores OI	PID/ Remoto
Indicador de caudal	Salida permeado	FI/ Local
Transmisor de caudal	Salida permeado	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Salida permeado	PI/ Local
Transmisor de presión	Salida permeado	PIR/ Remoto

Transmisor CE	Salida permeado	CIR/Remoto
Alarma alta CE	Salida permeado	CI+/Remoto
Indicador de caudal	Salida rechazo	FI/ Local
Transmisor de caudal	Salida rechazo	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Salida rechazo	PI/ Local
Transmisor de presión	Salida rechazo	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Bombeo lavado FA	FI/ Local
Transmisor de caudal	Bombeo lavado FA	FIR/ Remoto
Switch bajo caudal/Alarma	Bombeo lavado FA	FI-/Remoto
Indicador de presión	Bombeo lavado FA	PI/ Local
Transmisor de presión	Bombeo lavado FA	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Entrada tanque lavado CIP	FI/ Local
Transmisor de caudal	Entrada tanque lavado CIP	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Entrada tanque lavado CIP	PI/ Local
Transmisor de presión	Entrada tanque lavado CIP	PIR/ Remoto
Indicador de nivel	Tanque lavado CIP	LI/Local
Transmisor de nivel	Tanque lavado CIP	LIR/ Remoto
Switch bajo nivel/Alarma	Tanque lavado CIP	LI-/Remoto
Indicador de caudal	Bombeo lavado CIP	FI/ Local
Transmisor de caudal	Bombeo lavado CIP	FIR/ Remoto
Switch bajo caudal/Alarma	Bombeo lavado CIP	FI-/Remoto
Indicador de presión	Bombeo lavado CIP	PI/ Local
Transmisor de presión	Bombeo lavado CIP	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Entrada lechos calcita	FI/ Local
Transmisor de caudal	Entrada lechos calcita	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Entrada lechos calcita	PI/ Local
Transmisor de presión	Entrada lechos calcita	PIR/ Remoto
Indicador de caudal	Salida lechos calcita	FI/ Local
Transmisor de caudal	Salida lechos calcita	FIR/ Remoto
Indicador de presión	Salida lechos calcita	PI/ Local
Transmisor de presión	Salida lechos calcita	PIR/ Remoto
Indicador de nivel	Tanque agua producto	LI/Local
Transmisor de nivel	Tanque agua producto	LIR/ Remoto
Switch bajo nivel/Alarma	Tanque agua producto	LI-/Remoto
Indicador de caudal	Bombeo fuera de planta	FI/ Local
Transmisor de caudal	Bombeo fuera de planta	FIR/ Remoto
Switch bajo caudal/Alarma	Bombeo fuera de planta	FI-/Remoto
Indicador de presión	Bombeo fuera de planta	PI/ Local
Transmisión de presión	Bombeo fuera de planta	PIR/ Remoto

Tabla 8: Instrumentos

UPNA

PRESUPUESTO

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	2
2 EQUIPOS E INSTALACIONES.....	2
3 RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	2

1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento básico, "PRESUPUESTO", se expone el coste de los equipos y su instalación. Para la determinación del presupuesto se ha realizado una partida alzada a justificar, basándose en los datos proporcionados por el departamento de ingeniería aplicada de Sadyt.

2 EQUIPOS E INSTALACIONES

El coste de ejecución material del proyecto de la partida alzada a justificar, basándose en los datos proporcionados por el departamento de ingeniería aplicada de Sadyt, supondrá, para una planta de estas características, un presupuesto de ejecución material de **DIECISÉIS MILLONES SEISCIENTOS SESENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS VEINTICUATRO CON QUINCE euros**.

3 RESUMEN PRESUPUESTO

Una vez determinado el presupuesto de ejecución material, se determina el presupuesto de liquidación y el presupuesto de ejecución por contrata, tal y como se detalla a continuación:

Presupuesto de ejecución material.....	16.667.824,15 €
+ Gastos generales (13 %).....	2.166.817,14 €
+Beneficio industrial (6%).....	1.000.069,45 €
Presupuesto de liquidación.....	19.834.710,74 €
+ IVA (21 %).....	4.165.289,26 €
Presupuesto de ejecución por contrata.....	24.000.000,00 €

Firma;

Firma;



D. Andrés Martínez Lezaun

D.ª Cristina Pérez González

Pamplona, a 27 de Octubre de 2014

Pamplona, a 27 de Octubre de 2014

UPNA

ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

“DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA EN EL
MUNICIPIO DE TELDE (CANARIAS)”

VOLUMEN I/I

ANDRÉS MARTÍNEZ LEZAUN
INGENIERO AGRÓNOMO



ÍNDICE ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

--ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL--

1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	6
3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	6
3.1 Alternativa cero.....	6
3.1 Realización del proyecto.....	7
4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	7
5 CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS.....	9
5.1 Descripción de impactos.....	9
5.2 Caracterización cualitativa de impactos.....	11
5.3 Evaluación de impactos.....	14
6 MEDIDAS.....	17
6.1 Medidas preventivas.....	17
6.2 Medidas correctoras.....	18
7 PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL.....	20
7.1 Durante la fase de construcción.....	20
7.2 Durante la fase de explotación.....	21
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	22

--ESTUDIO DE SEGURIDAD--

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 ESTUDIO DE SEGURIDAD.....	3
2.1 Estudio cualitativo HAZOP.....	3
2.2 Sistemas de protección.....	5
2.2.1 Sistema de lucha contra incendios.....	5
2.2.2 Protección personal.....	6

UPNA

ESTUDIO CON ENTIDAD PROPIA I

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	6
3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	6
3.1 Alternativa cero.....	6
3.1 Realización del proyecto.....	7
4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	7
5 CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS.....	9
5.1 Descripción de impactos.....	9
5.2 Caracterización cualitativa de impactos.....	11
5.3 Evaluación de impactos.....	14
6 MEDIDAS.....	17
6.1 Medidas preventivas.....	17
6.2 Medidas correctoras.....	18
7 PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL.....	20
7.1 Durante la fase de construcción.....	20
7.2 Durante la fase de explotación.....	21
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de identificación de interacciones.....	8
Tabla 2: Clasificación de impactos según su carácter.....	11
Tabla 3: Clasificación de impactos según su intensidad.....	11
Tabla 4: Clasificación de impactos según su extensión.....	11
Tabla 5: Clasificación de impactos según su duración.....	11
Tabla 6: Clasificación de impactos según su reversibilidad.....	12
Tabla 7: Clasificación de impactos según su riesgo de ocurrencia.....	12
Tabla 8: Caracterización de los impactos.....	13
Tabla 9: Clasificación de impactos según su significatividad en función de índice VIA.....	14
Tabla 10: Determinación de los índices VIA de cada impacto.....	15
Tabla 11: Valoración de los impactos en función del VIA neto.....	16

