



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Planta de tratamiento para la potabilización de recursos naturales contaminados con compuestos orgánicos no biodegradables

MEMORIA PRESENTADA POR:

Yessica Elizabeth Jaramillo León

TUTOR/A:

Jaime Lora García

COTUTORA:

Maria Fernanda López Perez

GRADO DE INGENIERÍA QUÍMICA

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ayudarme a terminar esta carrera.

A mis padres y mi hermano por siempre apoyarme e impulsarme a superarme.

A Sergi mi apoyo durante estos años de carrera.

A mis amigas por todas las noches que hemos pasado en el aula.

A mi profesor por la paciencia y por guiarme a lo largo de este proyecto.

Resumen:

Los contaminantes orgánicos no biodegradables son un problema medioambiental presente en los recursos naturales. Si estos contaminantes no son tratados pueden generar un daño en la salud.

En este proyecto se estudia la eliminación de los contaminantes orgánicos no biodegradables y la reducción de los niveles de nitrato presentes en el sistema de acuíferos de la Plana de Valencia Sur con el fin de que el agua obtenida sea apta para el consumo humano.

El sistema híbrido de ósmosis inversa y evaporación ambiental de los concentrados es el sistema escogido. Previo a la unidad de ósmosis inversa, el caudal de alimentación necesita un pretratamiento. Posteriormente el caudal de permeado necesita un posttratamiento antes de llegar a la red de abastecimiento.

En la unidad de ósmosis inversa se van a hacer uso de cuatro líneas de trabajo, reservando sitio para una línea auxiliar. Las variables de diseño óptimas se obtendrán mediante el uso de un software profesional.

Palabras clave: contaminantes orgánicos no biodegradables, osmosis inversa, Plana de Valencia Sur, agua potable.

Abstract:

Non-biodegradable organic pollutants are an environmental problem present in natural resources. If these pollutants are not treated, they can cause damage to health.

This project studies the elimination of non-biodegradable organic pollutants and the reduction of nitrate levels present in the Plana de Valencia Sur aquifer system to make the water obtained suitable for human consumption.

The hybrid system of reverse osmosis and environmental evaporation of the concentrates is the chosen system. Before the reverse osmosis unit, the feed flow needs pre-treatment. Afterward, the permeate flow requires post-treatment before reaching the supply network.

In the reverse osmosis unit, four lines will be used, reserving space for an auxiliary line. The optimal design variables will be obtained by professional software.

Keywords: non-biodegradable organic pollutants, reverse osmosis, Plana de Valencia Sur, potable water.

Listado de Variables

La presión osmótica: π (*bar*)

Caudal de la alimentación: Q_a (m^3 / h)

Concentración de la alimentación: C_a (kg / m^3)

Presión hidráulica de la alimentación: P_a (*bar*)

Presión osmótica en la cara de la alimentación: π_a (*bar*)

Caudal del permeado: Q_p (m^3 / h)

Concentración del permeado: C_p (kg / m^3)

Presión hidráulica del permeado: P_p (*bar*)

Presión osmótica en la cara del permeado: π_p (*bar*)

Caudal del rechazo: Q_r (m^3 / h)

Concentración del rechazo: C_r (kg / m^3)

Presión hidráulica del rechazo: P_r (*bar*)

Presión osmótica del rechazo: π_r (*bar*)

Coefficiente de permeabilidad: A ($m^3 / d \cdot m^2 \cdot bar$)

Coefficiente de recuperación: Y (%)

Porcentaje de rechazo de sales: R (%)

Porcentaje de paso de sales: P_p (%)

Factor de concentración: F_c

Flujo del solvente: J_a ($m^3 / d \cdot m^2$)

Flujo del soluto: J_s ($kg / d \cdot m^2$)

Coefficiente de permeabilidad de la membrana al soluto: B ($m^3 / d \cdot m^2$)

Concentración del soluto en la superficie de la membrana: C_m (kg / m^3)

Coefficiente de acoplamiento: M (adimensional)

Índice de contenido

1. Objetivo del proyecto.....	1
1.1 Objetivos específicos.....	1
2. Introducción al problema.....	2
2.1 Fuentes de contaminación.....	2
2.1.1 Tratamiento de aguas de origen doméstico e industrial.....	2
2.1.2 Actividad agrícola.....	3
2.1.3 Productos farmacéuticos y de cuidado personal.....	3
2.2 Consecuencias.....	4
2.3 Técnicas de tratamiento de contaminantes orgánicos no biodegradables.....	4
2.3.1 Oxidación química.....	5
2.3.2 Hidrólisis química.....	6
2.3.3 Procesos de membrana.....	7
2.3.4 Adsorción.....	8
2.3.5 Incineración de agua contaminadas.....	9
2.4 Elección.....	10
2.5 Descripción del proceso.....	10
3. Fundamento teórico de la ósmosis inversa.....	11
3.1 Ósmosis inversa.....	11
3.1 Variables de diseño para la unidad de ósmosis inversa.....	17
3.2 Equipos.....	18
3.2.1 Bomba de alta presión.....	18
3.2.2 Módulo de OI.....	20
3.2.3 Sistema de recuperación de energía.....	23
3.2.4 Controladores de presión.....	24
4. Diseño de la instalación.....	25
4.1 Características principales.....	25
4.1.1 Origen del agua contaminada.....	25
4.1.2 Características físico-químicas del agua de origen.....	26
4.1.3 Población y capacidad.....	27
4.2 Diagrama de flujo.....	29
4.3 Etapas del tratamiento.....	29
4.3.1 Captación y bombeo del acuífero.....	29
4.3.2 Tratamiento físico-químico.....	30

4.3.3 Postratamiento.....	31
4.4 Unidad de OI.....	34
4.4.1 Configuración	34
4.4.2 Variables de operación.....	35
4.4.3 Estudio del consumo energético	35
4.5 Gestión de concentrados	38
4.6 Balance de materia.....	39
5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa	41
5.1 Análisis del agua de origen.....	41
5.2 Caracterización del proceso	43
5.3 Cálculo del consumo energético	47
6. Estudio económico	50
6.1 Presupuesto	51
6.2 Estudio económico	52
7. Conclusiones.....	54
8. Referencias.....	56
9. Anexos	58
9.1 Anexo 1. Normativa de calidad de aguas.....	58
9.2 Anexo 2 Simulaciones.....	61
9.3 Anexo 3 Presupuesto y Estudio económico	74
9.4 Anexo 4 Fichas técnicas de los materiales empleados	84

Índice de figuras

FIGURA 1.1: CICLO DEL AGUA.....	2
FIGURA 1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO	10
FIGURA 3.1 PROCESOS DE FILTRACIÓN MEDIANTE GRADIENTE DE PRESIÓN.....	11
FIGURA 3.2 SISTEMA DE OI.....	12
FIGURA 3.3 SISTEMA DE OI DESDE EL PUNTO DE VISTA INDUSTRIAL	12
FIGURA 3.3 MODELO DISOLUCIÓN-DIFUSIÓN.....	14
FIGURA 3.4 TRANSPORTE DEL SOLVENTE Y DEL SOLUTO.....	15
FIGURA 3.5 MODELO DE CONCENTRACIÓN-POLARIZACIÓN.....	16
FIGURA 3.6 BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.....	19
FIGURA 3.7 BOMBA CENTRÍFUGA	19
FIGURA 3.8 MÓDULO DE PLACAS.....	22
FIGURA 3.9 MÓDULO TUBULAR	22
FIGURA 3.10 MÓDULO DE ESPIRAL	22
FIGURA 3.11 MÓDULO DE FIBRA HUECA	23
FIGURA 4.1 DIVISIÓN DE LA PLANA DE VALENCIA.....	25
FIGURA 4.2 LOCALIZACIÓN DEL AGUA DE ORIGEN	27
FIGURA 4.3 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DEPURADORA	29
FIGURA 4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	29
FIGURA 4.5 FILTRO DE CARTUCHO	30
FIGURA 4.6 ASPECTOS DEL EQUILIBRIO $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$ EN EL PROCESO DE REMINERALIZACIÓN.	32
FIGURA 4.7 CURVA DE IONIZACIÓN DEL HClO EN FUNCIÓN DEL PH A 20°C.....	34
FIGURA 4.8 CONFIGURACIÓN DE LA OI	35
FIGURA 4.9 TIPOS DE MEMBRANAS DE OI	36
FIGURA 4.10 EVAPORACIÓN AMBIENTAL.....	39
FIGURA 4.11 BALANCE DE MATERIA CON DOS ETAPAS PARA UNA MEMBRANA ESPA2-LD MAX AL 85% DE CONVERSIÓN	40
FIGURA 5.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE ORIGEN	41
FIGURA 5.2 TIPOS DE AGUA	42
FIGURA 5.3 LÍMITES DE DISEÑO	43
FIGURA 5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO IMSDESIGN	44
FIGURA 5.5 RESULTADOS DEL CÁLCULO CON IMSDESIGN	46
FIGURA 5.6 CÁLCULO DE LA POTENCIA CON IMSDESIGN.	48

Índice de tablas

TABLA 3.1 COMPARACIÓN DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	20
TABLA 3.2 COMPARACIÓN DE LOS MÓDULOS DE OI	21
TABLA 3.3 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA	24
TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA DE ORIGEN	26
TABLA 4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS FÁRMACOS	27
TABLA 4.3 CAPACIDAD DE LA PLANTA DE OI	28
TABLA 4.4 TÉCNICAS DE REMINERALIZACIÓN	32
TABLA 4.5 RECOMENDACIÓN PARA LA CALIDAD DE CALCITA. VALORES EN % EN PESO SECO.....	33
TABLA 5.1 VALORES DE ENTRADA DE LAS SIMULACIONES	45
TABLA 5.2 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS SIMULACIONES CON UN FLUX TÍPICO.	46
TABLA 5.3 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LAS SIMULACIONES CON UN FLUX AGRESIVO	47
TABLA 5.4 RESULTADO DEL CÁLCULO DE POTENCIA PARA LAS SIMULACIONES CON FLUX TÍPICO.....	48
TABLA 5.5 RESULTADO DEL CÁLCULO DE POTENCIA PARA LAS SIMULACIONES CON FLUX AGRESIVO	49
TABLA 6.1 COSTE DE LA UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA PARA LA MEMBRANA ESPA2-LD MAX	51
TABLA 6.2 COSTE DE LA UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA PARA LA MEMBRANA ESPA2 MAX	51
TABLA 6.3 COMPARACIÓN DE LOS COSTES DE LAS UNIDADES DE ÓSMOSIS INVERSA.....	52
TABLA 6.4 RESULTADOS DEL PRESUPUESTO	52
TABLA 6.5 COMPARACIÓN ESTUDIOS ECONÓMICOS.....	53

1. Objetivo del proyecto

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) plantea diseñar una planta de tratamiento para la potabilización de aguas procedentes de recursos naturales que contienen contaminantes orgánicos no biodegradables mediante un proceso de ósmosis inversa.

1.1 Objetivos específicos

Los objetivos específicos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Conocer cuáles son los contaminantes orgánicos no biodegradables que se presentan en mayores proporciones.
- Revisar las mejores técnicas disponibles para realizar un tratamiento adecuado.
- Proponer un sistema de tratamiento híbrido mediante técnicas de membrana y evaporación.
- Ubicar y diseñar la configuración de una unidad de ósmosis inversa.
- Utilizar el software de diseño IMSDesign para realizar los cálculos necesarios.
- Proponer soluciones para gestionar el concentrado que se genera tras la ósmosis inversa.
- Reducir el contenido de nitratos que presenta el agua de origen.
- Realizar un estudio económico con el fin de optimizar el sistema.

2. Introducción al problema

El crecimiento demográfico y el desarrollo industrial han contribuido al crecimiento del consumo de agua, por lo que la descarga asociada de aguas residuales y contaminantes no biodegradables aumenta cada año. Según el INE, durante el año 2018, el consumo medio de agua de los hogares fue de 133 litros por habitante y día en España. Del caudal de abastecimiento el 80% pasa a formar parte a los caudales de agua residual, según el criterio tradicional. La Comunidad Valenciana fue una de las comunidades autónomas que más incrementó el volumen de agua registrado y distribuido a los usuarios. Este dato aumentó un 10,6% respecto al año 2016, por lo que es necesario saber gestionar correctamente las descargas de aguas residuales.

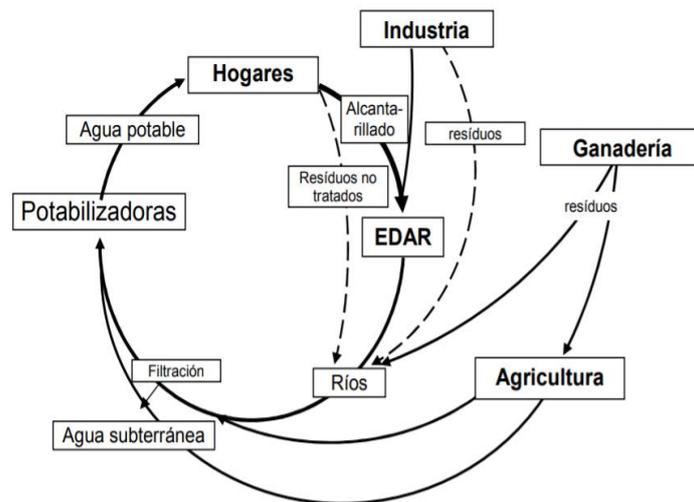


Figura 1.1: Ciclo del agua

Con el fin de gestionar correctamente el agua procedente de las descargas, se debe conocer los tipos de contaminantes y las técnicas que se pueden emplear para eliminarlos.

Los contaminantes se pueden dividir en tres grupos según su origen: contaminantes orgánicos, inorgánicos y metales pesados. De estos tres tipos, este estudio se va a centrar en los contaminantes orgánicos, concretamente en los contaminantes orgánicos no biodegradables que se vierten al medio acuático.

2.1 Fuentes de contaminación

2.1.1 Tratamiento de aguas de origen doméstico e industrial

Los residuos que se vierten al alcantarillado provenientes de las zonas urbanas y de las industrias que se encuentran en la zona se tratan en las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR). Estas plantas constituyen una fuente de contaminación puntual.

A las EDAR llegan las aguas contaminadas y mediante un tratamiento biológico se eliminan los microorganismos patógenos, evitando que estos lleguen a ríos u otras fuentes de abastecimiento. Sin embargo, las EDAR no son capaces de eliminar todos los contaminantes causando que los efluentes, con contaminantes aún, entren en contacto directo con cuerpos de aguas naturales. Entre estos contaminantes se encuentran: productos farmacéuticos, pesticidas, nicotina, detergentes y otros contaminantes provenientes de la industria química como: aditivos alimentarios, fenoles, colorantes o residuos orgánicos provenientes de la industria petrolera.

2. Introducción al problema

Entre estos contaminantes hay que destacar los fenoles que provienen del tratamiento de maderas, de la industria papelera, de la industria del corcho, de almazaras y bodegas.

También tienen una gran importancia los detergentes que provienen de la industria de los tensioactivos.

2.1.2 Actividad agrícola

La industria agrícola en España es importante debido a que es uno de los países que más alimentos frescos, frutas y verduras exporta, sobre todo a la Unión Europea. Como consecuencia de esto, España es el segundo mayor consumidor de pesticidas de la Unión Europea. La eficacia de los pesticidas para prevenir o eliminar plagas y malezas ha provocado su amplio uso ya que estos compuestos son altamente tóxicos para plantas y plagas en pequeñas concentraciones.

Muchos de los pesticidas se encuentran en forma sólida, pero se disuelven en agua o en aceite para facilitar su uso y aplicación. Su estructura controla su solubilidad en agua, movilidad, persistencia ambiental y toxicidad. Entre las principales clases de pesticidas se encuentran los organoclorados, organofosforados, carbamatos, triazinas y piretroides. Estos compuestos se encuentran en continua evolución en términos de síntesis química, ya que cada vez se busca una mejor relación entre toxicidad y bioacumulación. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la toxicidad de estos compuestos se puede clasificar en cuatro clases: Clase IA, Clase IB, Clase II y Clase III, siendo la clase IA la más tóxica al considerarse extremadamente peligrosa.

Los pesticidas tienden a ingresar a los ecosistemas de aguas superficiales mediante la escorrentía de aguas superficiales, la deriva por aspersión y la lixiviación. Las triazinas son los pesticidas más frecuentes en aguas superficiales y subterráneas.

Hay que tener en cuenta los compuestos de carácter fenólico y sus derivados halogenados. Entre ellos se destacan los clorofenoles, que aunque sus concentraciones suelen ser relativamente bajas ($< 0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), proporcionan a las corrientes acuáticas que los contienen una alta toxicidad y una baja biodegradabilidad. Los clorofenoles se usan como base en la formulación de pesticidas y herbicidas y su toxicidad depende del grado de cloración y de la composición de los átomos de cloro en la molécula, siendo el pentaclorofenol el que presenta una mayor toxicidad.

2.1.3 Productos farmacéuticos y de cuidado personal

No todos los contaminantes están regulados. Esto se puede deber a que hay compuestos que han aparecido recientemente o que se ha visto que la toxicidad que presentan es mayor a la que se creía inicialmente. Estos compuestos son los llamados contaminantes emergentes (CE), es decir que son contaminantes que están saliendo a la superficie del agua. La mayoría de los CE son disruptores endocrinos que se usan en muchos de los productos farmacéuticos (PFCP).

Los productos farmacéuticos y de cuidado personal son compuestos que no son totalmente metabolizados por los seres humanos o animales y por lo tanto llegan al afluente de las EDAR. Son los contaminantes que mayor preocupación han causado, debido a sus efectos adversos tanto en la vida silvestre como en los seres humanos.

Entre los fármacos hay que destacar los antiinflamatorios, como el ibuprofeno o el naproxeno, y antibióticos, como la eritromicina, debido a que se encuentran en mayores concentraciones. Además de las clases de productos farmacéuticos ya citadas, también hay que destacar al triclosán (TSC), un agente antibacteriano ampliamente utilizado en jabones, pastas dentales y productos de primeros auxilios. Es un compuesto lipofílico estable que promueve

2. Introducción al problema

efectos adversos en los organismos como la disminución de los niveles de estrógenos en la placenta durante el embarazo. Además, la degradación del TSC da lugar a productos nocivos. Durante el tratamiento de aguas residuales se degrada en metil-triclosán que, debido a su carácter lipófilo y a su resistencia a la biodegradación y fotólisis, hace que el metabolito sea aún más nocivo para el medio ambiente que el TSC. En la fotodegradación del TSC en soluciones acuosas se pueden producir dioxinas y clorofenoles. El TSC también puede reaccionar con el cloro libre o la cloroamina presente en el agua para producir cloroformo y otros derivados.

Además de las industrias presentes en las fuentes de contaminación ya citadas, hay otro tipo de industrias que generan contaminantes orgánicos no biodegradables como: la industria de los tensioactivos, la industria alimentaria o la industria papelera.

2.2 Consecuencias

La consecuencia del vertido de estos contaminantes en el medio acuático es que tanto la fauna como la flora e incluso nuestra salud sufren alteraciones.

El uso de detergentes ocasiona espumas que pueden inducir la toxicidad en el agua. Los detergentes consumen el oxígeno del agua de manera que son contaminantes muy perjudiciales para la fauna y la flora dependiendo de su concentración. Los principales efectos en el medioambiente de estos contaminantes, además del ya mencionado son: Toxicidad de los lodos activados en los tratamientos secundarios de las EDAR y aceleración del proceso de eutrofización de agua de ríos y lagos, provocando la muerte de los organismos que se encuentran en estos medios.

Los pesticidas presentan una elevada toxicidad y persistencia en el medio así como bioacumulación. En el caso particular de las triazinas, se ha demostrado que son recalcitrantes en aguas naturales. Además muestran grandes efectos inhibidores sobre algas verdes, diatomeas y cianobacterias, que pueden influir en organismos de niveles tróficos superiores y por lo tanto amenazar la salud del ecosistema.

Debido a que los fenoles, presentes tanto en la actividad agrícola como en la actividad industrial, son compuestos de elevada toxicidad su vertido debe evitarse ya que su presencia en agua potable, incluso en concentraciones muy bajas genera clorofenoles en el proceso de cloración, y como consecuencia se produce un fuerte olor y sabor desagradable.

El uso excesivo de medicamentos, en particular los antibióticos, está provocando resistencia a ciertos fármacos. Al no eliminarse estos contaminantes de las fuentes de aguas llegan a organismos marinos y a alimentos debido a su bioacumulación. De esta manera se provoca que se incrementen los costos médicos, que se prolonguen las estancias hospitalarias y que se aumente la mortalidad.

2.3 Técnicas de tratamiento de contaminantes orgánicos no biodegradables.

Como ya se ha visto la calidad del agua es un bien escaso y su uso inadecuado puede provocar consecuencias en el medio ambiente y en la sociedad a corto, medio o largo plazo.

Producto de la concienciación acerca de la limitación del uso del agua, se han implantado medidas de ahorro de agua y de minimización de vertidos a la vez que se han desarrollado una legislación sobre vertidos cada vez más restrictiva a nivel europeo mediante la Directiva 200/60/CE-DMA y a nivel nacional mediante el Real Decreto Legislativo 1/2001 y el Decreto 140/2003. En este último Decreto, en el Anexo I y Anexo II, se establecen las concentraciones límites de los principales contaminantes para el agua potable, como se ve en el Anexo 1.

2. Introducción al problema

La regulación de la concentración de contaminantes obliga a desarrollar métodos de tratamiento y depuración que sean capaces de reducir tanto los niveles de los indicadores convencionales como los sólidos en suspensión (SS), la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO), como una serie de compuestos tóxicos y poco o no biodegradables de baja respuesta a los procedimientos convencionales en las estaciones de tratamiento.

A continuación se van a nombrar diferentes técnicas que se pueden utilizar para eliminar los contaminantes orgánicos no biodegradables según el documento publicado por la unión europea de las mejores técnicas disponibles para el tratamiento de aguas y gases residuales en el sector químico.

2.3.1 Oxidación química

2.3.1.1. *General*

La oxidación química es la conversión de contaminantes, por agentes oxidantes químicos distintos al oxígeno/ aire o bacterias, en compuestos similares pero menos dañinos o peligrosos y/o en compuestos orgánicos de cadena corta y más fácilmente degradables o biodegradables.

La oxidación química también se utiliza para degradar compuestos orgánicos que causan olor, sabor, color y con fines de desinfección. Un efecto secundario de algunos procesos de oxidación química es la precipitación de compuestos reducidos como el hierro, manganeso o sulfuros.

Durante el proceso de oxidación se deben monitorizar parámetros de operación cruciales como el pH, el potencial de reducción, la concentración de ozono, el contenido de oxidante excedente en el efluente, el contenido de oxígeno en la fase gaseosa y el contenido de compuestos orgánicos halogenados en el efluente si se utilizan agentes a base de cloro.

La oxidación química se aplica normalmente cuando el agua residual contiene contaminantes que no son fácilmente biodegradables o no son biodegradables. Estos contaminantes podrían sobrecargar el proceso biológico o fisicoquímico en una EDAR aguas abajo o tener propiedades demasiado dañinas para que se puedan verter en un sistema de alcantarillado común como: aceites y grasas, fenoles y clorofenoles, pesticidas, sulfatos, sulfitos, compuestos orgánicos halogenados, etc.

2.3.1.2. *Oxidación húmeda con peróxido de hidrógeno (CWPO)*

La CWPO es una de las técnicas más utilizada para tratar aguas residuales contaminadas con compuestos orgánicos. Su finalidad es reducir la DQO o aumentar la biodegradabilidad de los contaminantes que contienen las aguas tratadas.

Esta técnica se basa en una reacción Fenton. Consiste en la oxidación de la materia orgánica contenida en aguas residuales por radicales hidroxilos ($\cdot\text{OH}$). Estos radicales se forman a partir de la reacción del peróxido de hidrógeno con un catalizador de iones ferroso.

La reacción se lleva a cabo en medio ácido y a una temperatura suave (100-150°C) y una presión de entre 2-4 bar, utilizando como oxidantes formulaciones del catalizador de peróxido de hidrógeno. El uso de un oxidante fuerte a temperaturas y presiones más altas que en la reacción Fenton convencional mejora significativamente el grado de mineralización de la mayoría de los compuestos orgánicos con tiempo de residencia cortos. Sin embargo el futuro de la técnica se basará en un uso como pretratamiento seguido de un tratamiento biológico.

2. Introducción al problema

Esta técnica se usa para tratar varios tipos de aguas residuales orgánicas como compuestos orgánicos, halogenados, cloroaminas, AOX, grasas, fenoles, aromáticos monocíclicos y policíclicos, naftaleno, bifenilos policlorados, colorantes, pesticidas y herbicidas.

Los principales problemas de esta técnica se relacionan con la necesidad del control del pH y con la generación de lodos. Dependiendo de la intensidad del tratamiento, el efluente puede necesitar un tratamiento aguas abajo.

2.3.1.3 Oxidación por aire húmedo

La oxidación por aire húmedo es la reacción del oxígeno en la fase acuosa a alta presión y temperatura, que se utiliza para aumentar la solubilidad del oxígeno en el agua. La reacción tiene lugar a menudo en presencia de catalizadores.

Para mejorar el rendimiento del proceso se tienen dos variantes:

- Oxidación con aire húmedo a baja presión.
- Oxidación con aire húmedo a alta presión.

Las propiedades típicas de las dos variantes son:

Parámetro	Baja presión	Alta presión
Rango de temperatura (°C)	30-200	150-340
Rango de presión (MPa)	0,5-2	>2
Tiempo de residencia (h)	0,5-3	0,5-3

Este proceso se aplica a las aguas residuales que contienen contaminantes que no son fácilmente biodegradables o que pueden perturbar el proceso biológico de una EDAR aguas abajo o que tienen propiedades demasiado dañinas para verter su liberación a un sistema de alcantarillado ordinario. También se utiliza para el tratamiento de lodos.

Cuando el sistema utiliza la variante de baja presión, los contaminantes preferentes son:

- Nitrito que se convierte en nitrato en un proceso de un solo paso.
- Sulfito de la fabricación de tintes que se convierte en sulfato en un proceso catalizado homogéneamente de dos etapas.
- Derivados del fenol y nafteno que se convierten a 120-150° C.
- Aromáticos clorados que se convierten en un proceso catalizado a 120-190° C.

Las sustancias que usan la variante del sistema a alta presión son:

- Compuestos orgánicos nitro que se convierten en nitrógeno.
- Compuestos orgánicos amino y aromáticos que contienen heteroátomos de N₂ que se convierten en amoniaco.
- Compuestos orgánicos de azufre que se convierten en sulfato.
- Compuestos orgánicos clorados que se convierten en ácido clorhídrico.

2.3.2 Hidrólisis química

La hidrólisis es una técnica destructiva que consiste en una reacción química en la que compuestos orgánicos e inorgánicos reaccionan con el agua descomponiéndolos en compuestos más pequeños. En algunos casos la reacción continua y se forman otros productos, generalmente compuestos de cadena corta y fácilmente biodegradables.

2. Introducción al problema

Este proceso se suele realizar a presión y temperatura ambiente. Cuando se requiere una temperatura elevada, el reactor debe estar equipado con un sistema de intercambiador de calor con instalaciones de precalentamiento para la entrada de aguas residuales. En algunos casos se necesitan reactores autoclave para garantizar temperaturas por encima de los 100 °C y presiones de hasta 0,5-1 MPa.

La hidrólisis química se aplica a corrientes de aguas residuales que contienen contaminantes que no son fácilmente biodegradables o que pueden perturbar el proceso biológico en una EDAR biológica aguas abajo o que tienen propiedades demasiado dañinas para permitir su vertido en un sistema de alcantarillado común.

