

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA
POR ÓSMOSIS INVERSA EN LA ISLA DE
FUERTEVENTURA

Autoras: NAVARRO ROMERO, Marina
RAMOS CEBERIO, Victoria

Fecha: Octubre 2011





RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el diseño de una Planta Desaladora por Ósmosis Inversa mediante 4 líneas de producción con una conversión del 47% cada línea, para producir agua de consumo humano cumpliendo con el RD 140/2003 y con las exigencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS), respecto a la concentración de Boro. Así mismo, se realizará la descripción de los equipos instalados en la misma.

Dicha planta se situará en el norte de la Isla de Fuerteventura, concretamente en el municipio de Puerto del Rosario y abastecerá a 80.000 habitantes, teniendo en cuenta que el consumo medio es de 300 litros diarios por habitante.

La viabilidad legal, técnica y económica de la desaladora será demostrada debido a que cumplirá con:

- Lo exigido en el RD 140/2003 del 7 de Febrero, por el que se establecen los criterios de calidad del agua para consumo humano.
- La fiabilidad que presenta los suministradores de los equipos instalados en la planta.
- El presupuesto económico, desarrollado en el **CAPÍTULO 4** del presente proyecto.

Partimos de un agua de alimentación con un total de 36.138,4 ppm de Sólidos Totales Disueltos. Otros parámetros importantes son el pH y la temperatura, 7,7 y 20°C, respectivamente.

La captación se realizará a través de 12 pozos, 3 pozos por línea que aportarán un caudal de agua bruta a la planta de 71.691,72 m³/d.

El agua será impulsada hasta el depósito intermedio por 12 bombas de captación, una por pozo, centrífugas, suministradas por la empresa ITUR, S.A, modelo RW. Cada bomba impulsará un caudal de 248,930 m³/d y tendrá una capacidad mínima de 39 m.

El depósito intermedio se construirá de hormigón armado y tiene como objetivo asegurar el aporte continuo y sin fluctuaciones del agua bruta hasta las líneas de pretratamiento. La capacidad de dicho depósito es de 4.419,110 m³.

Debido a que el agua bruta contiene una serie de componentes orgánicos y no orgánicos que deben ser controlados dentro de unos determinados límites para así evitar el deterioro de las membranas, someteremos a nuestra agua a una serie de pretratamientos físicos y químicos.

Teniendo en cuenta la gran calidad del agua bruta de alimentación, los pretratamientos físicos a los que será sometido antes de entrar en los bastidores de ósmosis inversa son la filtración grosera y la de afino. La filtración grosera se llevará a cabo a través de 4 unidades de filtros de presión horizontales de la firma Calplas por línea, es decir 14 unidades en la planta. Sin embargo, será necesaria una filtración de afino para asegurar un nivel de filtración de 5 micras del agua, según las recomendaciones de los fabricantes de membranas. Dicha filtración se llevará a cabo a través de 8 filtros de cartucho de la firma HARMSCO, que alojan en su interior 70 cartuchos filtrantes de hilo bobinado de polipropileno.

Los pretratamientos químicos tienen como misión optimizar el funcionamiento de las membranas y segundo evitar su deterioro.

A fin de retardar el fenómeno de precipitación de sales como CaSO_4 y permitir la regulación de pH, se añade un inhibidor. En la instalación diseñada el producto utilizado es un ácido policarboxílico neutralizado, cuyo nombre comercial es Genesys SW. Se trata de una solución de ácido fosfórico desarrollado como antiincrustante para inhibir todas las formas de incrustación permitiendo el diseño de sistemas que operen a elevados porcentajes de recuperación. El caudal de disolución que hay que inyectar por línea es de $0,035 \text{ m}^3/\text{d}$, preparado en un depósito del fabricante AIQSA, tipo D de 3.000 L de capacidad.

Para la reducción de la actividad de los agentes oxidantes, se ha previsto la dosificación en continuo de $0,065 \text{ m}^3/\text{d}$ por línea de la solución comercial de metabisulfito de sodio al 40%. La solución se prepara en un depósito del fabricante AIQSA, tipo D, cuya capacidad es de 6.000 L.

Las dosificaciones de ambos reactivos se harán a través de bombas dosificadoras de la firma Rosapro Miltron Roy, modelo GA.

Cada una de las cuatro líneas de producción de la planta estará compuesta por un bastidor de estructura metálica construido para albergar los 47 tubos de presión de 7 elementos. El bastidor estará distribuido en 8 filas y 6 columnas. Los tubos de presión son de la firma BELL. Cada línea contendrá 329 membranas, haciendo un total de 1.316 elementos de membrana. Se han adoptado membranas de poliamida aromática y arrollamiento en espiral de la firma Hydranautics con un porcentaje de rechazo de sales entre 99,7 y 99,8% y un área activa de $40,8 \text{ m}^2$. La configuración es en una etapa y un solo paso.

El bombeo de alta presión tiene como misión el proporcionar la presión necesaria para conseguir superar la presión osmótica del agua de aporte así como vencer las pérdidas de carga del circuito hidráulico. Para el funcionamiento de los bastidores se ha adoptado por un sistema de bomba-intercambiadores de presión para cada una de las líneas. Cada bomba, centrífuga horizontal multicelular, modelo LE, del fabricante Hidrotecar Bombas, debe suministrar un caudal de $487,589 \text{ m}^3/\text{h}$ y una capacidad mínima de $564,6 \text{ m}^3$.

Además del funcionamiento de la instalación, problemas derivados de un pretratamiento insuficiente, pueden provocar el ensuciamiento de las membranas. Cuando esto ocurra, será necesario realizar el lavado ácido de las membranas. Dicho lavado elimina los precipitados salinos, carbonatos y sulfatos. La solución química a utilizar es el producto comercial Genesol 37 al 1,5%, que será preparada en un depósito de PRFV de 14 m^3 y dosificada a través de una bomba de la firma ITUR que proporcione $423 \text{ m}^3/\text{h}$ y capacidad mínima de $5,3 \text{ m}^3$. Además en la línea de lavado se instalarán 2 filtros de cartucho, idénticos a los que se utilizan en el pretratamiento, de la firma HARMSCO.

También se diseña el depósito de equilibrio osmótico para realizar funciones de desplazamiento ante paradas imprevistas de la instalación. Dicho depósito, tendrá una capacidad de 45 m^3 .

El agua de rechazo de los módulos de ósmosis inversa es aprovechada por los recuperadores ERI para suministrar parte de la energía necesaria a la línea de alta presión. En el presente proyecto se hará un análisis comparativo de los distintos sistemas de recuperación de energía y se justificará la elección de los recuperadores ERI, intercambiadores de presión con cámaras rotativas suministrados por el fabricante ERI, modelo PX-260.

Los 20.000 m³ obtenidos de permeado serán bombeados hasta el depósito de agua producto mediante una tubería de PRFV. Este depósito será suministrado por la empresa auxiliar de instalaciones químicas AIQSA, S.A., modelo Big-Tank, fabricado de poliéster de fibra de vidrio, con capacidad máxima de almacenamiento de 2.000.000 de L, suficiente para albergar la producción de un día durante dos horas.

Para cumplir con la normativa vigente, RD 140/2003, el agua desalada será sometida a una serie de postratamientos. El primero de ellos es el de remineralización, cuyo objetivo es aumentar la dureza cálcica y la alcalinidad del agua desalada hasta valores que permitan alcanzar un índice de Langelier (LSI) próximo a cero, así como obtener un agua que permanezca estable en contacto con la atmósfera. En la instalación se van a construir 4 celdas rectangulares de 3 por 6 metros de superficie horizontal.

Para devolverle las características oxidantes al agua desalada y evitar que se contamine, es necesario clorarla para cumplir con la normativa sanitaria en cuanto a presencia de cloro residual en la red. La mejor alternativa para llevar a cabo la cloración es utilizar hipoclorito sódico. El caudal a dosificar de hipoclorito sódico al 20% es 0,210 m³. Con él se tratarán los 20.000 m³/d de agua producto que se obtiene en la planta. Para su dosificación se dispone de una bomba dosificadora de la firma Dosapro, modelo GA. La solución se preparará en un depósito de la empresa AIQSA de 6.000 L de capacidad, modelo tipo D.

Para mitigar el impacto ambiental, el vertido de la salmuera al mar se hará tras haberse diluido previamente. Al final de la conducción del vertido se instalan difusores para ayudar la dispersión del vertido de salmuera en el agua de mar.

La inversión en capital fijo para la puesta en marcha de la Planta Desaladora, dará un total de 2.592.797,07 €/año. La estación desaladora producirá un caudal de 7.300.000 m³/año, a 0,50 €/m³ de agua desalada, originará unos ingresos anuales neto de 3.650.000 €. Los gastos netos anuales ascienden a 1.502.226,8 €, obteniendo un beneficio bruto anual de 2.147.773,82 €. Sin embargo, teniendo en cuenta el factor anual de amortización, el factor anual de pérdida de valor del inmovilizado y el factor que determina los impuestos, obtendremos un beneficio neto anual de 968.241,41 €. Por último, la rentabilidad para el periodo de amortización de cuatro años es del 37,3%, ya que la rentabilidad mínima que se debe exigir a una planta industrial es de un 15%, se puede decir que el diseño de la planta proyectada será viable económicamente.

Puerto Real, Octubre 2011

Fdo: Marina Navarro Romero

Fdo: Victoria Ramos Ceberio

DOCUMENTOS DEL PROYECTO

DOCUMENTO 1. MEMORIA

- MEMORIA DESCRIPTIVA
- ANEXO A LA MEMORIA

DOCUMENTO 2. PLANOS

DOCUMENTO 3. PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO 4. PRESUPUESTO

DOCUMENTO 1

MEMORIA

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE MEMORIA DESCRIPTIVA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. La carta del agua
- 1.2. Introducción a la desalación
- 1.3. Historia de la desalación
- 1.4. La desalación en canarias

CAPÍTULO 2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

- 2.1. Objeto
- 2.2. Alcance

CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN

CAPÍTULO 4. VIABILIDAD

- 4.1. Viabilidad Legal
- 4.2. Viabilidad Técnica
- 4.3. Viabilidad Económica

CAPÍTULO 5. LEGISLACIÓN

- 5.1. Legislación aplicada en el diseño de la IDAM

CAPÍTULO 6. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

CAPÍTULO 7. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A DESALAR

- 7.1. Introducción
- 7.2. Características del agua del mar

CAPÍTULO 8. TÉCNICAS DE DESALACIÓN

- 8.1. Concepto de desalación
- 8.2. Técnicas de desalación

CAPÍTULO 9. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ELEGIDA: ÓSMOSIS INVERSA

- 9.1. Introducción
- 9.2. Diferencias entre Ósmosis y otros procesos de membranas
- 9.3. Teorías de la Ósmosis
- 9.4. Definiciones y nomenclatura
- 9.5. Ecuaciones del proceso
- 9.6. Membranas de Ósmosis Inversa
- 9.7. Membranas comerciales
- 9.8. Parámetros operativos en el diseño de instalaciones de Ósmosis Inversa
- 9.9. Configuración modular de las plantas de Ósmosis Inversa

CAPÍTULO 10. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA – EQUIPOS

- 10.1. Introducción
- 10.2. Captación y bombeo de agua de mar
- 10.3. Pretratamientos
- 10.4. Unidad de Ósmosis Inversa
- 10.5. Sistema de recuperación de energía
- 10.6. Postratamientos
- 10.7. Instalación hidráulica
- 10.8. Almacenamiento del agua producto y distribución

CAPÍTULO 11. CONTROL AUTOMÁTICO DE LA PLANTA

- 11.1. Introducción
- 11.2. Instrumentación de la planta
- 11.3. Sistema de control
- 11.4. Bucles de control de la planta

CAPÍTULO 12. SEGURIDAD EN LA PLANTA

- 12.1. Identificación de riesgos laborales
- 12.2. Medidas preventivas recomendadas
- 12.3. Riesgo eléctrico
- 12.4 Sistema general contra incendios
- 12.5. Seguridad frente a los reactivos químicos
- 12.6 Prevención de riesgos laborales

CAPÍTULO 13. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

- 13.1. Introducción
- 13.2. Impactos ambientales
- 13.3. Estudio de las distintas alternativas para el rechazo de la planta.
- 13.4. Diseño recomendado

CAPÍTULO 14. MANTENIMIENTO DE LA PLANTA

- 14.1. Introducción
- 14.2. Funciones del mantenimiento
- 14.3. Políticas de mantenimiento
- 14.4. Tipos de mantenimiento
- 14.5. Plan de mantenimiento de la Planta Desaladora proyectada
- 14.6. Costes de mantenimiento

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. LA CARTA DEL AGUA

En mayo de 1968 la comunidad internacional firmó en Estrasburgo *La carta del Agua*, para valorar un bien común de recursos escasos que es medio de vida, y pasando a formar parte de una nueva cultura del agua bajo el lema 'ahorrar y depurar'.

Los doce puntos de La carta del Agua se recuerdan todos los años el día 22 de Marzo con la celebración del DÍA MUNDIAL DEL AGUA por decisión de la Asamblea General de las Naciones Unidas, que promovió esta iniciativa durante la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en el año 1992 confiando en que forzara a reflexionar sobre la manera de evitar un consumo desorbitado y a conservar cada una de las áreas medioambientales: el aire, el agua y los residuos, para proteger los 'bienes' naturales de nuestro planeta.

En un proyecto de ingeniería que tiene por objeto el tratamiento del agua, los doce puntos de la carta del agua deben ser tenidos en cuenta en el arranque del mismo:

1. Sin agua no hay vida posible. Es un bien preciado, indispensable a toda actividad humana.
2. Los recursos en agua dulce no son inagotables, es indispensable preservarlos, controlarlos y, si es posible, acrecentarlos.
3. Alterar la calidad del agua es perjudicar la vida del hombre y de los seres vivos que dependen de ella.
4. La calidad del agua debe ser preservada de acuerdo con normas adaptadas a los diversos usos previstos y satisfacer especialmente las exigencias sanitarias.
5. Cuando las aguas después de utilizadas, se reintegran en la naturaleza, no deberán comprometer el uso ulterior, público o privado, que de estas se haga.
6. El mantenimiento de la cobertura vegetal adecuada, preferentemente forestal, es esencial para la conservación de los recursos hídricos.
7. Los recursos hídricos deben inventariarse.
8. Para una adecuada administración del agua es preciso que las autoridades competentes establezcan el correspondiente plan.
9. La protección de las aguas implica un importante esfuerzo, tanto en la investigación científica como en la preparación de especialistas y en la información del público.
10. El agua es un patrimonio común, cuyo valor debe ser reconocido por todos. Cada uno tiene el deber de utilizarla con cuidado y no desperdiciarla.
11. La administración de los recursos hidráulicos debe encuadrarse más bien en el marco de las cuencas naturales que en el de las fronteras administrativas y políticas.
12. El agua no tiene fronteras. Es un recurso común que necesita de la cooperación internacional.

1.2. INTRODUCCIÓN A LA DESALACIÓN

El ciclo hidrológico natural produce la desalación de agua gracias a la aportación energética de la radiación solar. Dicha radiación evapora el agua de los lagos, ríos y océanos dejándoles a ellos la sal y dando como resultado nubes, desde que el agua se precipita sobre la tierra, en forma de agua y nieve y al discurrir sobre ella, disuelve minerales y hace que incremente su cantidad de sales disueltas. De esta forma, los mares y océanos mantienen su contenido salino debido a que el proceso natural de evaporación, precipitación y arrastre conduce continuamente sales de la tierra al mar.