1 INTRODUCCIÓN

Según el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, sólo deberán someterse a una evaluación de impacto ambiental en la forma prevista en esta ley, cuando así lo decida el órgano ambiental en cada caso, los siguientes proyectos:

- a) Los proyectos públicos o privados consistentes en la realización de las obras, instalaciones o de cualquier otra actividad comprendida en el anexo II.
- b) Los proyectos públicos o privados no incluidos en el anexo I que pueda afectar directa o indirectamente a los espacios de la Red Natura 2000.

Este proyecto se encuentra del grupo 8, proyectos de ingeniería hidráulica y de gestión del agua. Concretamente se encuentra en el apartado e de este grupo, dónde se engloban las instalaciones de desalación o desalobración de agua con un volumen nuevo o adicional superior a 3.000 m³/día. Por tanto según esta ley, este proyecto deberá someterse a un EsIA.

Esta ley tiene por objeto establecer el régimen jurídico aplicable a la evaluación de impacto ambiental de proyectos consistentes en la realización de obras, instalaciones o cualquier otra actividad comprendida en sus anexos I y II, según los términos establecidos en ella, tratando de asegurar la integración de los aspectos ambientales en el proyecto de que se trate mediante la incorporación de la evaluación de impacto ambiental en el procedimiento de autorización o aprobación de aquél por el órgano sustantivo. La evaluación del impacto ambiental identificará, describirá y evaluará de forma apropiada, en función de cada caso particular y de conformidad con esta ley, los efectos directos e indirectos de un proyecto sobre los siguientes factores:

- a) El ser humano, la fauna y la flora.
- b) El suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje.
- c) Los bienes materiales y el patrimonio cultural.
- d) La interacción entre los factores mencionados anteriormente.

Así pues, según el artículo 7 de esta ley, los proyectos que hayan de someterse a evaluación de impacto ambiental deberán incluir un estudio de impacto ambiental, cuya amplitud y nivel de detalle se determinará previamente por el órgano ambiental. Dicho estudio contendrá, al menos, los siguientes datos:

- a) Descripción general del proyecto y exigencias previsibles en el tiempo, en relación con la utilización del suelo y de otros recursos naturales. Estimación de los tipos y cantidades de residuos vertidos y emisiones de materia o energía resultantes.
- b) Una exposición de las principales alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos ambientales.
- c) Evaluación de los efectos previsibles directos o indirectos del proyecto sobre la población, la flora, la fauna, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el paisaje y los bienes materiales, incluido el patrimonio histórico artístico y el arqueológico. Asimismo, se atenderá a la interacción entre todos estos factores.

- d) Medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.
- e) Programa de vigilancia ambiental.
- f) Resumen del estudio y conclusiones en términos fácilmente comprensibles. En su caso, informe sobre las dificultades informativas o técnicas encontradas en la elaboración del mismo.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto, como se detalla más concretamente en la memoria, se ubicará en Gran Canaria, en la costa del municipio de Telde, junto al polígono de Jinámar, a una distancia de unos 9 km de Las Palmas de Gran Canaria, y alejada de núcleos de población cercanos.

Se debe considerar además, que esta zona, establecida por el Gobierno de Canarias en su proceso de ordenación del territorio como zona urbanizable, no conserva su estado natural inicial, por lo que el impacto no es tan marcado como el que se podría producir en otra zona de la isla, en general con una riqueza natural innegable.

En cuanto a la fase de ejecución del proyecto, será necesario en primer lugar, la construcción de la nave que albergará el proyecto, así como la instalación en el mar de la torre toma de agua, el inmisario submarino y el emisario de salmuera. En esta fase deberemos considerar principalmente los movimientos de tierra realizados y las modificaciones realizadas en el ecosistema marino. En cuanto a las modificaciones del ecosistema marino, durante la instalación de los elementos necesarios para la ejecución del proyecto, en principio se considerarán mínimos, ya que la instalación de estos elementos, ya de por sí por criterios de diseño, han de situarse lo más alejadas posible de ecosistemas marinos, con una gran biodiversidad, que puedan llegar a colonizarlos.

Durante la fase de explotación, la actividad que se realizará se recoge en el “ANEXO III”. En éste se detallan los recursos utilizados, el proceso realizado, así como las características de los vertidos, tanto cualitativas como cuantitativas.

3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

3.1 Alternativa cero

La alternativa cero, o de no actuación, contempla la no instalación del proyecto. Esta actuación supondría no disponer de un abastecimiento suficiente de agua potable para la población del municipio lo que se traduce en un mayor gasto de abastecimiento de estas características.

Además también conllevaría una mayor explotación de los pozos, ya de por sí sobreexplotados, conllevando un mayor deterioro de la situación ambiental de la zona. Este tipo de extracción, además, conlleva un encarecimiento por m³ de este recurso, que no solo debe abastecer a la población de la isla, sino también a todo el turismo que esta zona atrae.

3.1 Realización del proyecto

La instalación de esta planta aportaría un volumen significativo de agua potable para la población de la zona, que ya de por sí posee un alto déficit hídrico, y una densidad poblacional considerable.

Además, se conseguiría liberar a la zona de una excesiva sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos, que además de dañar significativamente al entorno natural, produce un encarecimiento del precio de este recurso, debido a la continua necesidad de construcción de pozos cada vez más profundos. No obstante, toda actuación produce su impacto en el medio ambiente, por lo que deberá estudiarse más detenidamente esta alternativa.

4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

En este apartado se relacionan las distintas actividades que se realizarán, tanto en la fase de construcción como de explotación de la planta desaladoras, y su impacto o no sobre los distintos factores ambientales.