Algunos de estos contaminantes pueden ser:

- Compuestos orgánicos halogenados
- Plaguicidas
- Cianuros orgánicos
- Sulfuros orgánicos
- Organofosforados y carbamatos
- Ésteres
- Amidas

La reacción de hidrólisis depende en gran medida de la estructura química de los compuestos químicos, del pH y de la temperatura de la siguiente manera:

- Si se produce un aumento de la temperatura, esto implica que hay un aumento en la tasa de hidrólisis.
- Si el pH es alto o bajo puede modificar la velocidad de reacción dependiendo del reactivo.
- Los catalizadores empleados pueden aumentar la velocidad de reacción.

Este proceso presenta ventajas como que este proceso se puede combinar con muchas operaciones de tratamiento posteriores. Sin embargo también presenta desventajas como el proceso de neutralización necesario en la corriente hidrolizada o la alta presión y/o el calentamiento que suele ser necesario y que implica un consumo energético considerable.

2.3.3 Procesos de membrana

Un proceso de membrana consiste en la permeación de un líquido a través de una membrana que se separa en un permeado, que pasa a través de la membrana, y en un concentrado, que es retenido. La fuerza impulsora de este proceso es la diferencia de presión a través de la membrana.

Las membranas de nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI) pueden retener todas las partículas hasta el tamaño de moléculas orgánicas e incluso iones. Siempre que la alimentación no contenga partículas, estas membranas se utilizan cuando se desea un reciclado completo del permeado y/o del concentrado.

Las membranas de NF permiten el paso de agua, iones de valencia simple, como fluoruros y cloruros de sodio y potasio, y nitratos. El concentrado se compone de múltiples iones de valencia como los sulfatos y fosfatos. Las sales se concentran y se descargan como una salmuera concentrada.

2. Introducción al problema

Las membranas de OI tienen el tamaño de poro más pequeño y se usan en la separación líquido/líquido. Permiten que el agua pase y retenga el soluto. Al igual que en la NF las sales se concentran y se descargan como salmuera concentrada.

Una planta industrial de membranas generalmente consta de tres secciones separadas:

- La primera sección es la de pretratamiento, donde el alimento es tratado por clarificación química y posterior filtración.
- La segunda sección es la sección de la membrana donde se aplica alta presión y el agua residual fluye a través de la membrana.
- La tercera sección es donde se separa el permeado para su reutilización o descarga, y la salmuera concentrada que se recoge para su posterior tratamiento o eliminación.

La NF y OI tienen diferentes aplicaciones debido a las diferentes propiedades que exhiben en la migración de partículas moleculares a través de su superficie.

La NF se aplica para eliminar moléculas orgánicas más grandes y iones multivalentes con el fin de reciclar y reutilizar el agua residual o reducir su volumen y simultáneamente aumentar la concentración de contaminantes hasta tal punto que los procesos de destrucción posteriores sean factibles.

La OI es un proceso que separa el agua y los constituyentes disueltos hasta las especies iónicas. Se aplica cuando se requiere un alto grado de pureza. La fase de agua separada se recicla y se reutiliza. Este proceso se suele usar en:

- Desalinización
- En la eliminación definitiva de compuestos degradables (si no se dispone de un tratamiento biológico), metales pesados y compuestos tóxicos.
- Separación de contaminantes con el objetivo de concentrarlos o procesarlos más.

Tanto la NF como la OI se usan a menudo en combinación con técnicas de postratamiento para el permeado como el intercambio iónico o la adsorción de GAC.

2.3.4 Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la transferencia de sustancias solubles, solutos, de la fase acuosa de las aguas residuales a la superficie de las partículas altamente porosas, adsorbente.

El adsorbente tiene una capacidad finita para eliminar cada compuesto. Si la capacidad de adsorción se agota quiere decir que el adsorbente se ha "gastado" y por lo tanto este se debe regenerar o incinerar.

Los adsorbentes más comunes son:

- Carbón activado
- Coque de lignito
- Óxido de γ -aluminio
- Resinas adsorbentes

El adsorbente más utilizado en el sector químico es el carbón activado. Se utiliza como granulado (GAC) en columnas o como polvo (PAC) dosificado a un tanque o cubeta de tratamiento. Otros adsorbentes de uso común son el coque de lignito, el óxido de aluminio activado, las resinas adsorbentes y las zeolitas.

2. Introducción al problema

- La adsorción del GAC se aplica para eliminar contaminantes orgánicos, principalmente aquellos con características refractarias, tóxicas, coloreadas y/o olorosas, y cantidades residuales de contaminantes inorgánicos, como compuestos nitrogenados, sulfuros y metales pesados.
- La adsorción de PAC se aplica a los mismos contaminantes que el GAC. Se utiliza preferentemente cuando el requisito de eliminación de adsorción de compuestos orgánicos es intermitente o variable.
- El coque de lignito se procesa y se aplica como el GAC y podría remplazarlo cuando los efectos de efectos de limpieza sean suficientes. Una de sus ventajas es su bajo coste frente al GAC sin embargo posee menor eficiencia por lo que se va a requerir mayores cantidades de este y ciclos de regeneración más frecuentes.
- El óxido de aluminio activado se usa para adsorber sustancias hidrófilas como el fluoruro o el fosfato. Cuando está contaminados con sustancias orgánicas se puede regenerar térmicamente a una temperatura aproximada de 750 °C. Si está contaminado con sustancias inorgánicas se regenera químicamente.
- Las resinas adsorbentes se aplican para a eliminación selectivas de contaminantes orgánicos hidrófobos e hidrófilos. Estas tienden a hincharse con el paso del tiempo al adsorber compuestos orgánicos. En cuanto a su regeneración, las resinas adsorbentes se regeneran químicamente con disolventes como metanol o acetona.
- Las zeolitas se aplican para eliminar amoniaco o metales pesados. Las zeolitas solo son efectivas para la eliminación de amoniaco en corrientes muy débiles. Su regeneración es por elución con soluciones de cloruro sodio con sosa caustica o cal.

2.3.5 Incineración de agua contaminadas

La incineración se aplica a las aguas residuales que contienen compuestos que no son fácilmente biodegradables o que pueden perturbar el proceso biológico en una EDAR biológica aguas abajo, o que tienen propiedades demasiado dañinas para ser vertidas en un sistema de alcantarillado ordinario. Este sistema se realiza cuando las otras técnicas de tratamiento que se pueden hacer fallan o resultan antieconómicas. Es particularmente adecuado cuando:

1. Los componentes orgánicos no se pueden reutilizar o cuando reciclarlos no es rentable.
2. Los contaminantes tienen una mezcla de varios componentes en la que la mezcla y la proporción varían continuamente.
3. Si además de contaminantes orgánicos hay una cantidad considerable de material inorgánico.
4. Las aguas residuales poco biodegradables y tóxicas.
5. El contenido en sal es demasiado alto para que se pueda llevar a cabo un tratamiento biológico.
6. La incineración permite el reciclaje de una materia prima indestructibles.

La incineración de aguas residuales es la oxidación con aire de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales y la evaporación simultanea de la parte acuosa a presión normal. Este proceso se encuentra en un rango de temperaturas de 730-1200 °C, si está por debajo de esta temperatura se necesita un catalizador.

En la industria química la incineración de aguas se realiza de forma centralizada o como coincineración.

Como desventaja de este proceso, la incineración de aguas produce gases de combustión, que según su composición pueden requerir un tratamiento adicional. Además se requerirá un

2. Introducción al problema

combustible de apoyo cuando no se pueda operar de forma autotérmica. Mientras tanto, cuando el calor residual no se puede recuperar o reutilizar se libera algo de calor al medio ambiente.

2.4 Elección

La solución que se ha escogido en este estudio es un sistema híbrido. Los contaminantes orgánicos no biodegradables se tratarán mediante un sistema de ósmosis inversa y posteriormente se realizará un proceso de evaporación del rechazo generado por las membranas.

2.5 Descripción del proceso

El origen del agua problema se encuentra en la provincia de Valencia. Esta agua es captada y llevada hasta la ETAP mediante bombas de captación. Una vez en la ETAP al agua se somete a un pretratamiento para eliminar restos de materia orgánica. Posteriormente se realiza una filtración para que la unidad de ósmosis inversa sea más eficiente.

El siguiente paso es el tratamiento del agua mediante el sistema de OI. La OI consiste en impulsar el agua cruda (alimento) a alta presión a través de una membrana semipermeable, la cual posibilita la separación de los compuestos indeseados contenidos en el agua, para así obtener agua sin contaminantes. De esta manera por un lado se obtiene agua sin contaminantes, (permeado) y sin presión, y por otro lado un flujo de agua concentrado con los compuestos no deseados. Con ello, además, se facilita la gestión del caudal residual al disminuir considerablemente su volumen.

El agua libre de contaminantes se debe remineralizar para que pueda considerarse agua de consumo. Por otro lado el concentrado que sale de la unidad de OI se lleva a un tratamiento posterior que consiste en la evaporación superficial.



Figura 1.2 Diagrama de bloques del proceso

3. Fundamento teórico de la ósmosis inversa

La separación, concentración y purificación de las especies químicas presentes en una determinada mezcla es un problema importante en diferentes campos como la industria de los alimentos, la industria farmacéutica y en el sector del agua. En los últimos años las técnicas clásicas como la destilación, cristalización y extracción con disolventes, entre otras, se han visto desplazadas por métodos basados en el empleo de membranas como elemento separador. En estos procesos la membrana actúa como barrera selectiva permitiendo el paso a ciertos componentes y reteniendo otros en la mezcla.

Cuando una membrana separa dos fases fluidas, varias fuerzas impulsoras pueden ser la causa del flujo de moléculas o especies iónicas a través de ella. Desde el punto de vista industrial son tres las fuerzas que se pueden señalar como fundamentales:

- Una diferencia de presión hidrostática
- Una diferencia de concentración
- Una diferencia de potencial eléctrico

Estas fuerzas pueden actuar aislada o combinadamente a través de la membrana produciendo diferentes procesos de transporte.

Entre los procesos de separación con un gradiente de presión como fuerza aplicada se incluyen la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y la ósmosis inversa. Estos fenómenos son prácticamente idénticos con la diferencia del tipo de tamaño de las partículas a filtrar y el tipo de membrana usada.

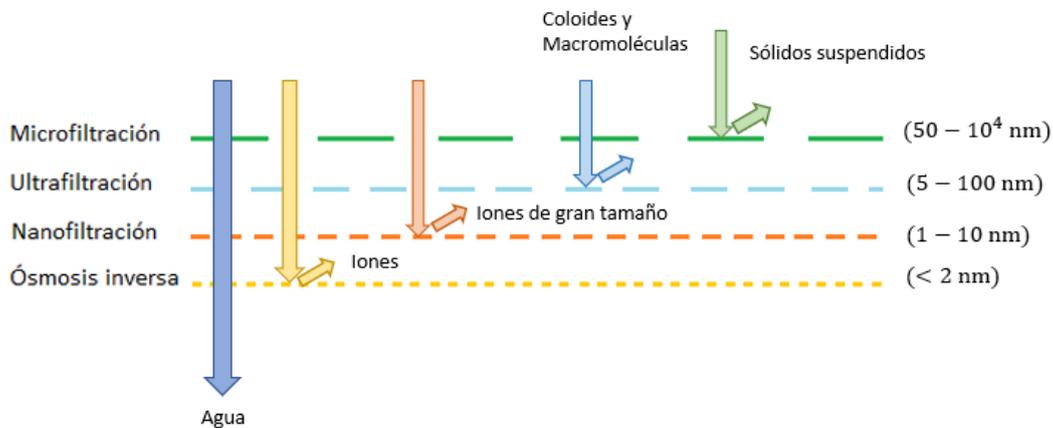


Figura 3.1 Procesos de filtración mediante gradiente de presión

Los contaminantes que se van a tratar en este estudio se van a separar de la corriente de agua bruta mediante un proceso de ósmosis inversa. Con este método los contaminantes pasan a la corriente de rechazo con buenos rendimientos.

3.1 Ósmosis inversa

La ósmosis es un proceso en el que se alcanza una determinada presión osmótica cuando dos disoluciones de diferente concentración son separadas por una membrana semipermeable, la cual es permeable al solvente pero impermeable al soluto. Las moléculas de disolvente en la fase diluida tienen un potencial químico más elevado que el de la fase concentrada. Esta diferencia de potencial químico causa un flujo de moléculas de disolvente desde la fase diluida hasta la fase concentrada.

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

La ósmosis inversa es el proceso inverso, se aplica una mayor presión en el lado de la alimentación de la membrana para invertir la dirección de flujo que seguiría la ósmosis, de manera que el disolvente va desde la fase concentrada hasta una fase diluida.

La presión osmótica (π) de una disolución de un soluto es proporcional a su concentración (c), y se alcanza cuando los potenciales químicos son iguales. Para una disolución diluida ideal se puede expresar de manera aproximada mediante la ecuación de Van't Hoff:

$$\pi = cRT \quad [3.1]$$

donde la R la constante de los gases y T su temperatura absoluta.

Se considera un sistema como el de la Figura 3.2, en el que el compartimiento 1 se ejerce una presión superior a la diferencia de presiones osmóticas de los dos compartimentos. La dirección del agua va desde el compartimiento 1 hasta el compartimiento 2 sin dejar que las partículas atraviesen la membrana semipermeable. A este fenómeno se le llama ósmosis inversa y fue descubierto por el francés J.A.Nollet en 1798.

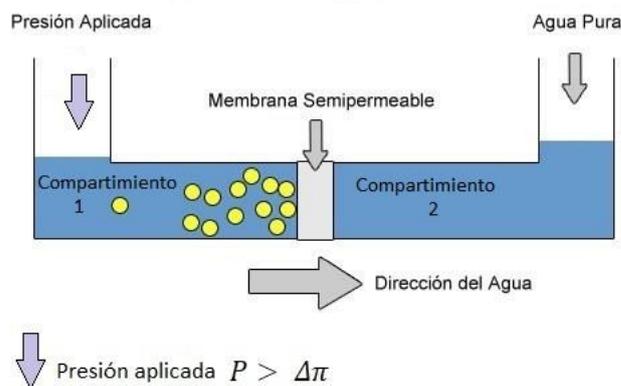


Figura 3.2 Sistema de OI

Desde el punto de vista industrial, una bomba envía la disolución a tartar hacia una membrana semipermeable manteniendo de manera constante una elevada presión en uno de los lados. De esta manera una parte del disolvente y una cantidad muy pequeña de soluto atraviesan la membrana. Tanto la disolución que atraviesa la membrana como la que se forma como rechazo se evacuan en continuo de sus compartimentos. El rechazo presenta una elevada concentración de contaminantes disueltos mientras que en la disolución que atraviesa la membrana o permeado hay una baja concentración de estos contaminantes. Este sistema esta esquematizado en la Figura 3.3.

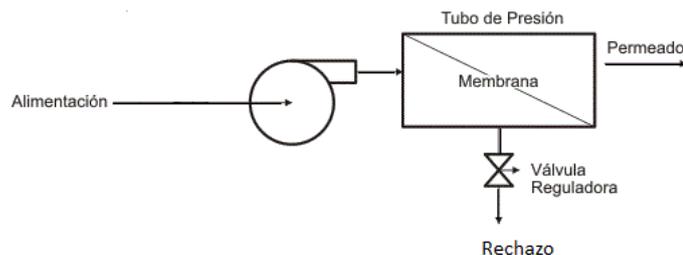


Figura 3.3 Sistema de OI desde el punto de vista industrial

En el proceso de ósmosis inversa los conceptos más importantes son:

- Alimento

Es la solución que llega a las membranas de ósmosis inversa. También se le llama aporte, solución de aporte o solución a tratar.

Al compartimento que contiene esta disolución se le llama de “alta presión” y a la cara de la membrana en contacto con este compartimento se le llama “lado de alta”.

- Permeado

Es la solución que se obtiene al otro lado de la membrana después de atravesarla. También se le suele llamar producto.

Al compartimento que contiene esta solución se le llama de “baja presión” y a la cara de la membrana en contacto con este compartimento se le llama “capa activa”.

- Rechazo

Es la solución, con mayor concentración que la aportación, que no puede atravesar la membrana.

- Coeficiente de permeabilidad

Es el volumen de disolvente (agua) que atraviesa la membrana por unidad de superficie, unidad de tiempo y unidad de presión a temperatura y salinidad determinadas y constantes.

- Porcentaje de recuperación y conversión de la aportación

El porcentaje de recuperación, o conversión es el cociente expresado en tanto por ciento entre el caudal de permeado y el caudal de aportación que llega a las membranas.

$$Y = \frac{\text{Caudal de permeado}}{\text{Caudal de aportación}} \cdot 100 = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100 \quad [3.2]$$

- Porcentaje de rechazo de sales o rechazo

Es el cociente expresado en tanto por ciento entre la concentración de la solución de aporte menos la concentración del permeado y la concentración de la solución de aporte.

$$R = \frac{C_a - C_p}{C_a} \cdot 100 \quad [3.3]$$

De esta expresión se deduce:

$$C_p = \frac{(1 - R)}{100} \cdot C_a \quad [3.4]$$

- Porcentaje de paso de sales

Es el cociente en tanto por ciento entre la concentración de sales en el permeado y la concentración en el aporte.

$$P_s = \frac{C_p}{C_a} \cdot 100 \quad [3.5]$$

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

Sustituyendo en la ecuación [3.2] se obtiene:

$$R = 1 - P_s \quad [3.6]$$

Con lo que la ecuación [3.4] quedaría:

$$C_p = \frac{P_s}{100} \cdot C_a \quad [3.7]$$

- Factor de concentración

Es el número de veces que se concentran las sales en el rechazo de la ósmosis inversa. Si valor es igual al cociente entre las concentraciones de sales en el rechazo y en la solución de aporte.

$$F_c = \frac{C_r}{C_a} \quad [3.8]$$

Hay varias teorías para explicar y describir el transporte de solvente (agua pura) y de soluto (sales) a través de una membrana semipermeable, teniendo cada una su campo de utilización.

En los procesos de separación por ósmosis inversa, la transferencia de masa se rige principalmente por la transferencia de masa por la membrana interna y la transferencia de masa por la membrana externa.

Por una parte la transferencia de masa dentro de la membrana se explica por el modelo de **disolución-difusión**, propuesto por Lonsdale.

Según este modelo cada componente de la solución a tratar se disuelve en una membrana para poder ser transportado debido a las diferencias de concentración y de presión existentes a ambos lados de la membrana.

La difusión del agua y de las moléculas polares a través de la membrana sería el resultado de un mecanismo de formación y de destrucción de puentes de hidrógeno entre el agua y las moléculas polares por una parte y los grupos hidrófilos de la membrana por otra, debido a la acción de un gradiente de energía libre, también llamado potencial químico, producido por la diferencia de presión.

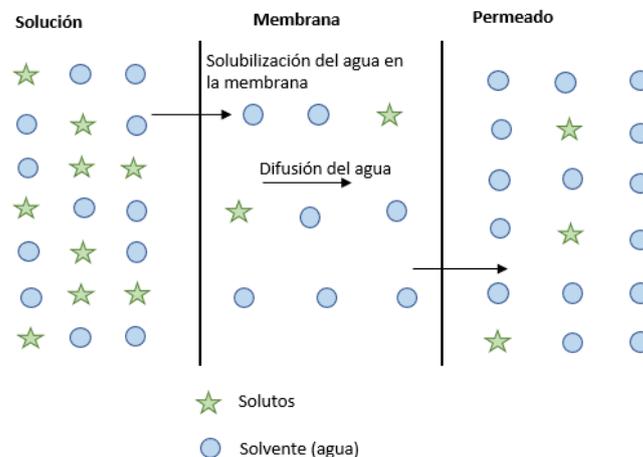


Figura 3.3 Modelo disolución-difusión

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

Las fuerzas que intervienen en el paso del solvente y del soluto a través de la membrana son:

- Disolvente: Gradiente de presiones
- Solute: Gradiente de concentraciones

Transporte de solvente

Se ha comprobado que el flujo del solvente es proporcional al gradiente de la presión efectiva a través de la membrana, es decir, a la diferencia entre la variación de la presión externa aplicada y la variación de la presión osmótica.

$$J_a = A (\Delta P - \Delta \Pi) \quad [3.9]$$

donde:

$\Delta P = P_a - P_p$: Diferencia de presión hidráulica entre ambos lados de la membrana en bares.

$\Delta \Pi = \Pi_a - \Pi_p$: Diferencia de presiones osmótica entre ambos lados de la membrana en bares.

$(\Delta P - \Delta \Pi)$: Gradiente de presión efectiva a través de la membrana en bares.

Transporte de soluto

El flujo de soluto a través de la membrana de OI viene dada por la expresión

$$J_s = J_a \cdot C_p = B \cdot (C_m - C_p) + M \cdot J_a \cdot C_m = B \cdot \Delta C + M \cdot J_a \cdot C_m \quad [3.10]$$

donde:

ΔC : Diferencia o gradiente de concentraciones a través de la membrana en kg/m³

La ecuación [3.10] muestra que el flujo del soluto es la suma de la difusión molecular y de la convección debida al arrastre que produce el solvente.

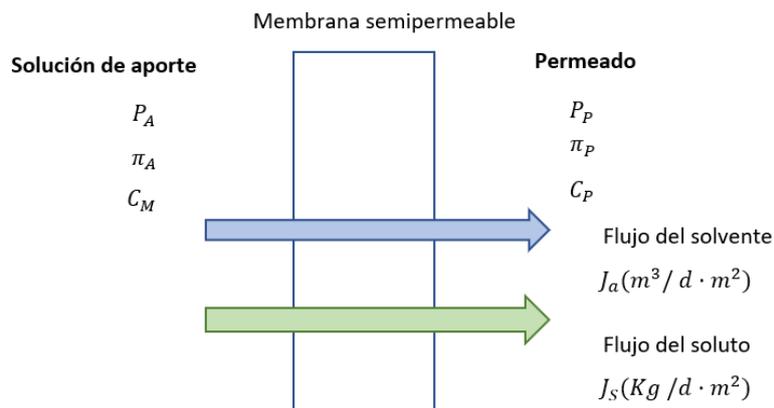


Figura 3.4 Transporte del solvente y del soluto

Dividiendo la ecuación [3.10] entre la ecuación [3.9] se obtiene:

$$C_p = \frac{J_s}{J_a} = \frac{B \Delta C}{A (\Delta P - \Delta \pi)} + M C_m \quad [3.11]$$

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

La ecuación [3.14] indica que la concentración del soluto en el permeado es directamente proporcional al gradiente de concentraciones a través de la membrana y es inversamente proporcional al gradiente de presiones efectivas a través de esta.

Por otra parte el modelo que estudia la transferencia de materia de la membrana exterior es el modelo de **concentración-polarización**.

Al realizarse una separación con membranas, a medida que el tiempo avanza se van quedados solutos que no han podido pasar al permeado en las cercanías de la membrana, en el lado de la alimentación.

Estos solutos son arrastrados por la corriente de rechazo, pero la velocidad de en la superficie de la membrana es casi nula por lo que solo pueden pasar al rechazo mediante un proceso de difusión. La difusión se da en sentido contrario a la del flujo a permear y origina una zona en la que la concentración de especies es mayor que la del resto de la solución, esta zona se denomina "capa límite".

El proceso se muestra en la Figura 3.5, donde describe el proceso general de transferencia de materia. Para ello se supone un flujo unidimensional, al igual que en el modelo anterior, de transporte del solvente y de soluto a través de la membrana.

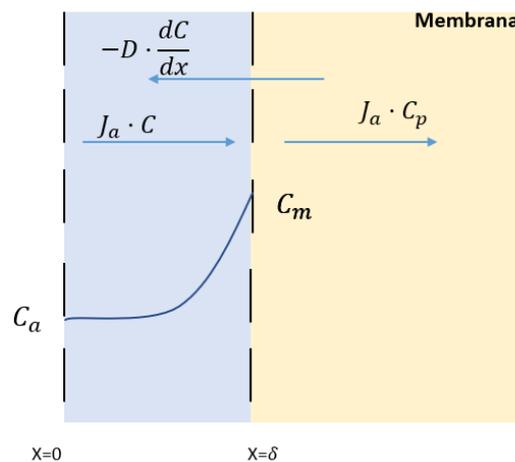


Figura 3.5 Modelo de concentración-polarización

El balance se presenta por la siguiente ecuación

$$J_a \cdot C - \left(D \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \right) = J_a \cdot C_p \quad [3.12]$$

Cabe destacar que el coeficiente de transferencia depende de la temperatura.

Integrando la ecuación [3.12] entre los límites que marca la Figura 3.5 se obtiene:

$$J_a = K \cdot \ln \left(\frac{C_m - C_p}{C_a - C_p} \right) \quad [3.13]$$

Donde K es el coeficiente de transferencia de la materia en la capa límite.

El flujo de soluto por unidad de superficie de membrana, para este modelo, se describe empleando mecanismos de carácter difusivo mediante la siguiente ecuación:

$$J_s = J_a \cdot C_p = B \cdot \Delta C \quad [3.14]$$

Donde B es el coeficiente de transporte de solutos y ΔC es la diferencia de las concentraciones en ambos lados de la membrana.

Aplicando el principio de conservación de la masa para un sistema básico de OI se obtiene que:

$$Q_a \cdot C_a = Q_r \cdot C_r + Q_p \cdot C_p \quad [3.15]$$

El caudal del permeado está relacionado con la superficie de la membrana, S , y con el flux del solvente de manera que se obtiene la siguiente expresión:

$$Q_p = S \cdot J_v \quad [3.16]$$

3.1 Variables de diseño para la unidad de ósmosis inversa

Tras definir los modelos matemáticos que pueden darse en la membrana hay que nombrar las variables que pueden influir en la unidad de OI.

- Presión

La diferencia de presión en la membrana marca el caudal de permeado a obtener y por lo tanto influye en el diseño de la instalación. Cuanto mayor sea a presión necesaria mayor será el consumo energético y mayores serán las máquinas de impulsión necesarias de manera que aumentarán los costes.

Todo aumento de la presión de trabajo implica un aumento prácticamente lineal del flujo del solvente así como un aumento del rechazo del soluto que tiende a un límite cuando el flujo del solvente es adecuado.

- pH

El efecto de las variaciones de pH es un factor que considerar ya que el grado de acidez o alcalinidad del medio afecta a la vida útil de la membrana. Además, el pH afecta al rechazo iónico de muchos iones.

- Tipo de membrana

Los materiales que constituyen las membranas se encuentran sometidos a una fuerte compresión mecánica que tiende a compactarlas. Por lo tanto, es un factor importante la selección del tipo de material del que está constituido la membrana.

Las membranas se pueden clasificar según su estructura, naturaleza, forma, composición química, etc. La elección del tipo de membrana a utilizar será determinante en el proceso de separación.

- Temperatura

Todo aumento de la temperatura de solución de aporte aumenta el flujo del solvente (agua) debido al descenso de la viscosidad y al aumento de difusión a través de la membrana.

Los procesos de separación que utilizan membranas tienen lugar, con frecuencia a temperatura ambiente, sin embargo un aumento sobre esta se puede convertir en una posible causa de deterioro, afectando sobre todo a materiales termoplásticos. Teniendo en cuenta estas premisas se debe buscar una temperatura óptima de separación para que el consumo energético sea el mínimo y de esta manera reducir los costes de instalación y mantenimiento.