La idea de separar las sales del agua es muy antigua y data de los tiempos en los que lo importante era la obtención de sal y no del agua. Sin embargo, a medida que las demandas de agua dulce fueron creciendo, se empezó a considerar posibles vías de producción de agua en localizaciones áridas y remotas y muy especialmente en barcos.

El agua pura es muy difícil de encontrar en la Tierra. Se habla de agua dulce, agua de río o baja concentración, agua salobre, agua marina, salmuera y agua residual en función de su contenido en sales. En la **Tabla 1.2-a** siguiente se muestra la clasificación de las aguas según la *International Desalination Association* (IDA):

Tipos de aguas	STD (mg/L)
Agua pura	STD < 500 mg/L
Agua de río o baja concentración	500 < STD < 1.500
Agua salobre	1.500 < STD < 20.000
Agua marina	20.000 < STD < 50.000
Salmuera	STD > 50.000
Agua residual	Agua de núcleos urbanos o industrias

Tabla 1.2-a: Clasificación de las aguas.

Fuente: IDA.

El término desalación se refiere a un amplio abanico de procesos tecnológicos concebidos para quitar sal de agua de diferente calidad. Dichos procesos tecnológicos cubren una amplia gama de objetivos, que van desde la potabilización de agua para uso domésticos y urbano, a tratamientos de aguas para procesos industriales.

El tipo de sales en cada una de esta agua es diferente en función de su procedencia, pudiéndose únicamente hablar de una cierta composición estándar para el agua del mar y aun ésta varía de unos mares a otros.

Ante la escasez de recursos hídricos, se hace necesaria la búsqueda de nuevas soluciones tecnológicas junto con un ahorro sistemático en todos los sectores del consumo (agrario, industrial y urbano), además de un mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas y de un sistema de reutilización y depuración de las aguas.

Al afirmar que el agua es un bien escaso, se está afirmando que podría darse un uso valioso a cualquier aumento de la cantidad disponible del mismo. Por tanto, se justifica, dentro del contexto del problema de la escasez de agua, aquellas soluciones que permitan un incremento en la disponibilidad de este recurso, y desde el punto de vista técnico, aquellas que lo hagan de la forma más eficiente.

La solución final solo puede venir dada por las tecnologías a las que se puede tener acceso. Actualmente, las tecnologías desarrolladas en el campo de la desalación han permitido resolver este problema y la prueba está en el gran número de desaladoras que en los últimos 30 años se han instalado en España y que han dado lugar, a un sector cada vez más especializado.

Aunque la desalación no debe ser entendida como solución única, sino integrada en el conjunto descrito anteriormente – ahorro sistemático en todos los sectores de consumo, mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas, reutilización y depuración de las aguas residuales- salvo en el caso de la existencia de zonas áridas o aisladas que requieren de una fuente externa de agua como la que puede propiciar la desalación.

En la actualidad, desde un punto de vista técnico, se define desalación como una tecnología o proceso tecnológico que permite la separación de las sales del agua, mediante la utilización de una fuente energética.

Atendiendo a la fuente energética utilizada para llevar a cabo el proceso de desalación, las tecnologías de desalación se clasifican en varios tipos. Dichas técnicas se muestran en la **Tabla 1.2-b** siguiente:

CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DESALACIÓN			
Clase de separación	Energía utilizada	Proceso	Sistema
Separación del agua de sales	Vapor	Evaporación	Destilación solar
			Desrilación súbita simple
			Destilación en tubos sumergidos
			Destilación súbita multietapa
Separación de las sales del agua	Frío	Cristalización	Congelación
	Presión	Membrana	Ósmosis Inversa
	Carga eléctrica	Membrana selectiva	Electrodiálisis
	Atracción química	Resina	Intercambio iónico

Tabla 1.2-b: Técnicas de desalación.

Fuente: Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa, J.A Medina San Juan.

Dentro de las tecnologías usadas en desalación, sobresalen, en las últimas décadas, los procesos de membrana, basados en la transferencia de masa a través de una membrana semipermeable. En estos se pueden distinguir dos tipos: ósmosis inversa y electrodiálisis. Debido a los costes energéticos la electrodiálisis resulta inviable para la desalación de agua de mar y sólo se emplea en algunos casos para aguas salobres.

Los beneficios potenciales de la desalación son enormes, a pesar de que las barreras para una amplia comercialización son todavía grandes. En muchos países, pueden proporcionar los mismos beneficios a menores costes económicos y medioambientales otras alternativas como medidas de ahorro de agua, mejora de la conservación y eficiencia de los acuíferos, reciclado y reutilización de aguas residuales y trasvases. En la actualidad, la capacidad de desalinización de agua de mar, es significativa solo en algunas regiones insulares, en el Golfo Pérsico y en la cuenca mediterránea. Los recursos de suministro local de agua que disponen estas regiones son muy limitados y por tanto, los precios elevados. Sin embargo, la continua mejora tecnológica de la desalación está generando una caída de precios para el suministro, que lo hacen interesante incluso para regiones no muy áridas en las que la demanda de agua se sitúa por encima de las disponibilidades.

1.3. LA HISTORIA DE LA DESALACIÓN

Para el hombre siempre ha sido un reto el separar la sal del agua del mar para aprovechar sin límite sus inmensas reservas, ya se tiene constancia de que Aristóteles hablaba de aquello que hacía inservible el agua de mar para poder regar los campos y calmar la sed. Desde la época griega clásica, donde se definieron los principios para la separación del agua y las sales, el hombre siempre ha buscado maneras de lograr esa separación.

Hasta bien entrado el siglo XIX no se puede hablar propiamente de una instalación desaladora de naturaleza estable. Precisamente fue una planta de destilación solar en una explotación minera: las Salinas de Chile (Handbury, Hodgkiess y Morris, 1993). Su primera rendimiento era ínfimo (20 m³ producidos en una extensión de 4.000 m²), pero era la primera forma de obtener agua dulce para el abastecimiento de la población minera en aquel lugar tan remoto y árido. Posteriormente, en el año 1884 se fabrica por primera vez un evaporador para un barco aprovechando la energía residual del vapor de salida de su caldera. Toda la primera tecnología iba encaminada al efecto pernicioso del agua salada en los tubos de los intercambiadores: incrustaciones, corrosión, etc.

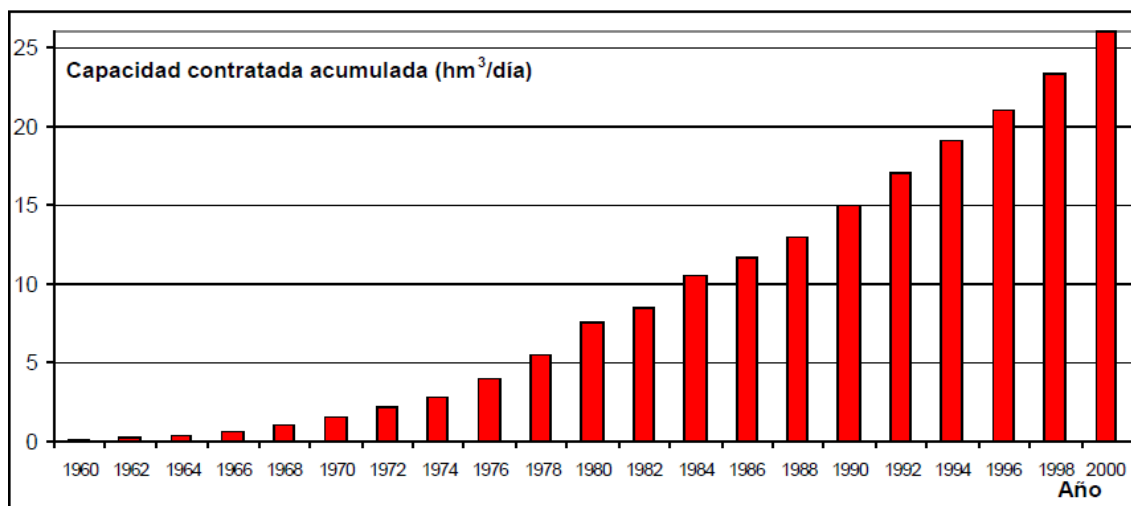
La primera mitad del siglo XX fue totalmente dominada por las tecnologías de evaporación, y se incidió principalmente en el diseño de nuevos tipos de intercambiadores más eficientes y compactos que producían cada vez más agua dulce con el menor consumo. La facilidad de combinación con instalaciones productoras de energía y su robustez y capacidad ha contribuido a su manutención en el panorama mundial.

Sin embargo, la dependencia energética primaria de este tipo de plantas y su alto consumo motivó la búsqueda de otras alternativas en el mundo de la desalación, como son las membranas. Las primeras investigaciones de membranas para desalación datan de la década de los 30, cuando Ferry las recopila en 1936 y las clasifica por sus materiales utilizados (naturales, de malla porosa, cobre, celofán...). Pero las primeras experiencias de membranas con rechazo de sales aceptable para la desalación son de Reid y Breton en la Universidad de Florida en 1953, que obtuvieron un rechazo del 98% con membranas planas de acetato de celulosa. Posteriormente Loeb y Sourirajan en 1960 mejoraron el flujo de este tipo de membranas. Ya en los 70 el material de las membranas se sustituye por poliamida aromática

que aumentaba el rechazo hasta el 99%; la primera membrana de este tipo para agua de mar data de 1972, siendo dos años antes la fecha de aparición de las primeras membranas para aguas salobres. A partir de esta fecha, la búsqueda de nuevos materiales (la mayoría de ellos de naturaleza orgánica como la poliamida aromática) ha contribuido a evitar de forma considerable los problemas derivados de la operación de las mismas (no tolerancia a ciertos componentes) así como disminuir la presión mínima necesaria para la obtención del permeado.

Centrándonos en la evolución histórica de capacidad instalada en el mundo, se puede decir que en el año 1970 dicha capacidad era de tan sólo 1,7 hm³/día, correspondientes a plantas evaporadoras muy baratas de instalación pero de alto consumo, utilizadas normalmente en los barcos para reducir espacio y de acuerdo con la tecnología disponible en aquel momento (VTE principalmente). Sin embargo, la crisis del petróleo de 1973 fue el revulsivo para que los países exportadores de petróleo, que además son los países con mayor escasez de agua, instalaran gran cantidad de plantas de evaporación acopladas con plantas de producción eléctrica, lo que ha permitido el asentamiento definitivo de la población en estas zonas tan áridas del planeta. En los años 80, una nueva crisis del petróleo y la aparición de las membranas de ósmosis inversa para agua de mar, hizo que el incremento de este tipo de plantas no fuera tan espectacular, además de que la desalación por otros métodos se extendiera más allá del Golfo Pérsico de forma notoria, especialmente en el tratamiento de aguas salobres. Finalmente, en la década de los 90 los procesos de evaporación siguen pesando considerablemente en Oriente Medio, pero en el resto del mundo la ósmosis inversa es el proceso predominante penetrando en el difícil mercado árabe con la aparición de las membranas preparadas para filtrar ese tipo de aguas y la posibilidad de acoplar instalaciones híbridas en el caso de baja demanda eléctrica en sus instalaciones duales.

En la **Gráfica 1.3-a** siguiente se muestra la evolución histórica de la capacidad mundial instalada en desalación:



Gráfica 1.3-a: Evolución de la capacidad total de la desalación en el mundo.

Fuente: Torres 1.999.

La evolución tecnológica de la desalación tiene su perfecto reflejo en España. Las primeras instalaciones desaladoras, algunas de ellas ya desmanteladas o convenientemente readaptadas a nuevas tecnologías, localizadas en Ceuta, Gran Canaria, Lanzarote y

Fuerteventura, se instalaron hace ya 30 años. La tecnología dominante de la época era la evaporación, con unidades MSF acopladas a plantas dulces.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Termolanza* (Lanzarote)	1965	2.000	MSF
Ceuta I*	1969	4.000	MSF
Fuerteventura I*	1970	2.000	MSF
Las Palmas I	1970	20.000	MSF

* No operan actualmente

Tabla 1.3-a: Primeras instalaciones desaladoras en España.

Fuente: Torres (1.999).

Tras esta primera etapa, la primera crisis del petróleo supuso un freno al desarrollo de las instalaciones desaladoras, que obligó a buscar medidas de ahorro en las instalaciones existentes. Así surgieron los nuevos diseños de los intercambiadores de los procesos evaporativos.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote I*	1976	5.000	MSF
Riotinto (Lanzarote)*	1977	2.500	MSF
Fuerteventura II*	1978	2.000	CV
C. T. Carboneras (Almería)	1980	2.200	MSF
Las Palmas II	1980	18.000	MSF

* No operan actualmente

Tabla 1.3-b: Plantas desaladoras instaladas en España tras la primera crisis del petróleo (1.973).

Fuente: Torres (1.999).

En la década de los 80, con la aparición de las membranas capaces de producir agua dulce a través del proceso de ósmosis inversa, empieza el desarrollo y la imposición clara de esta tecnología en España. En esta época, las membranas de ósmosis inversa sólo se habían utilizado para la filtración de aguas salobres, donde la electrodiálisis ya era una tecnología perfectamente viable. También debe señalarse que muchos complejos turísticos privados instalaron pequeñas unidades de CV para solucionar sus problemas de abastecimiento, radicados fundamentalmente en lugares apartados de los núcleos habitados.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Fuerteventura III	1990	5.000	OI
Maspalomas I* (Las Palmas)	1987	10.000	EDR
Denia* (Alicante)	1990	16.000	OI

* Aguas salobres

Tabla 1.3-c: Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 80.

Fuente: Torres (1.999).

A partir de la década de los 90, las instalaciones de OI se han adueñado del panorama desalador en España. Hay que destacar que la oferta eléctrica española ha podido soportar el consumo de este tipo de instalaciones, aunque también es cierto que esta época coincide con la aparición de sistemas de recuperación de energía que reducen considerablemente el consumo eléctrico derivado en estas instalaciones, donde España es un país puntero en cuanto a la investigación encaminada hacia esa reducción de consumo (sólo hay que ver la cuota de participación española en los congresos internacionales de desalación). La liberalización de los precios de la energía eléctrica en nuestro país, sólo accesible ahora a grandes consumidores también ha contribuido a imponer la OI como casi la única tecnología aplicable, a excepción de la ED para desalación de aguas salobres o reutilización de aguas residuales urbanas (ARU).