Para ello se ha elaborado una matriz de relación causa-efecto, basándonos en la matriz desarrollada por Leopold en 1971. Consiste en una tabla de doble entrada donde se establecen las acciones a realizar en filas, correspondiendo las columnas a los factores ambientales más relevantes, en la cual se marcarán las interacciones más relevantes. Esta se expone a continuación:

ACCIONES	FACTORES AMBIENTALES																	
	MEDIO FÍSICO										MEDIO BIÓTICO			MEDIO SOCIOECONÓMICO-CULTURAL				
	ATMÓSFERA		GEOMORFOLOGÍA		EDAFOLOGÍA	HIDROLOGÍA			CLIMA	PERCEPTUAL	TERRESTRE	MARINO		SOCIOECONÓMICO			SOCIOCULTURAL	
	Aire	Ruido	Terrestre	Marina	Suelo	Superficial	Subterránea	Marina	Clima	Paisaje	Fauna	Flora	Ecosistema	Población	Economía	Infraestruct.	Ordenación	Patrimonio natural
FASE DE CONSTRUCCIÓN																		
Excavaciones	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X				X	X
Movimiento de tierra	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X					
Movimiento de maquinaria	X	X	X		X	X		X		X	X	X	X		X		X	
Transporte de materiales	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X		X		X	
Generación de residuos						X	X	X			X	X					X	
Construcción planta		X					X		X	X	X		X	X		X	X	
Construcción estructuras sumergidas				X								X						
Construcción instalaciones auxiliares		X				X			X	X	X		X			X	X	
Contratación mano de obra													X	X				
FASE DE EXPLOTACIÓN																		
Presencia de la planta									X								X	
Captación agua de mar																		
Vertido de salmuera							X					X						
Aportación de agua potable al sistema de abastecimiento													X	X				
Contratación de personal													X	X				
Funcionamiento de la planta		X											X	X	X			
Riesgo accidental de vertidos					X	X		X			X	X						

Tabla 1: Matriz de identificación de interacciones

5 CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS

5.1 Descripción de impactos

Una vez identificadas las interacciones que se producen entre las acciones y los factores del medio, procedemos a describir cada uno de los impactos que producen sobre cada factor. Estos impactos se enuncian a continuación:

MEDIO FÍSICO:

1. Calidad del aire: Emisiones de polvo y emisiones de contaminantes durante la fase de construcción.
2. Ruido: Ruido de máquinas durante la fase de construcción. Ruido de los equipos de procesado de agua salada durante la fase de explotación.
3. Geomorfología terrestre: Cambio de la morfología terrestre durante la fase de construcción.
4. Geomorfología marina: Cambio de la morfología marina durante la fase de construcción.
5. Suelo: Cambio de la estructura del suelo, ya sea por eliminación de horizontes (o parte de ellos) y compactación, durante la fase de construcción. Riesgo de posible contaminación salina durante la fase de explotación.
6. Aguas superficiales: Cambio de los flujos de escorrentía debido a las modificaciones de la morfología del terreno y posible contaminación con sedimentos durante la fase de construcción. Riesgo de posible contaminación salina que afectará a las características del agua de escorrentía durante la fase de explotación.
7. Aguas subterráneas: Modificación de los flujos de permealidad durante la fase de construcción y de explotación. Posible riesgo de contaminación salina de estos flujos durante la fase de explotación.
8. Aguas marinas: Posible contaminación con residuos durante la construcción. Vertido de salmuera constante durante la explotación.
9. Clima: Emisiones de CO₂ de las máquinas durante la fase de construcción
10. Paisaje: Movimientos de tierras, excavaciones y presencia de construcciones durante la fase de construcción. Presencia de la planta durante la fase de explotación.

MEDIO BIÓTICO:

1. Fauna terrestre: Destrucción de hábitats y molestias durante la fase de construcción.
2. Flora terrestre: Deterioro de la flora y eliminación de parte de ésta durante la fase de construcción. Posible riesgo de contaminación salina del suelo que las nutre.
3. Ecosistemas marinos: Eliminación de alguna comunidad durante la fase de construcción. Modificaciones físico-químicas de las aguas marinas que afectarán a estos ecosistemas, tanto durante la fase de construcción como durante la fase de explotación.

MEDIO SOCIOECONÓMICO:

1. Economía: Aumento de la necesidad de mano de obra y aumento del consumo de productos de la zona durante la fase de construcción. Abastecimiento de agua potable, aumento de la necesidad de mano de obra y consumo en la zona, durante la fase de explotación.
2. Población: Mayor número de ofertas de trabajo y aumento de las ventas en la zona, a pesar de generación de molestias a la población debido a las obras durante la fase de construcción. Aumento de la ofertas de trabajo y mayor disponibilidad de agua potable (en principio a un precio menor), durante la fase de explotación.
3. Infraestructuras: Deterioro de la red de carreteras debido al aumento de circulación de turismos y vehículos pesados durante la fase de construcción. Deterioro de las redes de carreteras por aumento del tráfico durante la fase de explotación.

MEDIO SOCIOCULTURAL:

1. Ordenación: Modificación del registro parcelario y uso del territorio, tanto durante la fase de construcción como de explotación.
2. Patrimonio natural: Alteración del patrimonio natural de la zona durante la fase de construcción.
3. Patrimonio artístico: No se produce impacto sobre ningún elemento de estas características
4. Patrimonio arqueológico: Posible, pero improbable, alteración del patrimonio arqueológico de la zona.

5.2 Caracterización cualitativa de impactos

A partir de este listado de impactos, se procede a caracterizarlos cualitativamente. Esta caracterización es bastante subjetiva, por lo que previamente definiremos los parámetros a caracterizar para realizarla de la forma más objetiva posible.