- Características del agua

Las características del agua de la alimentación se definen en distintos parámetros como la conductividad o el pH. Las características del agua de alimentación afectan de manera considerable los procesos de OI, ya que definen la presión osmótica que debe superarse para llevar a cabo la operación, las cantidades de contaminantes que afectan al ensuciamiento, etc. Debido a esto, las alimentaciones con una calidad inferior presentan mayores requerimientos y por lo tanto necesitarán un sistema de pretratamiento que hará que aumenten los costes de instalación.

- Concentración de la disolución

A medida que la concentración de la solución de aporte aumenta, el flujo del solvente disminuye ya que aumenta la presión osmótica de la disolución y esta actúa como sustrayendo de la presión hidráulica en la ecuación [3.9] de transporte del solvente.

- Conversión

Se recuerda que la conversión (Y) es la relación entre el caudal del permeado (Q_p) y el caudal de alimentación (Q_a) definida en la ecuación [3.2].

Este parámetro es importante y define el diseño de la instalación debido a que cuanto mayor sea la conversión mayor será el consumo energético por lo que aumentarán los costes de instalación.

Además, hay que señalar que este factor influye sobre la concentración de salida del rechazo, ya que a mayor conversión se produce más permeado y el rechazo tendrá una concentración mayor.

- Ensuciamiento de la membrana

El ensuciamiento de las membranas es uno de los problemas más importantes que sufre este método. La materia disuelta y/o suspendida se deposita sobre la superficie de la membrana o en los poros provocando que disminuya el rendimiento del proceso y la permeabilidad de la membrana. El ensuciamiento se debe a la combinación de interacciones químicas y físicas de la alimentación y la membrana y por lo tanto depende de la calidad del agua de alimentación.

Otra consecuencia del ensuciamiento de las membranas es que la acumulación de materiales sobre la superficie provoca que se reduzca la vida útil de la membrana debido al incremento de la resistencia que se provoca. Para reducir este problema se hace necesario un sistema limpieza.

3.2 Equipos

Una vez descritas las variables que hay que tener en cuenta, hay que definir cuáles serán los equipos necesarios para llevar a cabo el sistema de OI.

La elección de estos equipos se realizará en función a las características del agua de alimentación y de la población donde se establecerá la planta depuradora.

3.2.1 Bomba de alta presión

Las bombas de alta presión son una parte fundamental de la planta de ósmosis inversa ya que su función es impulsar la solución a tratar hacia las membranas a la presión que se

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

requiere. Es en esta parte donde se consume la mayor parte de la energía del proceso y por ello la elección de la bomba es un factor muy importante.

Hay parámetros que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar una bomba como su rendimiento, la inversión necesaria, el mantenimiento requerido, la disponibilidad, los niveles de ruido, las vibraciones, etc.

En el proceso de ósmosis inversa generalmente se utilizan dos tipos de bombas:

- Alternativas o de desplazamiento positivo



Figura 3.6 Bomba de desplazamiento positivo

- Centrífugas

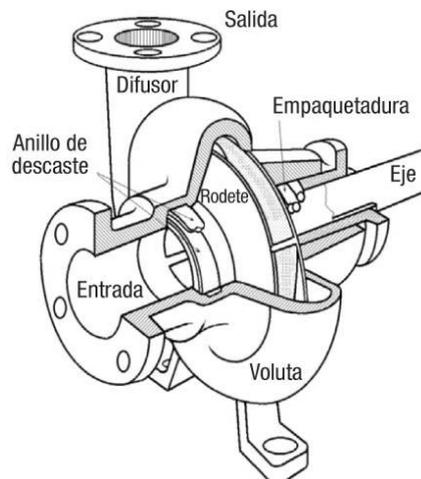


Figura 3.7 Bomba centrífuga

Si compramos estos dos tipos de bombas hay que resaltar que las bombas centrífugas, especialmente las de segmentos y las de cámara partida se utilizan de manera más frecuente que las de desplazamiento positivo. Las bombas centrífugas presentan algunas ventajas frente a las de desplazamiento positivo como la ausencia de pulsaciones de presión y de caudal, mayor operatividad e inferior mantenimiento.

Las bombas de segmento se utilizan tanto en las plantas pequeñas como en de gran tamaño, sin embargo con caudales inferiores a 25 m³/h y presiones superiores a 50 bar decrece tanto el rendimiento que es más aconsejable utilizar bombas de desplazamiento positivo. Si el caudal a tratar está por encima de los 300 m³/h y con presiones superiores a 50 bar se puede obtener un rendimiento mejor con bombas de cámara partida.

Cada bomba tiene ventajas e inconvenientes tal y como se recoge en la Tabla 3.1

Tipo de bomba	Ventajas	Inconvenientes
Desplazamiento positivo	<p>Alto rendimiento hidráulico (superior al 90%).</p> <p>Bajo consumo específico de energía.</p> <p>Se adapta a la compactación y al ensuciamiento de las membranas, aumentando o reduciendo la presión de impulsión sin la intervención de ningún sistema de control.</p>	<p>Suministran un caudal y una presión “pulsados”.</p> <p>Requieren un cambio frecuente de empaquetaduras y émbolos.</p> <p>Pueden llegar a la membrana partículas procedentes de las empaquetaduras.</p> <p>Elevado coste de mantenimiento.</p> <p>Vibraciones y alto nivel sonoro.</p>
Segmentos	<p>Económicas</p>	<p>El rendimiento hidráulico rara vez supera el 80%.</p> <p>Es preciso desmontar las tuberías y toda la bomba para inspeccionar o cambiar un rodete.</p> <p>Riesgo de corrosión en las superficies de contacto entre segmentos.</p>
Cámara partida	<p>Buen rendimiento hidráulico (entorno al 80%).</p> <p>Bombas muy robustas.</p> <p>Fácilmente desmontables, sin desconectar las tuberías.</p> <p>Se accede con facilidad a todas las piezas internas.</p> <p>Fáciles de mantener.</p>	<p>Costo de inversión elevado.</p> <p>Repuestos caros.</p>

Tabla 3.1 Comparación de bombas de alta presión

3.2.2 Módulo de OI

Un módulo es una agrupación de membranas con una configuración determinada que forma la unidad elemental de producción.

Los objetivos que persiguen los distintos fabricantes de módulos de OI son:

- Obtener el máximo rendimiento en la membrana
- Conseguir un sistema lo más compacto posible
- Minimizar los fenómenos de polarización de las membranas
- Facilitar la sustitución de las membranas deterioradas
- Mejorar la limpieza de las membranas sucias
- Etcétera.

Los módulos más usados son los módulos de placas, tubulares, en espiral y de fibra hueca. La comparación entre los distintos tipos de módulos se detalla en la Tabla 3.2.

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

Características	TIPO DE MÓDULO				
	De placas (P & F)	Tubular (TU)	Espiral (SW)	Fibra hueca (HF)	
Superficie de membrana por módulo (m ²)	15-20	1,5-7	30-34	370-575	
Volumen de cada módulo (m ³)	0,3-0,4	0,03-0,1	0,03	0,04-0,08	
Caudal por módulo (m ³ /d)	9-50	0,9-7	30-38	40-70	
Grado de compactación (m ² de membrana por m ³)	50-125	50-70	1000-1100	5000-14000	
Productividad por unidad de superficie (m ³ / día por m ²)	0,6-1	0,6-1	1-1,1	0,1-0,15	
Productividad por unidad de volumen (m ³ / día por m ³)	30-125	30-70	1000-1250	900-1500	
Conversión del trabajo por módulo (%)	10	10	10-50	30-50	
Pérdida de carga por tubo de presión (bar)	2-4	2-3	1-2	1,2	
Sustitución e intercambiabilidad por otra marca	Nula	Nula	Total	Nula	
Tolerancia frente a las sustancias coloidales	Mala	Buena	Mala	Mala	
Tolerancia frente a la materia en suspensión	Mala	Buena	Mala	Mala	
Comportamiento frente a las limpiezas	Mecánicas	Regular	Bueno	No aplicable	No aplicable
	Químicas	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
	Con agua a presión	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno
Pretratamiento necesario	Coagulación + filtración (5 µm)	Filtración	Coagulación + filtración (5 µm)	Coagulación + filtración (1 µm)	
Aplicaciones	Alimentación	Alimentación	Desalación de aguas salobres y de mar	Desalación de aguas salobres y de mar	
	Líquidos poco cargados	Aguas residuales y líquidos poco cargados	Obtención de agua de alta pureza	Obtención de agua de alta pureza	
	Concentración y recuperación de sustancias	Concentración y recuperación de sustancias	Aguas residuales y líquidos poco cargados Concentración y recuperación de sustancias	Concentración y recuperación de sustancias	

Tabla 3.2 Comparación de los módulos de OI

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

A continuación se muestra la dirección del flujo que sigue la disolución en cada unidad de OI.

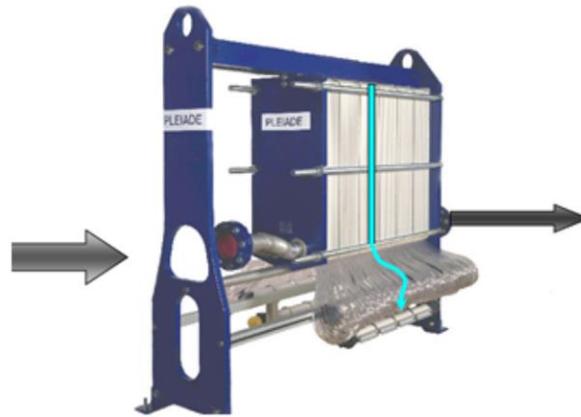


Figura 3.8 Módulo de placas

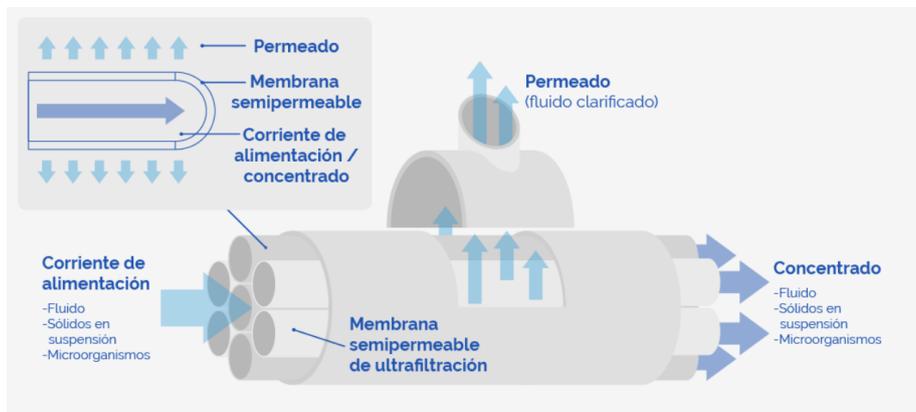


Figura 3.9 Módulo tubular

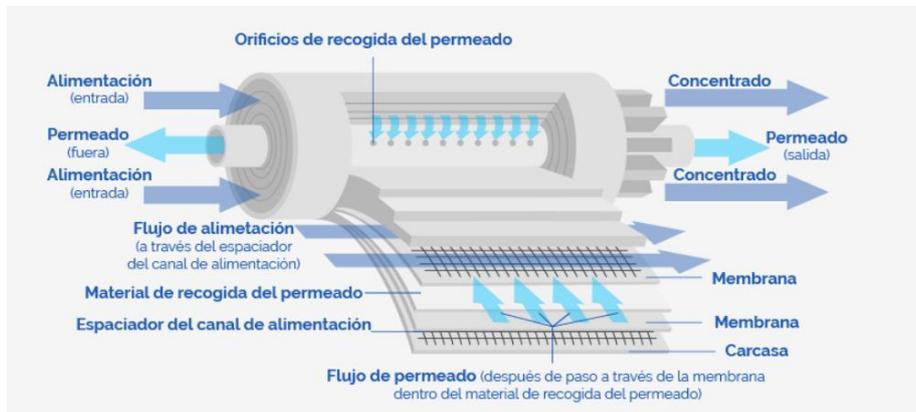


Figura 3.10 Módulo de espiral

3. Fundamentos de la ósmosis inversa

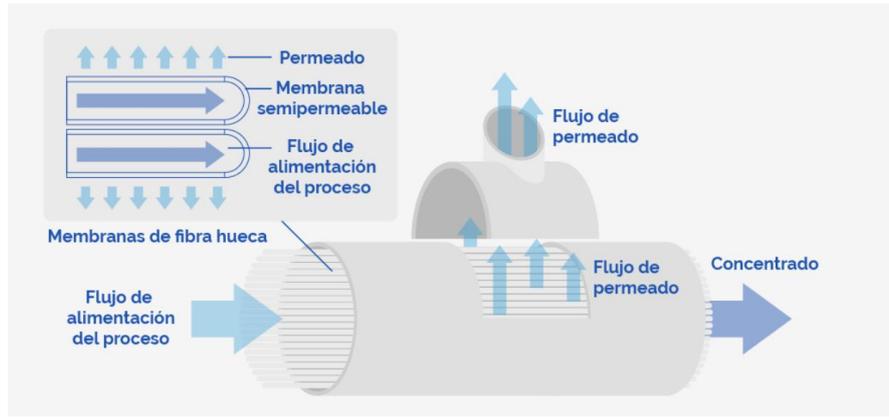


Figura 3.11 Módulo de fibra hueca

3.2.3 Sistema de recuperación de energía

Mediante la implementación de un sistema de recuperación de la energía en forma de presión, que posee el rechazo, el proceso de OI sería más ventajoso que el sistema tradicional ya que reduciría los costos de producción y además sería bueno para el medio ambiente.

Esta opción es viable para presiones superiores a 25 bar.

Los sistemas que se utilizan para recuperar la energía del rechazo son:

- Turbinas Pelton
- Turbinas de contrapresión
- Conversores hidráulicos centrífugos
- Conversores hidráulicos dinámicos.

La comparación de los diferentes sistemas de recuperación de energía se recoge en la Tabla 3.3.

Características	Turbina Pelton	Turbina de contrapresión	Turbobomba integral	Convertor centrífugo
Espacio necesario	Reducido	Importante	Medio	Muy reducido
Funcionamiento en seco	Posible	Imposible	Imposible	Imposible
Flexibilidad de funcionamiento	Amplia	Reducida	Reducida	Muy reducida
Rechazo que recibe	Todo	Parte	Parte	Todo
By-pass de la turbina	No necesario	Necesario	Necesario	Necesario
Contrapresión	No tolera	Tolera/precisa	Tolera/precisa	Tolera/ precisa
% Caudal nominal para recuperar la energía	20	40	49	60
Rendimiento mecánico	75-90%	70-83%	65-78%	40-70 %

Plantas en las que se utiliza	Medias-grandes	Medias-grandes	Medias	Pequeñas-medianas
-------------------------------	----------------	----------------	--------	-------------------

Tabla 3.3 Comparación de los sistemas de recuperación de energía

3.2.4 Controladores de presión

Las variables de diseño se caracterizan por presentar un complejo comportamiento dinámico, por lo que requieren de controladores precisos y eficientes que garanticen las condiciones óptimas de operación. Se pueden utilizar controladores convencionales tipo PI o PID, sin embargo estos controladores pueden fallar debido al complejo comportamiento dinámico de las variables. La solución es utilizar controladores predictivos basados en modelos, los cuales ofrecen ventajas como intentar reproducir el comportamiento de un operador experto en el control de un determinado proceso.

De los controladores predictivos disponibles en el mercado, uno de los que presenta mayor aceptación es el controlador predictivo generalizado (GPC). Entre sus ventajas esta la posibilidad de controlar plantas con comportamientos dinámicos complejos, representar la dinámica de la planta y de las perturbaciones mediante modelos basados en funciones de transferencia o se aplicado en un esquema de control adaptativo, etc.

4. Diseño de la instalación

Para poder realizar el diseño de la instalación es necesario un estudio previo de las características principales del agua de origen y de las necesidades hídricas de la población que se debe abastecer. Una vez conocidos estos datos se podrá decidir cuáles son las etapas y el equipo con las mejores características para esta instalación.

4.1 Características principales

4.1.1 Origen del agua contaminada

Contaminantes orgánicos no biodegradables como los pesticidas y los PFCP han sido detectados en el sistema de acuíferos de la Plana de Valencia. Este sistema se subdivide para su estudio en dos masas de agua subterráneas a la altura del lago de La Albufera, donde en su ribera oeste tiene lugar la elevación de la formación miocena que ocasiona una disminución de los sedimentos cuaternarios. Por esta razón pueden considerarse las dos masas de agua independientes entre sí aunque la desconexión hidráulica no sea total. El sistema se divide en el sistema de acuíferos de la Plana de Valencia Norte y en el sistema de acuíferos de la Plana de Valencia Sur (PVS).

El lugar de estudio será el sistema de acuíferos de la PVS, denominado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) como la unidad hidrogeológica 08.26 y según el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar vigente del año 2015-2021 el código de la masa del agua correspondiente a este sistema de acuíferos es 080.142. Se ha escogido este lugar de muestreo debido a la actividad agrícola de esta zona.

El sistema de acuíferos está ubicado en el levante de la península ibérica, como muestra la Figura 4.1, siendo el mar Mediterráneo su límite oriental. Este acuífero tiene un flujo subterráneo en sentido general de oeste a este, hacia el mar. El acuífero es excedentario y presenta una estrecha relación con el río Júcar que es de carácter efluente en el tramo final de su cauce.

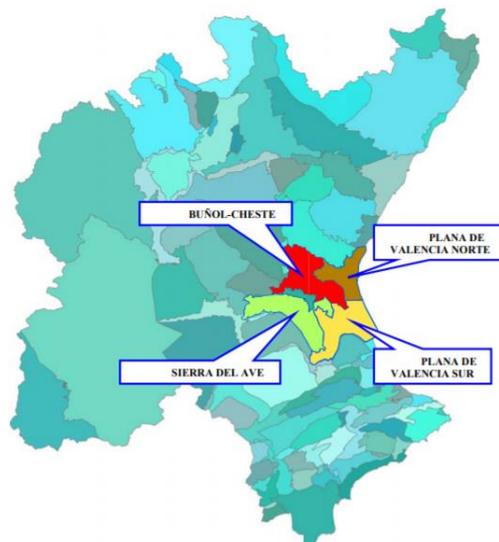


Figura 4.1 División de la Plana de Valencia

La alimentación natural de este acuífero se produce por la infiltración del agua de lluvia y de las transferencias laterales subterráneas procedentes de otros sistemas como el de Buñol-Cheste, La Contienda, La Sierra del Ave y Coroch Norte. Las salidas naturales se producen

4. Diseño de la instalación

mediante descargas subterráneas al mar Mediterráneo, a cauces, a la Albufera de Valencia y mediante manantiales.

4.1.2 Características físico-químicas del agua de origen

Para conocer las características físico-químicas del agua de origen se ha tomado un estudio realizado por el IGME, que reveló que para la zona de la PVS, el sondeo con el código de la CHJ 08.26.123 y según el IGME 29295017 presenta las siguientes características:

pH	7,2
T(°C) <i>In situ</i>	19,2
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1.950
TDS (mg/L)	1.724
DQO (mg/L)	0,6
Cl (mg/L)	138
SO ₄ (mg/L)	560
HCO ₃ (mg/L)	237
NO ₃ (mg/L)	320
Na (mg/L)	76
Mg (mg/L)	111
Ca (mg/L)	256
K (mg/L)	3
NO ₂ (mg/L)	0,25
SiO ₂ (mg/L)	15,9
B (mg/L)	0,213
F (mg/L)	0,161
Br (mg/L)	0,513
Sr (mg/L)	6,5

Tabla 4.1 Características físico-químicas del agua de origen

Las coordenadas según el sistema UTM 30 ETRS89 del punto de sondeo son:

- X: 718.2528
- Y: 4.342.98

El agua de origen se encuentra en el municipio de Guadassuar, en la provincia de Valencia. En la Figura 4.2 se encuentra marcada en azul la parcela donde se encuentra la zona de sondeo.



Figura 4.2 Localización del agua de origen

Gracias a un estudio realizado en 2018 se ha podido determinar la concentración de fármacos para la zona de la PVS. Las concentraciones de los fármacos en los acuíferos se ven afectadas por numerosos procesos físico-químicos como la dilución, la adsorción y la degradación.

Se han seleccionado dos fármacos con propiedades diferentes y con un potencial para ser perjudicial para la salud humana y el medio ambiente. Los valores de concentración están basados en investigaciones ya publicadas (Damiano,2018).

Los datos proporcionados se han obtenido mediante una simulación en el que el escenario plantea la aplicación directa de los efluentes de las EDAR en zonas de regadío.

Debido a que el drenaje del río hacia el acuífero es limitado, el contaminante ingresará en menor proporción al acuífero. Por ello se toma la concentración mínima del contaminante en el acuífero.

Compuesto	Familia	Toxicidad	Concentración (mg/L)
Paracetamol	Antiinflamatorio/Analgésico	Tóxico-perjudicial	0,001
Sulfametoxazol	Antibiótico	Muy tóxico	0,001

Tabla 4.2 Características de los fármacos

Una vez conocidas las características del agua hay que tener en cuenta los parámetros que debe cumplir el agua para que sea apta para el consumo humano. Estos parámetros vienen especificados en el Anexo 1.

4.1.3 Población y capacidad

Según el plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar (CHJ) 2015-2021 el acuífero de la Plana de Valencia Sur para el año 2021 tiene una población total de 75.523 hab-eq. De este valor la población permanente son 74.572 hab-eq, a las viviendas secundarias les corresponde un valor de 740 hab-eq y el turismo tiene un valor de 212 hab-eq. La mayoría de la demanda de esta

4. Diseño de la instalación

población corresponde al uso doméstico. La dotación de agua suministrada para el 2021 es de 297 L/habitantes/día.

La planta potabilizadora de agua se localizará en la PVS, cerca de la zona de captación de los acuíferos. Para poder seleccionar la parcela donde se ubicará la planta potabilizadora de agua hay que estimar el espacio necesario y, para ello, se toma como referencia los valores de la Tabla 4.3 que muestran una relación en función de la capacidad diaria de producción de agua de la planta (Voutchkov, 2013).

Capacidad de la planta (m ³ /día)	Requisitos de espacio típicos (m ²)
10.000	4.500-6.100
20.000	10.100-14.200
40.000	18.200-24.300

Tabla 4.3 Capacidad de la planta de OI

Sabiendo el valor de la dotación y el valor de la población equivalente, se obtiene que la planta debe producir 22430 m³/día. Según los datos de la Tabla 4.3, realizando una interpolación, se obtiene que el espacio necesario para la planta depuradora es de 15.427 m².

La ubicación del lugar más viable para un proyecto determinado, por lo general, se determina mediante un análisis de costo-beneficio de varios sitios alternativos dentro del área de servicio de la planta. Algunos de los requisitos que debe cumplir son:

- Tamaño de tierra disponible adecuado para construir la planta teniendo en cuenta la capacidad seleccionada.
- Ubicación fuera de las áreas ambientalmente sensibles como reservas o sitios de escala de aves migratorias o hábitats naturales de especies en peligro de extinción.
- Distancia adecuada de la zona urbana ya que podrían ser sensibles al aumento de ruido y tráfico durante la construcción y operación de la planta.

En este proyecto, la ubicación de la parcela donde se ubicará la planta depuradora es la Parcela 254 situada en Guadassuar, Valencia. Esta parcela tiene una superficie 19.241 m² y se encuentra a unos 1.522 m de distancia de la zona de sondeo. En la Figura 4.3 se marca en azul la parcela donde se situará la planta depuradora.

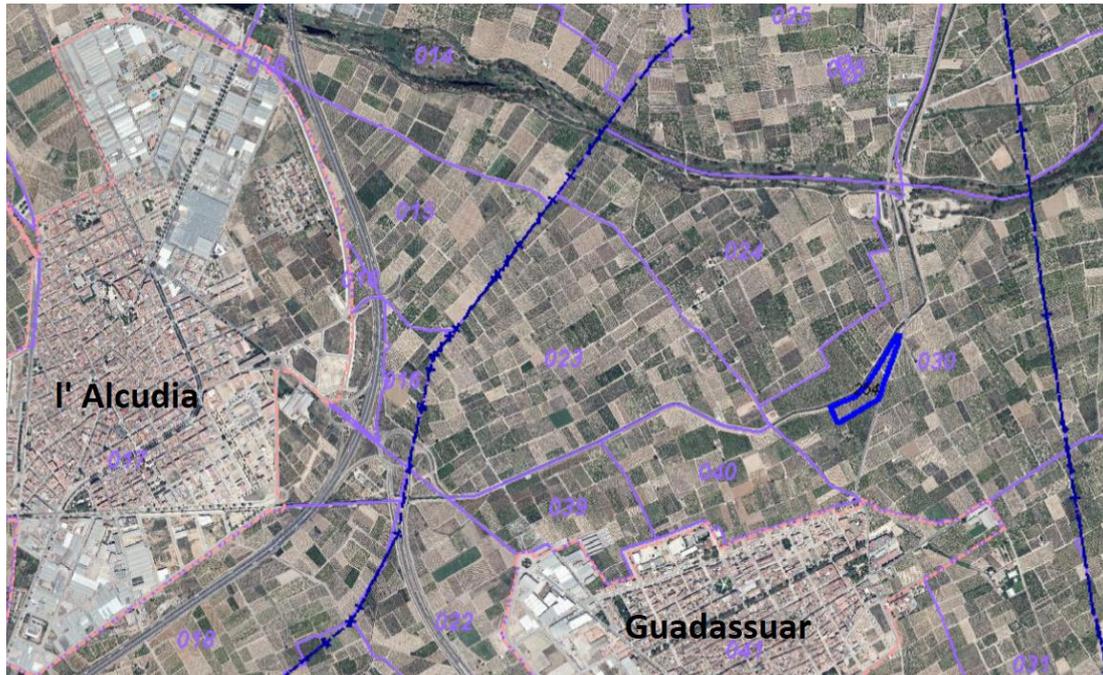


Figura 4.3 Localización de la planta depuradora

4.2 Diagrama de flujo

Las operaciones que se van a llevar a cabo en la planta de depuradora se muestran en el diagrama de flujo de la Figura 4.4.

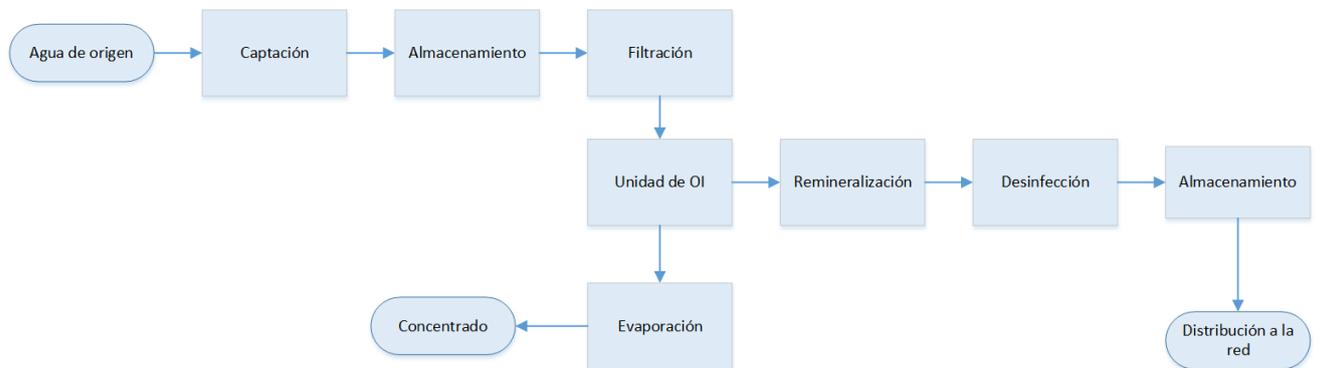


Figura 4.4 Diagrama de flujo del proceso

4.3 Etapas del tratamiento

4.3.1 Captación y bombeo del acuífero

La captación del agua de alimento se será a través del sistema de acuíferos de la PVS.