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote III**	1991	20.000	OI
Sureste I	1993	10.000	OI
Ibiza II	1996	10.000	OI
Marbella	1997	55.000	OI
Ceuta	1997	16.000	OI
Seat Martorell*	1992	10.500	OI
Repsol Tarragona*	1993	14.400	OI
Son Tugores*	1995	35.000	OI
Bajo Almanzora*	1996	30.000	OI
Mazarrón*	1996	9.000	OI
C. R. Jacarilla*	1997	9.000	OI

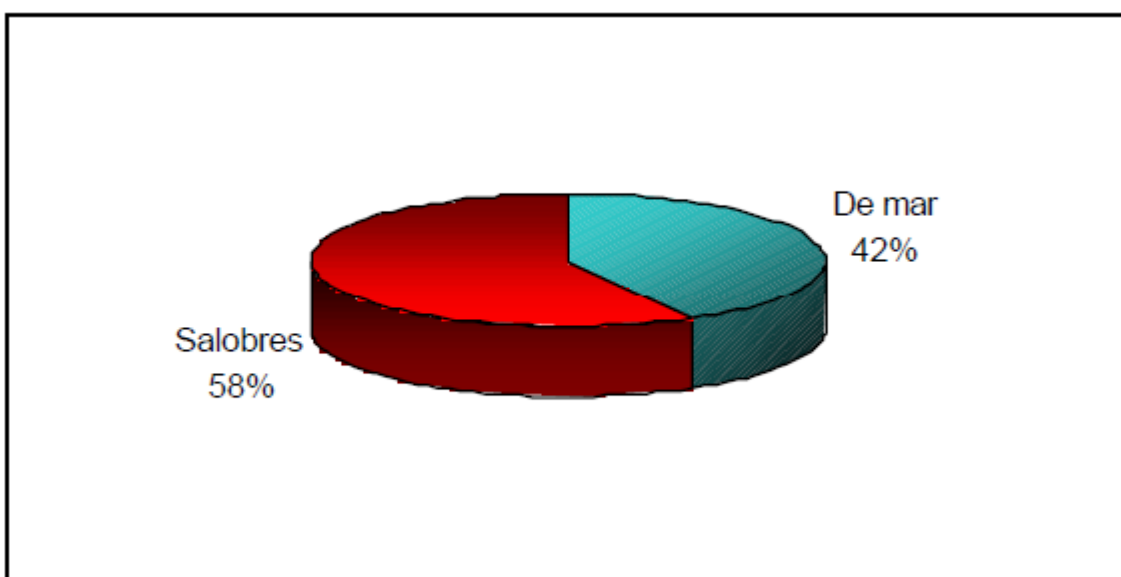
* Aguas salobres. ** Tras ampliación de 5.000 m³/día en 1.997.

Tabla 1.3-d: Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 90. Datos hasta el año 1.997.

Fuente: Torres (1.999), Fariñas (1.999).

Aunque la dotación por habitante y año supera con creces el límite considerado como el mínimo que impida el desarrollo de la sociedad asentada en el territorio español (2775 m³/hab. y año), el grave desequilibrio entre los recursos hídricos (motivado por la irregular pluviometría de nuestra geografía) y los consumos soportados en ciertas zonas con agricultura intensiva de regadío e infraestructura turística que además consume en la época de menores precipitaciones, justifica la instalación de plantas desaladoras. La desalación en España queda afortunadamente reducida al Levante español, Murcia, Andalucía, los dos archipiélagos y las ciudades del Norte de África. En dichas zonas, se puede evaluar la demanda total urbana asociada al turismo como una población equivalente de siete millones de personas, que supone el 20% del total.

La producción total de agua desalada a finales del año 1998 se cifra en 222 Hm³/año, de los cuales alrededor del 42 % corresponden a aguas marinas, y el 58% a salobres. Ello supone alrededor de un 4,9% del consumo total para abastecimiento urbano (alrededor de dos millones de personas), y un 0,7% de todos los usos consuntivos del agua.



Gráfica 1.3-b: Distribución porcentual de la desalación en cuanto al tipo de aguas de aporte.

Fuente: Medina (2.000).

En cuanto a la capacidad total instalada, actualmente sobrepasa los 700.000 m³/día. La distribución de los usos de esta agua se muestra en la siguiente **tabla 1.3-e**:

Agua	Total (hm ³ /año)	% Urbano y turismo	% Agricultura	% Industria
Mar	95,3	94,4	5,6	--
Salobre	126,57	20,4	47,6	32,0

Tabla 1.3-e: Distribución del agua según usos.

Fuente: Torres (1999).

En la **Tabla 1.3-e** se observa que en España la desalación de agua salobre para agricultura intensiva de regadío se ha extendido considerablemente a pesar el sobrecoste producido por el proceso de desalación con respecto a la obtención por otros métodos o de forma natural. Puede decirse que prácticamente es nuestro país el único que realmente consume aguas desaladas para su utilización agrícola (un 29,55 % del total), aunque haya países que si utilizan aguas desaladas para el riego de jardines, ante la imposibilidad de otras fuentes. La rentabilidad obtenida por cierto tipo de cultivos no ha sido el freno para seguir con ellos, teniendo en cuenta además que el coste de aguas salobres desaladas es bastante inferior al del agua de mar. La extensión actual aproximada regada con este tipo de aguas ronda las 9.000 ha.

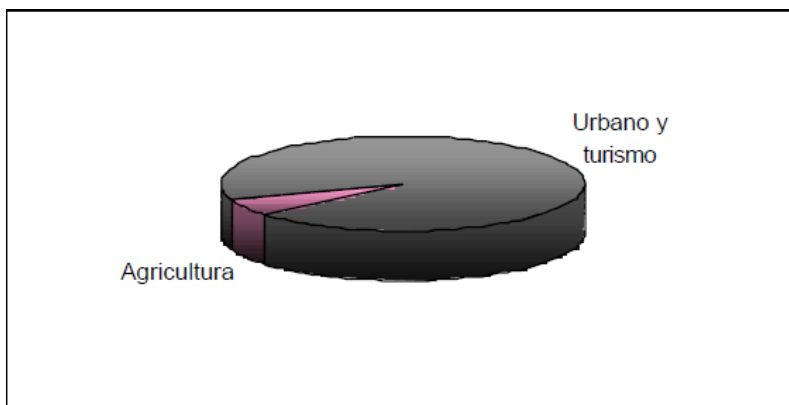
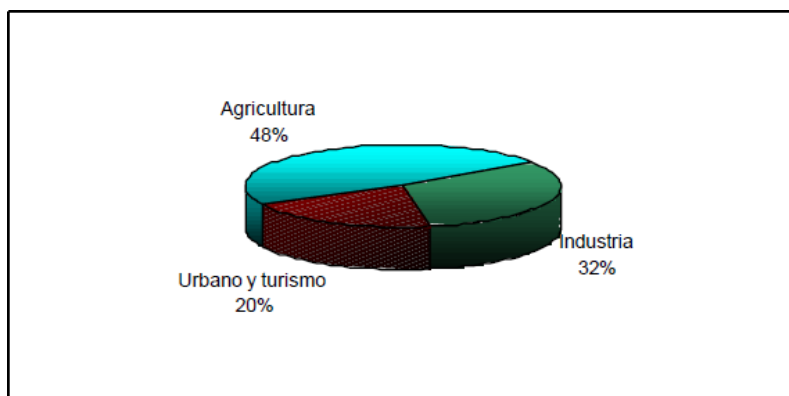


Tabla 1.3-c: Distribución porcentual por sectores del agua marina desalada.

Fuente: Torres y Medina (1.999).

Es necesario incidir en la situación existente en dos zonas con características ligeramente diferentes al resto de zonas afectadas por la escasez de recursos. La primera de ellas es el Archipiélago Canario y la segunda la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Como conclusión, la desalación en España es una actividad relativamente novedosa con respecto al resto mundial, ya que las necesidades hídricas creadas han sido consecuencia del aumento demográfico y el consumo turístico localizado en el litoral mediterráneo. La tecnología desaladora que se ha impuesto es la de ósmosis inversa, gracias a una oferta eléctrica cubierta y el menor precio en la obtención del agua desalada.



Gráfica 1.3-d: Distribución porcentual por sectores de aguas salobres desaladas.

Fuente: Torres y Medina (1.999).

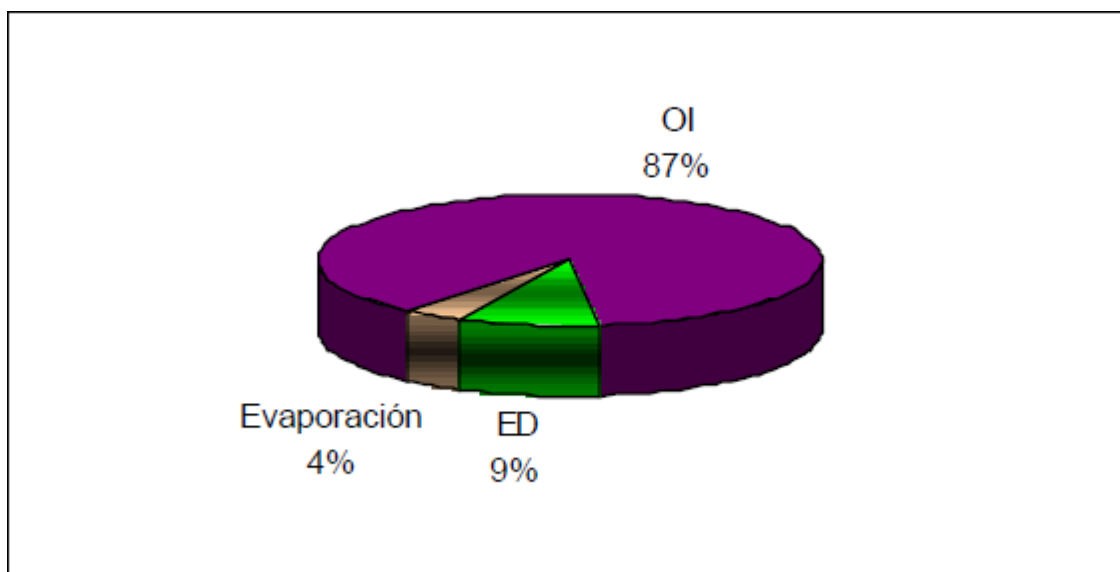
1.4 LA DESALACIÓN EN CANARIAS

Para la sociedad canaria, el agua se ha convertido desde hace décadas en un recurso limitado de primera necesidad. Su escasez condiciona en gran medida el desarrollo social y económico y podría afectar las condiciones higiénico-sanitarias de la población si no se toman medidas correctoras.

El aumento de nivel y calidad de vida en Canarias, junto con las consecuencias de la sobreexplotación – escasez, carestía y empeoramiento de la calidad del agua- obligan al uso de las aguas de procedencia no natural, en mayor o menor medida, en todo el archipiélago. Las alternativas actuales son las aguas desaladas para consumo urbano, turístico e industrial, y las depuradas para consumo agrícola.

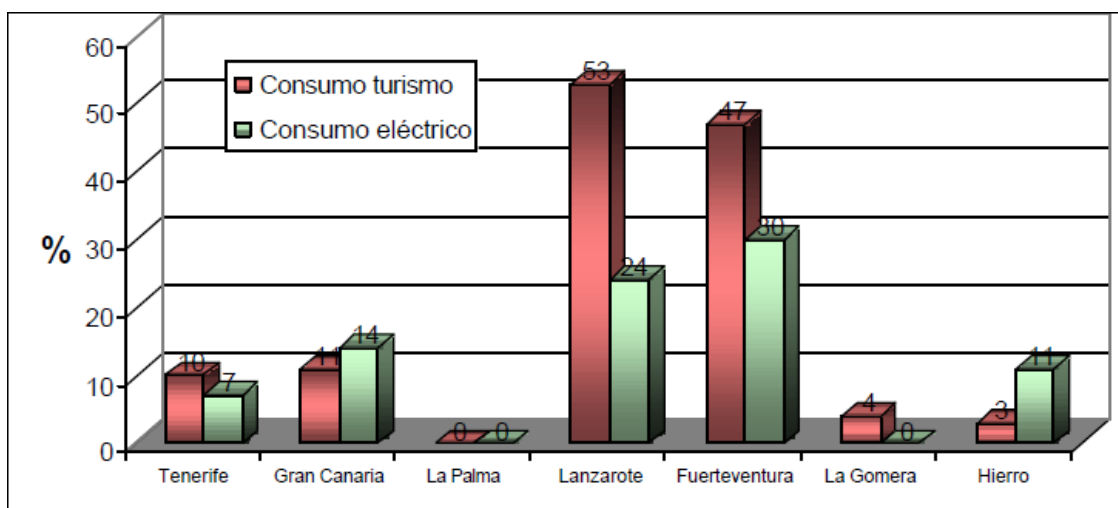
En el caso del archipiélago canario, el problema de la escasez de agua está referido a los limitados recursos de agua para cumplir con la actual y/o proyectada demanda en localizaciones específicas, debido a que los suministros de agua disponible están limitados en cantidad o calidad.

Las islas Canarias han recurrido a la desalación para obtener la mayor parte del agua que demanda principalmente la industria turística. A partir de los setenta, la sobreexplotación de los escasos recursos acuíferos de las islas estaba llegando a límites preocupantes, ello ha supuesto que islas prácticamente desérticas como Lanzarote (140 mm de precipitación anual) y Fuerteventura se abastezcan sólo con agua desalada, y en el caso de Gran Canaria llegue al 80% del total. El resultado de todo ello es que en las Canarias, un millón de personas se abastecen de las 280 plantas desaladoras existentes, con una capacidad de 350.000 m³/día, 100 de ellas asociadas directamente al abastecimiento de hoteles y apartamentos. El 92 % de las plantas son de inversión privada, aunque las de naturaleza pública producen el 60% del agua desalada. En cuanto a las tecnologías utilizadas, el 87% de las plantas son de OI, el 9% de ED y el 4% de evaporación. Normalmente la ED se utiliza para aguas salobres cloruradas y/o bicarbonatadas, cosa muy común en las galerías de escorrentía de las laderas del Teide en Tenerife.



Gráfica 1.4-a: Distribución porcentual (por número de plantas) de los métodos de desalación radicados en Canarias.

Fuente: Hernández (2.000).



Gráfica 1.4-b: Porcentaje de consumo eléctrico debido a la desalación y porcentaje de consumo de agua turístico respecto del total en las islas del archipiélago canario.

Fuente: Hernández (2.000).

Otro punto interesante a considerar de las Islas Canarias es el consumo energético derivado de la desalación en unas islas sin conexión de red eléctrica entre ellas ni con el continente (deben ser autosuficientes). En islas como Lanzarote, con un 50% de consumo hídrico debido al turismo, dicho gasto eléctrico supone el 25% del total, y en el caso de Fuerteventura llega hasta el 30%. La gráfica anterior muestra el tanto por ciento de consumo eléctrico (una parte importante de ella es energía renovable) en las islas del archipiélago, así como el porcentaje de consumo debido a las instalaciones hoteleras y apartamentos en sus playas.

En resumen, la instalación de plantas desaladoras en España se plantea como solución en áreas localizadas (hasta ahora la capacidad instalada en la mayoría de ellas no es muy grande), cosa que no ocurre en otras zonas de alto déficit estructural como Oriente Medio, donde se instalan grandes plantas en zonas aisladas de los asentamientos urbanos y se construyen grandes tuberías para su transporte. España es el país europeo más puntero en tecnologías de desalación por ósmosis inversa (de ello su masiva implantación en nuestro país), pero no en tecnologías evaporativas, donde grandes compañías alemanas e italianas, junto con las de Extremo Oriente copan el mercado en Oriente Medio.

CAPÍTULO 2: OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

2.1. OBJETO

El objetivo del proyecto es el diseño de una Planta Desaladora de Agua de Mar mediante aplicación de la tecnología de ósmosis inversa en la Isla de Fuerteventura, concretamente en el municipio de Puerto del Rosario, al norte de la Isla. Así mismo, se realizará la descripción de los equipos instalados en la misma.

La capacidad de producción de la planta es de 20.000 m³/d. Teniendo en cuenta que el consumo medio en la isla es de 300 L/d y habitante, la instalación será capaz de abastecer a una población de 80.000 habitantes aproximadamente. No obstante, cabe destacar que en el municipio la población censada es de 40.000 habitantes, sin embargo hay que tener en cuenta el número de turistas anuales que llegan a la isla, ya que llegan a duplicar la población censada.

El agua producto deberá poseer las características exigidas por el RD140/2003 para el abastecimiento de agua de consumo humano.