A cada caracterización le corresponderá una valoración cuantitativa, que posteriormente utilizaremos para determinar el impacto global del proyecto, basándonos en el método de los criterios relevantes integrados:

a) Carácter del impacto:

Carácter	Descripción	Valor
Positivo	La alteración del factor produce una mejora respecto a su condición original.	+
Negativo	La alteración del factor reduce su calidad respecto a su condición original.	-

Tabla 2: Clasificación de impactos según su carácter.

b) Intensidad del impacto:

Intensidad	Descripción	Valor
Baja	Grado de alteración pequeño. La condición original de la componente prácticamente se mantiene.	1
Media	Grado de alteración implica cambios respecto a la original, pero dentro de un rango aceptable	5
Alta	Grado de alteración significativo respecto a su condición original	10

Tabla 3: Clasificación de impactos según su intensidad.

c) Extensión del impacto:

Extensión	Descripción	Valor
Puntual	El efecto se localiza dentro del área en que se produce el impacto	1
Local	El efecto no solo se localiza dentro del área de la fuente de impacto, sino que también afecta a parte del terreno del proyecto	5
Extenso	El impacto afecta a un área mayor que la superficie del proyecto	10

Tabla 4: Clasificación de impactos según su extensión.

d) Duración del impacto:

Duración	Descripción	Valor
< 5 años	Corto plazo	1
5 a 10 años	Medio plazo	5
> 10 años	Largo plazo	10

Tabla 5: Clasificación de impactos según su duración.

e) Reversibilidad del impacto:

Reversibilidad	Descripción	Valor
Reversible CP	Reversibilidad alta. Reversibilidad inmediata o a corto plazo	1
Reversible MP	Reversibilidad media. Reversible a medio plazo	5
Reversible LP	El impacto puede ser reversible a muy largo plazo y con un alto coste económico	8
Irreversible	Reversibilidad baja o irrecuperable	10

Tabla 6: Clasificación de impactos según su reversibilidad.

e) Probabilidad del impacto:

Riesgo	Descripción	Valor
Bajo	El factor tiene una probabilidad de ocurrencia menor a un 10 %	1
Medio	El factor tiene una probabilidad de ocurrencia de entre un 10 % y un 50 %	5
Alto	El factor tiene una probabilidad de ocurrencia mayor al 50 %	10

Tabla 7: Clasificación de impactos según su riesgo de ocurrencia.

Una vez establecidos los criterios de caracterización, procedemos a caracterizar cada uno de los impactos descritos en el apartado anterior:

5.3 Evaluación de impactos

Una vez caracterizados los impactos, procedemos a valorar su impacto. Para ello, utilizando las tablas del apartado anterior, procedemos a transformar la valoración cualitativa en una cuantitativa.

Mediante estos valores cuantificaremos la magnitud del impacto (basada en el carácter, intensidad, duración y extensión de este), y a partir de la magnitud del impacto, su reversibilidad y su riesgo de ocurrencia, valoraremos la significatividad de cada uno de ellos, y del proyecto global, mediante el índice VIA (valor del impacto ambiental), tal y como determina el método en que nos estamos basando.

Para el cálculo de la magnitud del impacto, utilizaremos la fórmula que se indica a continuación. En ella, además de incluir los parámetros anteriormente mencionados, los factores W, determinan el peso que se le da a cada parámetro:

$$M = \pm [(Intensidad \times W_I) + (Extensión \times W_E) + (Duración \times W_D)]$$

Posteriormente, mediante el valor de la magnitud de cada impacto, la reversibilidad del impacto en cuestión, y su riesgo de ocurrencia, calcularemos el índice VIA para cada uno de los impactos. Al igual que en el caso anterior, le asignaremos un peso a cada parámetro

$$VIA = [(IMI^{WM}) \times (Rv^{WRv}) \times (Rg^{WRg})]$$

Una vez se calculen los índices de valoración de impacto ambiental, se puede conocer la significatividad del impacto en función del valor obtenido mediante la siguiente tabla:

VIA	SIGNIFICATIVIDAD
< 2	No significativo
2 a 4	Poco significativo
4 a 6	Medianamente significativo
6 a 8	Significativo
> 8	Muy significativo

Tabla 9: Clasificación de impactos según su significatividad en función de índice VIA

En la tabla siguiente se muestra el valor del índice obtenido para cada uno de los impactos descritos y valorados. En rojo se muestran los impactos negativos y en verde los impactos positivos. También se ha realizado el cálculo de estos índices para el impacto global sobre el medio, físico y biótico, y sobre la sociedad, tanto por separado como globalmente para el proyecto. Este cálculo se realizará mediante la media de los valores que correspondan, dando igual de importancia a todos los impactos, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Descripción del factor			Valoración							
Factor afectado	Fase	Impacto	Carácter	Intensidad	Extensión	Duración	Magnitud	Reversibilidad	Riesgo	VIA
MEDIA DEL IMPACTO SOBRE EL MEDIO										2,8
C. Aire	FC	Emisión de polvo	-	5	10	1	5,3	1	5	2,7
	FC	Emisión de contaminates	-	5	10	1	5,3	1	10	3,3
Ruido	FC	Ruido máquinas	-	5	10	1	5,3	1	5	2,7
	FE	Ruido equipos	-	1	10	10	6,4	1	10	3,5
Geomorf. Terrestre	FC	Excavaciones	-	1	1	10	3,7	1	10	3,0
	FC	Modificación	-	1	5	1	2,2	1	5	2,1
Geomorf. Marina	FC	Modificación	-	1	1	10	3,7	10	10	7,4
Suelo	FC	Compactación	-	1	5	1	2,2	1	5	2,1
	FC	Modificación horizontes	-	1	1	10	3,7	1	10	3,0
	FC	Riesgo contaminación	-	5	10	1	5,3	1	1	1,6
	FE	Posible contaminación salina	-	1	5	10	4,9	1	1	1,6
Aguas Superficiales	FC/FE	Modificación escorrentía	-	1	1	10	3,7	10	5	6,0
	FC	Riesgo contaminación	-	1	5	1	2,2	1	1	1,3
	FC	Riesgo contaminación salina	-	1	1	10	3,7	1	1	1,5
Aguas Subterráneas	FC/FE	Modificación flujo permealdo	-	1	1	10	3,7	10	5	6,0
	FE	Riesgo contaminación salina	-	1	5	10	4,9	1	1	1,6
Aguas Marinas	FC	Riesgo contaminación	-	5	10	1	5,3	1	5	2,7
	FE	Vertido de salmuera	-	1	10	10	6,4	1	10	3,5
Clima	FC	Emissiones de CO2	-	5	10	1	5,3	1	10	3,3
Paisaje	FC	Excavaciones	-	1	1	1	1	1	10	2,0
	FC	Presencia estructuras	-	1	5	1	2,2	1	10	2,5
	FE	Presencia planta	-	5	5	10	6,5	1	10	3,5
Fauna terrestre	FC	Destrucción de habitats	-	1	1	1	1	1	1	1,0
	FC	Molestias	-	1	5	1	2,2	1	1	1,3
Flora terrestre	FC	Deterioro/eliminación	-	1	1	10	3,7	1	5	2,4
	FE	Riesgo modificación habitat	-	1	5	10	4,9	1	1	1,6
Ecosistemas acuáticos	FC	Eliminación comunidades	-	1	1	1	1	1	5	1,6
	FE	Alteración Físicoquímica agua	-	5	10	10	8	1	10	3,7
MEDIA DEL IMPACTO SOBRE LA SOCIEDAD										5,2
Economía	FC	Aumento consumo	+	5	10	1	5,3	1	5	2,7
	FC	Aumento mano de obra	+	5	5	1	3,8	1	10	3,0
	FE	Abastecimiento agua potable	+	10	10	10	10	8	10	9,1
	FE	Aumento consumo	+	1	10	10	6,4	8	5	6,5
	FE	Aumento mano de obra	+	5	5	10	6,5	8	10	8,0
Población	FC	Aumento oferta laboral	+	5	5	1	3,8	1	10	3,0
	FC	Aumento ventas	+	5	10	1	5,3	1	5	2,7
	FC	Molestias	-	5	10	1	5,3	1	10	3,3
	FE	Aumento oferta laboral	+	1	5	10	4,9	8	10	7,4
	FE	Aumento ventas	+	1	10	10	6,4	8	5	6,5
	FE	Mayor disponibilidad agua	+	10	10	10	10	8	10	9,1
Infraestructuras	FC	Deterioro	-	5	10	10	8	5	10	7,1
	FE	Deterioro	-	1	5	10	4,9	5	1	3,1
Ordenación	FC	Modificación	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Patrimonio natural	FC	Deterioro	-	1	5	1	2,2	1	1	1,3
Patrimonio arqueológico	FC	Daños	0	0	0	0	0	0	0	0,0
	FC	Hallazgos	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Patrimonio artístico	FC	Daños	0	0	0	0	0	0	0	0,0
IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO										3,6
IMPACTO NETO DEL PROYECTO										-0,8