Un acuífero es una formación que contiene agua aprovechable y es capaz de transmitir la entrega de agua en cantidad suficiente para permitir la explotación. La extracción de un acuífero se produce mediante el uso de pozos o mediante la explotación de manantiales.

- Pozo artesiano: Capta agua de un acuífero situado entre dos capas impermeables. Se caracteriza porque el agua está sometida a fuerte presión y sale por si sola hasta alcanzar el nivel hidrostático de la región.

4. Diseño de la instalación

- Pozo de bombeo: Capta agua de un acuífero natural. Se caracteriza porque el nivel hidrostático está por debajo del suelo por lo que se necesita bombeo para extraer el agua. Además el nivel de agua varía con las estaciones.
- Manantial: Es una fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas. Puede ser permanente o temporal. Va ligado a niveles impermeables del subsuelo.

En este caso al tratarse de un acuífero natural y estar el nivel hidrostático por debajo del suelo, se va a utilizar una captación mediante un pozo de bombeo. Hay que destacar que al tratarse de un sistema de acuíferos la captación no será de un único lugar, sin embargo para este estudio se va a simplificar suponiendo que la captación proviene únicamente del sondeo descrito en el apartado anterior.

Para trasladar el agua desde la zona de captación hasta la ETAP, se necesitan bombas. Las tuberías conducirán el agua subterránea extradada a un depósito de alimentación con una capacidad suficiente para abastecer a la ETAP un día completo en caso de avería de la toma de captación.

4.3.2 Tratamiento físico-químico

Tras la captación y bombeo del agua, se va a realizar un pretratamiento para disminuir la cantidad de elementos que disminuyen la eficiencia del proceso.

En este caso no se disponen de datos suficiente para diseñar un pretratamiento eficaz por lo que, considerando que se trata de agua de pozo, se asume que el agua no tiene un ensuciamiento significativo y por lo tanto no se hace necesario un fuerte proceso de pretratamiento.

Se realizará una filtración mediante filtros de cartucho. Los filtros de cartucho son elementos en general de forma cilíndrica que se insertan en portafiltros y se reemplazan una vez que la disminución de la presión a través del portafiltros llega a ser excesiva. En el mercado hay varios modelos en cuanto a tamaño y a materiales. El tamaño de estos filtros va de 0.45 a 70 μm .

Para este caso se utilizarán filtros de cartucho LOFTREX de 5 μm .

Los filtros están hechos de fibras de polipropileno unidas térmicamente para evitar cualquier migración de la fibra. Además este material ofrece una excelente compatibilidad química. Otra característica es que estos filtros son resistentes a temperaturas de hasta 80°C.



Figura 4.5 Filtro de cartucho

4. Diseño de la instalación

El ensuciamiento de las membranas es uno de los principales problemas que presentan las plantas de OI. La pérdida de rendimiento de las membranas de OI es debido principalmente, cuatro tipos de ensuciamiento:

- Incrustaciones y ensuciamiento por metales: Este tipo de ensuciamiento es causado principalmente por la precipitación de sales inorgánicas de baja solubilidad y de óxidos/hidróxidos metálicos en el rechazo.
- Adsorción de materia orgánica.
- Contaminación microbiana: Es debido al crecimiento de microorganismos del biofilm en la superficie de la membrana.
- Taponamiento de la membrana: Este ensuciamiento es debido a la deposición de material coloidal y particulado.

Debido a la composición del agua de origen (Tabla 4.1) se formarán incrustaciones por sulfato de calcio y sulfato de estroncio. Por lo tanto se hace necesario la presencia de agentes antiincrustantes para mejorar el rendimiento del proceso.

El antiincrustante elegido es el Adic RO-20B. Este antiincrustante es altamente efectivo y se lleva dosificando en desaladoras desde hace más de 20 años. El Adic RO-20B es capaz de proteger a las membranas frente a las incrustaciones provocadas por el carbonato de calcio, el sulfato de calcio, el sulfato de bario, el sulfato de estroncio y el fluoruro de calcio. Además este antiincrustante inhibe la formación de coloides.

Se ha realizado un estudio para validar la eficacia de este antiincrustante y se ha llegado a la conclusión que es posible filtrar 2,5 veces más de volumen de agua con el antiincrustante que sin él. Esto es debido que la dosificación del antiincrustante retarda el colapso del filtro.

Para determinar la cantidad de antiincrustante que se debe utilizar hay que realizar un estudio experimental.

4.3.3 Postratamiento

La calidad del agua del permeado, tras la ósmosis inversa, indica una deficiencia en el nivel de calcio, por ello es necesario un postratamiento para remineralizar el agua.

Las técnicas de remineralización tienen como finalidad aumentar la dureza cálcica y la alcalinidad el agua hasta alcanzar un índice de saturación (LSI) próximo a cero. En el caso de las aguas destinadas a abastecimiento, otra finalidad es conseguir un agua remineralizada que sea estable en contacto con la atmósfera.

Para ello hay que alcanzar un equilibrio calcio-carbónico donde el pH, el calcio disuelto y la alcalinidad no varían o lo hacen muy poco con el contacto con la atmósfera y, al mismo tiempo, minimizar el consumo de energía y de productos químicos durante este proceso.

En la Figura 4.6 se muestra el equilibrio del $\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-}$. En esta figura se puede ver que el aumento de bicarbonatos va acompañado de un aumento del pH hasta llegar a un pH de 8,2.

4. Diseño de la instalación

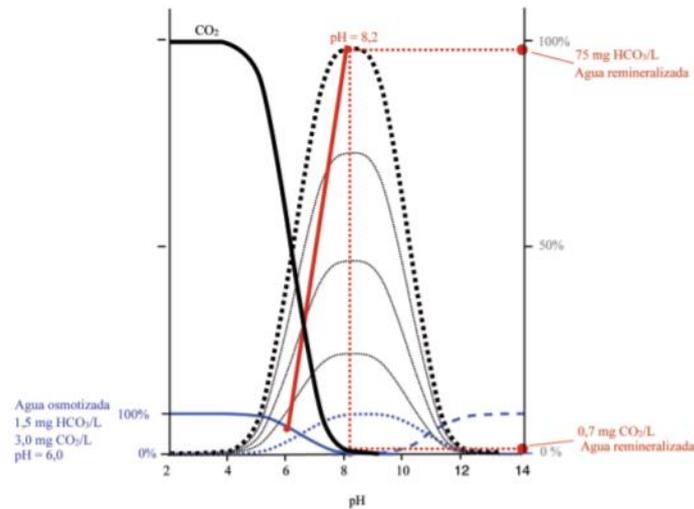


Figura 4.6 Aspectos del equilibrio $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$ en el proceso de remineralización.

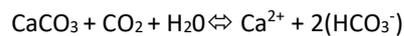
En la Tabla 4.4 se muestran las diferentes técnicas de remineralización del agua según la “Guía para la remineralización de aguas desaladas”. De las cinco técnicas, las más utilizadas son la primera y la segunda.

Proceso de remineralización		Reacción del proceso	Consumo de químicos por incremento de 1 mmol (61 mg) de HCO_3^-	Incremento de contenido en cationes y aniones por 1 mmol (61 mg) de HCO_3^-
1	Carbonato cálcico+ Dióxido de carbono	$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-)$	50,1 mg CaCO_3 (100%) 22 mg CO_2	20 mg Ca^{2+}
2	Hidróxido cálcico + Dióxido de carbono	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-)$	37,1 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (100%) 44 mg CO_2/L	20 mg Ca^{2+}
3	Dolomita + Dióxido de carbono	$\text{MgOCaCO}_3 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + 4(\text{HCO}_3^-)$	35,1 mg MgOCaCO_3 (100%) 33 mg CO_2	6,1 mg Mg^{2+} 10 mg Ca^{2+}
4	Carbonato cálcico+ Ácido sulfúrico	$2\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-) + \text{Ca}(\text{SO}_4)$	100,1mg CaCO_3 (100%) 49 mg H_2SO_4 (100%)	40,1 mg Ca^{2+} 48 mg SO_4^{2-}
5	Cloruro cálcico + Bicarbonato sódico	$\text{CaCl}_2 + 2\text{NaHCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-) + 2\text{NaCl}$	55,5 mg CaCl_2 (100%) 84 mg NaHCO_3 (100%)	23 mg Na^+ 20 mg Ca^{2+} 35,5 mg Cl^-

Tabla 4.4 Técnicas de remineralización

Para este proyecto se va a escoger la remineralización con lechos de calcita debido al menor consumo de CO_2 y menor complejidad del proceso.

Este tipo de tratamiento utiliza carbonato cálcico para neutralizar el gas carbónico agresivo durante la filtración dando lugar carbonato de calcio en disolución, aumentando de esta manera la alcalinidad y la dureza del agua. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



En este proceso el material filtrante que se suele emplear es calcita granulada con una pureza del 99% aproximadamente. Es importante que la calcita esté libre de polvo y que tenga una granulometría uniforme de 1-3 mm. La calidad recomendada para el buen funcionamiento, independientemente del sentido de filtración es la que se muestra en la Tabla 4.5.

4. Diseño de la instalación

Parámetro	Valor recomendado
Pureza	> 97%
SiO ₂	< 1%
Al ₂ O ₃	< 1%
MgO	< 0,3 %
SO ₃	< 1%
Óxido de Hierro	< 0,1%
Peso específico (t/m ³)	2,7
PE granulado seco (t/m ³)	1,5
PE granulado húmedo (t/m ³)	1,8
% partículas con diámetro 0,3 mm	< 3%
% partículas con diámetro 0,1 mm	< 1%
Material insoluble > 50 µm	< 0,5 %

Tabla 4.5 Recomendación para la calidad de calcita. Valores en % en peso seco

La temperatura será un factor que tener en el proceso de remineralización, ya que al disminuir la temperatura disminuye también la velocidad de las reacciones que intervienen en el proceso.

El cálculo del tiempo de contacto en el lecho vacío o EBCT (Empty Bed Contact Time) se determina mediante simulaciones. La temperatura afectará a este parámetro también ya que al disminuir la velocidad de las reacciones se necesitará un mayor tiempo de contacto en los tanques.

Los lechos filtrantes se instalan en filtros abiertos o cerrados a presión. Los sentidos de filtración pueden ser ascendentes o descendentes. Los lechos de calcita se diseñan en celdas rectangulares de diferentes tamaños o en depósitos circulares.

Además hay que mencionar que generalmente es necesario cierto aporte de CO₂ al agua desalada para poder realizar una adecuada remineralización. La dosificación de CO₂ funciona bien con inyección directa en la tubería con flujo ascendente y debe mantenerse en $0,07 \pm 0,02$ m/s para evitar el arrastre de las burbujas. La presión diferencial entre el agua y el gas debe ser el orden de 0,24 bar. Si la presión diferencial es mayor, aumenta el tamaño de las burbujas dentro del agua.

Tras la remineralización, se hace necesario un tratamiento de desinfección final. Este tratamiento se realiza con cloro debido a su efecto residual.

El poder desinfectante del cloro y sus compuestos radica en su capacidad de oxidación. El efecto bactericida del cloro es máximo cuando se encuentra en forma de ácido hipocloroso.

El ácido hipocloroso (HClO) y su ión (OCl⁻) se encuentran en equilibrio, sin embargo es el HClO el compuesto que tiene una mayor capacidad desinfectante.

El equilibrio entre el HClO y el OCl⁻ se ve desplazado por el pH. Este efecto se puede ver en la Figura 4.7.

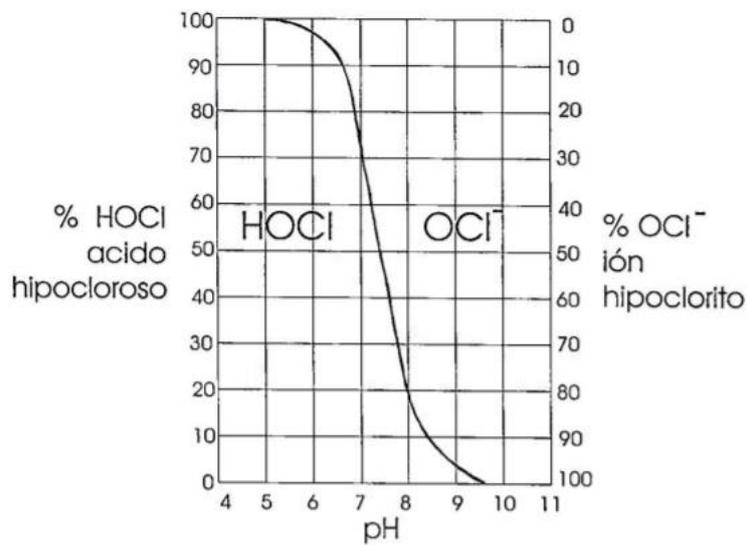


Figura 4.7 Curva de ionización del HClO en función del pH a 20°C

Según la cantidad de cloro utilizada se puede clorar de diferentes maneras. Para este estudio se ha escogido una cloración al punto de ruptura (*break-point*). Esta cloración consiste en añadir cloro con la dosis necesaria para que se oxiden todas las sustancias químicas presentes en el agua y que quede al final una cantidad de cloro residual libre. Esta cantidad de cloro no debe superar 1 ppm según el Real Decreto 140/2003.

4.4 Unidad de OI

La unidad de OI consta de dos partes fundamentales: la bomba de alta presión y las membranas de ósmosis inversa.

La elección de la bomba que se va a utilizar así como el tipo de membrana y su agrupación determinarán las características del permeado.

Para poder optimizar el proceso primero se elegirá una configuración general en la que se decidirá las etapas y el número de bastidores del proceso, luego se definirán las variables de operación y por último, tras realizar simulaciones, se determinará la configuración final de la unidad de OI.

4.4.1 Configuración

La configuración de la unidad de ósmosis inversa para este proyecto consistirá en cuatro trenes. Por cada tren pasará un cuarto del caudal de entrada. El sistema, además, consta de dos etapas tal y como muestra la Figura 4.6.

En la Figura 4.6 se observa que además de los cuatro bastidores hay una línea de reserva por si alguna de las líneas operativas falla o para plantar una posible expansión de la planta.

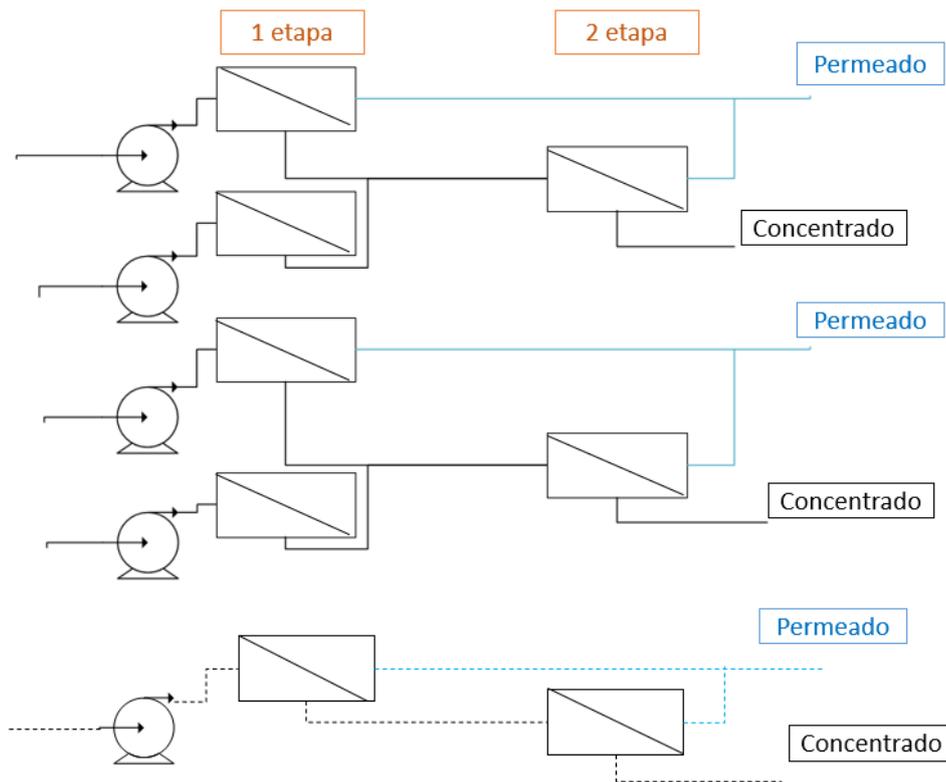


Figura 4.8 Configuración de la OI

4.4.2 Variables de operación

Las variables de operación son:

- El tipo de membrana

El tipo de membrana es un factor importante ya que influye en las características del permeado. Cada membrana tiene una producción nominal y un porcentaje de rechazo de sales distinto además de que su presión de trabajo cambia. Este hecho provoca que no todas las membranas proporcionen las mismas características de permeado.

- La conversión

La conversión afecta al caudal de alimento, la calidad del permeado y la energía específica. Al aumentar la conversión, para producir la misma cantidad de permeado, el caudal de alimento disminuye. La disminución del caudal de alimento se ve reflejado en una disminución del consumo específico de la bomba, ya que tiene que impulsar un caudal menor.

- El flux promedio

El flux promedio también afecta al consumo específico. A mayor flux el consumo específico de la bomba será mayor.

4.4.3 Estudio del consumo energético

Se han realizado veinticuatro simulaciones en las que se ha cambiado los valores de las variables de operación con el fin de realizar un estudio del consumo energético y un estudio de la calidad del agua tras la ósmosis inversa.

4. Diseño de la instalación

Al tratarse de un agua subterránea, las conversiones empleadas para las simulaciones son: 75%, 80%, 85% y 90%.

En cuanto al tipo de membrana utilizada, según la Figura 4.7 hay seis posibles membranas recomendadas por el software que se pueden emplear en la OI, sin embargo en este estudio vamos a simular el comportamiento de tres de ellas. Las escogidas son ESPA2 MAX, ESPA2-LD MAX y ESPA4-LD.

Se han seleccionado estas tres membranas porque las tres tienen la misma producción nominal, que además es la más alta de las seis membranas. La diferencia entre estas membranas se encuentra en el porcentaje de rechazo de sales, siendo la membrana ESPA4-LD la que presenta un porcentaje ligeramente menor respecto a las otras dos membranas.

Selección de elemento										
Membranas recomendadas <input type="checkbox"/> hoja de especificaciones elemento										
	Modelo	Producción nominal (GPD)	Rechazo de sal, %	Tipo de elemento	Tamaño (in x in)	Área (Pies cuadrados)	espaciado (mil)	Presión de prueba (psil)	Presión de alimentación (bar)	Permeate TDS (mg/l)
C	<input type="checkbox"/> ESNA1-LF2-LD	12000	91,00	NF Softening Low Dp	8 X 40	400	34	75		
C	<input type="checkbox"/> ESNA1-LF-LD	9500	93,00	NF Softening Low Dp	8 X 40	400	34	75		
C	<input type="checkbox"/> ESNA4-LD	8000	99,00	BWRO Lowest Pressure Lo...	8 X 40	400	34	75		
C	<input type="checkbox"/> ESPA2 MAX	12000	99,60	BWRO Low Pressure High ...	8 X 40	440	28	150		
C	<input type="checkbox"/> ESPA2-LD	10000	99,60	BWRO Low Pressure High ...	8 X 40	400	34	150		
C	<input type="checkbox"/> ESPA2-LD MAX	12000	99,60	BWRO Low Pressure High ...	8 X 40	440	34	150		
C	<input checked="" type="checkbox"/> ESPA4-LD	12000	99,20	BWRO Lowest Pressure Lo...	8 X 40	400	34	100		
C	<input type="checkbox"/> ESPA4-LD HP	11000	99,20	BWRO Lowest Pressure Lo...	8 X 40	400	34	100		
C	<input type="checkbox"/> SanRO-HS2-8	14000	99,60	Sanitary Highest Flow	8 X 40	380	32	225		
C	<input type="checkbox"/> SanRO-HS-8	10000	99,70	Sanitary High Rejection	8 X 40	380	32	225		

Figura 4.9 Tipos de membranas de OI

El flux promedio de las simulaciones también será un parámetro que se va a cambiar. Para ello se han realizado las doce primeras simulaciones con un flux típico de 27,2 l/mh, mientras que las doce últimas simulaciones se han realizado con un flux agresivo de 34 l/mh. Hay que resaltar que para la membrana ESPA4-LD no se ha podido alcanzar el valor de 34 l/mh por lo que se ha tenido que realizar las simulaciones con un valor de 32 l/mh.

Tras realizar las simulaciones, algunos de los valores no se han representado en los gráficos ya que presentaban problemas con los límites de saturación y/o con los límites de diseño.

Los resultados de las simulaciones al comparar el consumo específico de la bomba con las diferentes conversiones para los dos tipos de flux se ven en el Gráfico 4.1.

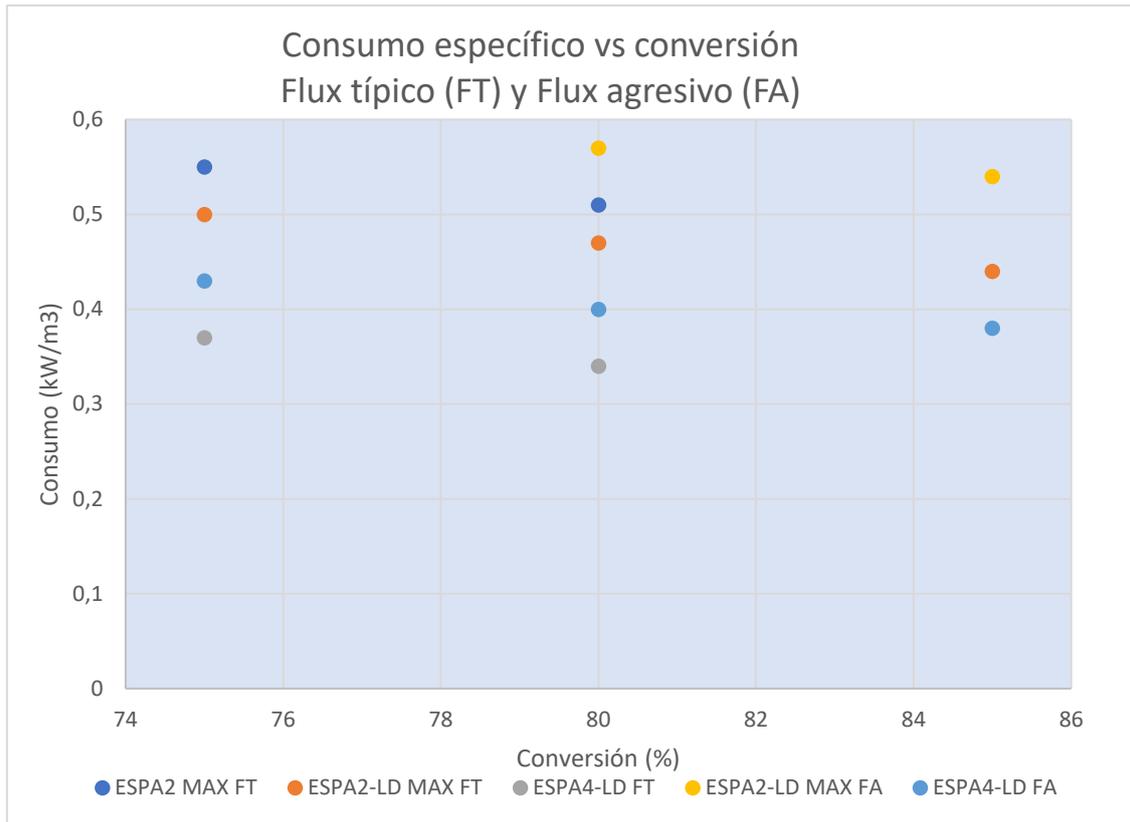


Gráfico 4.1 Consumo específico vs conversión

En este gráfico se puede ver como el consumo específico de la bomba aumenta cuando se utiliza un flux agresivo, por lo que la elección del flux típico es la más ventajosa.

También se puede observar que a medida que aumenta la conversión, el consumo energético decrece. Esto tiene que ver con el caudal que debe tratar la bomba. A medida que aumenta la conversión el caudal de alimento que se debe proporcionar a la planta, para el mismo caudal de permeado, disminuye el caudal de entrada [ecuación 3.2]. Este hecho provoca que la bomba tenga que impulsar una cantidad menor de agua y por lo tanto el consumo específico sea menor.

En cuanto a la elección de las membranas se puede observar como la ESPA4-LD con una conversión del 80% sería la opción más ventajosa, sin embargo en el análisis de agua del permeado se puede ver como el nivel de nitratos está por encima del límite establecido por el Real Decreto 140/2007. Lo mismo ocurre para la membrana ESPA4-LD al 75%. Por lo tanto la opción más viable, desde el punto de vista del consumo específico de la bomba y que además cumple con los límites de agua para el consumo humano es la membrana ESPA2-LD al 95%. En el Anexo 2 se encuentra el informe completo de estas simulaciones.

Esta membrana tiene un CCPP que supera ligeramente el límite, pero para el diseño de esta instalación se puede aceptar.

Los resultados de las simulaciones al comparar la calidad del agua frente a la conversión se ven en la Gráfico 4.2.

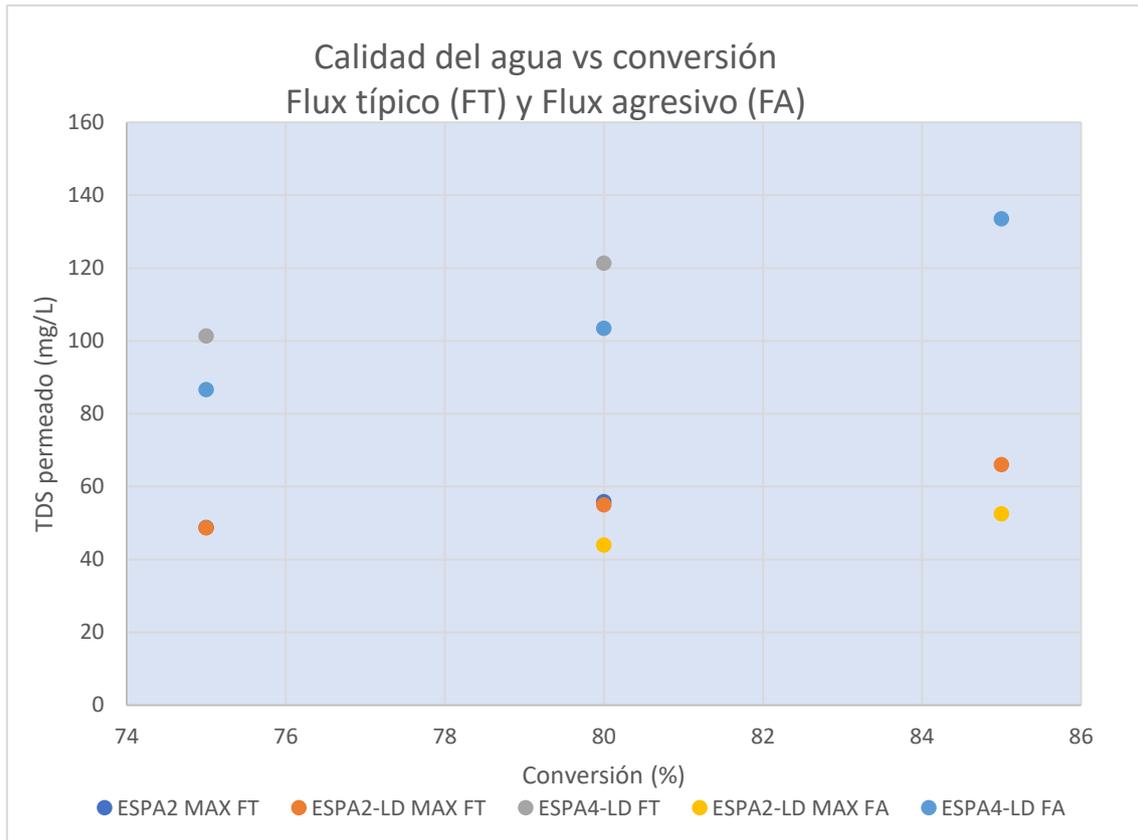


Gráfico 4.2 Calidad del agua vs concentración

En este gráfico se puede ver como la calidad del agua es mejor cuando se trabaja con un flux agresivo. Sin embargo el TDS (Sólidos Totales Disueltos) en todos los casos es inferior al límite establecido para el agua potable, por lo tanto la elección del flux teniendo en cuenta calidad del agua, en este caso, no es relevante.