2.2. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del presente proyecto se define a continuación:

- Se determinará el tipo de captación a realizar teniendo en cuenta las características del agua bruta de la alimentación. No será objeto del presente proyecto el diseño del sistema de captación.
- El diseño del sistema de pretratamiento será uno de los principales objetivos del presente proyecto.
- El diseño de la unidad de ósmosis, así como la selección de la membrana y tubos de presión a instalar.
- La selección del mejor sistema de recuperación a instalar en la planta. No será objeto del presente proyecto entrar en el diseño del sistema elegido.
- El diseño del sistema de remineralización y cloración del agua producto para así alcanzar los niveles exigidos por la normativa vigente.
- El diseño del sistema hidráulico de la instalación.
- La descripción del impacto mediambiental así como la selección del sistema de vertido de la salmuera teniendo en cuenta las distintas alternativas existentes. No es objeto del presente proyecto el diseño del sistema de vertido.

CAPÍTULO 3: JUSTIFICACIÓN

El proyecto se justifica teniendo en cuenta dos factores principalmente:

- ***La importancia de los recursos hídricos y su paulatino empobrecimiento***

Como bien se detalla al inicio de la memoria descriptiva a través de la carta del agua, ésta es vital para el desarrollo de la vida. Se observa que hay una reducción en cuanto a cantidad se refiere debido los períodos continuados de sequía y al aumento de la demanda. La calidad de la misma también se ve afectada por la continua contaminación del medio ambiente.

- **La desalación como tecnología para paliar la demanda de agua.**

El desarrollo de las técnicas de desalación, especialmente aquellas que requieren un menor consumo energético y poseen una mayor eficacia, han contribuido a mejorar el rendimiento de las operaciones de desalación. Esto repercute directamente en el coste de producción, el cual se ha reducido considerablemente desde el inicio de la desalación. Esto ha llevado a considerar las aguas desaladas como una alternativa principal para la obtención de agua potable, como es el caso fundamentalmente de las Islas Canarias.

CAPÍTULO 4: VIABILIDAD

El presente proyecto es viable teniendo en cuenta las justificaciones, desde el punto de vista legal, técnico y económico, que se detallan a continuación.

4.1. VIABILIDAD LEGAL

Desde el punto de vista legal se garantiza que el agua producto que se obtiene tras someter el agua de mar al proceso de desalación mediante ósmosis inversa cumple con lo exigido en el RD 140/2003 del 7 de Febrero, por el que se establecen los criterios de calidad del agua para consumo humano.

De la misma forma, el vertido de salmuera al mar previa disolución cumple con la normativa vigente sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar (RD 258/1989).

Por último, la planta cumple con todos los requisitos legales actuales tanto en materia de seguridad como medioambiental. Son de aplicación las normas de seguridad en el trabajo, Ley 31/1995, sobre Prevención de Riesgos Laborales y sus posteriores modificaciones.

4.2. VIABILIDAD TÉCNICA

La viabilidad técnica de la instalación diseñada queda asegurada por las garantías que ofrecen las empresas seleccionadas que suministran los equipos que componen la planta, de forma que se asegura que la planta es capaz de operar en continuo bajo las especificaciones indicadas en este proyecto.

4.3. VIABILIDAD ECONÓMICA

La viabilidad económica del presente proyecto queda aprobada en el **DOCUMENTO 4** correspondiente al presupuesto y al balance económico.

CAPÍTULO 5: LEGISLACIÓN

5.1. LEGISLACIÓN APLICADA EN EL DISEÑO DE LA IDAM

La legislación aplicada en este proyecto, teniendo en cuenta que el agua producto se destinará para consumo humano, es fundamentalmente el RD 140/2003, por el que se establecen los criterios de calidad de dicha agua.

Así mismo tendremos también en cuenta las siguientes leyes o decretos:

- Real Decreto legislativo 1/2011 de 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Guías para la calidad del agua potable según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Son los referentes internacionales para formular normas que aseguren la calidad del agua potable. Las guías se basan en publicaciones que explican cómo se establecen los criterios de calidad y sirven de orientación para implementar actividades relacionadas con el agua segura.
- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales, que tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

CAPÍTULO 6: LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La instalación desaladora objeto del presente proyecto se situará en la Isla Canaria de Fuerteventura, concretamente en el municipio de Puerto del Rosario.

Puerto del Rosario es la capital de la Isla de Fuerteventura. Actualmente cuenta con una población censada de aproximadamente 40.000 habitantes. Sin embargo según datos del Ayuntamiento de Puerto del Rosario, su población media, teniendo en cuenta el turismo existente durante todo el año, puede llegar a alcanzar 80.000 habitantes durante todo el año.

La extensión superficial del municipio es de 289,95 km² y su densidad 123,13 hab/km². Sus coordenadas geográficas son 28°32'N 13°52'O.

La ubicación de la Isla de Fuerteventura, del municipio de Puerto del Rosario y de la desaladora proyectada puede verse en los planos adjuntos en el **Documento Nº 2** del presente proyecto.

CAPÍTULO 7: CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A DESALAR

7.1. INTRODUCCIÓN

El correcto funcionamiento de una planta de desalación de agua por Osmosis Inversa (OI), entendido éste como que los valores de producción y conversión de producto no se alejan de los valores de diseño, depende fundamentalmente de tres factores:

- Pretratamiento adecuado del agua de alimentación.
- Diseño de la planta correcto, en cuanto a los parámetros operativos.
- Condiciones de trabajo y mantenimiento de planta adecuadas.

Aún siendo importantes los tres factores, un pretratamiento inadecuado afectaría de manera muy negativa a los otros dos, pudiéndose afirmar, que el pretratamiento del agua de alimentación es el factor fundamental del funcionamiento, presente y futuro, de una planta de OI.

Se puede definir el pretratamiento como el conjunto de procesos físico-químicos que es preciso realizar con el agua de alimentación de una planta de OI, para que reúna las condiciones establecidas por los fabricantes de las membranas, al objeto de alcanzar el máximo rendimiento y duración de las mismas. Por tanto, para el correcto diseño del pretratamiento lo primero que se debe estudiar son las características físico-químicas del agua a tratar.

7.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE MAR

El tipo e intensidad del pretratamiento del agua de alimentación dependen de una serie de factores, tales como las características físico químicas del agua, la configuración de los módulos, el material de las membranas, la tasa de recuperación o rendimiento y la calidad de producto que se quiere obtener.

En la caracterización físico-química del agua de alimentación, se deben detectar y cuantificar aquellas sustancias que puedan provocar daños irreversibles en la estructura íntima de las membranas, además de aquellas otras cuya presencia dé lugar a una disminución de su productividad.

Entre los componentes del agua de alimentación que producen daños irreversibles a la estructura íntima de las membranas citar: ácidos y bases (pH del agua), agentes oxidantes (cloro libre, ozono, etc.) y microorganismos (bacterias, hongos, etc.). El efecto producido por cada una de estas sustancias depende de la concentración de las mismas y del tipo de membrana en cuestión. Aclarar que los microorganismos, principalmente bacterias y hongos, no causarían un daño irreparable por su simple deposición sobre la superficie de las membranas, sino que es el efecto de su metabolismo (cambios de pH, producción de determinadas sustancias, etc.), lo que puede alterar la estructura química de las mismas.

En la siguiente tabla se muestra los epígrafes que debe recoger un análisis tipo para un agua problema. La idoneidad en la determinación de unos determinados parámetros u otros será el origen del agua.

Temperatura (mínima/máxima) °C pH Conductividad Eléctrica (µS/cm)	
Cationes (mg/l) Na ⁺ K ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺ NH ₄ ⁺ Fe ²⁺ Mn ⁴⁺ Ba ²⁺ Sr ²⁺ Al ³⁺	Aniones (mg/l) Cl ⁻ SO ₄ ²⁻ NO ₃ ⁻ PO ₄ ³⁻ HCO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻ F ⁻
SiO ₂ (mg/l) CO ₂ (mg/l) O ₂ (mg/l) Cl ₂ (mg/l) H ₂ S (mg/l)	Índices Predictor de "Fouling" (SDI) Predictor de "Scaling" (LSI, S+DSI)
Sólidos Totales Disueltos (TDS) (mg/l)	Análisis Microbiológicos
	Determinación de Materia Orgánica (DQO, DBO, COT,...)

Tabla 7.2-a: Análisis Tipo de Agua de Alimentación a Planta OI.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

7.2.1. Características físicas

▪ Sólidos en suspensión:

Los sólidos en suspensión (SS) o materia en suspensión están presentes en el agua y se determinan por gaviometría. Este procedimiento no distingue entre los sólidos de origen inorgánico o los orgánicos (microorganismos como bacterias, algas, etc.). Para la materia orgánica existen hoy día determinaciones como el Carbono Orgánico Total (COT).

La cantidad de sólidos presentes está muy relacionada con el tipo de captación o toma de agua de mar. Las tomas abiertas pueden ejecutarse mediante emisario de captación, que se introducen unos cientos de metros en el mar, o bien en balsas de decantación, en las que se retiene el agua de mar para permitir la sedimentación de las partículas de cierto tamaño. En estos casos el agua tiene un alto contenido en sólidos no sedimentables (se mantienen en suspensión) que suelen presentar problemas en las plantas, especialmente en las membranas, por la tendencia a colmatar o taponar las mismas.

Otra forma de realizar la captación es mediante un pozo costero o pozo playero, siempre que el terreno permita la perforación. En estos casos, el propio terreno permeable actúa como prefiltración, por lo cual el agua obtenida en bombas tiene mucho menor contenido en sólidos y biomasa, manteniendo naturalmente la salinidad. Una manera muy frecuente de estimar la tendencia al ensuciamiento de membranas es mediante el denominado "Índice de ensuciamiento" (SDI), que es una determinación realizada de forma empírica. Consiste en tomar medidas de tiempos de filtración, a través de un filtro de 0,45 µm, de sendas cantidades de 500 mL, realizadas a intervalos de 15 minutos y a una presión fija de 2 bares. La expresión que determina los SDI es la siguiente:

$$SDI = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) \cdot 100}{15}$$

Donde:

- t_1 y t_2 : tiempos de filtración inicial y final tras 15 minutos.

Los valores aceptables de SDI en membranas de ósmosis inversa son menores de 5, y preferentemente menores de 3.

Los sólidos en suspensión se suelen tratar mediante filtración (en medio granular, o en cartuchos filtrantes, o de precava)

▪ Temperatura:

La temperatura del agua de alimentación afecta a la productividad de las membranas, a su degradación físico-química y a la propia solubilidad de las sales. Es un dato importantísimo en el diseño de una planta de OI, por lo que se debe comprobar no sólo con medias puntuales, sino también considerando su rango de variación estacional. En nuestras latitudes las temperaturas medias del agua del mar varían entre 18 y 24°C entre el invierno y verano, pero a medida que se desciende hacia el sur podemos encontrarnos con temperaturas entre 8 y 18°C, como ocurre en Sudáfrica, Namibia, o Chile; por el contrario en los países del Golfo Pérsico las temperaturas son más elevadas pudiendo alcanzar temperaturas superiores a 30°C.

La influencia de las temperaturas en el funcionamiento de las membranas es importante desde tres puntos de vista, por lo que deben ser tenidas en cuenta:

- La solubilidad de determinadas sales aumenta con la temperatura y por tanto a temperaturas más elevadas se reducen sus riesgos de precipitación.
- La temperatura influye en la viscosidad del agua y en la dilatación de los materiales que constituyen las membranas, por lo que deben tenerse en cuenta en el diseño.
- Por último, la elevación de la temperatura favorece la actividad biológica de los microorganismos que ocasionan el ensuciamiento de las membranas.

7.2.2. Características químicas

▪ Conductividad eléctrica o salinidad:

Este parámetro indica, de forma indirecta y aproximada, el contenido de sales disueltas en el agua. La medida de la conductividad eléctrica se basa en el principio de que el flujo de corriente eléctrica que se transmite a través de una disolución, bajo determinadas condiciones, varía con la concentración de sales presentes en la misma. Esto se debe a que los iones disociados presentes en la disolución, transportan las cargas eléctricas entre dos electrodos de medida. Las unidades en la que se mide la conductividad eléctrica son $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad de una disolución depende, no sólo de su concentración iónica, sino también de su composición iónica y de la temperatura. La composición iónica de una disolución afecta a su conductividad eléctrica porque ni todos los iones transportan con la misma facilidad las cargas eléctricas ni presentan la misma movilidad en el seno de la disolución. La conductividad de una disolución está directamente relacionada con la temperatura de la misma, debido a que un incremento de la temperatura provoca un aumento de la velocidad de los iones en la disolución.

Un grupo de investigadores del Laboratorio de Salinidad de EEUU, estudiaron la relación entre el valor de la conductividad eléctrica (CE) de las aguas y la concentración total de sólidos disueltos (TSD) y encontraron, para una temperatura de 25°C , una relación aproximada entre estos índices, según la cual:

$$TSD \cong 0,64 \cdot CE$$

Donde:

- TSD= sólidos totales disueltos, en mg/l (ppm)
- CE= conductividad eléctrica, en $\mu\text{S}/\text{cm}$

▪ pH:

Es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno del agua y es consecuencia de las sales que lleva en solución. Su valor es un índice indicativo de las características del agua. Su valor, medido a 25°C y referido a un agua químicamente pura, es 7; si la disolución presenta un valor de pH inferior a 7 se dice que es ácida o corrosiva, y si es superior a 7, básica o incrustante. Es decir, un medio alcalino (pH alto) favorece las incrustaciones o precipitaciones de sales sobre las superficies de una instalación. Por el contrario, un pH bajo (ácido) favorece la corrosión.

Desde el punto de vista de la desalación por membranas, ejerce dos tipos de acciones:

- Influye en la solubilidad de los carbonatos y regula por tanto su precipitación.
- Limita el empleo de las membranas de acetato de celulosa que a valores inferiores o superiores a 5, pueden experimentar hidrólisis.

La Reglamentación considera que las aguas de consumo humano deben tener un pH entre 6,5 y 8,5.

▪ **Composición química del agua:**

La tabla siguiente muestra la comparativa entre la composición del agua de mar estándar y la del agua del Océano Atlántico, isla de Fuerteventura, según datos facilitados por Telde, Gestión Integral del Servicio, S.A., objeto de estudio de este proyecto.

PARÁMETROS	AGUA DE MAR ESTÁNDAR (mg/L)	AGUA DE OCÉANO ATLÁNTICO, ISLA FUERTEVENTURA (mg/L)
pH		7,7
Sulfato	2.648	2525,8
Cloruro	18.979	19880
Bicarbonato	139,7	152,5
Bromuro	646	
Fluoruro	1,3	0,74
Calcio	400,1	587
Magnesio	1.272	1.320
Sodio	10.556	11.201,2
Potasio	380	460
Estroncio	13,3	
Borato	26	3,2
Sílice	0,02 - 4	
Total sólidos disueltos	34.483	36.138,4

Tabla 7.2.1-a: Calidades de agua de mar estándar e Isla de Fuerteventura.

Fuente: Introducción a la desalación de aguas, José Miguel Veza; Telde, Gestión Integral de Servicio, S.A.

La primera tiene un contenido de sólidos disueltos (STD) próximo a 34.500 mg/L, mientras que el agua de la isla de Fuerteventura tiene alrededor de 36.000 mg/L. Las aguas de zonas cálidas, debido a la mayor evaporación desde el mar, presentan una salinidad ligeramente superior a la media.