Tabla 10: Determinación de los índices VIA de cada impacto

Como se aprecia en la tabla, el impacto medio que tendrá la planta sobre el medio, físico y biótico, será un **IMPACTO POCO SIGNIFICATIVO** ya que el valor del índice VIA es de 2,8. Esto es debido principalmente a que la planta se encuentra en una zona ya de por sí alterada, donde las acciones no modifican en gran medida el estado inicial de la zona.

El impacto sobre la sociedad del proyecto, con un índice de 5,2 será **MEDIANAMENTE SIGNIFICATIVO**. Esto quiere decir que la instauración de una planta de estas características en la zona afectará en cierta medida a la sociedad. No obstante este criterio de valoración no considera si estos efectos son positivos o negativos.

Si consideramos el impacto global del proyecto, valorando este impacto tanto por su efecto sobre el medio, como su efecto sobre la sociedad, será un IMPACTO POCO SIGNIFICATIVO (VIA = 3,5), pero las actuaciones sí que afectan al medio en cierta medida.

No obstante, **valorando el carácter de cada impacto**, ya sea positivo o negativo, con sus respectivos signos, se puede observar el impacto neto del proyecto. Para ello se utilizará la escala de valoración de la siguiente tabla:

VIA (neto)	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN CUALITATIVA
>2	Las acciones del proyecto generan un impacto marcadamente positivo sobre el medio que lo rodea	BENEFICIOSO
0 a 2	Los impactos positivos que las acciones del proyecto provocan, son mayores que los impactos positivos que este genera	FAVORABLE
0	Los impactos negativos del proyecto se compensan con los impactos positivos que este genera	COMPATIBLE
0 a -2	Los impactos negativos del proyecto son mayores que los positivos, pero la ejecución del proyecto es aceptable	MODERADO
-2 a -4	Los impactos negativos son mucho mayores que los positivos por lo que habría que estudiar la alternativa zero.	SEVERO
< -4	Los impactos negativos son marcadamente superiores a los positivos. Habría que estudiar seriamente la alternativa zero.	CRÍTICO

Tabla 11: Valoración de los impactos en función del VIA neto.

Como podemos observar en la tabla 10, el impacto neto del proyecto es de un índice de -0,8. Esto quiere decir que los impactos positivos que provoca la instauración del proyecto, prácticamente compensan los negativos que esta produce. Por tanto, el impacto global del proyecto será un **IMPACTO COMPATIBLE-MODERADO**.

A pesar de los impactos negativos que la instauración de la planta generará sobre el medio físico y biótico, que son poco significativos, aportará un gran valor a la economía de la zona, generando puestos de trabajo, directos e indirectos, y aportando un abastecimiento de agua a una zona con un alto déficit hídrico. Además, aunque no se encuentra incluido en la valoración del impacto, utilizar este sistema de abastecimiento de agua, liberará a la isla de parte de la sobreexplotación de los acuíferos.

6 MEDIDAS

Una vez identificados y valorados los impactos, se procede a describir las medidas que se implantarán para prevenir y corregir, en la medida de lo posible, los impactos generados sobre el medio. Las medidas preventivas y correctoras que se implantarán serán:

6.1 Medidas preventivas

De carácter general

- Marcaje del área afectada por la obra.
- Cumplimiento de los requerimientos técnicos de los equipos mecánicos.
- Aplicación de buenas prácticas ecológicas relativas al tratamiento de los materiales y de los elementos que intervienen en la obra.
- Gestión de todos los residuos sólidos y líquidos producidos durante las obras y durante la fase de explotación.