Otro aspecto que comentar es que a medida que aumenta la conversión el TDS del permeado aumenta. La concentración del rechazo también tiene una relación proporcional con la conversión.

4.5 Gestión de concentrados

Los concentrados que salen por la corriente de rechazo se transportan para su posterior tratamiento mediante evaporación superficial o ambiental.

El proceso de evaporación tiene la finalidad de concentrar los contaminantes mediante una reducción del volumen del disolvente, en este caso el agua. La evaporación se puede realizar con o sin aporte de calor.

La evaporación ambiental presenta una ventaja frente a la evaporación con aporte de calor ya que constituye una alternativa de bajo consumo energético. La desventaja es que requiere grandes extensiones de terreno para poder llevarlo a cabo. Esta desventaja se puede suplir mediante el empleo de superficies adsorbentes expuestas al ambiente, usando como fuerza impulsora el gradiente de humedad relativo en el sistema y la velocidad del aire. Este proceso recibe el nombre de Evaporación Natural Asistida (ENA).

La velocidad del aire está directamente relacionada con la velocidad media de las moléculas necesaria para pasar de líquido a gas de forma gradual, sin ebullición. Este parámetro

tiene importancia ya que puede haber moléculas individuales que se muevan a una velocidad mucho mayor o menor que la media.

La temperatura ambiente es otro parámetro muy importante a la hora de definir y calcular la velocidad de reducción de los residuos. A pesar de ser un parámetro muy variable, la temperatura ambiente marca el grado de incidencia de los demás parámetros que intervienen en el proceso como la humedad relativa, el viento y el área de evaporización.

La eficiencia del sistema durante los días en que la temperatura ambiente es mayor sube. Por lo tanto en las horas que la insolación aumenta la evaporación también lo hace.

El área de tratamiento debe ser un sitio al aire libre, lejos de zonas con mucho tráfico y con condiciones aptas para realizar mediciones y temperatura y tomar medidas en caso de lluvia.

En caso de lluvias hay que proteger el sistema con una superficie de vidrio para evitar derrames y un aumento del volumen del contaminante. Además el vidrio funciona como superficie de reflexión del sol, lo que aumenta la velocidad de evaporación y de insolación.

En conclusión, el proceso ENA permite la recristalización controlada de los sólidos disueltos sobre la superficie adsorbente además de minimizar la formación de aerosoles. Este método permite concentrar los contaminantes hasta el estado sólido para su reutilización y/o valoración.



Figura 4.10 Evaporación ambiental

4.6 Balance de materia

Por último se muestra un balance de materia del proceso de la membrana y con la conversión más ventajosa desde el punto de vista del consumo energético.

4. Diseño de la instalación

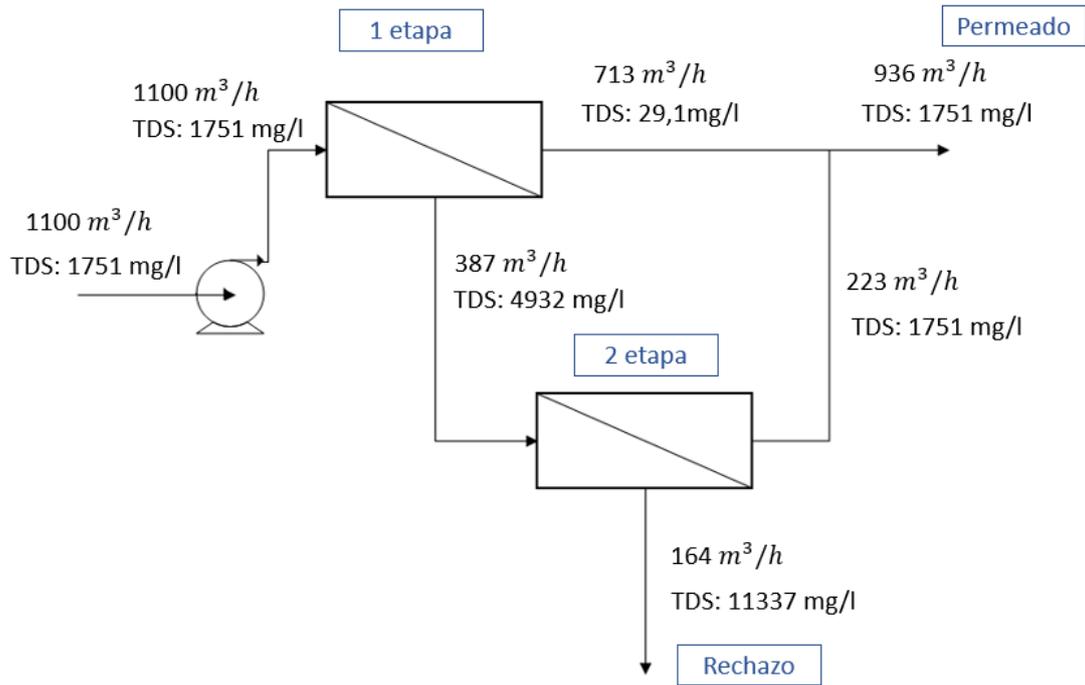


Figura 4.11 Balance de materia con dos etapas para una membrana ESPA2-LD MAX al 85% de conversión

5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa

En el diseño de la unidad de ósmosis inversa se hace uso del programa *IMSDesign*. Este software sirve para simular el comportamiento de un tratamiento de agua por desalación.

5.1 Análisis del agua de origen

El primer paso para diseñar la planta potabilizadora es definir las características del agua de alimento en el software de simulación. En la pestaña “Análisis” aparecen todos los datos que se deben introducir para poder caracterizarlo.

Tal y como muestra la figura 5.1, lo primero hay introducir el nombre del proyecto y el nombre de la persona que realiza la simulación.

The screenshot shows the IMSDesign software interface for water analysis. The main window displays the following data:

Project: Simulación 7 | Calculado por: Yessica Jaramillo | Temperatura: 19,2 °C | Tipo de agua: Pozo salobre sin ensuciamiento | Fecha: 16/07/2021

Input fields: pH (7,20), CO3 (0,317 mg/l), CO2 (21,954 mg/l), NH3 (0,00 mg/l), Conductividad E (2952 µs/cm)

Cationes			Aniones		
	mg/l	mg/l CaCO3		mg/l	mg/l CaCO3
Calcio	256,00	640,00	HCO3	237,00	194,26
Mg	111,00	454,92	S04	560,00	583,33
Na	76,00	165,22	Cl	165,32	233,18
K	2,00	2,56	F	0,16	0,42
NH4	0,00	0,00	N03	320,00	258,06
Ba	0,000	0,00	P04	0,00	0,00
Sr	6,500	7,42	Si02	15,90	
Zn+2	0,001	0,00	B	0,00	
Mn+2	0,001	0,00	Br-1	0,513	0,32
	0,000	0,00		0,000	0,00
Total, meq/l		25,40	Total, meq/l		25,40

Saturaciones			
TDS Calculado	1751 mg/l	CaSO4	23,1 %
Presión osmótica	0,8 bar	BaSO4	0,0 %
Ca3(PO4)2 SI	0,00	SrSO4	37,5 %
CCPP	31,95 mg/l	CaF2	0,6 %
Langelier SI	0,2	Silica	14,0 %

Footer: Analysis : New | Design : IMS TFG | Versión 2.231.90 % | Email : support@imsdesign.com | Screen resolution : 1280 X 720 | Font Size : 100 % (96 DPI)

Figura 5.1 Características del agua de origen

A continuación hay que seleccionar el tipo de agua. Los tipos de agua que ofrece el software vienen esquematizados en la Figura 5.2.



Figura 5.2 Tipos de agua

Para este caso se va a escoger un tipo de agua salobre pozo sin ensuciamiento al tratarse de agua procedente de acuíferos.

Tras seleccionar el tipo de agua hay que rellenar la tabla de iones con los datos proporcionados por la Tabla 4.1 y la Tabla 4.2.

El software utilizado se usa principalmente para el diseño de plantas desaladoras, por lo que en la biblioteca de del programa no hay datos de los contaminantes que se tratan en este estudio. Como solución a este problema se ha planteado utilizar sales sustitutivas que se asemejen en tamaño para poder simular el comportamiento de los contaminantes.

Para reproducir el comportamiento del paracetamol se ha escogido el nitrato de zinc ((NO₃)₂Zn), mientras que para el sulfametoxazol se utiliza el nitrato de manganeso ((NO₃)₂Mn).

5.2 Caracterización del proceso

La caracterización del proceso se realiza en la pestaña de “Diseño”, la cual se divide en tres secciones: Trenes, Sistema y Especificación del Sistema.

En el apartado de Sistema se selecciona el número de trenes. En este caso serán cuatro, tal y como ya se ha especificado en el punto 4.4.1.

En el apartado de Trenes se va a determinar los siguientes parámetros:

- pH: El valor se corresponde al introducido en la pestaña “Análisis”
- Conversión: Se realizarán las simulaciones con valores de conversión del 75%, 80%, 85% y 90%.
- Flujo / tren de permeado: El valor del flujo por tren de permeado se calcula dividiendo el flujo total de permeado que se debe obtener entre el número de trenes.
- Concentración de la solución.
- Edad de la membrana: Indica cuántos años lleva instalada la membrana. A medida que aumente el número de años el factor de ensuciamiento, que afecta negativamente al permeado, varía. Para este sistema se ha escogido una edad de membrana de 3,5 años, con el fin de diseñar un sistema más convencional y que de esta manera no haya cambios drásticos en el consumo.
- Disminución del flujo por año: Es el especificado para el tipo de agua escogido. En este caso al tratarse de agua salobre sin ensuciamiento el valor es de 5%, tal y como muestra la Figura 5.3.
- Factor de ensuciamiento: Se establece un valor aproximado al 0,8.
- Incremento de paso de sales/ año (%): Este parámetro indica el incremento de cantidad de sales que atravesarán la membrana cada año. Según el tipo de agua escogida este valor es un 7%, tal y como muestra la Figura 5.3.

Límites de diseño												
Métrico												
Parámetro	Unidad	Nivel	Pozo salobre sin ensuciamiento	Pozo salobre alto ensuciamiento	Superficie salobre convencional	Superficie salobre MF/UF	Mar pozo convencional	Mar superficie convencional	Mar Superficie MF/UF	Residual mun. terciario, convencional	Residual mun. terciario, MF/UF	Agua permeado
Sistema	lmh	Típico	27,2	22,1	20,4	27,2	17,0	13,6	17,0	17,0	20,4	35,6
Flujo promedio	lmh	Agresivo	34,0	28,9	27,2	30,6	20,4	17,0	20,4	20,4	23,8	42,4
Max. Flujo elemento	lmh	Típico	45,8	32,3	30,6	35,6	42,4	34,0	42,4	25,5	27,2	56,0
Disminución de flujo % (por año)		Típico	5	7	7	7	5	7	5	15	12	3
Paso de Sales Incremento% (por año)		Típico	7	7	10	7	7	10	7	12	10	5
Beta Elemento estándar		Típico	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5
Beta Elemento full fit		Típico	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	2,2

Figura 5.3 Límites de diseño

El resultado de los parámetros escogidos deriva en que para esta edad de membrana la disminución global del flujo es del 17,5% y un aumento del paso de sales del 24,5%.

5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa

En el apartado de Especificación del Sistema lo primero es determinar las etapas. En este caso como ya se ha comentado anteriormente se va a escoger un sistema con dos etapas. El siguiente paso es escoger el tipo de membrana que se va a utilizar. Se escogerá una membrana que sea apta para la ósmosis inversa.

De la selección de membranas que nos ofrece el sistema (Figura 4.9) se han escogido tres posibles membranas para las simulaciones, como se detalla en el punto 4.4.3.

Una vez escogido el tipo de membrana hay que determinar los elementos/ tubos de presión y el número de tubos de presión. Los valores de estos dos parámetros se van a modificar de manera que el flux promedio sea el fijado para cada simulación.

The screenshot displays the IMSDesign software interface with the following sections:

- Project Information:** Proyecto: Simulación 7, Calculado por: Yessica Jaramillo, Temperatura: 19.2 °C, Tipo de agua: Pozo salobre sin ensuciamiento, Fecha: 16/07/2021.
- Trenes (Step 1):**

pH alimentación	7,20
Conversión	85,00
Flujo/tren de permeado	5607,5 m3/d
Flujo promedio	27,2 l/mh
Caudal de alimentación	6597,1 m3/d
Caudal de rechazo	989,6 m3/d
- Chemical Parameters (Step 1):**

Producto químico	None
Concentración de la solución, %	100
Tasa de dosificación de productos químic	0,000 mg/l
Edad membrana	3,5 años
Disminución Fluj por año	5,00
Factor de ensuciamiento	0,836
Incremento de paso de sales/año, %	7,0
- Sistema:**

Caudal total de permeado/Planta	22430,00 m3/d
Número de trenes	4
- Especificación del Sistema:**

	Etapas 1	Etapas 2
Tipo de elemento	ESPA2-LD MAX	ESPA2-LD MAX
Elementos / tubo de presión	7	7
Nº de tubos de presión	20	10

Figura 5.4 Parámetros de diseño IMSDesign

En este estudio se han realizado un total de veinticuatro simulaciones. Los valores adoptados para cada simulación se muestran en la Tabla 5.1.

5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa

Nº simulación	Tipo de membrana	Conversión (%)	Flux promedio (lmh)	Tubos de presión	Nº Elementos
1	ESPA2 MAX	75	27,2	30	210
2	ESPA2 MAX	80	27,2	30	210
3	ESPA2 MAX	85	27,2	30	210
4	ESPA2 MAX	90	27,2	30	210
5	ESPA2-LD MAX	75	27,2	30	210
6	ESPA2-LD MAX	80	27,2	30	210
7	ESPA2-LD MAX	85	27,2	30	210
8	ESPA2-LD MAX	90	27,2	30	210
9	ESPA4-LD	75	27,2	33	231
10	ESPA4-LD	80	27,2	33	231
11	ESPA4-LD	85	27,2	33	231
12	ESPA4-LD	90	27,2	33	231
13	ESPA2 MAX	75	34	24	168
14	ESPA2 MAX	80	34	24	168
15	ESPA2 MAX	85	34	24	168
16	ESPA2 MAX	90	34	24	168
17	ESPA2-LD MAX	75	34	24	168
18	ESPA2-LD MAX	80	34	24	168
19	ESPA2-LD MAX	85	34	24	168
20	ESPA2-LD MAX	90	34	24	168
21	ESPA4-LD	75	32	28	196
22	ESPA4-LD	80	32	28	196
23	ESPA4-LD	85	32	28	196
24	ESPA4-LD	90	32	28	196

Tabla 5.1 Valores de entrada de las simulaciones

Tras ejecutar el diseño se muestran los resultados del cálculo están divididos en varias partes tal y como muestra la Figura 5.5.

- Resultados del cálculo por etapa

En este apartado se indica el número de tubos de presión, la presión y el caudal de las corrientes de alimento y de concentrado, el flujo de permeado medio y máximo y el parámetro beta máximo.

- Concentración de la corriente de permeado

En este apartado se indican las diferentes concentraciones de iones, el pH y los TDS de la corriente del permeado. La composición que presente el permeado será un aspecto clave a la hora de elegir el tipo de membrana que se utilizará en el proyecto.

- Saturación del rechazo y parámetros

En este apartado se muestran los porcentajes de saturación de los compuestos del agua (CaSO_4 , BaSO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, SrSO_4 , SiO_2 y CaF_2), la presión osmótica, el coeficiente de Langelier (LSI), el pH y TDS de la corriente de rechazo.

5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa

- Advertencias

Para las simulaciones realizadas, en todos los casos, se muestra que el porcentaje de CaSO_4 y de SrSO_4 es mayor al 100%, por lo que se deben tomar medidas para evitar la aparición de incrustaciones en la membrana. La advertencia indica que se requiere el uso de antiincrustante para evitar la aparición de incrustaciones de sulfato cálcico y sulfato de estroncio.

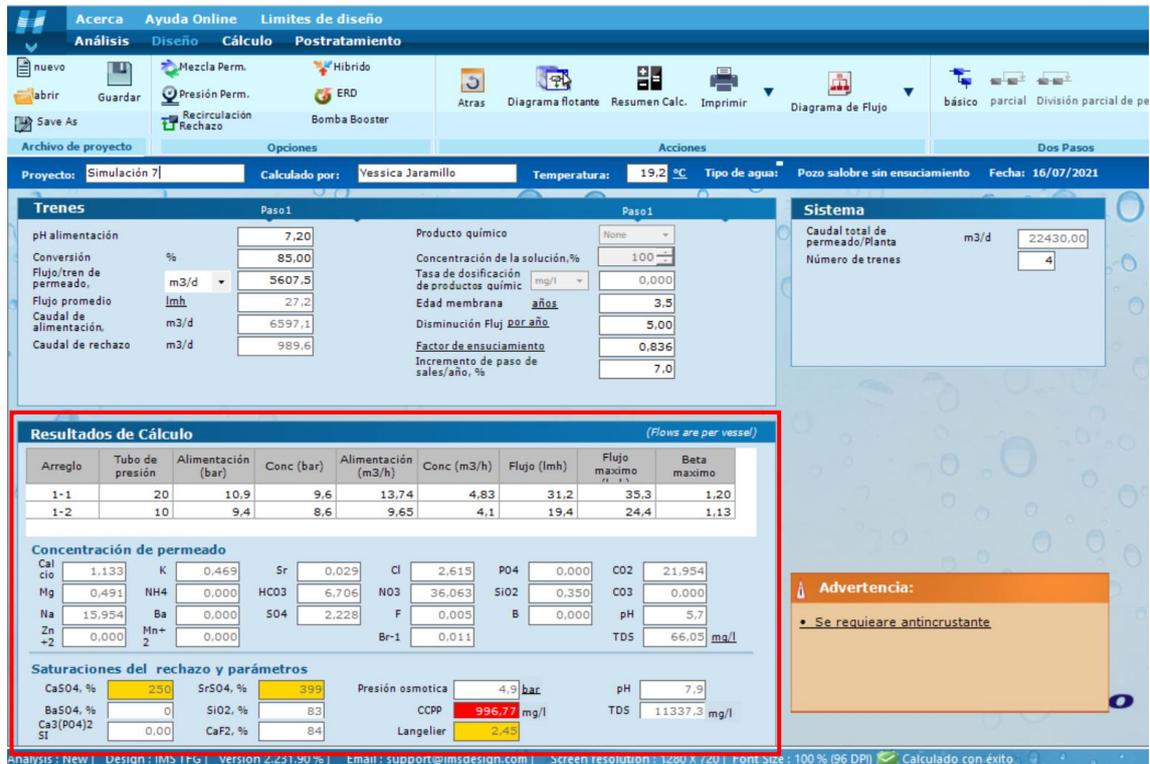


Figura 5.5 Resultados del cálculo con IMSDesign

Los resultados de los cálculos todas las simulaciones según los valores establecidos en la Tabla 5.1 se muestran en la Tabla 5.2 y en la Tabla 5.3

Nº simulación	Conversión Y (%)	Tipo de membrana	Flux típico (Lmh)	Tubos de presión (7 elementos)	TDS PERMEADO mg/L	TDS RECHAZO mg/L
1	75	ESPA2 MAX	27,2	210	48,78	6862,69
2	80		27,2	210	55,91	8533,87
*3	85		27,2	210	66,81	11354,51
*4	90		27,2	210	90,51	1691,61
5	75	ESPA2-LD MAX	27,2	210	48,75	6864,23
6	80		27,2	210	55,07	8561,27
7	85		27,2	210	66,05	11337,28
*8	90		27,2	210	89,21	16837,28
9	75	ESPA4-LD	27,2	231	101,39	6731,18
10	80		27,2	231	121,36	8284,89
*11	85		27,2	231	158,14	10813,18
*12	90		27,2	231	251,19	15433,8

Tabla 5.2 Resultados de los cálculos de las simulaciones con un flux típico.

5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa

Nota:

Las simulaciones marcadas con un asterisco (*) son simulaciones no válidas debido a que se ha superado el límite de diseño y/o el límite de saturación.

Nº simulación	Conversión Y (%)	Tipo de membrana	Flux típico (Lmh)	Tubos de presión (7 elementos)	TDS PERMEADO mg/L	TDS RECHAZO mg/L
1	75	ESPA2 MAX	27,2	210	48,78	6862,69
2	80		27,2	210	55,91	8533,87
*3	85		27,2	210	66,81	11354,51
*4	90		27,2	210	90,51	1691,61
5	75	ESPA2-LD MAX	27,2	210	48,75	6864,23
6	80		27,2	210	55,07	8561,27
7	85		27,2	210	66,05	11337,28
*8	90		27,2	210	89,21	16837,28
9	75	ESPA4-LD	27,2	231	101,39	6731,18
10	80		27,2	231	121,36	8284,89
*11	85		27,2	231	158,14	10813,18
*12	90		27,2	231	251,19	15433,8

Tabla 5.3 Resultados de los cálculos de las simulaciones con un flux agresivo

Nota:

Las simulaciones marcadas con un asterisco (*) son simulaciones no válidas debido a que se ha superado el límite de diseño y/o el límite de saturación.

5.3 Cálculo del consumo energético

En la pestaña “Cálculo” se puede ver las características que debe tener la bomba que se debe instalar, tal y como muestra la Figura 5.6.

- Bomba/ incremento de presión: Indica cuál es la presión que debe ejercer la bomba en la alimentación para conseguir el caudal de permeado especificado.
- Caudal de producto: Este parámetro está fijado en la pestaña “Diseño”. Indica el caudal de permeado por tren.
- Caudal bomba: Es un parámetro de diseño de la bomba. Indica el caudal de alimento que debe tratar la bomba.
- Rendimiento de la bomba.
- Rendimiento del motor.
- Eficiencia del variador de frecuencia.
- Potencia/etapa/paso.
- Potencia total de bombeo: Es un parámetro de diseño de la bomba. Indica cuál es la potencia que debe tener como mínimo la bomba para impulsar el agua de alimento.
- Potencia específica de bombeo: Indica cuál es la potencia que debe tener la bomba por m³ de agua de permeado.

5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa

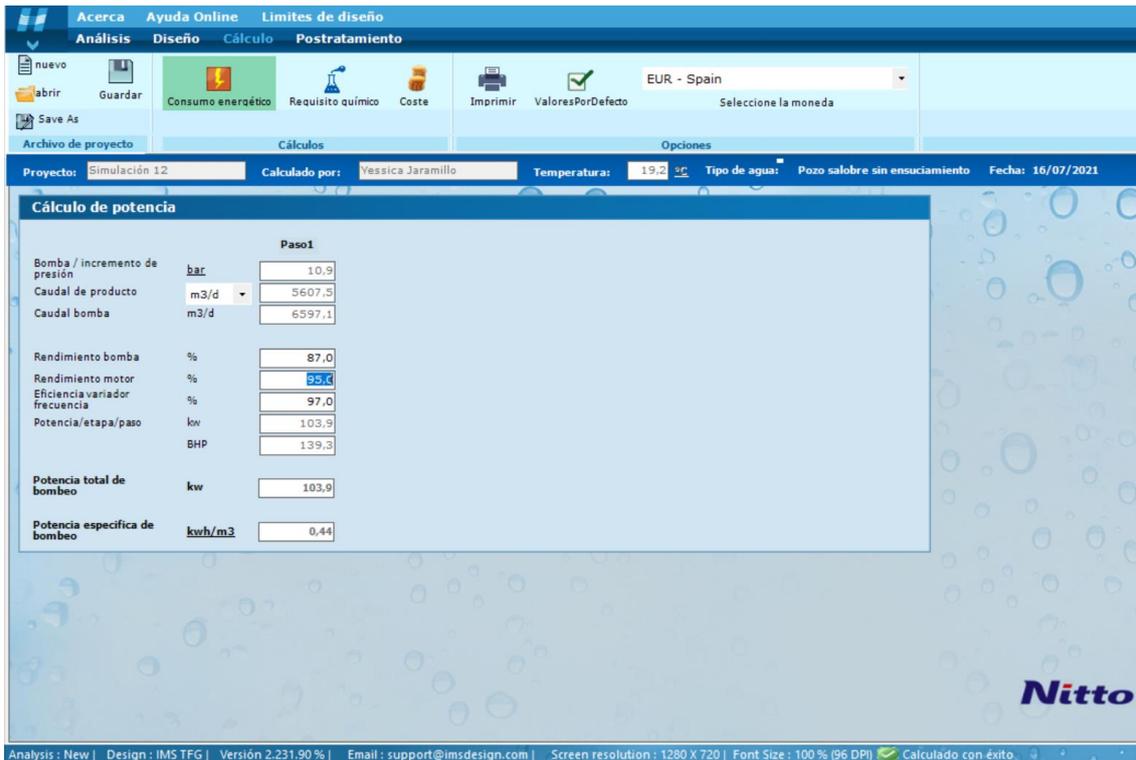


Figura 5.6 Cálculo de la potencia con IMSDesign.

El resultado de los cálculos de potencia para cada una de las simulaciones se puede ver en la Tabla 5.4 y en la Tabla 5.5.

Nº simulación	Conversión Y (%)	Tipo de membrana	Presión (bar)	kW	kW/m ³
1	75	ESPA2 MAX	12	129,3	0,55
2	80		11,8	119,2	0,51
*3	85		12	112,2	0,48
*4	90		12	107,7	0,46
5	75	ESPA2-LD MAX	10,9	117,4	0,50
6	80		10,9	109,6	0,47
7	85		10,9	103,9	0,44
*8	90		11,3	101,4	0,43
9	75	ESPA4-LD	8	86,2	0,37
10	80		8	80,6	0,34
*11	85		8,1	77	0,33
*12	90		8,6	77,2	0,33

Tabla 5.4 Resultado del cálculo de potencia para las simulaciones con flux típico

Nota:

Las simulaciones marcadas con un asterisco (*) son simulaciones no válidas debido a que se ha superado el límite de diseño y/o el límite de saturación.

5. Cálculos de la unidad de ósmosis inversa

Nº simulación	Conversión Y (%)	Tipo de membrana	Presión (bar)	kW	kW/m ³
*13	75	ESPA2 MAX	14,9	160,5	0,69
*14	80		14,6	147,5	0,63
*15	85		14,4	136,9	0,59
*16	90		14,5	130,2	0,56
*17	75	ESPA2-LD MAX	14,3	144,4	0,62
18	80		13,3	134,3	0,57
19	85		13,3	126,5	0,54
*20	90		13,6	122,1	0,52
21	75	ESPA4-LD	9,4	101,3	0,43
22	80		9,3	93,9	0,4
23	85		9,4	89,4	0,38
*24	90		9,4	87,1	0,37

Tabla 5.5 Resultado del cálculo de potencia para las simulaciones con flux agresivo

Nota:

Las simulaciones marcadas con un asterisco (*) son simulaciones no válidas debido a que se ha superado el límite de diseño y/o el límite de saturación.