▪ **Características microbiológicas**

El contenido microbiológico del agua de mar también merece atención, muy especialmente cuando se trabaja en una desaladora mediante procesos de membranas. Los microorganismos presentes en el agua bruta tienden a formar biopelículas (biofilm) sobre las superficies por las que van pasando, de forma que pueden llegar a formarse agregados de importancia. Esto trae consigo el fenómeno de ensuciamiento biológico (biofouling) que produce atascamientos y la consiguiente pérdida de carga en las membranas, y en definitiva una reducción de la producción de agua. Se han realizado mediciones que demuestran que un elemento de membrana con crecimiento biológico puede alcanzar un peso doble de su peso original. Una solución parcial es la limpieza de las membranas.

CAPÍTULO 8: TÉCNICAS DE DESALACIÓN

8.1. CONCEPTO DE DESALACIÓN

Definimos desalación como el proceso de separación de sales de una disolución acuosa, pero que pueden ampliarse al proceso de separación del agua de las sales, ya que existen tecnologías que realizan este proceso, cuyo fin último es la separación de ambos componentes para el uso humano del agua dulce producto. En castellano existe también la acepción “desalinizar” para describir el mismo proceso. “Desalinización” es el proceso de lavado y drenaje de suelos salinizados por efectos del riego de aguas de naturaleza salobre. “Desalar” hace referencia a la acción de disminuir el contenido salino de las aguas para su posterior uso.

Desde el punto de vista termodinámico, la desalación de agua se obtiene aplicando la energía necesaria para separar las sales que contiene, previamente mezcladas en un proceso natural. La cantidad mínima necesaria para desalar puede obtenerse por lo tanto siguiendo el camino inverso del proceso de desalación, midiendo la energía que se desprende en la disolución de sales en agua pura, y puede representarse por la expresión de El-Sayed y Silver, 1980.

$$W_{\min} = R \cdot T \cdot Lna_w$$

Donde:

W_{\min} : energía desprendida en el proceso de mezcla, en kWh/m³.

R: constante universal de los gases (R=0.082 atm·l/K·mol).

T: temperatura absoluta de la mezcla, en grados Kelvin.

a_w : actividad de los electrolitos que componen la disolución salina ($a_w \approx 1$ para aguas marinas).

La actividad depende fuertemente de la concentración de dichos electrolitos, la energía mínima desprendida en el proceso y por lo tanto la necesaria para desalar depende de la concentración del agua de aporte: para un agua bruta media del mar de una concentración de 35.000 ppm de total de sólidos disueltos (TDS), dicha energía a 25 °C es de 0,88 kWh/m³, pero baja hasta los 0,3 kWh/m³ en el caso de una concentración de 15.000 ppm.

Ningún proceso tiene el carácter de reversibilidad total que implica que pudiéramos desalar agua salada con estos costes energéticos tan bajos. Si esto fuera así, podríamos obtener agua dulce a menos de 0,05 €/m³ para el caso de agua marina, suponiendo un coste medio del kWh de 0,06 €. Ello implicaría un proceso extremadamente lento y cerca del equilibrio, algo que es imposible de materializar físicamente. La tecnología actual sólo permite desalar a un coste energético al menos cinco veces mayor al mínimo para cada concentración, ya que se producen rozamientos, fricciones, flujos de calor que no son convertibles totalmente en trabajo. El desarrollo futuro es esperanzador, ya que realmente el coste mínimo hace que el coste energético asociado a la desalación sea menor que el coste de amortización o de mantenimiento de una instalación desaladora.

Aunque la desalación propiamente dicha comenzó a finales del siglo XIX en el aprovechamiento del vapor de las calderas de los pequeños barcos para su consumo humano, el en propio ciclo hidrológico del agua existe el fenómeno de la desalación en el proceso de aguas de mar.

A continuación, se hará una descripción de los principales métodos de desalación existentes en la actualidad, haciendo más hincapié en aquellos procesos con una mayor implantación dentro del panorama mundial de la desalación.

Como anteriormente se mencionó, en la desalación se puede separar el agua de las sales o viceversa. Por tanto, las técnicas de desalación se pueden clasificar atendiendo a la forma de separación de sales y agua, al tipo de energía utilizado para el proceso, y finalmente por el proceso físico de la desalación. Dicha clasificación se muestra en la siguiente tabla:

CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DESALACIÓN			
Clase de separación	Energía utilizada	Proceso	Sistema
Separación del agua de sales	Vapor	Evaporación	Destilación solar
			Desrilación súbita simple
			Destilación en tubos sumergidos
			Destilación súbita multietapa
Separación de las sales del agua	Frío	Cristalización	Congelación
	Presión	Membrana	Ósmosis Inversa
	Carga eléctrica	Membrana selectiva	Electrodialisis
	Atracción química	Resina	Intercambio iónico

Tabla 8.1-a: Clasificación de los procesos de desalación.

Fuente: Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa, J.A Medina San Juan.

Antes de entrar a describir cada una de las técnicas de desalación, es necesario centrarnos en el consumo energético necesario para obtener agua dulce en condiciones de potabilidad. Si obtenemos agua pura evaporando agua salada (uno de los métodos más ineficientes), la cantidad de energía necesaria para dicho cambio de fase es de 2,258 kJ/kg a presión atmosférica. Esto supone 0,627 kWh/kg, es decir, alrededor de 0,05 € por litro de agua desalada (el precio del kWh tomado es de 0,06 €/kWh). Lógicamente a este precio sólo podría pagarse el agua para la ingestión, pero no para el resto de usos cotidianos. Por lo tanto, en todos los métodos son especialmente importantes los sistemas de recuperación de energía, para evitar este consumo tan desmesurado que haría impensable utilizar técnicas de desalación.

8.2. TÉCNICAS DE DESALACIÓN

A continuación, se va a describir brevemente cada uno de las técnicas de desalación existentes actualmente, incidiendo de forma más detallada en aquellos más extendidos en la industria desaladora.

8.2.1. Destilación súbita por efecto flash (MSF)

Este proceso es el primer proceso desalador por destilación digno de mencionar que consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales (las sales son volátiles a partir de los 300°C). El vapor se condensa posteriormente en el interior o exterior de los tubos de la instalación. Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que necesitan un sistema de vacío (bombas o eyectores), además de extracción del aire y gases no condensables.

La utilización de una cámara flash permite una evaporación súbita (de carácter irreversible) previa a su posterior condensación. Generalmente, la cámara flash se sitúa en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior. Por lo tanto, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la unión sucesiva de etapas en cascada a diferente presión, y es necesario el aporte mínimo de la condensación de un vapor de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica.

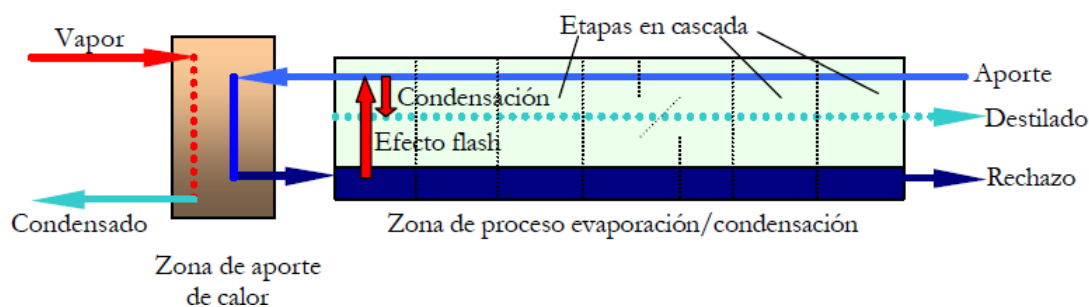


Figura 8.2-a: Esquema de una planta de evaporación súbita por efecto flash.

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

Este proceso evaporativo es el más ampliamente utilizado en el mundo, de implantación masiva sobre todo en Oriente Medio, debido a las siguientes ventajas que presenta:

- Es especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada).
- Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permita una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas.
- Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.
- La capacidad de las plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras, debido a que se pueden conectar en cascada sin problemas de operación.

Sin embargo, las plantas MSF tienen un gran inconveniente. Su consumo específico (cantidad de energía consumida para producir 1 m³ de agua desalada), es de los más altos de

los procesos estudiados. A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta. Además de su alto coste de operación, su coste de instalación no es más bajo que otros procesos de desalación.

8.2.2. Destilación por múltiple efecto (MED)

Al contrario que en el proceso MSF por efecto flash, en la destilación por múltiple efecto (MED) la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación, dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efecto de dicha presión. Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto. El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación.

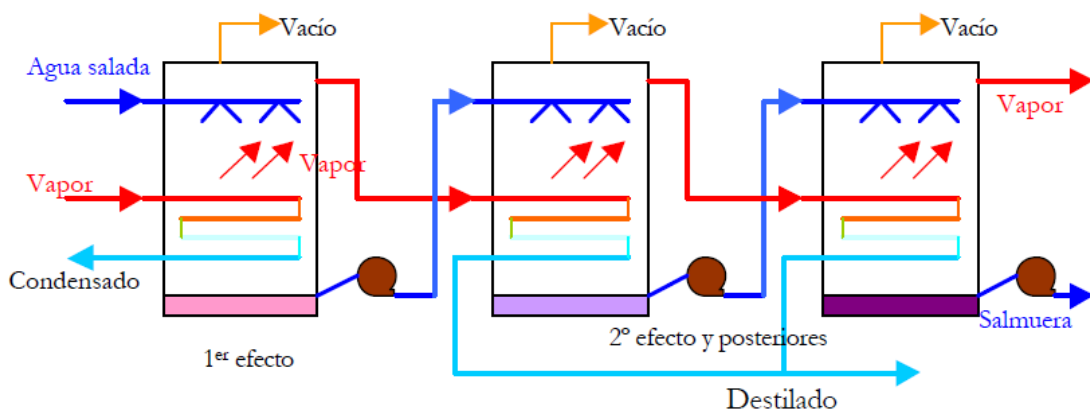


Figura 8.2-b: Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales (HFF).

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

La primera etapa se nutre de vapor externo de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión (ó extracción de una condensación). Un condensador final recoge el agua dulce en la última etapa precalentando el agua de aportación al sistema. Por lo tanto las plantas MED también conforman sistemas de cogeneración al igual que las MSF consumiendo una porción de energía destinada a priori a la producción eléctrica.

La destilación por múltiple efecto no es un proceso solamente utilizado para la desalación. La industria azucarera utiliza constantemente destiladores de múltiple efecto, aunque en este caso el propósito no es obtener destilado sino concentrar mezclas de otra naturaleza a la estudiada aquí.

La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF, no superan los 15.000 m³/día por razones de política. Las MSF más grandes se instalan en Oriente Medio y las mayores MED están instaladas en las islas del Caribe para abastecer de agua a estas zonas de gran presión turística. Además, raramente son más de 15 los efectos conectados en

serie, a excepción de las MED con múltiples efectos integrados en cada uno de ellos, llegando en este caso a un número total de más de 50.

Sin embargo, tienen un mejor rendimiento global con respecto a una MSF: el GOR (medida del consumo energético de naturaleza térmica necesaria en este tipo de plantas que da una idea de la cantidad de energía recuperada en el proceso de evaporación de las cámaras flash) de este tipo de plantas puede llegar a 15 sin ningún problema, reduciendo por lo tanto el consumo específico de este proceso respecto de una planta MSF con las mismas capacidades. Ello se debe principalmente a la irreversibilidad asociada al proceso de separación flash que aparece en los procesos MSF. Además el consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de recirculación al no existir circulación de salmuera.

Ello implica que la importancia en el contexto mundial de la desalación es mucho menor que el de las MSF o la ósmosis inversa (OI) que se detallará posteriormente.

8.2.3. Compresión térmica de vapor (TVC)

Este proceso es similar a una destilación por múltiple efecto (MED) para la obtención de agua destilada, pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos o termocompresores, que consumen vapor de media presión proveniente de la planta de producción eléctrica y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndolo y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la primera etapa, que es la única que consume energía en el proceso.

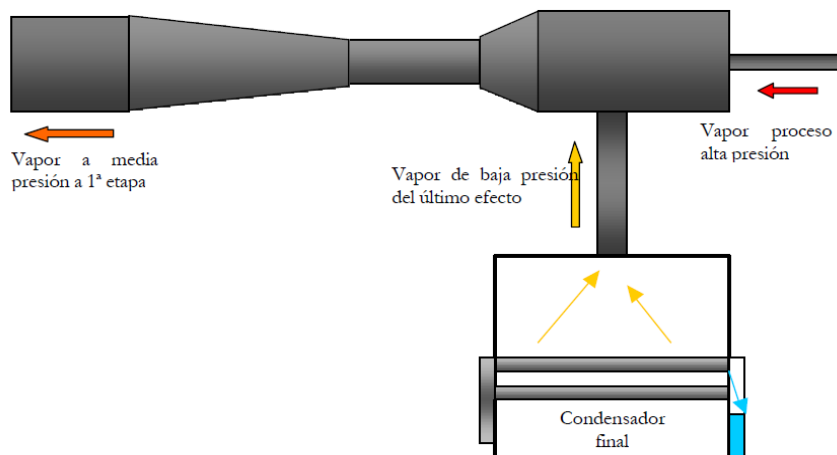


Figura 8.2-c: Esquema típico del termocompresor acoplado a una planta TVC con HFF.

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

El rendimiento de este tipo de plantas es similar a las de las plantas MED, sin embargo su capacidad desaladora puede ser mucho mayor al permitirse una mayor adaptabilidad de toma de vapor de las plantas productoras del mismo.

8.2.4. Destilación solar

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables. Por lo tanto no se han desarrollado a gran escala en lugares con un consumo elevado de agua dulce.

Hay varias formas de producir agua dulce usando la energía solar, nos centraremos en la destilación por colectores. El efecto básico es el efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente, en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo. Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad del viento (esta enfría en el vidrio exterior), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio. Como dicho vidrio está colocado inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera. Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares apoyándose en lentes ó espejos (parabólicos o lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico.

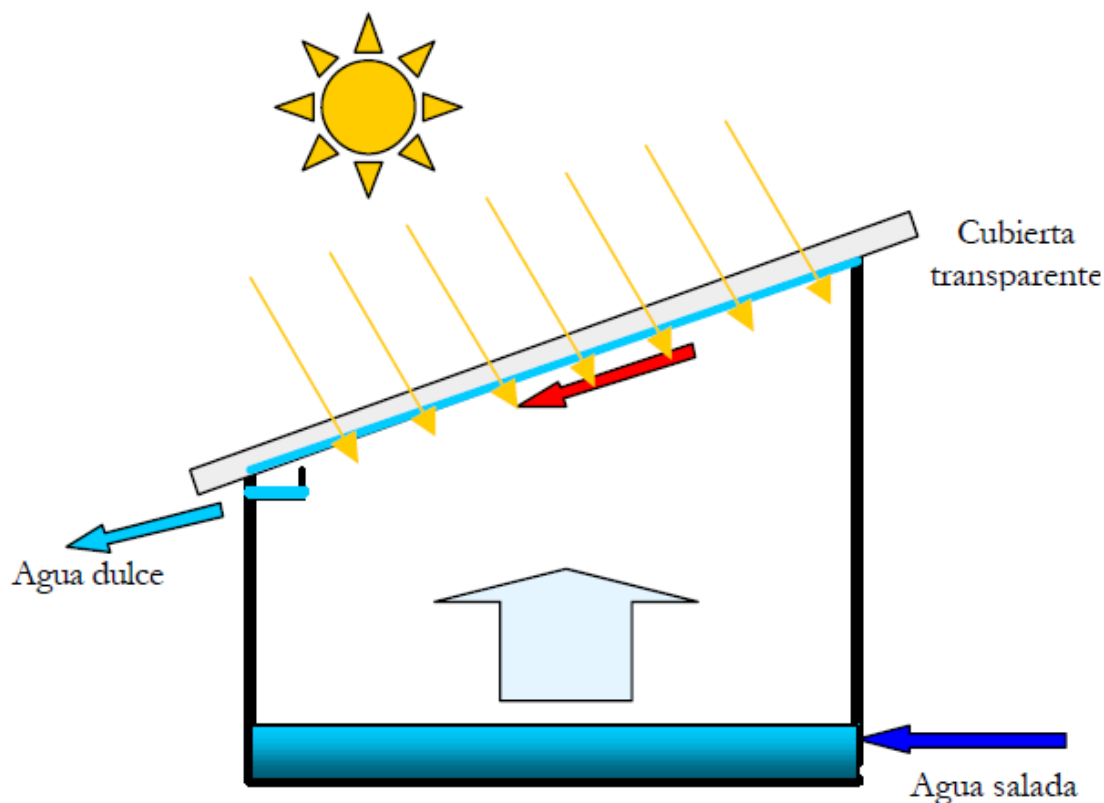


Figura 8.2-d: Esquema de un colector solar para destilación.