Sobre el medio físico

- Entrada del efluente al mar evitando el contacto con el sedimento.
- Riego de la calzada de rodadura de la maquinaria y sistema foliar.
- Insonorizados en sus elementos principales (silenciadores) y materiales de construcción aislantes sobre los elementos emisores de origen mecánico.
- Control de los niveles de emisión e inmisión sonora de la maquinaria e instalaciones.
- Limpieza de los terrenos durante la fase de construcción.
- Características adecuadas del sistema de extracción tanto del material que conforma el afloramiento rocoso como el sustrato blando que provoquen la menor resuspensión posible de sedimentos al medio.
- Adoptar medidas de acondicionamiento del terreno durante la excavación de zanjas y colocación de tuberías, movimiento de tierras y construcción de la planta desaladora.
- Evitar la ocupación de dominio público hidráulico.
- Gestión de las aguas sanitarias que se produzcan en las instalaciones.
- Elaboración de un Plan de Emergencia que contemple el modo de proceder en el caso de que se produzcan vertidos accidentales.

Sobre el medio biótico

- Mantenimiento y potenciación de la vegetación de la zona.
- Disminuir la velocidad de los vehículos.
- Restauración vegetal en las áreas afectadas por las obras (restauración del ecosistema)

Sobre el clima

- Utilización de maquinaria adecuada para minimizar las emisiones de CO₂.

Sobre el paisaje

- Localización de un parque de maquinaria.

Sobre el medio socioeconómico

- Control de posibles hallazgos de restos en yacimientos no catalogados
- Campaña de información a la población sobre las actividades de obra a realizar.
- Estudio del emplazamiento de las infraestructuras temporales y del acceso a obras, con objeto a minimizar las molestias por ruido sobre la población.

6.2 Medidas correctoras

Sobre el medio físico

- Descompactación de caminos nuevos de tierra utilizados, una vez finalizadas las obras.
- Limpieza y restitución de los suelos contaminados, en caso de producirse un derrame accidental de productos químicos o salmuera.
- Restitución de la superficie afectada por las excavaciones tras la finalización de las obras.

Sobre el medio biótico

- Sustitución de los sistemas de protección que hayan sufrido deterioro.
- Minimizar la contaminación lumínica de las instalaciones.
- Mantenimiento de las actuaciones de revegetación.

Sobre el paisaje

- Reducir el impacto visual de los acabados de las obras, en las restauraciones y construcciones.

- Continuar con las permanencias formales del espacio y garantizar una buena inserción paisajística.

- Integración en el paisaje del edificio de la desaladora, el depósito y la estación de impulsión.

7 PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

El Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) se realiza para evaluar la aplicación de las medidas preventivas y correctoras y verificar que se realizan correctamente que son eficaces. Además el PVA sirve para analizar el grado de ajuste entre el impacto que teóricamente generará la actuación, y el impacto real producido durante la ejecución de la obra o durante la fase de explotación. Para ello se realizarán una serie de acciones y controles:

7.1 Durante la fase de construcción

- El equipo de asistencia técnica medioambiental verificará que la ejecución de la obra se ajusta al EslA.
- Supervisión del trazado de los caminos de la obra.
- Control de la ubicación y uso que se haga de instalaciones, almacenes y maquinaria de obra. Emisiones de ruido y gases de combustión se ajustarán a la normativa.
- Control del abastecimiento de agua en la obra. Vigilar que el consumo de agua se ajuste a las necesidades reales y no se desaprovecha agua de forma innecesaria.
- Control de las obras de drenaje superficial. Se vigilará que durante el movimiento de tierras y construcción de los elementos del proyecto, no se produzcan modificaciones sustanciales de las redes y sistemas de drenaje natural. Se vigilará la correcta ejecución de las obras de drenaje.
- Control de la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. En el caso de que se produzcan se determinará su importancia.
- Vigilancia del patrimonio histórico-artístico y comprobar la no aparición de elementos arqueológicos.
- Control de los materiales utilizados en el proyecto.
- Vigilancia de las operaciones de plantación de vegetación, y seguimiento y control de las mismas.
- Alertar al personal que esté aplicando incorrectamente las medidas, e identificación de la actuación causante del impacto, elemento del medio afectado y las medidas adoptadas para la minimización de las afecciones.

7.2 Durante la fase de explotación

- Seguimiento detallado de las labores de siembra, plantación y mantenimiento, si procediese.
- Control de la gestión, destino y retirada de residuos de lubricantes, combustibles y otros productos químicos utilizados en las instalaciones.
- Inspección del tramo sumergido de la conducción y de sus principales elementos en lo referente a posibles roturas, corrimientos, fisuras y descalces de las tuberías.
- Muestreo del efluente: determinación de los equipos, lugares, frecuencia y parámetros de muestreo.
- Calibrar y validar el modelo de dilución del vertido. Realización de muestreos mensuales.
- Control de la calidad del medio receptor del efluente.
- Muestras de sedimento superficial, análisis físico-químico y biológico. Determinación de las estaciones de muestreo (3 estaciones sobre la misma cota batimétrica. Una en la zona de influencia directa del vertido (a distancia <20 m). Otra a unos 50 m en el sentido de la corriente predominante. Otra a unos 100 m fuera del área de influencia.
- Seguimiento de la influencia del vertido hipersalino sobre los ecosistemas marinos presentes en la zona y su evolución.

Además el Plan de Vigilancia Ambiental contempla y controla la emisión de informes. Durante la obra se emitirán informes quincenales, cuyo contenido será: propuestas y recomendaciones que se estimen necesarias. Desbroce y eliminación de la cubierta vegetal en la zona de actuación, así como la recuperación y mantenimiento de tierra vegetal. Actuaciones relativas al mantenimiento de la permeabilidad territorial en carreteras y viales. Actuaciones en relación con la protección del sistema hidrológico. Actuaciones en relación con la protección de ecosistemas. Residuos procedentes del mantenimiento de la maquinaria y su gestión. Residuos derivados del funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones. Señalización de las zonas a proteger, estado de la misma y labores de reposición si fuese necesario. Disposición de la vegetación implantada y labores de mantenimiento. Nuevos problemas ambientales detectados y medidas adoptadas.

Se emitirá un informe especial cuando se presenten circunstancias o sucesos excepcionales. Y en el caso de que sea necesario se replanteará el PVA.