Con estos resultados se puede concluir que, tal y como se indicó anteriormente, al trabajar con un flux agresivo la potencia que necesita la bomba es mayor que si se trabaja con un flux típico.

Además también se ve como el tipo de membrana afecta al consumo, de manera que si se colocan las membranas por orden creciente según la potencia de la bomba quedaría: ESPA4-LD, ESPA2 MAX y ESPA2-LD-MAX.

Cabe resaltar que para todas las simulaciones los contaminantes emergentes han sido rechazados por las membranas, tal y como se muestra en los informes en el Anexo 3.

6. Estudio económico

Una vez se ha estudiado el proceso con el software IMSDesign, hay que realizar un presupuesto y un estudio económico para establecer la viabilidad económica del diseño. En este estudio concretamente se comparará la viabilidad económica de la membrana ESPA2-LD MAX al 85% con la membrana ESPA2 MAX al 80%.

Se ha descartado hacer el estudio económico de la membrana ESPA4-LD ya que en sus análisis químicos se ha visto que se supera el nivel de nitratos establecido. Para las membranas ESPA2-LD MAX y ESPA2 MAX se ha escogido las simulaciones con mayor rendimiento que no presentan límites de diseño y/o de saturación.

En este apartado se mostrarán tablas resumen en las que se han comparado los valores de los parámetros más importantes del presupuesto y del estudio económico. En el Anexo 3 se detalla con más profundidad estos apartados.

Hay varios factores que influyen en el estudio económico. Uno de estos factores es el coste de la energía eléctrica, expresada en €/Kw·h. Este parámetro es difícil de estimar ya que su valor varía a lo largo del año e incluso de la hora del día, además de variar en función del tipo de demanda requerida. Según un artículo analítico realizado por el banco de España para empresas medianas y grandes, en 2019, el valor medio de la energía eléctrica se sitúa en los 0,121 €/Kw·h.

La inversión que se debe realizar para poder realizar el proyecto es grande, y salvo que la empresa disponga del capital necesario, la inversión será financiada por una entidad financiera. El préstamo tiene asociado un interés que para las empresas oscila entre el 4% y el 9% aproximadamente. Para este proyecto se establecerá un interés del 4,3%, dato que ofrece la entidad financiera BBVA.

Otro parámetro importante es la cotización del dólar frente al euro, ya que la mayoría de los fabricantes de equipos de ósmosis inversa se encuentran en el extranjero. La cotización no es un valor constante ya que cambia ligeramente cada día. Para Julio de 2021 la cotización del dólar frente al euro es del 0,84.

La cotización de la libra frente al euro es otro parámetro que tener en cuenta, ya que aunque la mayoría de los productos se encuentran en dólares, algunos están en libras. La cotización de la libra frente al euro para Julio de 2020 es de 1,16.

La vida útil de este tipo de proyectos es de 15 a 20 años. Para este proyecto en particular se estimará una vida útil de 20 años. Este parámetro está ligado a la amortización financiera y por lo tanto al estudio económico.

6.1 Presupuesto

Para poder realizar un presupuesto hay que conocer el coste de la unidad de ósmosis inversa. Para ello, sabiendo las características del diseño, se debe consultar a proveedores los precios de los artículos necesarios tal y como se muestra en la Tabla 6.1 y en la Tabla 6.2.

En el caso de las bombas se ha estimado el precio teniendo en cuenta el caudal de la bomba, el factor de presión y el factor material. Para este último factor se ha tenido en cuenta que al tratarse de agua para consumo el material empleado es acero inoxidable.

El coste base de las bombas está calculado en base al año 2002. Para cambiar este dato a un valor para el año 2020, se hace uso del CEPCI (Chemical Engineerings Plant Cost Index).

El coste de las membranas de OI es un valor que podría ser menor al calculado en la Tabla 6.1 y Tabla 6.2, ya que al pedir al proveedor una cantidad grande suele disminuir precio.

Cabe mencionar que además de los elementos necesarios, hay que instalar un grupo de reserva, tal y como muestra la Figura 4.8. Este grupo de reserva es importante ya que al tener cuatro bastidores si uno no funciona se estaría perdiendo el 25% de la producción. Por este motivo también se considera la instalación como una instalación compleja.

Artículo	Referencia	Casa comercial	Unidades	Precio por unidad	Total
Membrana de OI	ESPA2-LD MAX	GAPS Water Treatment	840	887 €	744.831 €
Tubo de presión	Codeline 80S-1 150 psi	ForeverPure	120	492 €	59.084 €
Bomba y motor	---	---	4	34.548 €	138.191 €
Grupo reserva (B y M)	---	---	1	34.548 €	34.548 €

Subtotal del coste de la unidad de ósmosis inversa	976.654 €
--	-----------

Tabla 6.1 Coste de la unidad de ósmosis inversa para la membrana ESPA2-LD MAX

Artículo	Referencia	Casa comercial	Unidades	Precio por unidad	Total
Membrana de OI	ESPA2 MAX	GAPS Water Treatment	840	814 €	684.029 €
Tubo de presión	Codeline 80S-1 150 psi	ForeverPure	120	492 €	59.084 €
Bomba y motor	---	---	4	35.431 €	141.724 €
Grupo reserva (B y M)	---	---	1	35.431 €	35.431 €

Subtotal del coste de la unidad de ósmosis inversa	920.268 €
--	-----------

Tabla 6.2 Coste de la unidad de ósmosis inversa para la membrana ESPA2 MAX

Una vez conocidos los precios de la unidad de ósmosis inversa para cada una de las membranas, se realiza una comparación para conocer cuál de las dos unidades es la más viable desde el punto de vista del presupuesto.

6. Estudio económico

Se compara el precio de los artículos necesarios para instalar la unidad de ósmosis inversa con las membranas ESPA2-LD MAX, con los precios de los artículos si las membranas utilizadas fueran las ESPA2 MAX. El resultado de esta comparación se ve en la Tabla 6.3.

Artículo	ESPA2-LD MAX	ESPA2 MAX	Relación ESPA2-LD MAX con ESPA2 MAX
Membranas de OI	744.831 €	684.029 €	8,89%
Tubos de presión	59.084 €	59.084 €	0,00%
Bomba y motor	138.191 €	141.724 €	-2,49%
Grupo reserva	34.548 €	35.431 €	-2,49%
Total	976.654 €	920.268 €	6,13%

Tabla 6.3 Comparación de los costes de las unidades de ósmosis inversa

El coste de capital o de inversión total del presupuesto se puede dividir en dos tipos de costes diferentes, costes directos y costes indirectos. Cada uno de ellos con un porcentaje distinto, siendo los costes directos los que se encuentran en mayor porcentaje.

En la Tabla 6.4 se muestra el coste de capital necesario para las dos instalaciones propuestas. Además hay que tener en cuenta que la ratio de inversión /m³/ día debe estar entre 250-400 €.

Parámetros	ESPA2-LD MAX	ESPA2 MAX
Ratio	332,97 €	313,75 €
Coste de capital	7.468.529 €	7.037.345 €

Tabla 6.4 Resultados del presupuesto

En este apartado se hace evidente que la instalación de membranas ESPA2 MAX es la opción más ventajosa desde el punto de vista del presupuesto ya que presenta un menor coste en la unidad de ósmosis inversa y se necesita un menor capital.

6.2 Estudio económico

El estudio económico se puede dividir en dos tipos de costes: costes variables y costes fijos. Los costes variables representan un 67% del total. Dentro de los costes variables el factor más importante que tener en cuenta es la energía. Los costes fijos representan un 33% del total.

En cuanto al total del coste de agua por metro cúbico hay que tener en cuenta los costes totales de producción, el beneficio industrial y los impuestos. Los costes totales de producción son los costes totales de operación y mantenimiento y los costes de amortización de la inversión. El beneficio industrial será del 10 % al igual que el impuesto del IVA reducido que se aplica para el agua.

La comparación de los estudios económicos de las dos membranas seleccionadas se puede ver en la Tabla 6.5. En ella se comparan los parámetros más relevantes en el estudio económico en euros por metro cúbico (€/m³).

Se ha llegado a la conclusión de que aunque se tenga que hacer una mayor inversión para la membrana ESPA2-LD MAX, al ser el coste total del agua tratada menor, será la configuración escogida para el proceso. A largo plazo esta es la opción más económica.

6. Estudio económico

Tipo de coste	ESPA2 MAX	ESPA2-LD MAX	Relación ESPA2-LD MAX con ESPA2 MAX
Costes variables	0,14 €/m ³	0,13 €/m ³	-7,14 %
Costes fijos	0,06 €/m ³	0,06 €/m ³	0,00%
Total, costes de operación y mantenimiento	0,21 €/m ³	0,19 €/m ³	-9,52 %
Amortización de la inversión	0,03 €/m ³	0,03 €/m ³	0,00%
Coste total de producción	0,24 €/m ³	0,22 €/m ³	-8,33%
Beneficio industrial (10%)	0,02 €/m ³	0,02 €/m ³	0,00%
Impuestos	0,03 €/m ³	0,02 €/m ³	-33,33%
Coste total del agua tratada	0,289 €/m ³	0,271 €/m ³	-6,23 %

Tabla 6.5 Comparación estudios económicos

7. Conclusiones

Tras realizar este proyecto, se puede comprobar cómo es necesaria la gestión de contaminantes orgánicos no biodegradables presentes en recursos naturales, en este caso en particular, en el sistema de acuíferos de la Plana de Valencia Sur.

El método utilizado para tratar el agua con contaminantes es un sistema híbrido de ósmosis inversa con evaporación ambiental de los concentrados. Además en este caso particular el nivel de nitratos se encontraba por encima del nivel máximo permitido por lo que fue un problema adicional a resolver.

Para comprobar si el sistema propuesto funciona se realizaron veinticuatro simulaciones en diferentes condiciones y con diferentes membranas haciendo uso del software IMSDesign y se comprobó que todas ellas eliminaban el nivel de compuestos orgánicos no biodegradables.

En la unidad de ósmosis inversa se han utilizado membranas en espiral. Para conocer cuál de ellas es la más óptima se ha realizado un estudio del consumo específico y un estudio económico, con los datos proporcionados por las simulaciones y los precios de los proveedores, siendo el estudio económico el determinante para escoger la configuración más ventajosa.

El estudio del consumo específico se muestra en gráficas como las membranas con un flux típico requieren un menor consumo específico y la calidad del agua se encuentra dentro de los parámetros admitidos. Algunas de las membranas presentan diferentes problemas en las simulaciones ya sea porque se superen los límites de diseño y/o de saturación o el nivel de nitratos sea superior al límite máximo.

De las membranas que cumplen todos los requisitos es la membrana ESPA2-LD MAX cuya bomba requiere un menor consumo por metro cúbico con un porcentaje de conversión del 85%. En cuanto a la membrana ESPA2 MAX presenta su menor consumo específico cuando posee una conversión del 80%.

Aunque la membrana ESPA4-LD es la que menor consumo energético posee no cumple con el requisito de nitratos para el consumo, siendo para todas las conversiones, el valor de nitratos superior al permitido. Por ello se ha descartado y no se ha realizado un estudio económico de esta membrana y se ha realizado para las dos membranas con las conversiones anteriormente comentadas.

El estudio de los presupuestos revela que la membrana ESPA2 MAX requiere una inversión de 7.037.345 €, mientras que la membrana ESPA2-LD MAX requiere una inversión de 7.468.529 €. La comparación entre ambos presupuestos muestra que la membrana ESPA2 MAX es la más ventajosa desde el punto de vista de la inversión. Sin embargo, cuando se realiza el estudio económico se puede observar como el coste del agua tratada por metro cúbico para la membrana ESPA2 MAX es de 0,289 €/m³, mientras que para la membrana ESPA2-LD MAX es de 0,271 €/m³, siendo esta última membrana la que menores costes ocasiona. Esto es consecuencia de que sea la energía el factor más importante en el estudio.

Como conclusión se implementará una unidad de ósmosis inversa en una planta depuradora para eliminar contaminantes orgánicos no biodegradables y nitratos. Esta unidad está compuesta por membranas ESPA2-LD MAX con una conversión del 85%. Además la unidad consta de cuatro bastidores y dos etapas, además del grupo de reserva. El rechazo que sale de las membranas se tratará mediante evaporación ambiental.

7. Conclusiones

Al realizar este proyecto he podido utilizar las competencias transversales adquiridas a lo largo de la carrera como: análisis y resolución de problemas, pensamiento crítico o aplicación y pensamiento práctico.

Además me ha servido para conocer con mayor profundidad la problemática medioambiental que generan los contaminantes orgánicos no biodegradables en el agua y conocer mejor el funcionamiento y aplicación del sistema de ósmosis inversa.

8. Referencias

Estadística sobre el consumo y Saneamiento del Agua (2018).

Enlace: https://www.ine.es/prensa/essa_2018.pdf

Brusseau M.L., Artiola J.F. Chemical Contaminants, Chapter 12. Environmental and Pollution Science (Third Edition), pages 175-190 (2019).

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128147191000124>

Bijlsma L., Pitarch E., Hernández F., et al. Ecological risk assessment of pesticides in the Mijares River (eastern Spain) impacted by citrus production using wide-scope screening and target quantitative análisis. Journal of Hazardous Materials 412, 125277 (2021)

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421002405>

Sanchez H., Casquero A., Cubillo F. Un nuevo criterio para el cálculo del caudal de agua residual urbana. Canal de Isabel II gestión (2013).

Enlace: https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/4863828/Cuaderno19_ES.pdf/51086e7f-f62f-71ff-576f-f53aa9d50b0a?t=1598531168947

Wang F., Gao J., Zhai W., et al. Accumulation, distribution and removal of triazine pesticides by *Eichhornia crassipes* in water-sediment microcosm. Ecotoxicology and Environmental Safety. Volume 219 (2021).

Enlace: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014765132100347X>

Brinkmann T., Giner G., Yükseler H., Roudier S., Delgado L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector (2016).

García C.F. Aplicación de la ósmosis inversa y la nanofiltración en el acondicionamiento de aguas para calderas. Tesis doctoral (2002).

Chen C., Qin H. A mathematical modeling of the reverse osmosis concentration process of a glucose solution. (2019).

Enlace: <https://www.mdpi.com/2227-9717/7/5/271>

Iglesias M. Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones.

Damiano Vazquez B. Modelación del transporte de contaminantes emergentes de origen farmacéutico en el acuífero de la plana de Valencia Sur (2018).

Enlace: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/100191/DAMIANO%20%20MODELACI%20c3%93N%20DEL%20TRANSPORTE%20DE%20CONTAMINANTES%20EMERGENTES%20DE%20ORIGEN%20FARMACEUTICO%20EN%20EL%20ACUI...pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Determinación de la relación hídrica de la masa de agua subterránea Plana de Valencia Sur (MASub 080.142) Con la albufera de Valencia y el río Júcar (2011)

Enlace: http://info.igme.es/SidPDF/164000/875/164875_0000001.pdf

Plan hidrográfico de la demarcación hidrográfica del Júcar: Memoria.

Enlace: https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Memoria_151126.pdf

8. Referencias

Plan hidrográfico de la demarcación hidrográfica del Júcar: Anejo 3 Usos y Demandas.
Enlace:https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Anejo03_UsosyDemandas_151126.pdf

Tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos mediante tecnología evaporativa de bajo consumo (ENA) (2012).

Tratamientos de evaporación para la reducción de residuos químicos generados en los laboratorios de química general de universidad de Pamplona (2014).

Capítulo 2. Agua fría de consumo humano.

Enlace:https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/2_leg.pdf

Aumatell Colom J., Cortada Cluet E., Rodrigo Mora P., et al. Antiincrustante efectivo para prevenir la formación de incrustaciones y dispersar el material coloidal en desaladoras de agua de mar (2019)

De los Llanos Matea Rosa M., Martínez Casares F., Vázquez Martínez S. EL COSTE DE LA ELECTRICIDAD PARA LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS (2021).

Navigating Cost Estimation. Chemical Engineering. Essential for the CPI professional. (2021)

9. Anexos

9.1 Anexo 1. Normativa de calidad de aguas

Para establecer los criterios de calidad de agua de consumo humano se debe cumplir las partes A y B del anexo I del Decreto 140/2003 de 7 de febrero. En este decreto establece en el artículo 5 que el agua de consumo debe ser salubre y limpia además no debe contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia que pueda suponer un riesgo para la salud humana. Esto se especifica en el Artículo 5 de dicho decreto además se establecen unos límites para cumplir con los requisitos, especificados en el apartado A y B del Anexo I.

A. Parámetros microbiológicos

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
Escherichia coli	0 UFC en 100 ml	
Enterococo	0 UFC en 100 ml	
Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	0 UFC en 100 ml	1 y 2

Notas:

- (1) Cuando la determinación sea positiva y exista una turbidez mayor 5 UNF se determinarán, en la salida de ETAP o depósito, si la autoridad sanitaria lo considera oportuno, «Cryptosporidium» u otros microorganismos o parásitos.
- (2) Hasta el 1 de enero de 2004 se podrá determinar «Clostridium» sulfito reductor en vez de «Clostridium perfringens». Las condiciones descritas en la nota 1 y el valor paramétrico serán los mismos para ambos.

B.1. Parámetros químicos

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
4. Antimonio	5,0 µg/l	
5. Arsénico	10 µg/l	
6. Benceno	1,0 µg/l	
7. Benzo(α)pireno	0,010 µg/l	
8. Boro	1,0 mg/l	
9. Bromato:	10 µg/l	1
10. Cadmio	5 µg/l	
11. Cianuro	50 µg/l	
12. Cobre	2,0 µg/l	
13. Cromo	50 µg/l	
14. 1,2-Dicloroetano	3,0 µg/l	
15. Fluoruro	1,5 µg/l	
16. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA) suma de:	0,1 µg/l	
Benzo(b)fluoranteno	µg/l	
Benzo(ghi)perileno	µg/l	
Benzo(k)fluoranteno	µg/l	
Indeno(1,2,3-cd)pireno	µg/l	
17. Mercurio	1,0 µg/l	
18. Microcistina	1 µg/l	2
19. Niquel	20 µg/l	
20. Nitrato	50 mg/l	3
21. Nitritos:		3 y 4
Red de distribución	0,5 mg/l	
En la salida de la ETAP/ depósito 0,1 mg/l	0,1 mg/l	
22. Total de plaguicidas	0,5 µg/l	5 y 6
23. Plaguicida individual	0,1 µg/l	6
Excepto para los casos de:		
Aldrín	0,03 µg/l	
Dieldrín	0,03 µg/l	
Heptacloro	0,03 µg/l	
Heptacloro epóxido	0,03 µg/l	
24. Plomo:	10 µg/l	
25. Selenio	10 µg/l	
26. Trihalometano (THMs) Suma de:	100 µg/l	7 y 8
Bromodiclorometano	µg/l	
Bromoformo	µg/l	
Cloroformo	µg/l	
Dibromoclorometano	µg/l	
27. Tricloroetano+ Tetracloroetano	10 µg/l	
Tetracloroetano	µg/l	
Tricloroetano	µg/l	

Notas:

- (1) Se determinará cuando se utilice ozono en el tratamiento de potabilización y se determinará al menos a la salida de la ETAP.
- (2) Sólo se determinará cuando exista sospecha de eutrofización en el agua de la captación, se realizará determinación de microcistina a la salida de la ETAP o depósito de cabecera.
- (3) Se cumplirá la condición de que $[\text{nitrato}]/50 + [\text{nitrito}]/3 < 1$. Donde los corchetes significan concentraciones en mg/l para el nitrato (NO₃) y para el nitrito (NO₂).
- (4) Se determinará cuando se utilice la cloraminación como método de desinfección.
- (5) Suma de todos los plaguicidas definidos en el apartado 10 del artículo 2 que se sospeche puedan estar presentes en el agua.
- (6) Las comunidades autónomas velarán por que se adopten las medidas necesarias para poner a disposición de la autoridad sanitaria y de los gestores del abastecimiento el listado de plaguicidas fitosanitarios utilizados mayoritariamente en cada una de las campañas contra plagas del campo y que puedan estar presentes en los recursos hídricos susceptibles de ser utilizados para la producción de agua de consumo humano.
- (7) Se determinará cuando se utilice el cloro o sus derivados en el tratamiento de potabilización. Si se utiliza el dióxido de cloro, se determinarán cloritos a la salida de la ETAP o depósito de cabecera.

9.2 Anexo 2 Simulaciones

Simulación 2: ESPA2 MAX con una conversión del 80%

Software de Diseño de Soluciones de Membranas Integral
Creado en 14/07/2021 06:10:51



Diseño Básico

Nombre del proyecto	Simulación 2		página : 1/3
Calculado por	Yessica Jaramillo	Flujo/tren de permeado	5607,5 m3/d
Caudal bomba alta presión	292,03 m3/h	Flujo de producto total	22430,00 m3/d
Presión de alimentación	11,8 bar	Number of trains	4
Temperatura de alimentación	19,2 °C(66,6°F)	el flujo de agua cruda / tren	7009,4 m3/d
pH agua alimentación	7,20	Conversión	80,00 %
Dosis químico,mg/l, -	H2SO4	Edad elemento	3,5 años
Energía específica	0,51 kwh/m3	Disminución de flujo %, por año	5,0
NDP paso	8,3 bar	Factor de ensuciamiento	0,84
Flujo promedio	27,2 lmh	Aumento de SP, per año	7,0 %
		Perdida de carga entre etapas	0,207 bar
		Tipo de alimentación	Salobre Pozo Sin ensuciamiento

Paso - Etapa	Perm. Caudal	Perm. Caudal	Caudal / Tubo Alimentación Conc	Flujo lmh	DP bar	Flujo Max lmh	Beta	Presión por etapas Perm. bar	Boost bar	Conc bar	Perm. TDS mg/l	Elemento Tipo	Elemento Cantidad	PV# x Elem #
1-1	182,5	14,6	5,5	31,9	2,6	38,2	1,17	0	0	9,2	26,9	ESPA2 MAX	140	20 x 7M
1-2	51,2	11	5,8	17,8	1,9	23,6	1,1	0	0	7,1	158,8	ESPA2 MAX	70	10 x 7M

Ion (mg/l)	Agua bruta	Agua de alimentación	Permeado agua	Rechazo 1	Rechazo 2
Dureza, como CaCO3	1094,92	1094,92	4,011	2916,5	5466,6
Ca	256,00	256,00	0,938	681,9	1278,1
Mg	111,00	111,00	0,407	295,7	554,2
Na	76,00	76,00	13,512	191,6	326,2
K	2,00	2,00	0,398	5,0	8,4
NH4	0,00	0,00	0,000	0,0	0,0
Ba	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Sr	6,500	6,500	0,024	17,3	32,5
Mn+2	0,001	0,001	0,000	0,0	0,0
Zn+2	0,001	0,001	0,000	0,0	0,0
H	0,00	0,00	0,002	0,0	0,0
CO3	0,32	0,32	0,000	2,7	11,2
HCO3	237,00	237,00	5,612	617,5	1144,6
SO4	560,00	560,00	1,860	1491,8	2796,7
Cl	165,32	165,32	2,186	439,1	819,1
F	0,16	0,16	0,004	0,4	0,8
NO3	320,00	320,00	30,469	829,0	1480,8
PO4	0,00	0,00	0,000	0,0	0,0
OH	0,00	0,00	0,000	0,0	0,0
SiO2	15,90	15,90	0,305	42,2	78,4
B	0,21	0,21	0,181	0,3	0,3
CO2	21,95	21,95	21,95	21,95	21,95
NH3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Br-1	0,513	0,513	0,009	1,4	2,5
TDS	1750,93	1750,93	55,91	4615,85	8533,87
pH	7,20	7,20	5,64	7,58	7,82

Saturaciones	Agua bruta	Agua de alimentación	Rechazo	Límites
CaSO4 / ksp * 100, %	23	23	174	400
SrSO4 / ksp * 100, %	37	37	278	1200
BaSO4 / ksp * 100, %	0	0	0	10000
Saturación de SiO2, %	14	14	64	140
CaF2 / ksp * 100, %	1	1	39	50000
Índice de saturación Ca3 (PO4) 2	0,0	0,0	0,0	2,4
CCPP, mg/l	31,95	31,95	698,29	850
Índice de saturación Langelier	0,17	0,17	2,11	2,8
Fuerza iónica	0,04	0,04	0,21	
Presión osmótica, bar	0,8	0,8	3,7	

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net

www.membranes.com +1 760 901 2500

Diseño Básico

Nombre del proyecto		Simulación 2												Flujo/tren de permeado		5607,5 m3/d	
Calculado por		Yessica Jaramillo												Flujo de producto total		22430,00 m3/d	
Caudal bomba alta presión				292,03 m3/h				Number of trains		4		el flujo de agua cruda / tren		7009,4 m3/d			
Presión de alimentación				11,8 bar				Conversion		80,00 %		Edad elemento		3,5 años			
Temperatura de alimentación				19,2 °C(66,6°F)				Disminución de flujo %, por año		5,0		Factor de ensuciamiento		0,84			
pH agua alimentación				7,20				Aumento de SP, per año		7,0 %		Perdida de carga entre etapas		0,207 bar			
Dosis químico,mg/l, -				H2SO4													
Energía específica				0,51 kwh/m3													
NDP paso				8,3 bar													
Flujo promedio				27,2 l/mh													

Paso - Etapa	Perm.	Caudal / Tubo	Flujo	DP	Flujo	Beta	Tipo de alimentación			Salobre Pozo Sin ensuciamiento				
							Presión por etapas	Perm.	Boost	Conc	TDS	Elemento	Elemento	PV# x Elem #
		Alimentación	Conc	Max			bar	bar	bar	mg/l	Tipo	Cantidad		
1-1	182,5	14,6	5,5	31,9	2,6	38,2	1,17	0	0	9,2	26,9	ESPA2 MAX	140	20 x 7M
1-2	51,2	11	5,8	17,8	1,9	23,6	1,1	0	0	7,1	158,8	ESPA2 MAX	70	10 x 7M

Paso - Etapa	Elemento no.	Alimentación	Presión	Conc	NDP	Permeabilidad agua	Permeabilidad agua	Beta	Permeado (Acumulado de etapa)					
									Ca	Mg	Na	Cl	TDS	
		Presión	Caída	Osmo.	bar	m3/h	l/mh							
1-1	1	11,8	0,6	0,8	10,7	1,6	38,2	1,11	11,8	0,191	0,083	2,961	0,442	
1-1	2	11,2	0,51	1	10	1,5	35,6	1,11	13,3	0,215	0,093	3,326	0,498	
1-1	3	10,7	0,43	1,1	9,5	1,4	33,6	1,12	15	0,243	0,105	3,751	0,564	
1-1	4	10,3	0,35	1,2	8,9	1,3	31,6	1,13	17,1	0,277	0,12	4,258	0,643	
1-1	5	9,9	0,29	1,4	8,4	1,2	29,9	1,14	19,6	0,319	0,138	4,879	0,74	
1-1	6	9,6	0,23	1,7	8	1,1	28	1,16	22,8	0,372	0,161	5,655	0,863	
1-1	7	9,4	0,18	2	7,5	1,1	26,3	1,17	26,9	0,442	0,192	6,658	1,025	
1-2	1	9	0,39	2,2	6,7	1	23,6	1,09	82,9	1,388	0,602	20,301	3,21	
1-2	2	8,6	0,34	2,4	6,2	0,9	21,6	1,1	93,5	1,569	0,68	22,831	3,629	
1-2	3	8,3	0,3	2,6	5,6	0,8	19,5	1,1	104,7	1,763	0,764	25,5	4,077	
1-2	4	8	0,26	2,9	5,1	0,7	17,8	1,1	116,3	1,967	0,853	28,267	4,547	
1-2	5	7,7	0,23	3,1	4,6	0,7	16	1,09	129,1	2,191	0,95	31,261	5,064	
1-2	6	7,5	0,2	3,4	4,2	0,6	14,3	1,09	143,1	2,441	1,058	34,55	5,638	
1-2	7	7,3	0,17	3,7	3,7	0,5	12,6	1,08	158,8	2,721	1,18	38,179	6,282	