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

Pero la energía solar también puede ser la fuente de energía en un proceso de destilación, incluso de producción eléctrica para pequeñas instalaciones de ósmosis inversa. Por ejemplo, el uso de colectores de concentración parabólicos (PTC) puede usarse en procesos MSF o MED dependiendo del coste de los colectores, que son los que determinan la producción de agua por metro cuadrado de PTC (de media producen 10 m³ de agua dulce por m² de colector) y factores climáticos tales como el porcentaje del día en que la planta consume

energía solar. El gran problema de estas instalaciones es que no evita la instalación convencional para producir agua dulce en circunstancias climatológicas adversas.

Un estudio reciente de recopilación de plantas de destilación solar muestra que el total de capacidad instalada a escala mundial no supera los 10.000 m³/día, generalmente con colectores parabólicos acoplados a pequeñas unidades MSF o MED, por consiguiente, estos métodos no son competitivos económicamente en la actualidad, tan sólo en lugares aislados de suministro eléctrico y de agua.

8.2.5. Congelación

Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para fundirlos y obtener un agua dulce independiente de la concentración del agua inicial. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de adaptación para su implantación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea algún día competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío. No se ofrecen datos del consumo específico de este proceso porque sólo existen experimentos de pequeña escala no extrapolables a la realidad.

El proceso de congelación es un fenómeno natural que se contempla con mucha facilidad en nuestro Planeta, ya que alrededor del 70% del agua dulce está contenido en los polos terrestres. La utilización de hielo de los polos para el consumo humano es muy poco conveniente para la conservación del equilibrio térmico del Planeta.

8.2.6. Formación de hidratos

Es otro método basado en el principio de la cristalización, que consiste en obtener, mediante la adición de hidrocarburos a la solución salina, unos hidratos complejos en forma cristalina, con una relación molécula de hidrocarburo/molécula de agua del orden de 1/18.

Al igual que en el proceso de congelación, su rendimiento energético es mayor que los de la destilación, pero conlleva una gran dificultad tecnológica a resolver en cuanto a la separación y el lavado de los cristales que impiden su aplicación industrial.

8.2.7. Destilación por membranas

La destilación por membranas, es un proceso combinado de evaporación y filtración. El agua salada bruta se calienta para mejorar la producción de vapor, que se expone a una membrana que permite el paso de vapor pero no del agua (membrana hidrófoba). Después de atravesar la membrana el vapor se condensa, sobre una superficie más fría, para producir agua desalada. En estado líquido, esta agua no puede retroceder atravesando la membrana por lo que es recogida y conducida hacia la salida.

Desgraciadamente, este proceso sólo ha sido desarrollado a nivel de laboratorio por varios grupos de investigación científica, aunque sus perspectivas son francamente esperanzadoras.

8.2.8. Compresión mecánica de vapor (CV)

En la compresión mecánica de vapor (CV) se evapora un líquido, en este caso el agua salada, en un lado de la superficie de intercambio, y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado y pueda mantenerse el ciclo de destilación de agua salvando las

pérdidas del proceso y la elevación de la temperatura de ebullición del agua salada respecto a la pura.

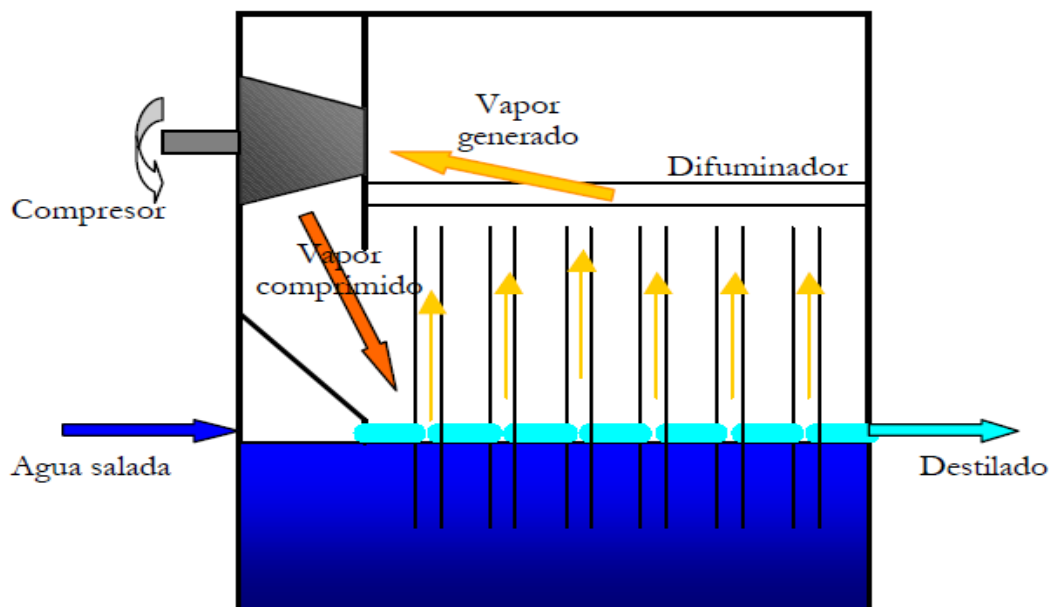


Figura 8.2-e: Diagrama de la compresión de vapor con evaporador de tubos verticales.

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

En el diagrama anterior podemos ver el esquema de un compresor de vapor acoplado a un intercambiador de tubos verticales (VTE) de una única etapa, simplificando todos los elementos auxiliares podemos ver que el vapor interior de los tubos es comprimido a presión atmosférica en torno a 0,2 bares (un sobrecalentamiento de unos 5°C) en un compresor volumétrico especial para trasegar vapor. El vapor ligeramente sobrecalentado se condensa en el exterior de los tubos del intercambiador, siendo recogido por una bomba en su parte inferior. Como puede observarse, si el proceso fuera ideal sólo deberíamos vencer la BPE para mantener el proceso, aunque no es posible realmente (hay pérdidas de calor y presión, fricciones en las bombas de circulación, etc); en todo caso el consumo específico de estas instalaciones es el más bajo de los procesos de destilación: normalmente el consumo eléctrico equivalente está sobre los 10 kWh/m³ (la mitad que una planta MSF).

Aunque este proceso es el que menor consumo energético tiene de las instalaciones de desalación, tiene un gran inconveniente: la existencia de compresores volumétricos de vapor de baja presión de tamaño suficiente para una producción considerable. Así no se conocen unidades de CV mayores de 5.000 m³/día, y estos compresores sólo permiten un máximo de 3 etapas a diferentes presiones conectadas en cascada (si fueran necesarias más etapas harían falta instalar nuevos compresores). Normalmente existen intercambiadores de precalentamiento del agua de aporte con el destilado y la salmuera tirada al mar (como el número de etapas es reducido hay que recuperar la energía de salida de la salmuera), ayudados por una resistencia eléctrica en los arranques, así como todos los dispositivos de tratamiento de agua anteriores y posteriores al proceso de destilación.

Por último, reseñar que la compresión mecánica de vapor es un proceso muy utilizado en la industria, generalmente en procesos de concentración de la industria alimentaria (zumos, quesos, etc).

8.2.9. Ósmosis inversa

La ósmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. Cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable (permite el paso del agua pero no de las sales), existe una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, con lo que la diferencia de altura obtenida se traduce en una diferencia de presión, llamada presión osmótica.

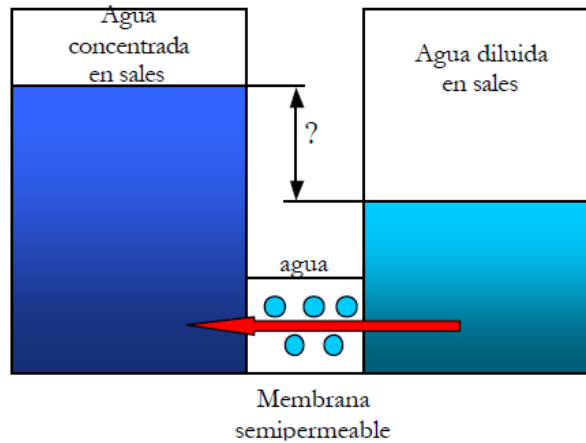


Figura 8.2-f: Proceso natural de ósmosis.

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

Sin embargo, aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza admisible, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas. La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta, y la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300-500 ppm de TDS, cifra un orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación.

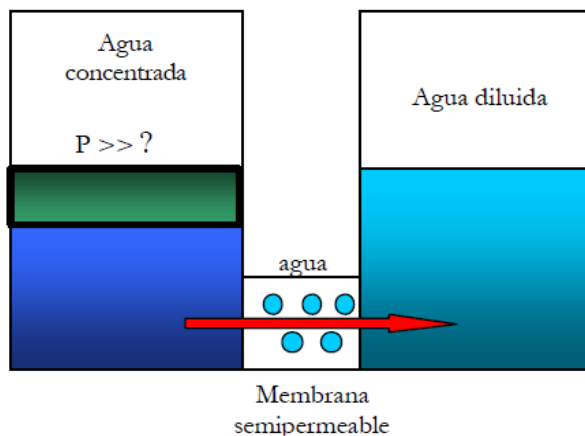


Figura 8.2-g: Proceso de ósmosis inversa.

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

Para poder realizar ósmosis inversa, una membrana debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Por ejemplo un agua bruta de 35.000 ppm de TDS a 25°C tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado). Además debe ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. Sin embargo no se puede considerar la OI como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular como una filtración cualquiera. Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a través de la membrana, un proceso de filtración lo haría en su totalidad, y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana.

El proceso de ósmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizado. Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas, por ejemplo, las membranas se ensucian muy fácilmente con la operación continuada y necesita un pretratamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros:

- Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua bruta.
- Filtración con arena para reducir la turbidez.
- Acidificación para reducir el pH y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado para eliminar el cloro residual.
- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.
- Microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF) en el caso de aplicaciones industriales muy específicas o en reutilización de aguas residuales. Estos procesos no son específicamente de desalación, por lo que no se incluyen en este apartado.

El postratamiento en una planta de Ósmosis Inversa suele ser un tratamiento complementario para conseguir las condiciones de potabilidad requeridas.

El proceso de ósmosis inversa es predominante en nuestro país. Las razones de su imposición con respecto a otras tecnologías son las siguientes:

- El consumo eléctrico específico de una instalación de ósmosis inversa es el menor de los descritos en este capítulo (6-8 kWh/m³), pero se puede aprovechar la energía contenida en la salmuera rechazada a alta presión para rebajar esa cifra hasta por debajo de los 3 kWh/m³. Ello supone un coste económico menor de 0,15 €/m³, considerando un coste de la electricidad de 0,05 €/kWh.
- Al ser un proceso de filtración, el coste energético depende de la concentración del agua bruta, cosa que no ocurre en las tecnologías de evaporación.
- Permite una adaptabilidad mayor que otras plantas a una ampliación de su capacidad si la demanda es creciente en la zona.

- Los costes de inversión de una instalación de OI están por debajo de otras tecnologías de destilación.

Sin embargo, las limitaciones tecnológicas asociadas a las membranas con algunos tipos de aguas marinas impiden su implantación total en el resto del mundo.

8.2.10. Electrodiálisis

Este proceso permite la desmineralización de aguas salobres haciendo que los iones de diferente signo se muevan hacia zonas diferentes aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos, y utilizando membranas selectivas que permitan sólo el paso de los iones en una solución electrolítica como es el agua salada.

En este proceso los iones van a los compartimentos atraídos por los electrodos del signo contrario, dejando en cubas paralelas el agua pura y en el resto el agua salada más concentrada. Es un proceso que sólo puede separar sustancias que están ionizadas y por lo tanto su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres o reutilización de aguas residuales, con un consumo específico y de mantenimiento comparable en muchos casos a la ósmosis inversa.

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

En la siguiente figura se puede ver detallado el proceso de electrodiálisis:

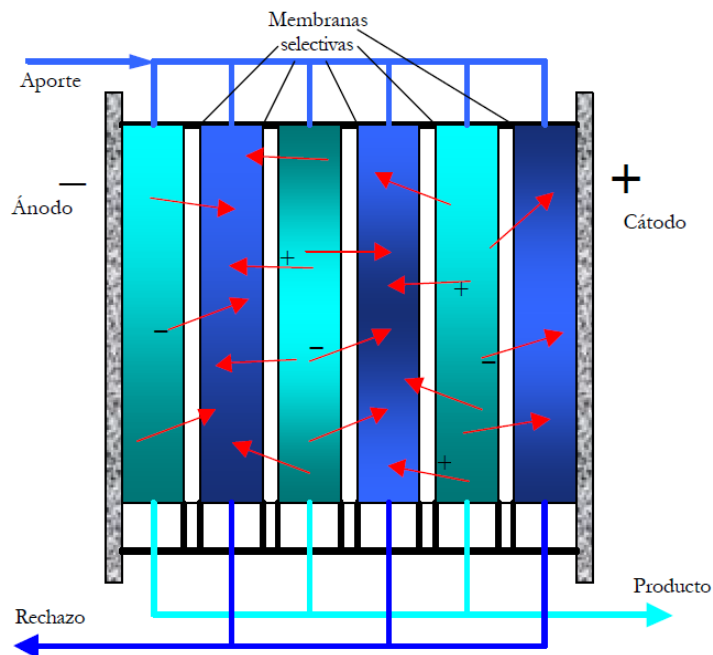


Figura 8.2-h: Proceso de electrodiálisis.

Fuente: La desalación como alternativa al PHN, Circe y Universidad de Zaragoza.

CAPÍTULO 9: DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ELEGIDA

ÓSMOSIS INVERSA

9.1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de la ósmosis inversa se basa en el proceso de ósmosis, que es un fenómeno natural que se produce en las células de los seres vivos, por el cual dos disoluciones de distinta concentración salina puestas en contacto a través de una membrana semipermeable tienden a igualar sus concentraciones.

Para ello se produce un movimiento desde la solución más diluida hacia la más concentrada, que se detiene cuando se alcanza un equilibrio entre ambas concentraciones. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones.