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El proyecto consiste en la construcción de una desaladora de agua de mar, la cual producirá 50.000 m³ de agua tratada al día. La planta se situará en Gran Canaria, más concretamente, en la costa norte del municipio de Telde (junto al polígono de Jinámar). La construcción de esta desaladora es necesaria puesto que existe un gran déficit hídrico en la zona, y los acuíferos ya sufren una sobreexplotación. El agua producida será utilizada para el abastecimiento de las poblaciones y del turismo de la zona.

En el caso de no llevar a cabo el proyecto, la zona seguiría sufriendo déficit hídrico, lo que conllevaría grandes consecuencias negativas tanto socioeconómicas como medioambientales.

La planta producirá una serie de impactos en los diferentes aspectos del medio, producidos por las acciones que se llevarán a cabo tanto en la fase de construcción como en la de explotación. Los impactos más destacables son: la afección al medio marino (tanto la geomorfología como la hidrología y la biocenosis) y al terreno (cambio morfología, deterioro de la vegetación, y del paisajes...), sin olvidar los impactos positivos que provocará sobre la economía y la población, e indirectamente, sobre los acuíferos naturales.

Cada uno de los impactos parciales se caracteriza y valora cualitativa y cuantitativamente, ponderándolos en función de la importancia de cada aspecto sobre el medio. Una vez obtenidos los valores de cada impacto parcial ponderado, se suman y se obtiene el valor del Impacto Global del Proyecto que es **COMPATIBLE-MODERADO**.

Para disminuir aún más los impactos que las acciones provocan en el medio, y para evitar que se produzcan otros, se prevé un plan de medidas correctoras y preventivas. Dentro de estas medidas se diferencian las que se llevan a cabo durante la fase de construcción y la fase de explotación, además, para cada aspecto del medio se aplicaran unas medidas u otras.

Para verificar que el plan de medidas se lleva a cabo correctamente, y que realmente las medidas son efectivas, se diseña un Plan de Vigilancia Ambiental, en el cual se contemplan una serie de acciones y controles a lo largo de toda la construcción del proyecto y de toda la fase de explotación de la planta. Gracias a este PVA, también se controla que no se produzcan otros impactos que no se hayan contemplado previamente en el EslA.

En efecto, la alteración de cualquier tipo del medio ya sea biótico o abiótico, genera algún tipo de impacto, pero es necesario valorar mediante un riguroso método, la afección que dichos impactos pueden tener sobre el medio. Además gracias a las medidas correctoras y preventivas, y al buen diseño de un PVA, los impactos se ven claramente disminuidos, haciendo totalmente compatible llevar a cabo muchos proyectos.

UPNA

ESTUDIO CON ENTIDAD PROPIA II

ESTUDIO DE SEGURIDAD

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 ESTUDIO DE SEGURIDAD.....	3
2.1 Estudio cualitativo HAZOP.....	3
2.2 Sistemas de protección.....	5
2.2.1 Sistema de lucha contra incendios.....	5
2.2.2 Protección personal.....	6

1 INTRODUCCIÓN

La planta funcionando bajo las condiciones de diseño no presenta grandes riesgos, ya que ni las materias utilizadas en el proceso ni las condiciones en que este se lleva a cabo presentan grandes factores de riesgo.

2 ESTUDIO DE SEGURIDAD

2.1 Estudio cualitativo HAZOP

Para realizar un estudio cualitativo de seguridad en la planta basado en el análisis funcional de operatividad de la misma, se ha utilizado la técnica "HAZOP", (HAZard and OPerability.)

El HAZOP es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operatividad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. Por tanto, ya se aplique en la etapa de diseño, como en la etapa de operación, la sistemática consiste en evaluar, en líneas y sistemas las consecuencias de posibles desviaciones en todas las unidades de proceso, tanto si es continuo como discontinuo. La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas "palabras guía".

El método surgió en 1963 en la compañía Imperial Chemical Industries, ICI, que utilizaba técnicas de análisis crítico en otras áreas. Posteriormente, se generalizó y formalizó, y actualmente es una de las herramientas más utilizadas internacionalmente en la identificación de riesgos en una instalación industrial.

La realización de un análisis HAZOP consta de las etapas que se describen a continuación:

- Definición del área de estudio
- Definición de nudos o puntos de estudio
- Aplicación de palabras guía
- Definición de las desviaciones a estudiar
- Sesiones "HAZOP"
- Informe final con los resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras aplicar la técnica en el nodo seleccionado, considerado el más crítico del proceso considerando las principales variables que pueden afectar al proceso:

Planta: Desaladora de agua marina de Telde				
Línea de abastecimiento a BAP				
Palabra	Desviación	Causas posibles	Consecuencias	Medidas a tomar
NO	No caudal	Fallo en el bombeo de agua filtrada	Parada del proceso	Instalar alarma de caudal mínimo Realizar mantenimiento correcto de las bombas de agua filtrada
			Sobrecarga de las bombas de alta presión	Instalar sistema de desconexión automática para protección de bombas Instalar alarma de caudal mínimo Realizar mantenimiento correcto de las bombas de agua filtrada
		Rotura de tuberías	Parada del proceso	Instalar alarma de caudal mínimo
			Parada del proceso	Realizar inspecciones regulares de tuberías
			Sobrecarga de las bombas de alta presión	Instalar alarma de caudal mínimo Instalar sistema de desconexión automática para protección de bombas Realizar inspecciones regulares de tuberías
		Bloqueo de válvulas	Parada del proceso	Instalar alarma de caudal mínimo Realizar mantenimiento correcto de válvulas
			Sobrecarga de las bombas de alta presión	Instalar alarma de caudal mínimo Instalar sistema de desconexión automática para protección de bombas
		Fallo en el control de válvulas del PLC	Parada del proceso	Instalar alarma de caudal mínimo
			Sobrecarga de las bombas de alta presión	Instalar alarma de caudal mínimo Instalar sistema de desconexión automática para protección de bombas
		Depósito de agua filtrada vacío	Parada del proceso	Instalar alarma de bajo nivel del agua filtrada
			Sobrecarga de las bombas de alta presión	Instalar sistema de desconexión automática para protección de bombas
		MAS	Más presión	Aumento nivel tanque agua filtrada
Más temperatura	Fuegos exteriores		Disminución de la calidad del producto	Instalar control de temperatura alta
Más caudal	Fallos en el PLC, excesivo bombeo		Disminución de la calidad del producto	Instalar alarma de caudal alto
Más pH	Variación de condiciones del agua de alimentación		Deterioro de las membranas	Instalar alarma pH alto
MENOS	Menos presión	Fallo en el bombeo de agua filtrada	Disminución de la calidad del producto	Instalar alarma de baja presión
	Menos caudal	Nivel de agua filtrada demasiado bajo	Cavitación de agua en bombas de alta presión	Realizar mantenimiento correcto de las bombas de agua filtrada Instalar alarma de bajo nivel del agua filtrada
			Disminución de la calidad del producto	Instalar alarma de bajo nivel del agua filtrada
	Menos caudal	Fallo en el sistema de válvulas	Cavitación de agua en bombas de alta presión	Realizar mantenimiento correcto de válvulas Instalar alarma de caudal mínimo
			Disminución de la calidad del producto	Realizar mantenimiento correcto de válvulas Instalar alarma de caudal mínimo
	Menos caudal	Fallo en el bombeo de agua filtrada	Cavitación de agua en bombas de alta presión	Instalar alarma de caudal mínimo Realizar mantenimiento correcto de las bombas de agua filtrada
			Disminución de la calidad del producto	Instalar alarma de caudal mínimo Realizar mantenimiento correcto de las bombas de agua filtrada
	Menos caudal	Fuga en tuberías	Disminución de la producción	Instalar alarma de caudal mínimo Realizar inspecciones regulares de tuberías
				Disminución de la producción
	Menor calidad agua filtrada	Fallo calidad filtrado	Deterioro de las membranas	Realizar mantenimiento correcto de los equipos de filtrado Realizar inspecciones regulares de los sistemas de filtrado
Realizar mantenimiento correcto de los equipos de filtrado Realizar inspecciones regulares de los sistemas de filtrado				
ADEMÁS DE	Presencia de sales superior a la esperada	Variación de agua de alimentación natural	Disminución calidad del producto	Instalar alarma de alta conductividad
	Presencia de cloro	Variación de agua de alimentación OI	Deterioro de las membranas	Instalar alarma de alto potencial redox

Tabla 1: Estudio cualitativo HAZOP de la línea de abastecimiento de las BAP

2.2 Sistemas de protección

En la planta se disponen de diferentes sistemas y equipos de protección con tal de garantizar la seguridad de las instalaciones y del personal de la misma.

Así mismo, la planta está dotada con salidas de emergencia ya existentes en la planta y dispone de un plan de emergencia interior que cumple con la normativa vigente y dada la situación de los nuevos equipos instalados en la planta, es válido para el nuevo proceso una vez se le realicen las modificaciones y puntualizaciones existentes.

Los planes de emergencia son de obligado cumplimiento por los trabajadores de la planta, los cuales deben estar instruidos y conocer en todo momento los pasos a seguir en caso de emergencia.

2.2.1 Sistema de lucha contra incendios

-Detectores de incendios: La planta dispone de un sistema de detección de incendios repartidos por todas las áreas de trabajo y reforzado en aquellas donde existen más posibilidades de producirse como es el caso de las áreas donde se encuentran situados los motores eléctricos.

-Agua contra incendios: En la planta se dispone de agua contra incendios suministrada desde los tanques de agua filtrada, producto e incluso de salmuera que puede ser utilizada en caso de emergencia y es impulsada por bombas específicas e incluso por las bombas del proceso si fuera necesario. Esta agua es suficiente para controlar los incendios que puedan producirse, pudiéndose utilizar el agua del depósito de agua filtrada de forma ilimitada manteniendo el campo de cántara en funcionamiento.

-Extintores: Para el caso en que se produzcan incendios menores en los sistemas eléctricos se dispone de extintores manuales de polvo ABC junto a cada uno de los motores.

-Aislamiento de equipos: Los equipos se encuentran situados a distancias prudenciales entre si y el resto de elementos que permiten el aislamiento local en caso de incendio de alguno de ellos evitando su propagación. A si mismo cada equipo se encuentra situado a una distancia prudencial del suelo sobre una estructura de hormigón con tal de evitar que el fuego se propague por la posible existencia de líquidos, como aceites lubricantes, que accidentalmente puedan estar derramados en el suelo de la planta.

-Cañones de agua y tomas de agua contra incendios: La planta dispone de tomas de agua de los depósitos anteriormente nombrados en las distintas conducciones existentes así como de diversos cañones de agua conectados a estas en las conducciones de agua filtrada, agua producto y alimentación de bastidores.

-Sistema de drenaje: La planta dispone de un complejo y efectivo sistema de drenaje que permite la eliminación inmediata de los posibles líquidos inflamables que puedan derramarse, a lo largo de toda la planta.

-Aislamiento de sistemas eléctricos: Los cables eléctricos existentes en la planta poseen aislamiento a prueba de fuego y deben estar enterrados siempre que sea posible a fin de evitar que sean atacados por el fuego.

2.2.2 Protección personal

Los operarios de la planta deben disponer en todo momento de todos los E.P.I., equipos de protección individual, que permita su seguridad durante la estancia en planta.

El uso de estos equipos es obligado y todos los trabajadores deben conocer sus características y normas de correcta utilización. En la zona de trabajo estos E.P.I. serán:

- Sistemas de protección acústica
- Zapatos de seguridad y aislantes
- Guantes aislantes
- Casco de seguridad
- Gafas de seguridad

Por otra parte todos los equipos dispondrán de sistemas que garanticen la seguridad del personal:

- Sistemas de aislamiento eléctrico y puestas a tierra de los equipos eléctricos.
- Sistemas de protección de partes móviles de equipos con el fin de evitar accidentes por atrapamientos.
- Sistemas de aislamiento de cableado eléctrico.
- Sistemas de aislamiento térmico en elementos que funcionan alcanzando altas temperaturas en el área expuesta al contacto, como los motores eléctricos.
- Los bastidores de ósmosis inversa llevarán instalados a cada lado una pantalla protectora de acero con el fin de evitar accidentes que podrían producirse en el caso de que uno de los tapones, tapas de tubos de presión o tubos salieran proyectados como efecto de la alta presión existente en el interior del bastidor.