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
Email : ims6-support@hydranauticsprojections.net www.membranes.com +1 760 901 2500

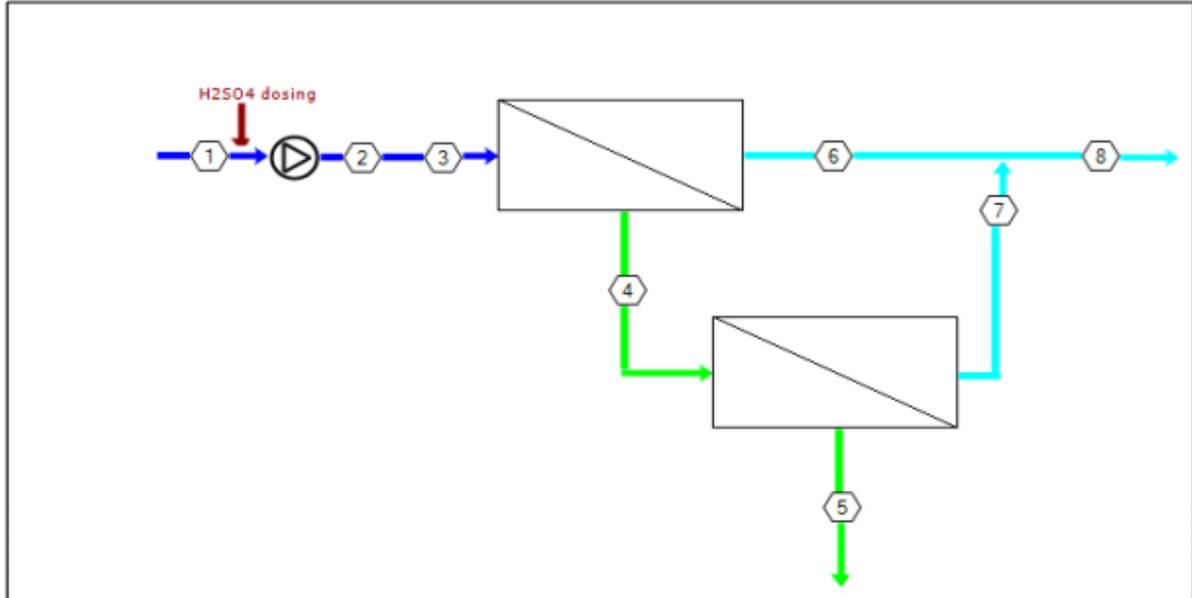
Diseño Básico

Nombre del proyecto
Temperatura :

Simulación 2
19,2 °C

Edad elemento, P1 :

página : 3/3
3,5 años



Corriente n °	Caudal (m3/h)	Presión (bar)	TDS (mg/l)	pH	Econd (µs/cm)
1	292	0	1751	7,20	2952
2	292	11,8	1751	7,20	2952
3	110	9,20	4616	7,58	7103
4	58,3	7,10	8534	7,82	12534
5	183	0	26,9	5,32	41,1
6	51,2	0	159	6,09	233
7	234	0	55,9	5,64	82,6

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net

9. Anexos

Software de Diseño de Soluciones de Membranas Integral
Creado en 14/07/2021 10:17:03



Diseño Básico

página : 3/5

Nombre del proyecto	Simulación 7	Flujo/tren de permeado	5607,5 m3/d
Calculado por	Yessica Jaramillo	Flujo de producto total	22430,00 m3/d
Caudal bomba alta presión	274,85 m3/h	Number of trains	4
Presión de alimentación	10,9 bar	el flujo de agua cruda / tren	6597,1 m3/d
Temperatura de alimentación	19,2 °C(66,6°F)	Conversión	85,00 %
pH agua alimentación	7,20	Edad elemento	3,5 años
Dosis químico,mg/l, -	H2SO4	Disminución de flujo %, por año	5,0
Energía específica	0,44 kwh/m3	Factor de ensuciamiento	0,84
NDP paso	8,2 bar	Aumento de SP, per año	7,0 %
Flujo promedio	27,2 l/mh	Perdida de carga entre etapas	0,207 bar

Paso - Etapa	Perm. Caudal m3/h	Caudal / Tubo Alimentación m3/h	Conc m3/h	Flujo l/mh	DP bar	Flujo Max l/mh	Beta	Tipo de alimentación Presión por etapas			Perm. mg/l	Salobre Pozo Sin ensuciamiento Elemento			PV# x Elem #
								Perm. bar	Boost bar	Conc bar		TDS mg/l	Tipo	Cantidad	
1-1	178,3	13,7	4,8	31,2	1,3	35,3	1,2	0	0	9,6	29,1	ESPA2-LD MAX	140	20 x 7M	
1-2	55,5	9,7	4,1	19,4	0,8	24,4	1,13	0	0	8,6	183,9	ESPA2-LD MAX	70	10 x 7M	

Paso - Etapa	Elemento no.	Alimentación Presión bar	Presión Calda bar	Conc Osmo. bar	NDP bar	Permeatear agua Caudal m3/h	Permeatear agua Flujo l/mh	Beta	TDS	Permeado (Acumulado de etapa)			
										Ca	Mg	Na	Cl
1-1	1	10,9	0,3	0,8	10	1,4	35,3	1,1	13,1	0,215	0,093	3,336	0,492
1-1	2	10,6	0,26	1	9,6	1,4	33,8	1,11	14,5	0,239	0,104	3,699	0,547
1-1	3	10,4	0,22	1,1	9,3	1,3	32,4	1,12	16,3	0,268	0,116	4,127	0,613
1-1	4	10,2	0,18	1,2	8,9	1,3	31,2	1,14	18,4	0,303	0,131	4,648	0,694
1-1	5	10	0,15	1,5	8,6	1,2	29,9	1,15	21	0,347	0,151	5,302	0,796
1-1	6	9,8	0,11	1,7	8,2	1,2	28,5	1,17	24,4	0,406	0,176	6,148	0,93
1-1	7	9,7	0,09	2,1	7,8	1,1	27	1,2	29,1	0,486	0,211	7,288	1,114
1-2	1	9,4	0,18	2,4	7,1	1	24,4	1,1	91,5	1,558	0,676	22,546	3,562
1-2	2	9,2	0,15	2,6	6,7	0,9	22,9	1,11	102,5	1,753	0,76	25,191	4,007
1-2	3	9,1	0,13	3	6,2	0,9	21,4	1,12	114,1	1,958	0,849	27,919	4,474
1-2	4	9	0,11	3,4	5,8	0,8	19,7	1,12	127,3	2,196	0,952	31,028	5,015
1-2	5	8,8	0,09	3,8	5,3	0,7	17,8	1,13	142,9	2,478	1,075	34,667	5,659
1-2	6	8,8	0,07	4,3	4,7	0,6	15,8	1,13	161,5	2,819	1,222	38,973	6,433
1-2	7	8,7	0,06	4,9	4,1	0,6	13,8	1,13	183,9	3,232	1,401	44,093	7,373

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.251.90 %
Email : intsd-support@hydranauticsprojectors.net

Diseño Básico

Nombre del proyecto	Simulación 7			página : 4/5
Calculado por	Yessica Jaramillo			
Caudal bomba alta presión		274,85 m3/h	Flujo/tren de permeado	5607,5 m3/d
Presión de alimentación		10,9 bar	Flujo de producto total	22430,00 m3/d
Temperatura de alimentación		19,2 °C(66,6°F)	Number of trains	4
pH agua alimentación		7,20	el flujo de agua cruda / tren	6597,1 m3/d
Dosis químico,mg/l, -		H2SO4	Conversión	85,00 %
Energía específica		0,44 kwh/m3	Edad elemento	3,5 años
NDP paso		8,2 bar	Disminución de flujo %, por año	5,0
Flujo promedio		27,2 lmh	Factor de ensuciamiento	0,84
			Aumento de SP, per año	7,0 %
			Perdida de carga entre etapas	0,207 bar
			Tipo de alimentación	Salobre Pozo Sin ensuciamiento

LOS PARÁMETROS SIGUIENTES EXEDEN LOS LIMITES DE DISEÑO RECOMENDADO

Concentrate CCPP (996,8) es mayor que el límite (850).

Los límites de saturaciones arriba mencionados solamente se aplican cuando se utiliza un inhibidor de precipitaciones efectivos o dispersante. Sin inhibidor de precip. o dispersante, el límite de saturación y precipitación del contaminante no debe exceder su solubilidad en solución.

9. Anexos

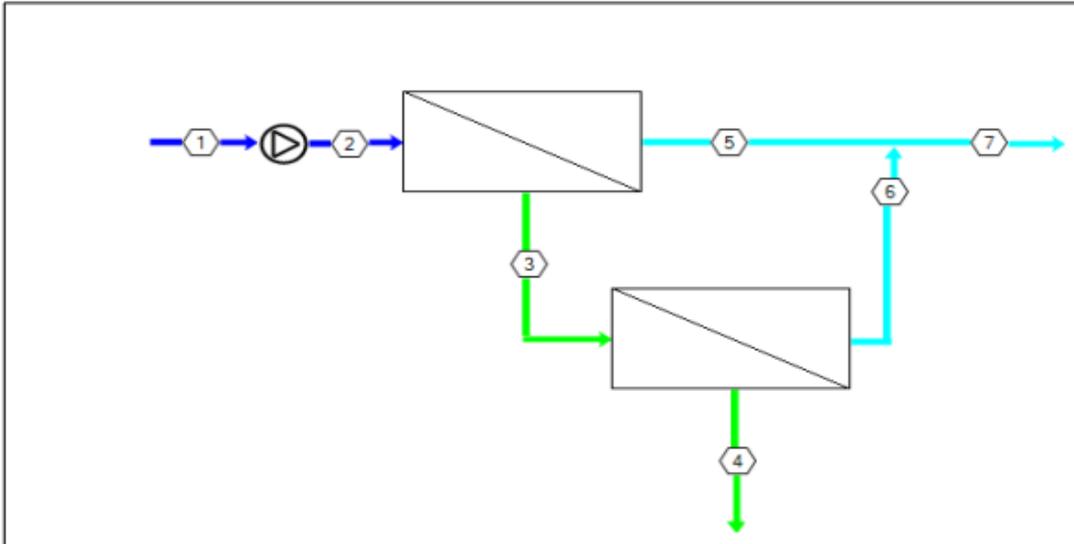
Software de Diseño de Soluciones de Membranas Integral
Creado en 14/07/2021 10:17:03



Diseño Básico

Nombre del proyecto: Simulación 7
Temperatura: 19,2 °C

Edad elemento, P1: página : 5/5
3,5 años



Corriente n °	Caudal (m3/h)	Presión (bar)	TDS (mg/l)	pH	Econd (µs/cm)
1	275	0	1751	7,20	2952
2	275	10,9	1751	7,20	2952
3	96,5	9,63	4932	7,61	7540
4	41,0	8,63	11337	7,93	16331
5	178	0	29,1	5,35	44,5
6	55,5	0	184	6,16	270
7	234	0	66,1	5,72	97,7

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
Email : infod-support@hydranauticsprojections.net www.membranes.com +1 780 901 2500

Simulación 9: ESPA4-LD con una conversión del 75%.

Software de Diseño de Soluciones de Membranas Integral
Creado en 14/07/2021 10:19:00



Diseño Básico

Nombre del proyecto	Simulación 9			página : 1/3
Calculado por	Yessica Jaramillo	Flujo/tren de permeado	5607,5 m3/d	
Caudal bomba alta presión	311,50 m3/h	Flujo de producto total	22430,00 m3/d	
Presión de alimentación	8,0 bar	Number of trains	4	
Temperatura de alimentación	19,2 °C(66,6°F)	el flujo de agua cruda / tren	7476,7 m3/d	
pH agua alimentación	7,20	Conversión	75,00 %	
Dosis químico,mg/l, -	H2SO4	Edad elemento	3,5 años	
Energía específica	0,37 kwh/m3	Disminución de flujo %, por año	5,0	
NDP paso	5,5 bar	Factor de ensuciamiento	0,84	
Flujo promedio	27,2 lmh	Aumento de SP, per año	7,0 %	
		Perdida de carga entre etapas	0,207 bar	
		Tipo de alimentación	Salobre Pozo Sin ensuciamiento	

Paso - Etapa	Perm. Caudal m3/h	Caudal / Tubo Alimentación m3/h	Flujo Conc m3/h	Flujo lmh	DP bar	Flujo Max lmh	Beta	Presión por etapas Perm. bar	Boost bar	Conc bar	TDS mg/l	Perm. Elemento Tipo	Elemento Cantidad	PV# x Elem #
1-1	183	14,2	5,8	31,9	1,4	38	1,15	0	0	6,5	52,5	ESPA4-LD	154	22 x 7M
1-2	50,9	11,7	7,1	17,8	1,2	23,3	1,07	0	0	5,1	275,9	ESPA4-LD	77	11 x 7M

Ion (mg/l)	Aqua bruta	Agua de alimentación	Permeate aqua	Rechazo 1	Rechazo 2
Dureza, como CaCO3	1094,92	1094,92	13,944	2644,1	4350,5
Ca	256,00	256,00	3,260	618,2	1017,2
Mg	111,00	111,00	1,414	268,1	441,0
Na	76,00	76,00	22,127	167,3	238,0
K	2,00	2,00	0,582	4,4	6,3
NH4	0,00	0,00	0,000	0,0	0,0
Ba	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Sr	6,500	6,500	0,083	15,7	25,8
Zn+2	0,001	0,001	0,000	0,0	0,0
Mn+2	0,001	0,001	0,000	0,0	0,0
H	0,00	0,00	0,001	0,0	0,0
CO3	0,32	0,32	0,000	2,3	6,9
HCO3	237,00	237,00	8,843	570,2	930,8
SO4	560,00	560,00	2,119	1355,9	2240,3
Cl	165,32	165,32	6,169	396,3	644,8
F	0,16	0,16	0,017	0,4	0,6
NO3	320,00	320,00	56,182	734,3	1115,5
PO4	0,00	0,00	0,000	0,0	0,0
OH	0,00	0,00	0,000	0,0	0,0
SiO2	15,90	15,90	0,573	38,1	62,1
B	0,00	0,00	0,000	0,0	0,0
CO2	21,95	21,95	21,95	21,95	21,95
NH3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Br-1	0,513	0,513	0,025	1,2	2,0
TDS	1750,72	1750,72	101,39	4172,43	6731,18
pH	7,20	7,20	6,83	7,55	7,74

Saturaciones	Agua bruta	Agua de alimentación	Rechazo	Límites
CaSO4 / ksp * 100, %	23	23	132	400
SrSO4 / ksp * 100, %	38	38	211	1200
BaSO4 / ksp * 100, %	0	0	0	10000
Saturación de SiO2, %	14	14	51	140
CaF2 / ksp * 100, %	1	1	19	50000
Índice de saturación Ca3 (PO4) 2	0,0	0,0	0,0	2,4
CCPP, mg/l	31,95	31,95	527,88	850
Índice de saturación Langelier	0,17	0,17	1,85	2,8
Fuerza ionica	0,04	0,04	0,17	
Presión osmotica, bar	0,8	0,8	2,9	

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
Email : msd-support@hydranauticsprojectors.net

9. Anexos

Software de Diseño de Soluciones de Membranas Integral

Creado en 14/07/2021 10:19:00



Diseño Básico

Nombre del proyecto	Simulación 9												página : 2/3	
Calculado por	Yessica Jaramillo												Flujo/tren de permeado	5607,5 m3/d
Caudal bomba alta presión		311,50 m3/h											Flujo de producto total	22430,00 m3/d
Presión de alimentación		8,0 bar											Number of trains	4
Temperatura de alimentación		19,2 °C(66,6°F)											el flujo de agua cruda / tren	7476,7 m3/d
pH agua alimentación		7,20											Conversión	75,00 %
Dosis químico,mg/l, -		H2SO4											Edad elemento	3,5 años
Energía específica		0,37 kwh/m3											Disminución de flujo %, por año	5,0
NDP paso		5,5 bar											Factor de ensuciamiento	0,84
Flujo promedio		27,2 lmh											Aumento de SP, per año	7,0 %
													Perdida de carga entre etapas	0,207 bar

Paso - Etapa	Perm. Caudal m3/h	Caudal Alimentación m3/h	Tubo Conc m3/h	Flujo lmh	DP bar	Flujo Max lmh	Beta	Tipo de alimentación por etapas			Salobre Pozo Sin ensuciamiento			
								Perm. bar	Boost bar	Conc bar	Perm. mg/l	Elemento Tipo	Elemento Cantidad	PV# x Elem #
1-1	183	14,2	5,8	31,9	1,4	38	1,15	0	0	6,5	52,5	ESPA4-LD	154	22 x 7M
1-2	50,9	11,7	7,1	17,8	1,2	23,3	1,07	0	0	5,1	275,9	ESPA4-LD	77	11 x 7M

Paso - Etapa	Elemento no.	Alimentación Presión bar	Presión Caída bar	Conc Osmo. bar	NDP bar	Permeatear agua Caudal m3/h	Permeatear agua Flujo lmh	Beta	TDS	Permeado (Acumulado de etapa)			
										Ca	Mg	Na	Cl
1-1	1	8	0,32	0,8	7,1	1,4	38	1,1	25	0,762	0,33	5,788	1,441
1-1	2	7,7	0,27	0,9	6,6	1,3	35,6	1,1	27,9	0,852	0,37	6,448	1,612
1-1	3	7,4	0,23	1	6,3	1,3	33,6	1,11	31,2	0,955	0,414	7,188	1,806
1-1	4	7,2	0,2	1,2	6	1,2	31,9	1,12	35,1	1,077	0,467	8,051	2,035
1-1	5	7	0,16	1,3	5,6	1,1	30	1,13	39,7	1,225	0,531	9,08	2,313
1-1	6	6,8	0,13	1,5	5,3	1	28,2	1,14	45,4	1,408	0,61	10,331	2,656
1-1	7	6,7	0,11	1,8	5	1	26,3	1,15	52,5	1,639	0,711	11,883	3,09
1-2	1	6,3	0,24	1,9	4,4	0,9	23,3	1,07	147,4	4,724	2,048	32,644	8,871
1-2	2	6,1	0,22	2,1	4	0,8	21,2	1,07	163,4	5,258	2,28	36,058	9,868
1-2	3	5,9	0,19	2,2	3,7	0,7	19,4	1,07	181,3	5,862	2,542	39,853	10,995
1-2	4	5,7	0,17	2,4	3,4	0,7	17,7	1,07	201,3	6,544	2,837	44,055	12,263
1-2	5	5,5	0,16	2,5	3	0,6	16	1,07	223,6	7,312	3,171	48,697	13,691
1-2	6	5,4	0,14	2,7	2,7	0,5	14,3	1,07	248,4	8,177	3,545	53,799	15,295
1-2	7	5,2	0,13	2,9	2,4	0,5	12,7	1,06	275,9	9,145	3,965	59,372	17,088

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.251.90 %
 Email : instd-support@hydranauticsprojections.net www.membranes.com +1 760 901 2500

9. Anexos

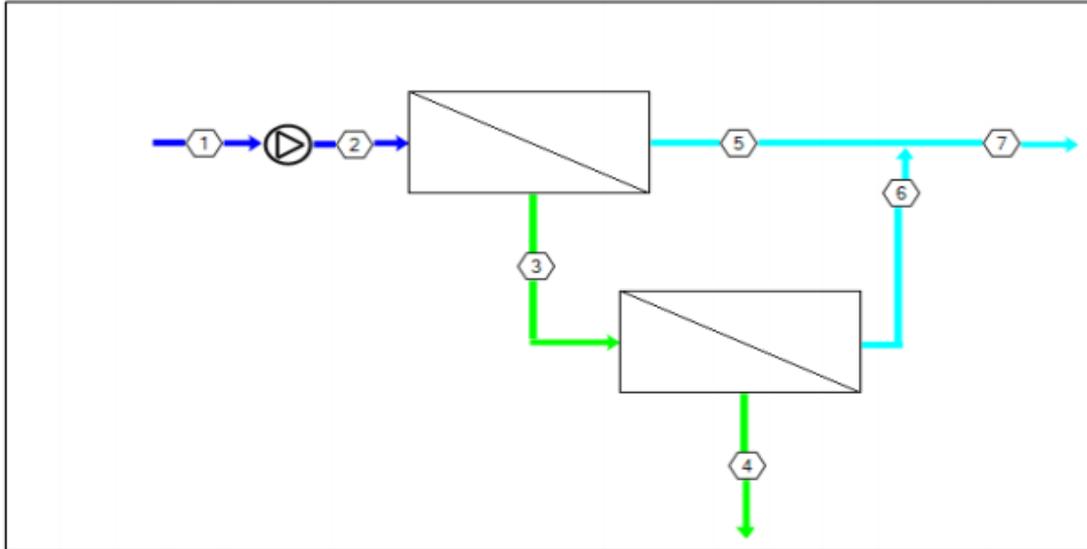
Software de Diseño de Soluciones de Membranas Integral
Creado en 14/07/2021 10:19:00

Nitto HYDRANAUTICS
Nitro Group Company

Diseño Básico

Nombre del proyecto : Simulación 9
Temperatura : 19,2 °C

Edad elemento, P1 : página : 3/3
3,5 años



Corriente n °	Caudal (m3/h)	Presión (bar)	TDS (mg/l)	pH	Econd (µs/cm)
1	311	0	1751	7,20	2952
2	311	7,98	1751	7,20	2952
3	129	6,55	4172	7,55	6477
4	77,6	5,10	6731	7,74	10080
5	183	0	52,5	5,54	80,6
6	50,9	0	276	6,27	418
7	234	0	101	5,83	154

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
Email : itnsd-support@hydranauticsprojectors.net

www.membranes.com +1 760 901 2500

Diseño Básico

Nombre del proyecto	Simulación 10		página : 2/3
Calculado por	Yessica Jaramillo	Flujo/tren de permeado	5607,5 m3/d
Caudal bomba alta presión	292,03 m3/h	Flujo de producto total	22430,00 m3/d
Presión de alimentación	8,0 bar	Number of trains	4
Temperatura de alimentación	19,2 °C(66,6°F)	el flujo de agua cruda / tren	7009,4 m3/d
pH agua alimentación	7,20	Conversión	80,00 %
Dosis químico,mg/l, -	H2SO4	Edad elemento	3,5 años
Energía específica	0,34 kwh/m3	Disminución de flujo %, por año	5,0
NDP paso	5,6 bar	Factor de ensuciamiento	0,84
Flujo promedio	27,2 l/mh	Aumento de SP, per año	7,0 %
		Perdida de carga entre etapas	0,207 bar

Paso - Etapa	Perm.	Caudal / Tubo Alimentación		Flujo l/mh	DP bar	Flujo l/mh	Beta	Tipo de alimentación			Salobre Pozo Sin ensuciamiento			
		m3/h	Conc m3/h					Presión por etapas	Boost bar	Conc bar	TDS mg/l	Perm.	Elemento Tipo	Elemento Cantidad
1-1	183,9	13,3	4,9	32,1	1,3	38,2	1,18	0	0	6,7	55,7	ESPA4-LD	154	22 x 7M
1-2	49,8	9,8	5,3	17,5	0,9	23,1	1,1	0	0	5,6	361,9	ESPA4-LD	77	11 x 7M

Paso - Etapa	Elemento no.	Alimentación Presión bar	Alimentación Caída bar	Conc Osmo. bar	NDP bar	Permeabilidad agua Caudal m3/h	Permeabilidad agua Flujo l/mh	Beta	TDS	Permeado (Acumulado de etapa)			
										Ca	Mg	Na	Cl
1-1	1	8	0,29	0,8	7,1	1,4	38,2	1,11	24,8	0,762	0,331	5,788	1,423
1-1	2	7,7	0,25	1	6,7	1,3	35,6	1,11	27,8	0,858	0,372	6,483	1,601
1-1	3	7,4	0,21	1,1	6,3	1,3	34	1,12	31,3	0,969	0,42	7,271	1,806
1-1	4	7,2	0,17	1,2	6	1,2	32,1	1,13	35,5	1,102	0,478	8,21	2,054
1-1	5	7,1	0,14	1,4	5,7	1,1	30,2	1,14	40,6	1,269	0,55	9,361	2,362
1-1	6	6,9	0,11	1,7	5,4	1,1	28,3	1,16	47,2	1,482	0,643	10,805	2,757
1-1	7	6,8	0,09	2	5	1	26,3	1,18	55,7	1,765	0,765	12,668	3,279
1-2	1	6,5	0,19	2,2	4,4	0,9	23,1	1,09	174,9	5,716	2,478	38,762	10,575
1-2	2	6,3	0,16	2,4	4	0,8	21,2	1,1	196,3	6,449	2,796	43,292	11,923
1-2	3	6,2	0,14	2,6	3,7	0,7	19,2	1,1	221	7,307	3,168	48,469	13,496
1-2	4	6	0,12	2,8	3,3	0,6	17,3	1,09	249,4	8,308	3,602	54,361	15,328
1-2	5	5,9	0,11	3	3	0,6	15,4	1,09	282,1	9,475	4,108	61,037	17,46
1-2	6	5,8	0,1	3,3	2,6	0,5	13,8	1,08	319,4	10,833	4,697	68,553	19,936
1-2	7	5,7	0,08	3,5	2,3	0,4	11,9	1,08	361,9	12,405	5,379	76,928	22,791

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
 Email : innsd-support@hydranauticsprojections.net www.membranes.com +1 760 901 2500

9. Anexos

Software de Diseño de Soluciones de Membranas Integral

Creado en 14/07/2021 10:19:38



Diseño Básico

Nombre del proyecto

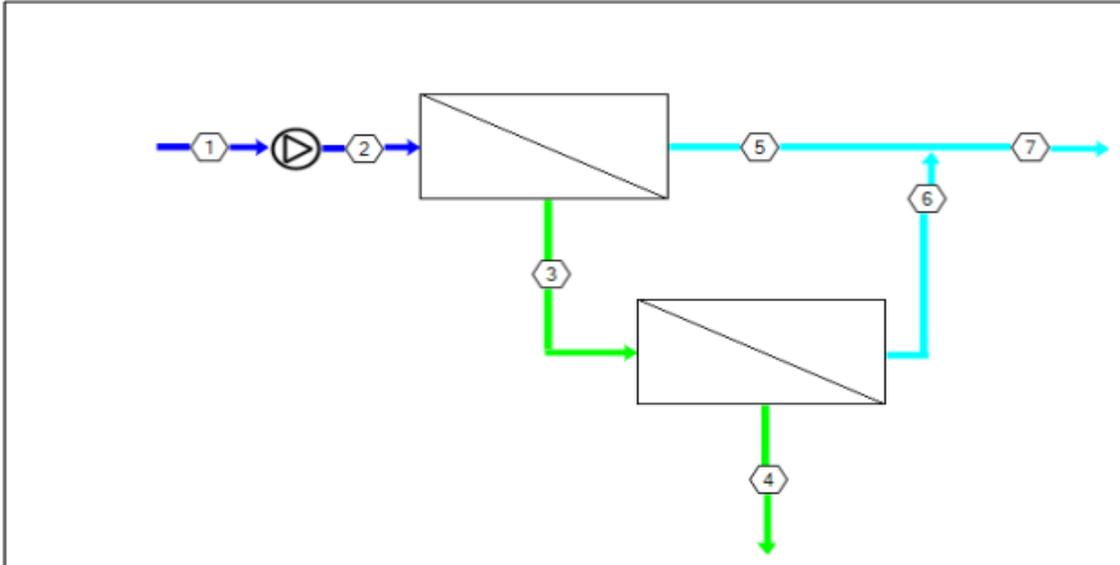
Simulación 10

página : 3/3

Temperatura : 19,2 °C

Edad elemento, P1 :

3,5 años



Corriente n °	Caudal (m3/h)	Presión (bar)	TDS (mg/l)	pH	Eoond (µs/cm)
1	292	0	1751	7,20	2952
2	292	7,98	1751	7,20	2952
3	108	6,72	4634	7,59	7133
4	58,3	5,61	8285	7,82	12249
5	184	0	55,7	5,56	85,6
6	49,8	0	362	6,39	548
7	234	0	121	5,92	184

Los cálculos del rendimiento del producto se basan en el rendimiento nominal de los elementos cuando se operan con un agua de aporte de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los documentos producidos por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. No existe ninguna garantía del rendimiento del producto o del sistema ni expresa ni implícita salvo que se disponga de un comunicado de garantía por separado firmado por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de consumos químicos se proporcionan por comodidad y se basan en varias suposiciones de la composición y calidad del agua. Hydranautics no garantiza los consumos de productos químicos, porque los productos químicos necesarios para el ajuste de pH dependen del agua de aporte y no de la membrana. Si necesita una garantía de producto o de sistema, contacte con su representante de Hydranautics. Las garantías no estándar, o las ampliaciones de garantía pueden suponer precios distintos a los previamente acordados. Version : 2.231.90 %
 Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net www.membranes.com +1 760 901 2500

Otro anexo

9.3 Anexo 3 Presupuesto y Estudio económico

En este anexo se muestra de manera más detallada los presupuestos y los estudios económicos realizados para las membranas ESPA2 MAX y ESPA2-LD MAX.