Cuando dos soluciones de diferente concentración o salinidad están colocadas en dos recipientes separados por una pared impermeable, cada una de ellas alcanza en el depósito correspondiente una altura que es función únicamente del volumen de la solución y del diámetro del depósito. Si sustituimos la pared por una membrana semipermeable (permeable al agua no a las sales) se produce un movimiento a través de la membrana desde la solución más diluida a la más concentrada que se detiene cuando se alcanza un desnivel entre ambos tubos, Δh (ver **Figura 9.1-a**), que corresponde a la diferencia de presiones osmóticas entre ambas soluciones.

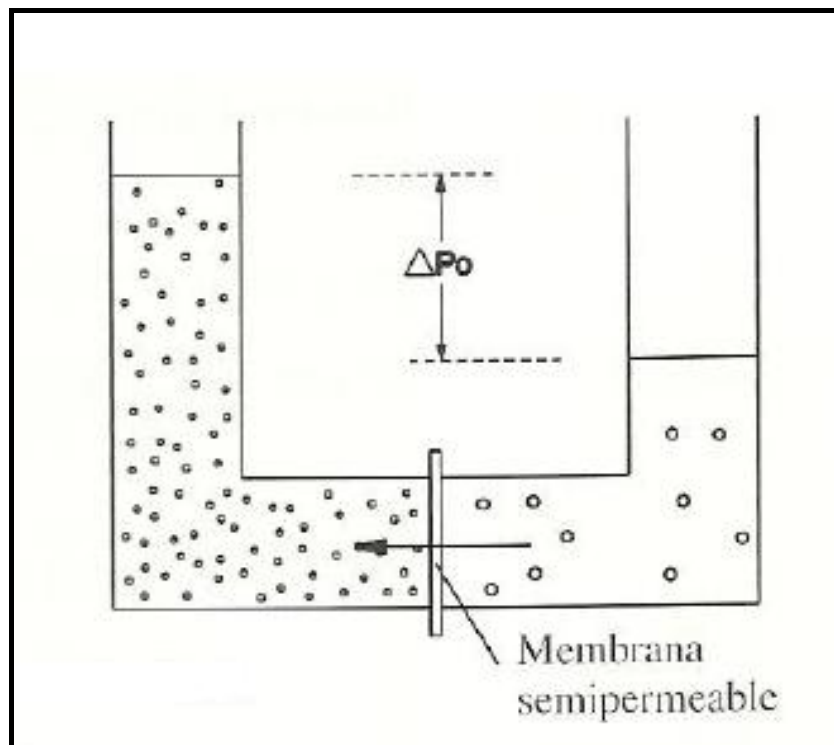


Figura 9.1-a: Principios del proceso de ósmosis inversa.

Fuente: Desalación de aguas salobres y agua de mar, José Antonio Medina San Juan.

Este valor Δh es la presión diferencial que impulsa el agua a través de la membrana. Si invertimos el proceso aplicando una presión en el tubo de la solución más concentrada, el movimiento se produce desde ésta hacia la más diluida. Finalmente se alcanza una posición de equilibrio como el de la **Figura 9.1-b**. La altura que alcanza la solución en el nuevo equilibrio es función de la presión aplicada, de las características de la membrana y de las concentraciones de ambas soluciones.

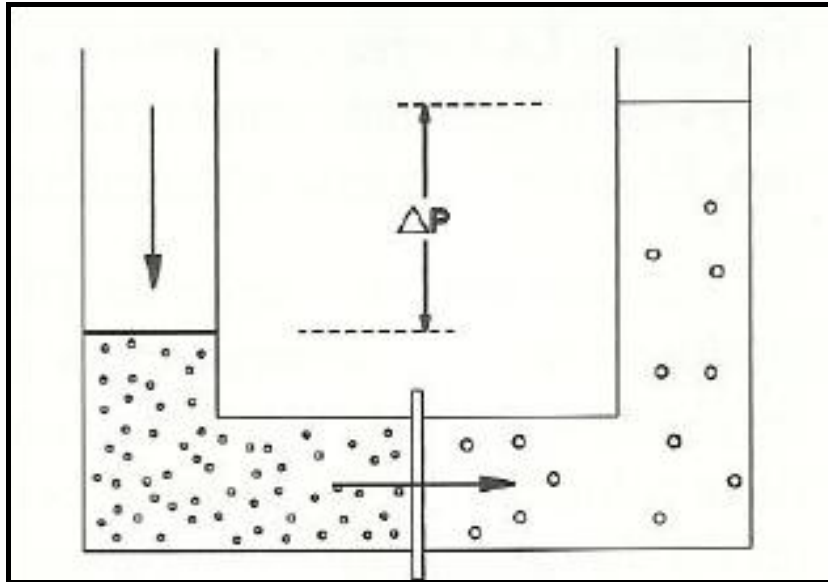


Figura 9.1-b: Principios del proceso de ósmosis inversa.

Fuente: Desalación de aguas salobres y agua de mar, José Antonio Medina San Juan.

Este proceso es lo que constituye la ósmosis inversa. Se llama así porque para conseguir un flujo de solvente a través de la membrana hay que ejercer al menos una presión suficiente para vencer la presión osmótica de la solución.

En la práctica, sin embargo, no es necesario vencer la presión osmótica de la solución de alimentación, sino sólo la diferencia de presión osmótica entre las soluciones de alimentación y producto. Esta presión depende del flujo de agua a través de la membrana y cambia de cero hasta un límite dado por las características de la membrana.

Si analizamos las distintas fases de este proceso vemos que los elementos fundamentales para que se pueda llevar a cabo a escala industrial son la bomba necesaria para aplicar la presión y la membrana capaz de realizar la separación de sales. Por tanto, como se observa, el elemento diferenciador de la ósmosis inversa frente a otros procesos en la membrana, la cual debe reunir una serie de características:

- Debe ser capaz de resistir las presiones a que se va a someter la solución para invertir el proceso.
- Debe ser suficientemente permeable al agua para que el flujo que proporciona sea elevado.
- Debe rechazar un porcentaje de sales elevado para que el producto sea de buena calidad.

9.2. DIFERENCIA ENTRE ÓSMOSIS Y OTROS PROCESOS DE MEMBRANAS

Aunque en ocasiones se ha querido ver la ósmosis inversa como un proceso de filtración a escala modular, esto no es así.

Los tres aspectos que marcan claramente la diferencia de la ósmosis inversa con la filtración o microfiltración son:

- En la filtración todo el caudal atraviesa el elemento separador, que impide únicamente el paso de partículas sólidas de un determinado tamaño. Sin embargo, en la ósmosis inversa, sólo una parte de la caudal de alimentación atraviesa la membrana constituyendo el producto, mientras el resto es eliminado sin atravesar la membrana y forma el rechazo.
- En la ósmosis inversa no se produce la acumulación del material separado sobre la superficie de la membrana, como ocurre en el otro proceso,
- En la filtración el flujo de agua a tratar es perpendicular a la membrana, mientras que en la ósmosis es paralelo a ella. Esto se puede ver en la **Figura 9.2-a** que se muestra a continuación.

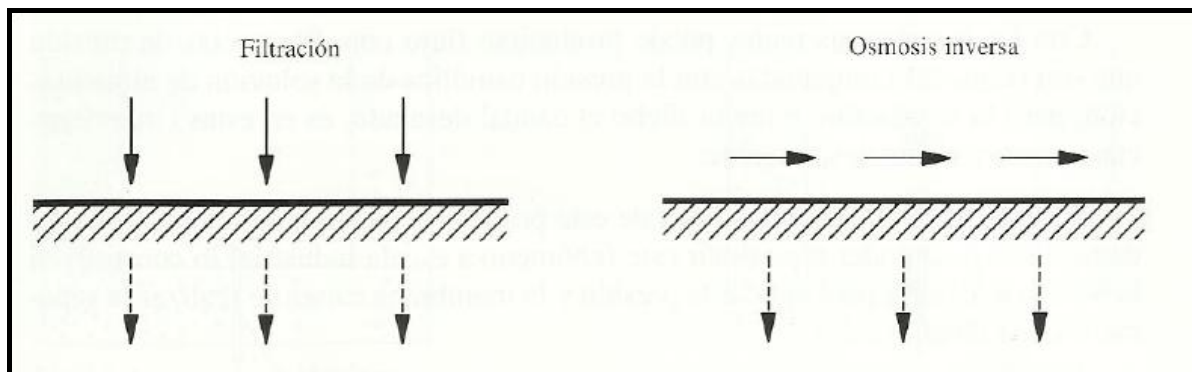


Figura 9.2-a: Dirección del flujo en procesos de separación.

Fuente: Desalación de aguas salobres y agua de mar, José Antonio Medina San Juan.

9.3. TEORÍAS DE LA ÓSMOSIS

Existen diversas teorías que tratan de explicar y describir el transporte de solvente y soluto a través de una membrana semipermeable.

En general, las membranas deben ser capaces de afectar a las propiedades termodinámicas y de transporte del agua y de las sales por medio de fuerzas que no dependan, en principio, del tamaño de los iones o moléculas que han de separarse. Dichas fuerzas pueden ser de rango corto – Van der Waals – o de rango largo como las de Coulomb.

Existen dos teorías que predicen la forma en que se produce el paso de agua a través de la membrana:

- La teoría de Sourirajan afirma que existe un flujo convectivo de agua a través de los poros de la membrana que se produce en dos etapas:

- En la primera el agua es absorbida preferencialmente sobre la superficie de la membrana.
- En la segunda, la capa con el agua absorbida es drenada a través de los poros de la membrana.

El tamaño molecular de los materiales del agua de alimentación según este modelo juega un papel importante en la determinación de su rechazo por la membrana.

- La teoría de Merten parte de que la membrana no tiene poros por lo que el flujo convectivo no puede existir. El agua se disuelve en la capa superficial de la membrana y después se difunde a través de una capa sin poros de la misma.

En este modelo, el rechazo sería función de la solubilidad relativa del soluto y el solvente.

La teoría de Merten es lo que se conoce como el modelo de solución-difusión que es el utilizado habitualmente para las membranas de ósmosis inversa.

Luego, según este modelo cada componente a tratar se disuelve en la membrana según leyes de distribución y equilibrio conocidas, difundándose a continuación a su través 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 corresponde a un mecanismo de formación y destrucción de puentes de hidrógeno entre el agua o las moléculas polares por una parte y los grupos hidrófilos de la membrana por otra, por acción de un gradiente de energía libre o potencial químico producido por la diferencia de presión.

Se puede observar un esquema del modelo de solución-difusión en la **Figura 9.3-a**:

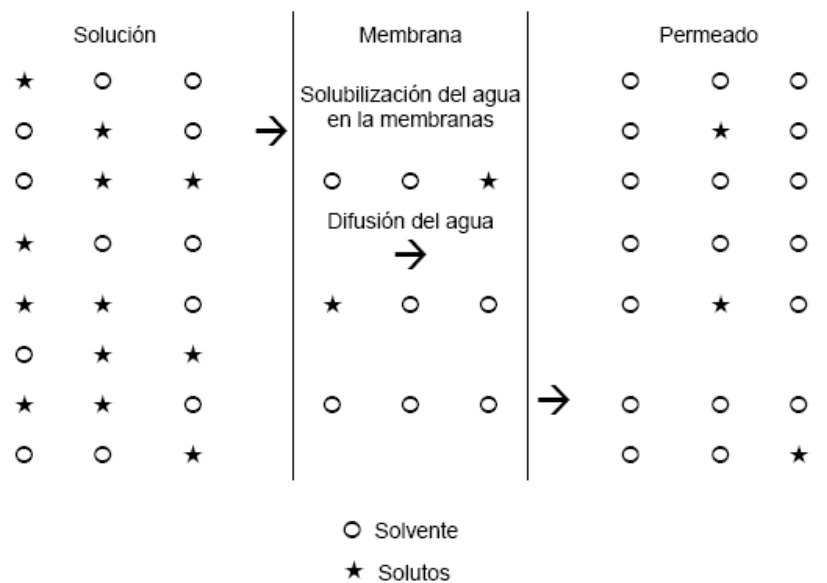


Figura 9.3-a: Modelo de solución-difusión.

Fuente: Desalación de aguas salobres y de mar, José Antonio Medina San Juan.

9.4. DEFINICIONES Y NOMENCLATURA

Antes de continuar, es importante recordar algunos conceptos que han sido definidos anteriormente en la memoria descriptiva y la nomenclatura que se utilizará al referirnos a ellos:

- **Alimentación (F):** es la solución que alimenta las membranas de ósmosis inversa. También es conocida como solución aporte o solución a tratar. La nomenclatura usada para esta solución es la siguiente:

- Caudal : Q_F
- Concentración : C_F
- Presión hidráulica : P_F
- Presión osmótica: Π_F

- **Permeado (P):** es la solución que se obtiene al otro lado de la membrana después de que la solución aporte la atraviese. También es conocida como producto. La nomenclatura usada para esta solución es la siguiente:

- Caudal : Q_P
- Concentración : C_P
- Presión hidráulica : P_P
- Presión osmótica: Π_P

- **Rechazo (R):** es la solución que resulta tras concentrar la solución aporte. También es conocida como concentrado o salmuera de rechazo. La nomenclatura usada para esta solución es la siguiente:

- Caudal : Q_R
- Concentración : C_R
- Presión hidráulica : P_R
- Presión osmótica: Π_R

- **Rendimiento (η):** es el cociente entre el caudal de permeado y el caudal de alimentación que llega a las membranas. También se conoce como factor de conversión o porcentaje de recuperación. Se expresa en tanto por ciento:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_F} \cdot 100$$

9.5. ECUACIONES BÁSICAS DEL PROCESO

El proceso de desalación queda enmarcado por una serie de ecuaciones que definen o aclaran los distintos aspectos que deben conocerse, y que permiten realizar el diseño de la IDAM.

El modelo más utilizado en el proceso de desalación es el modelo de solución-difusión. Según esta teoría, cada componente de la solución a tratar se disuelve en la membrana según las leyes de distribución y equilibrio, difundiéndose a continuación a través de la membrana debido a las diferencias de concentración y presión existentes a ambos lados de la misma.

El transporte de solvente y del soluto se produce de forma independiente, siendo el flujo molar de cada uno proporcional al gradiente químico. Las ecuaciones de flujo de solvente y de soluto son respectivamente:

▪ **Transporte de solvente**

$$J_v = A \cdot (\Delta P - \Delta \Pi)$$

Dónde:

J_v : es el flujo de la solución (m/s)

A: coeficiente de permeabilidad del solvente ($m^3/m^2 \cdot h \cdot bar$)

ΔP : representa la diferencia de presión hidráulica a ambos lados de la membrana

$\Delta \Pi$: es el gradiente de presión osmótica a un lado y otro de la membrana

▪ **Transporte de soluto**

$$J_s = J_v \cdot C_p = B \cdot \Delta C$$

Dónde:

J_s : es el volumen molar de soluto ($mol/m^2 \cdot s$)

B: parámetro de transporte de soluto (m^2/s)

ΔC : gradiente de concentraciones a ambos lados de la membrana

Las ecuaciones anteriores, para el transporte del agua y las sales a través de la membrana, indican que el caudal de agua que atraviesa la membrana es directamente proporcional al gradiente de presión efectiva, es decir, a la diferencia entre el gradiente de presión hidráulica y el gradiente de presión osmótica.