Tras realizar un estudio sobre el consumo específico de la bomba, se pueden establecer los datos de entrada. Sabiendo estos datos se va a calcular a continuación el presupuesto y el estudio económico.

Presupuesto y estudio económico para el diseño de la planta con la membrana ESPA-LD MAX

TIPO DE AGUA (SDI)	SDI<3
TEMPERATURA (°C)	19,2
CONVERSION	85,00%
Producción (m3/d)	22430
Número BASTIDORES	4
Flujo de agua producido por bastidor (m³/h)	233,6
Flux medio (Lmh)	27,7
Número de tubos de presión por BAST	30
Elementos por tubo	7
TIPO DE MEMBRANA	ESPA2-LD MAX
Vida media membranas (años)	3,5
fouling factor	0,84
Potencia UNIDAD OI (kW)	103,9
Consumo específico OI kWh/m³	0,44
Caudal recuperador de energía (m³/h)	0,0
Vida útil del proyecto (años)	20,0
Interés anual	0,043
Coste energía eléctrica (€/kWh)	0,121
Cotización moneda (\$/€)	0,8

1. Identificación del Proyecto

NOMBRE

YESSICA JARAMILLO

Caso

ESPA2-LD MAX

2. Parámetros generales de diseño

Flujo de agua producido por bastidor de OI

233,65

Conversión

0,85

Numero de BASTIDORES

4

Elementos por tubo

7

Número de tubos de presión por BAST

30,00

Número total de elementos por BAST

210,00

Vida media membranas (años)

3,50

Grupo motor reserva (1 por 4-5 BAST)

1,00

Potencia

103,90

Consumo específico energía en OI (70%)

0,44

Consumo específico energía total

0,63

Caudal recuperador de energía

0,00

Eficiencia del recuperador de energía

0,00

Disponibilidad de la planta

8640

3. Variables económicas de Proyecto

Vida útil del proyecto (años)

20,00

Interés anual

0,04

Coste energía eléctrica

0,12

Cotización moneda

0,84

4. Amortización

 $(1+i)^n$

2,3211

CRF (capital recovery factor): $[(1+i)^n-1]/[i \cdot (1+i)^n]$

13,2363

5. Costes de Construcción

Costes relativos a la unidad de OI

REF MEMBRANA	ESPA2-LD-MAX
Coste de cada Elemento (€/elemento)	887 €
	186.208 €
	744.831 €
REF. TUBO DE PRESION	Codeline 80S15-1 150 Psi
Coste de tubo de presión (€/TP)	492 €
Coste TP por bastidor	14.771 €
Coste total TP	59.084 €

REF. BOMBA Y MOTOR	---
Coste Bomba	26.240 €
Coste Motor	8.308 €
Coste por BAST	34.548 €
Coste total BM	138.191 €

GRUPO RESERVA	
Coste B+M+ERD	34.548 €

COSTE UNIDAD OI BASTIDOR	235.527 €
COSTE TOTAL UNIDADES OI	976.654 €

Factor Instalación	2,60
--------------------	------

COSTE TOTAL UNIDADES OI INSTALADO	2.539.300 €
--	--------------------

6. Reemplazo Membranas y Filtros

Tasa de reemplazo (%/año)	0,286 €
Coste anual de reemplazo membranas	212.809 €
Coste anual de reemplazo filtros (15%de membranas)	31.921 €
Coste total anual reemplazo	244.730 €

- Presupuesto

Costes de capital o Inversión total

Costes de capital directos (Construcción)		
item	€	%
Preparación del terreno, accesos, parking...	74.685,29 €	1,00%
Captación de agua	224.055,88 €	3,00%
Pretratamiento	896.223,53 €	12,00%
Equipos para el Sistema de OI	2.539.300,00 €	34,00%
Post-tratamiento	149.370,59 €	2,00%
Gestión de Concentrados	298.741,18 €	4,00%
gestión de residuos	224.055,88 €	3,00%
Sistemas Eléctricos e Instrumentación	224.055,88 €	3,00%
Instalaciones y equipos auxiliares	373.426,47 €	5,00%
Edificios	298.741,18 €	4,00%
Puesta en marcha y pruebas de aceptación	149.370,59 €	2,00%
Subtotal de costes directos (construcción)	5.452.026,47 €	73,0%

Costes de capital indirectos (Construcción)		
Costes de ingeniería del proyecto		
Ingeniería Preliminar	52.279,71 €	0,70%
Ensayos piloto	59.748,24 €	0,80%
Diseño de detalle	298.741,18 €	4,00%
Gestión y supervisión de la construcción	134.433,53 €	1,80%
Subtotal-servicios de ingeniería.	545.202,65 €	7,30%
Desarrollo del Proyecto		
Administración, contratación y gestión	89.622,35 €	1,20%
Permisos ambientales	179.244,71 €	2,40%
Servicios Legales	82.153,82 €	1,10%
Subtotal Desarrollo del proyecto.	351.020,88 €	4,70%
Costes financieros del proyecto		
Intereses durante la construcción	224.055,88 €	3,00%

Fondo de Reserva para el servicio de la deuda	74.685,29 €	1,00%
Otros costes financieros	74.685,29 €	1,00%
Subtotal-financiación del proyecto	373.426,47 €	5,00%
Contingencias	746.852,94 €	10,00%
Subtotal costes indirectos del capital	2.016.502,94 €	27,00%
Costes totales de capital	7.468.529,40 €	100,0%

Ratio Inversión/m³/día	332,97 €
--	-----------------

- Estudio económico

Costes anuales de Operación y Mantenimiento

	€	€/m ³	% del Total
Costes Variables	€	€/m ³	% del Total
Energía	614.146,22 €	0,08 €	48,00%
Productos Químicos	93.695,62 €	0,01 €	6,00%
Reemplazamiento de membranas y filtros de cartucho	244.730,30 €	0,03 €	7,00%
Gestión de las corrientes residuales	93.695,62 €	0,01 €	6,00%
Subtotal costes variables	1.046.267,76 €	0,13 €	67,00%
Costes Fijos	€	€/m ³	% del Total
Termino de potencia	78.079,68 €	0,01 €	5,00%
Personal	156.159,37 €	0,02 €	10,00%
Mantenimiento	12.236,52 €	0,00 €	5,00%
Vigilancia ambiental	31.231,87 €	0,00 €	2,00%
Costes indirectos	171.775,30 €	0,02 €	11,00%
Subtotal costes fijos	371.403,06 €	0,06 €	33,00%
Total costes O&M	1.561.593,67 €	0,19 €	100,0%

Amortización de la inversión	244.730,30 €	0,03 €
-------------------------------------	--------------	--------

Costes del agua desalada €/m³

Total costes producción	0,21 €
Beneficio industrial (10%)	0,02 €
IMPUESTOS (10%)	0,02 €

Total coste del agua desalada	0,271 €
--------------------------------------	----------------

Presupuesto y estudio económico para el diseño de la planta con la membrana ESPA 2 MAX

TIPO DE AGUA (SDI)	SDI<3
TEMPERATURA (°C)	19,2
CONVERSION	80,00%
Producción (m3/d)	22430
Número BASTIDORES	4
Flujo de agua producido por bastidor (m ³ /h)	233,6
Flux medio (Lmh)	27,7
Número de tubos de presión por BAST	30
Elementos por tubo	7
TIPO DE MEMBRANA	ESPA2 MAX
Vida media membranas (años)	3,5
fouling factor	0,84
Potencia UNIDAD OI (kW)	119,2
Consumo específico OI kWh/m ³	0,51
Caudal recuperador de energía (m ³ /h)	0,0
Vida útil del proyecto (años)	20,0
Interés anual	0,043
Coste energía eléctrica (€/kWh)	0,121
Cotización moneda (\$/€)	0,8

5. Costes de Construcción

Costes relativos a la unidad de OI

REF MEMBRANA	ESPA2 MAX
Coste de cada Elemento (€/elemento)	814 €
	171.007 €
Coste total de la membrana	684.029 €
REF. TUBO DE PRESION	Codeline 80S15-1 150 Psi
Coste de tubo de presión (€/TP)	492 €
Coste TP por bastidor	14.771 €
Coste total TP	59.084 €

REF. BOMBA Y MOTOR	---
Coste Bomba	26.240 €
Coste Motor	9.191 €
Coste por BAST	35.431 €
Coste total BM	141.724 €

GRUPO RESERVA	
Coste B+M+ERD	35.431 €

COSTE UNIDAD OI BASTIDOR	221.209 €
COSTE TOTAL UNIDADES OI	920.268 €

Factor Instalación	2,60
--------------------	------

COSTE TOTAL UNIDADES OI INSTALADO	2.392.698 €
--	--------------------

6. Reemplazo Membranas y Filtros

Tasa de reemplazo (%/año)	0,286 €
Coste anual de reemplazo membranas	195.437 €
Coste anual de reemplazo filtros (15%de membranas)	29.316 €
Coste total anual reemplazo	224.752 €

El recuperador de energía no se tiene en cuenta porque no hace falta en esta instalación.

- Presupuesto

Costes de capital o Inversión total

Costes de capital directos (Construcción)		
item	€	%
Preparación del terreno, accesos, parking...	70.373,46 €	1,00%
Captación de agua	211.120,38 €	3,00%
Pretratamiento	844.481,51 €	12,00%
Equipos para el Sistema de OI	2.392.697,61 €	34,00%
Post-tratamiento	140.746,92 €	2,00%
Gestión de Concentrados	281.493,84 €	4,00%
Gestión de residuos	211.120,38 €	3,00%
Sistemas Eléctricos e Instrumentación	211.120,38 €	3,00%
Instalaciones y equipos auxiliares	351.867,30 €	5,00%
Edificios	281.493,84 €	4,00%
Puesta en marcha y pruebas de aceptación	140.746,92 €	2,00%
Subtotal de costes directos (construcción)	5.137.262,51 €	73,0%

Costes de capital indirectos (Construcción)		
Costes de ingeniería del proyecto		
Ingeniería Preliminar	49.261,42 €	0,70%
Ensayos piloto	56.298,77 €	0,80%
Diseño de detalle	281.493,84 €	4,00%
Gestión y supervisión de la construcción	126.672,23 €	1,80%
Subtotal-servicios de ingeniería.	513.726,25 €	7,30%
Desarrollo del Proyecto		
Administración, contratación y gestión	84.448,15 €	1,20%
Permisos ambientales	168.896,30 €	2,40%
Servicios Legales	77.410,80 €	1,10%
Subtotal Desarrollo del proyecto.	330.755,26 €	4,70%
Costes financieros del proyecto		

Intereses durante la construcción	211.120,38 €	3,00%
Fondo de Reserva para el servicio de la deuda	70.373,46 €	1,00%
Otros costes financieros	70.373,46 €	1,00%
Subtotal-financiación del proyecto	351.867,30 €	5,00%
Contingencias	703.734,59 €	10,00%
Subtotal costes indirectos del capital	1.900.083,39 €	27,00%
Costes totales de capital	7.037.345,91 €	100,0%

Ratio Inversión/m³/día **313,75 €**

- Estudio económico

Costes anuales de Operación y Mantenimiento

	€	€/m ³	% del Total
Costes Variables	€	€/m ³	% del Total
Energía	711.851,30 €	0,09 €	48,00%
Productos Químicos	102.174,94 €	0,01 €	6,00%
Reemplazamiento de membranas y filtros de cartucho	224.752,32 €	0,03 €	7,00%
Gestión de las corrientes residuales	102.174,94 €	0,01 €	6,00%
Subtotal costes variables	1.140.953,50 €	0,14 €	67,00%
Costes Fijos	€	€/m ³	% del Total
Termino de potencia	85.145,78 €	0,01 €	5,00%
Personal	170.291,57 €	0,02 €	10,00%
Mantenimiento	11.237,62 €	0,00 €	5,00%
Vigilancia ambiental	34.058,31 €	0,00 €	2,00%
Costes indirectos	187.320,72 €	0,02 €	11,00%
Subtotal costes fijos	402.908,22 €	0,06 €	33,00%
Total costes O&M	1.702.915,67 €	0,21 €	100,0%

Amortización de la inversión	224.752,32 €	0,03 €
-------------------------------------	---------------------	---------------

Costes del agua desalada €/m³

Total costes producción	0,24 €
Beneficio industrial (10%)	0,02 €
IMPUESTOS (10%)	0,03 €

Total coste del agua desalada	0,289 €
--------------------------------------	----------------

9.4 Anexo 4 Fichas técnicas de los materiales empleados

Tubos Codeline 80S15

Codeline Pressure Vessel model 80S15

www.lenttech.com info@lenttech.com

SECTION THROUGH END CLOSURE

WARNING: EXTERNAL PORT PRESSURE NOT TO EXCEED 150 PSI*

QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	CHUCKIN	Fluorocarbon polyethylene composite - Heat locking groove
2	AIR	SECTION	Fluorocarbon polyethylene composite - Heat locking groove
3	AIR	FC Part Seal	FC Part Seal
HEAD			
4	2	Bearing Plate	3001-18 Aluminum alloy - Head
5	2	Sealing Flange	Engineering Thermoplastic
6	2	Port Nut	Engineering Thermoplastic
7	2	Port Seal	Engineering Thermoplastic
8	2	Head Seal	Evynse P-Reglyse - O - Ring
9	2	Port Seal	Evynse P-Reglyse - O - Ring
HEAD INTERLOCK			
10	2	Quick Release Spring Ring	1/8 Stainless Steel
VESSEL SUPPORT			
11	* 2	Slide	Engineering Thermoplastic
12	* 2	Steel Assy	304 Stainless Steel PVC Coating
13	4	Steel screw	5-16-18 UNC, 18-8 Stainless Steel
ELEMENT INTERFACE			
14	2	Adapter	Engineering Thermoplastic
15	2	Adapter seal	Evynse P-Reglyse - O - Ring
16	4	PVC Seal	Evynse P-Reglyse - O - Ring
17	1	Thread Cap	Engineering Thermoplastic

* 3 width finished with length code 4, 5, 6, 7, 8, 9

DETAILS

PO NUMBER	CUSTOMER NAME	PROJECT NAME	TOTAL QUANTITY

PORT CONFIGURATION	DETAILS	VESSEL QUANTITY

Drawn	Checked	Approved	Date

Codeline
Pentair Water

Codeline - 80S15
MEMBRANE HOUSING

Dwg. No. 99159

Rev. 2146

Date 28 JUL 11

Scale: None

Title: A.3

Sheet: 1 of 3

RATING:

DESIGN PRESSURE:.....150 PSIG at 190°F
(1.0 MPa at 88°C)
MIN OPERATING TEMP.....20°F
FACTORY TEST PRESSURE.....(7°C)
225 PSIG / 165 PSIG
(1.6 MPa) (1.13 MPa)
QUALIFICATION PRESSURE.....900 PSI
(6.2 MPa)

INTENDED USE:

The Coddline 80S15 Fiberglass RO Pressure Vessel is designed for continuous, long term use as housing for reverse osmosis membrane elements to desalt typical brackish waters at pressures up to 150 psig. Any make of eight-inch nominal diameter spiral-wound element is easily accommodated; the appropriate interfacing hardware for the element specified is furnished with the vessel.

The Coddline 80S15 is designed in accordance with the engineering standards of the Boiler and Pressure Vessel Code of the American Society of Mechanical Engineers (ASME) Code. As small additional cost vessels can be inspected during construction by an ASME Authorized Inspector and ASME Code stamped.

The Coddline 80S15 must be installed, operated and maintained in accordance with the listed precautions and good industrial practice to assure safe operation over a long service life.

The high performance Filament wound FRP shell must be allowed to expand under pressure; undue restraint at support points or piping connections can cause leaks to develop in the shell. This side-ported vessel requires special precautions in mounting and connection to piping so that the vessel will not be subjected to excessive stress due to bending moments acting at the side openings in the fiberglass shell. The end closure, incorporating chase fitting, interlocking metal components, must be kept dry and free of corrosion; deterioration can lead to catastrophic mechanical failure of the head.

Pentair Water will assist the purchaser in determining the suitability of this standard vessel for their specific operating conditions. The final determination however, including evaluation of the standard material of construction for compatibility with the specific corrosive environment, shall be the responsibility of the purchaser. Alternate materials with enhanced corrosion resistance are available on special order.

Specifications are subject to change without notice.

DWG. NO. 99196-1 Pentair Water PAGE 2 OF 3

PRECAUTIONS:

- DO...read, understand and follow all instructions; failure to take every precaution will void warranty and may result in vessel failure.
- DO...mount the shell on horizontal members at span "S" using compliant vessel supports furnished; Shim washers if required; Tighten hold-down straps just snug.
- DO...align and center side ports with the manifold header. Correct, causes of misalignment in a row of vessels connected to the same header.
- DO...use flexible type grooved-end pipe couplings, Visculife® Style 77 or equal, at side ports; allow full, 0.125 inch gap between port and piping, and position piping to maximize flexibility of connection.
- DO...provide flexibility in, and support for piping manifolds so that vessel can grow in length under pressure without undue restraint; provide additional flexible joints in large pipes leading to manifold header.
- DO...provide overpressure protection for vessel set at not more than 105% of design pressure.
- DO...inspect end closures regularly; replace components that have deteriorated and correct causes of corrosion.
- DO...Lubricate seals sparingly, using nonpetroleum based lubricants, i.e. Parker Super Oil-Hydro®, Glycerin or suitable silicone based lubricants.
- DO NOT...work on any component until first verifying that pressure is relieved from vessel.
- DO NOT...make rigid piping connections to ports or clamp vessel in any way that restricts growth of fiberglass shell under pressure.
- **ADJA = 0.015 in. (0.4mm) and
- DO NOT...hang piping manifolds from ports or use vessel in any way to support other components.
- DO NOT...tighten Permeate Port connection more than one turn past-hand tight.
- DO NOT...operate vessel without connecting both Permeate Ports internally to complete set of elements or otherwise plug ports internally so that external piping connection is not subjected to feed pressure.
- DO NOT...install Spacer on downstream end of vessel.
- DO NOT...operate vessel without Therist Cone installed downstream.
- DO NOT...pressure vessel until double-checking to verify that the Locking Ring is in place and fully seated.
- DO NOT...operate vessel at pressure and temperature in excess of its rating.
- DO NOT...operate vessel with permeate pressure in excess of 125 psig at 190°F (0.86 MPa at 88°C).
- DO NOT...submerge tanks or allow end closures to be routinely wetted in any way.
- DO NOT...operate outside the pH range 5-10.

ORDERING:

Using the chart below, please check the features you require

- VESSEL LENGTH CODE – please check one**
- MODEL 80S15 □ 1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □ 7 □ 8
- MEMBRANE BRAND AND MODEL**
- Please supply adapters for the following membrane brand and specific model
Brand _____ Model _____

CERTIFICATION REQUIRED

- ASME Stamped and National Board Registered.
- CE Marked Standard.
- Certified by Pentair Water.
- In compliance with the ASME Sec X but not Code Stamped.
- Hydro testing at 1.1 times the design pressure
- Hydro testing at 1.5 times the design pressure

ADAPTER KITS	
UP STREAM	DOWN STREAM
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PERMEATE PORT SELECTION

- Serial Number End**
- Size of the Permeate Port □ 1" □ 1.25" □ 1.5"
- Type of Connection □ FNPT □ MNPT □ BSPM □ BSPFM □ IPS GROOVED □ SANITARY
- Material of Construction □ PET/Noryl □ SS316L □ Zeron 100

Non-Serial Number End

- Size of the Permeate Port □ 1" □ 1.25" □ 1.5"
- Type of Connection □ FNPT □ MNPT □ BSPM □ BSPFM □ IPS GROOVED □ SANITARY
- Material of Construction □ PET/Noryl □ SS316L □ Zeron 100

Note:

- Standard offering is 1.0" FNPT in PET/Noryl.
- 1.25" & 1.5" BSPFM, 1.25" & 1.5" FNPT and 1.25" SANITARY connections cannot be offered
- Sanitary permeate port cannot be offered in PET/Noryl

STRAP ASSEMBLY

- Standard SS304 □ Optional SS316 □ Optional SS316L

FIBER/CONCENTRATE PORT SELECTION

- Material of Construction □ CEM □ Optional Duplex SS (CD3MN)
- Optional Super Duplex SS (CD3MW/CAN)

Configuration

- Standard - CEM 10SD
- Optional - Multi ports (Refer SPEC SHEET/PMA1.5" 3" for Multi port selection)

BEARING PLATE MATERIAL

- Standard - 6061 T6 Aluminum
- Optional - Stainless Steel 316L

PORT SIZE CODE	
D	1 1/2" GROOVED END
E	2" GROOVED END
F	2 1/2" GROOVED END

Note: Please refer to 99321 for sanitary details and refer page-3 for optional Part numbers.

Membrana ESPA2 MAX

ESPA2 MAX

Specified Performance*

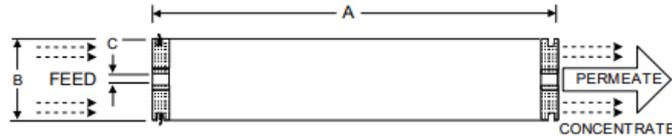
Permeate Flow:	12,000 gpd (45.4 m ³ /d)
Salt Rejection:	99.6% (99.5% minimum)
Test Conditions:	1500 ppm NaCl solution
	150 psig (1.03 MPa) Applied Pressure
	77 °F (25 °C) Operating Temperature
	15% Permeate Recovery
	6.5 - 7.0 pH Range

*The Specified Performance is based on data taken after a minimum of 10 minutes of operation. Actual testing of elements may be done at conditions which vary from these exact values; in which case, the performance is normalized back to these standard conditions. Permeate flow for individual elements may vary ±15 percent from the value specified.

General Product Description**

Configuration:	Spiral Wound
Membrane Polymer:	Composite Polyamide
Membrane Active Area**:	440 ft ² (40.9 m ²)

Packaging: All membrane elements are supplied with a brine seal, interconnector, and O-rings. Elements are enclosed in a sealed polyethylene bag containing less than 1.0% sodium meta-bisulfite solution, and then packaged in a cardboard box.



Element Details**

A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)

**Values listed are indicative, not specified. For more detailed specifications, see our Technical Service Bulletin documents or contact Hydranautics Technical Department.

Product Use and Restrictions^

Maximum Applied Pressure:	600 psig (4.14 MPa)
Maximum Chlorine Concentration:	< 0.1 ppm
Maximum Operating Temperature:	113 °F (45 °C)
pH Range, Continuous (Cleaning):	2-10.6 (1-12)
Maximum Feedwater Turbidity:	1.0 NTU
Maximum Feedwater SDI (15 mins):	5.0
Maximum Feed Flow:	75 gpm (17.0 m ³ /h)
Minimum Brine Flow:	12 gpm (2.7 m ³ /h)
Maximum Pressure Drop for Each Element:	15 psi (0.10 MPa)

^ The limitations shown here are for general use. For specified projects, operation at more conservative values may ensure the best performance and longest life of the membrane. See Hydranautics Technical Bulletins for more details.

Disclaimer: The information and data are presented in good faith and in lieu of all warranties. All express or implied warranties, including the warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, are hereby disclaimed and excluded. Conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics' products for the user's specific end uses. 1/18/19

Hydranautics Corporate office
 401 Jones Road, Oceanside, CA 92058, USA Toll Free: +1-800-CPA-PURE Tel: +1-760-901-2500 Fax: +1-760-901-2578
 Web: www.membranes.com Email: hy-info@nitto.com

MEMBRANA ESPA2-LD MAX



	Membrane Element	ESPA2-LD MAX (With Low Fouling LD Technology [®])
Performance	Permeate Flow: Salt Rejection:	12,000 gpd (45.4 m ³ /d) 99.6% (99.5% minimum)
Type	Configuration: Membrane Polymer: Membrane Active Area: Feed Spacer:	Low Fouling Spiral Wound Composite Polyamide 440 ft ² (40.9 m ²) 34 mil (0.864 mm)
Application Data*	Maximum Applied Pressure: Maximum Chlorine Concentration: Maximum Operating Temperature: pH Range, Continuous (Cleaning): Maximum Feedwater Turbidity: Maximum Feedwater SDI (15 mins.): Maximum Feed Flow: Maximum Pressure Drop for Each Element:	600 psig (4.14 MPa) < 0.1 ppm 113 °F (45 °C) 2–10.6 (1–12)* 1.0 NTU 5.0 75 gpm (17.0 m ³ /h) 15 psi

*Limitations shown here are for general use. For specific projects, operating at more conservative values may ensure the best performance and longest life of the membrane. See Hydranautics Technical Service Bulletin TSB107 for more details on operation limits, cleaning pH, and cleaning temperatures.

Test Conditions
The stated performance is initial (data taken after 30 minutes of operation), based on the following conditions:

1500 ppm NaCl solution 150 psi (1.05 MPa) Applied Pressure 77 °F (25 °C) Operating Temperature 15% Permeate Recovery 6.5–7.0 pH Range	LENTECH info@lennotech.com Tel. +31-152-610-900 www.lennotech.com Fax. +31-152-616-289
---	---

Product Dimensions

A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kgs.)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)	33 (15)

Notice: Permeate flow for individual elements may vary ±15 percent. Membrane active area may vary ±4%. All membrane elements are supplied with a brine seal, interconnector, and o-rings. Elements are enclosed in a sealed polyethylene bag containing less than 1.0% sodium meta-bisulfite solution, and then packaged in a cardboard box.

Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics' products for the user's specific end uses.

8/29/16