9.6. MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

9.6.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS MEMBRANAS

Las membranas sintéticas se clasifican de acuerdo a lo expuesto en la **Tabla 9.6-a** siguiente:

ATENDIENDO A	TIPO	
ESPESOR	Gruesas	
	Delgadas	
ESTRUCTURA	Porosas	Simétricas
	Densas	Asimétricas
COMPOSICIÓN	Homogéneas	
	Heterogéneas	
CARGA	Intercambiadoras de aniones (+)	
	Intercambiadoras de cationes (-)	

Tabla 9.6-a: Clasificación membranas sintéticas.

Fuente: Desalación de aguas salobres y de mar, José Antonio Medina San Juan.

Las membranas gruesas tienen un espesor macroscópico, mientras que las delgadas pueden llegar a tener espesores comparables a las dimensiones moleculares.

En cuanto a su estructura, las membranas pueden ser porosas y densas. Las primeras consisten en una matriz sólida con agujeros definidos o poros. Representan la forma más simple de membrana, en lo que respecta a las propiedades de transporte y modo de separación, que se efectúa estrictamente por tamización de los poros en relación al tamaño de las partículas. Este tipo de membranas se fabrica de diferentes materiales, como óxidos metálicos, grafito o polímeros. Atendiendo al tamaño de sus poros, las membranas se clasifican en poro ancho (diámetro de poro entre 10nm y 50µm), y de poro fino (diámetro entre 1 y 10 nm).

En las membranas densas el permeante debe pasar a través de la materia que constituye la membrana propiamente dicha, por lo que se produce una separación a nivel molecular entre las especies disueltas y las partículas del disolvente. Se les llama también membranas semipermeables y se emplean para separar mezclas de gases o líquidos, y también en los procesos de desalinización por ósmosis inversa.

También desde el punto de vista estructural, las membranas pueden catalogarse como simétricas o asimétricas. Las primeras exhiben las mismas características físico-químicas en cualquier parte de ellas. Las membranas asimétricas se emplean fundamentalmente en procesos que involucran gradientes de presión elevados, y su estructura consiste en una capa polimérica muy delgada, situada sobre una capa gruesa altamente porosa, que actúa exclusivamente como

soporte, sin afectar a las características separadoras del sistema. Estas membranas comportan una importante ventaja respecto de las simétricas, que consiste en que la retención de las partículas tiene lugar sobre la superficie, sin que penetren en su estructura interna, de modo que puedan ser retiradas de allí, mediante desplazamiento de disolución tangencialmente a la membrana.

Una membrana se dice homogénea, cuando toda ella participa en el proceso de permeación de una sustancia, mientras que se cataloga como heterogénea, cuando el componente activo que propicia el proceso de transporte está anclado sobre un soporte adecuado para membranas sólidas, o disuelto en una fase líquida, que puede presentarse como tal, o estar embebida en una matriz polimérica. Estos dos últimos casos corresponden a las membranas líquidas. A veces, las capas líquidas desprovistas de portadores específicos, pueden actuar como películas homogéneas que permean exclusivamente por efectos de solubilidad, pudiéndose emplear para separar especies químicas de tamaño similar, siempre y cuando que su solubilidad en la película difiera significativamente.

En cuanto a las membranas intercambiadoras o selectivas que poseen carga positiva actúan como intercambiadoras de aniones, pues contienen grupos catiónicos fijos en su matriz, que ligan a los aniones de los fluidos en contacto con ella. Por el contrario, si los grupos cargados fijo en la membrana son de tipo aniónico, la membrana actúa como intercambiadora de cationes. Así pues, los procesos de separación con este tipo de membranas se basan en la exclusión de los iones cuya carga es del mismo signo que la carga de la membrana.

Las membranas selectivas están constituidas por una matriz polimérica, a la que se han unido de forma covalente grupos ionizables, los cuales deben estar suficientemente disociados para crear una carga eléctrica neta sobre la matriz. Poseen espesores típicos entre 100 y 500 μm , y cuando están en contacto con el agua o disoluciones acuosas, se empapan de agua en una cantidad que depende de la concentración de grupos ionizados sobre la matriz, y de la superposición de los caracteres hidrofílico e hidrofóbico del material polimérico que lo constituye.

9.6.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

En el apartado anterior se detalla las diferentes clasificaciones generales que se pueden realizar con las membranas existentes en la actualidad. De los distintos tipos de membrana citados en dicho apartado, las membranas asimétricas son la más utilizadas en los procesos de ósmosis inversa. La estructura de estas membranas comprende una fina capa de polímero o capa activa, soportada por una subcapa de mayor porosidad. Esto hace que dichas membranas sean capaces de combinar excelentes características selectivas con altas permeabilidades. Desde la aparición de las primeras membranas asimétricas de acetato de celulosa, obtenidas por Loeb y Sourirajan, se ha desarrollado dos tipos diferentes de estructuras:

- Asimétricas integrales, elaboradas por el proceso de inversión de fase, para dar lugar a una capa ultrafina (0,1 a 1 μm) como parte integral de la membrana.
- Asimétricas compuestas, obtenida por polimerización interfacial o por inversión de fase, que genera una película extremadamente fina ($\approx 2000\text{\AA}$) sobre una estructura microporosa de material diferente.

En la **Figura 9.6-a** puede verse los tipos estructurales de las membranas asimétricas.

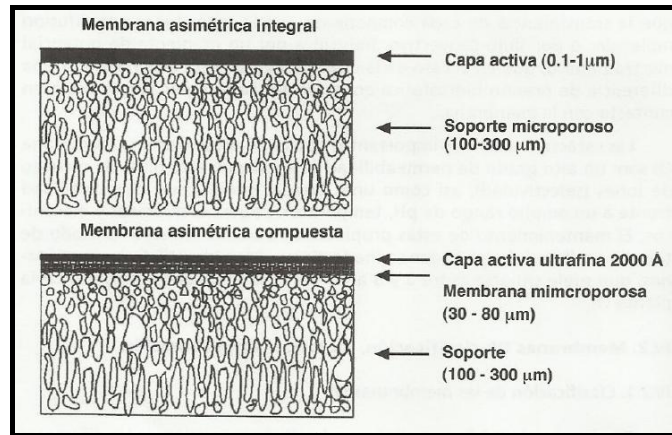


Figura 9.6-a: Tipos estructurales de las membranas asimétricas.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

Hoy en día, las membranas compuestas poseen las mejores características de filtración en el campo de la desalación, de forma que la investigación en el desarrollo de membranas de ósmosis inversa está centrada en este tipo de membranas, con el fin de optimizar las propiedades selectivas de las estructuras formadas.

9.6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS MEMBRANAS OI SEGÚN SU MATERIAL DE FABRICACIÓN

La función o el comportamiento de una membrana asimétrica depende, en gran medida, tanto de su estructura física, como de la naturaleza química del material a partir del cual ha sido elaborada.

En la **Tabla 9.6-b** que se muestra a continuación se muestra la clasificación de los materiales más frecuentemente empleados en la fabricación de membranas en general.

Productos Naturales Modificados	Productos Sintéticos	Otros
Acetato de Celulosa	- Poliamidas (poliamida aromática, copoliamida, poliamida hidracida, aril-alquil poliamida/ poliurea)	- Complejos polielectrolíticos
Diacetato/Tricetato de Celulosa	- Polibenzimidazol	- Acido poliacrílico-ZrO
Acetobutirato de Celulosa	- Polisulfona	- Vidrio poroso
Nitrato de Celulosa	- Polímeros de vinilo	- Carbono - ZrO ₂
Celulosa regenerada	- Polifurano	- Aceites
	- Policarbonato	- Oxido de grafito
	- Polietileno	- Al ₂ O ₃
	- Polipropileno	
	- PVA	
	- PAN	
	- Sulfona - polieter	
	- Poliolefinas	
	- Polihidantoina	
	- Poliureas cíclicas	
	- Polímeros comerciales (nylon, etc)	
	- Alcohol polivinílico	
	- Poliacronitrilo	
	- Mezclas de polímeros	

Tabla 9.6-b: Clasificación de materiales en la fabricación de membranas.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

Específicamente, los materiales que componen la estructura selectiva de las membranas utilizadas en procesos de separación en fase líquida, como la ósmosis inversa, incluyen polímeros altamente ordenados, como el acetato de celulosa (AC) y los derivados de poliamidas aromáticas (PA). Estos polímeros pueden formar puentes de hidrógeno con moléculas de agua o con otros disolventes polares, como el amoníaco o el etanol. Las moléculas de agua pueden formar dichos enlaces con los grupos carbonilos de los polímeros, y moverse de un núcleo de puentes de hidrógeno a otro atravesando así el polímero, siempre que exista una fuerza impulsora que facilite el transporte. En cambio los iones y las moléculas que no intervienen en este tipo de enlace no pueden atravesar la matriz orgánica.

A continuación se describen las características de las membranas de acetato de celulosa y de poliamida aromática.

- ***Membranas de acetatos de celulosa (AC)***

Las primeras membranas de AC fueron desarrolladas a finales de los años 50 por Loeb y Sourirajan, que las prepararon a partir de diacetato de celulosa.

Las membranas actuales de AC están hechas de una mezcla de diacetato y triacetato de celulosa. Se forman por la unión íntima de una capa fina o capa activa, de un polímero de AC en una disolución de acetona, con determinados aditivos, sobre una base de poliéster no entretrejido. Tras el proceso de unión de las dos capas, la membrana se calienta en un baño de agua a una temperatura entre 60 y 90°C. El calentamiento es el proceso que mejora la permselectividad de la membrana y si bien provoca un descenso del transporte de agua, el descenso del paso de sales es mucho más significativo.

Después del proceso de fabricación, se obtiene una membrana asimétrica en su estructura, con una capa superficial densa de entre 0,1 y 0,2 μm , que es la responsable del rechazo de sales. El resto de la membrana es una capa esponjosa y porosa con alta permeabilidad (puede verse arriba en la figura 9.6-a). El rechazo de sales y el flujo de agua característicos de una membrana de celulosa se establece en el proceso de fabricación, mediante control de la temperatura y la duración del proceso de calentamiento.

- ***Membranas compuestas de poliamida aromática (PA)***

Las membranas compuestas de poliamida se fabrican en dos etapas. En la primera, la capa soporte de polisulfona se une a una capa esponjosa de poliéster no entretrejido. La capa de polisulfona es muy porosa y no es permselectiva. En otra etapa del proceso de fabricación, una fina película semipermeable se monta sobre un sustrato de polisulfona, mediante polimerización interfacial de monómeros que contienen grupos funcionales de cloruros, con grupos amino y ácidos carboxílicos.

Este proceso de fabricación permite optimizar, independientemente, las propiedades de la capa soporte por un lado y por otro, las de la capa activa de rechazo de sales. El resultado es que las membranas compuestas presentan unas características de altos flujos de agua y de bajo paso de sales, mejorando sustancialmente a las de acetato de celulosa.

No obstante, las membranas de poliamida son muy susceptibles de sufrir degradación por oxidación cuando entran en contacto con cloro libre, que a concentraciones superiores a 0,1 ppm destruye la membrana, mientras que las de acetato de celulosa pueden tolerar determinados niveles de exposición a agente oxidantes, pudiendo admitir cantidades de cloro libre de hasta 2 ppm.

A continuación en la **Tabla 9.6-c** se comparan las características de ambos tipos de membrana.

Características	Poliamida Aromática	Acetato de Celulosa
Rango de pH	3-12 (períodos cortos <30'): 1-13	5 - 8 (períodos cortos <30'): 4-9
Rango de Temperaturas	0-50 °C	0-40 °C
Resistencia Química:		
-Halógenos	Pobre	Buena
-Peróxidos	Débil	Buena
-Detergentes	Buena	Buena
-Disolventes	Buena	Débil
Resistencia Biológica	Buena	Débil

Tabla 9.6-c: Comparación PA frente AC.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

Superficialmente las membranas de AC son más uniformes y presentan una menor carga eléctrica. Sin embargo actualmente las membranas poliamida aromática ha sustituido a las membranas de acetato de celulosa en los procesos de desalación por su mejor comportamiento térmico y mecánico, por su reducción del consumo energético y por tanto en el coste.

9.6.4 CLASIFICACIÓN DE LAS MEMBRANAS DEOI SEGÚN SU CONFIGURACIÓN

Un módulo de membrana es la unidad básica en un dispositivo de filtración. Los módulos contienen las membranas con sus soportes, así como las conducciones necesarias para el flujo, y se sitúan en unos recipientes adecuados a las condiciones de operación. Se les debe exigir que garanticen el caudal requerido para la instalación, así como que sean lo más compactos posibles, es decir, que incluyan la mayor superficie de membrana por unidad de volumen de módulo, y también que su manipulación, en cuanto a sustitución y limpieza de membranas, sea sencilla, así como que tengan una buena compatibilidad con los fluidos a tratar.

Actualmente, las membranas que se comercializan, dependiendo de la configuración son las siguientes:

- Membrana plana
- Membrana tubular
- Membrana de fibra hueca

- Membrana con arrollamiento en espiral

Las membranas que más se utilizan en procesos de ósmosis inversa son las de arrollamiento en espiral y las de fibra hueca. Por ello, en la descripción que se va a realizar a continuación de cada uno de los tipos, estos dos se detallarán con más detenimiento.

- **Membranas planas**

Es el tipo más sencillo y el que primero se utilizó. Están constituidas por una lámina que se coloca dentro de un marco, circular o rectangular, que actúa de soporte de la membrana y le confiere rigidez y resistencia. La superficie de estas membranas es pequeña, por lo que para aumentar la producción de los equipos que disponen de estas membranas, se colocan unas encima de otras, constituyendo una especie de pilas o columnas de membranas.

La sujeción de unas membranas con otras se realiza mediante pasadores que presan exteriormente desde su parte externa las membranas y le confieren un aspecto más compacto.

La película empleada como membrana no difiere de las que se emplean en otro tipo de configuraciones, por lo que sus características unitarias de rechazo y caudal son similares a las otras.

El principal inconveniente de este tipo de membranas es su pequeña capacidad productiva, por lo que para utilizarlas en instalaciones de tamaño medio se requieren numerosas membranas colocadas en pilas, que resultan voluminosas, pesadas e incómodas para operar y que encarecen enormemente su coste.

En el sector del agua su mayor aplicación está en aguas muy contaminadas, residuales o con elevada carga orgánica.

- **Membranas tubulares**

Representan una alternativa a las anteriores, buscando conseguir una mayor superficie unitaria.

La membrana, generalmente de 1/2" de diámetro, va alojada en el interior de un tubo de PVC, que soporta la presión del proceso. En algunos casos se colocan varias membranas en el interior de un tubo de 1,5 a 2" de diámetro. El tubo va provisto de los orificios necesarios para entrada y salida de los flujos de agua que intervienen en el proceso.

El agua alimenta a la membrana por su interior y el permeado se obtiene por la parte exterior de la misma. Para aumentar la capacidad de la instalación se colocan varios tubos en paralelo, pero aún en estos casos resulta pequeña.

En la actualidad sus aplicaciones se limitan al campo industrial.

- **Membranas de fibra hueca**

Las fibras huecas son de estructura asimétrica y tan fina como un cabello humano. Son cilindros de 80 µm de diámetro exterior y 40 µm de diámetro interior, que resisten por sí mismas, sin soportes, presiones elevadas. La superficie de intercambio por unidad de volumen es muy grande, dando lugar a módulos extremadamente compactos.

Las fibras huecas forman un haz dispuesto en forma de “U” cuyos extremos se insertan en un disco-soporte de resina epoxi, dentro de un tubo de presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio (puede verse en la **Figura 9.6-c**).

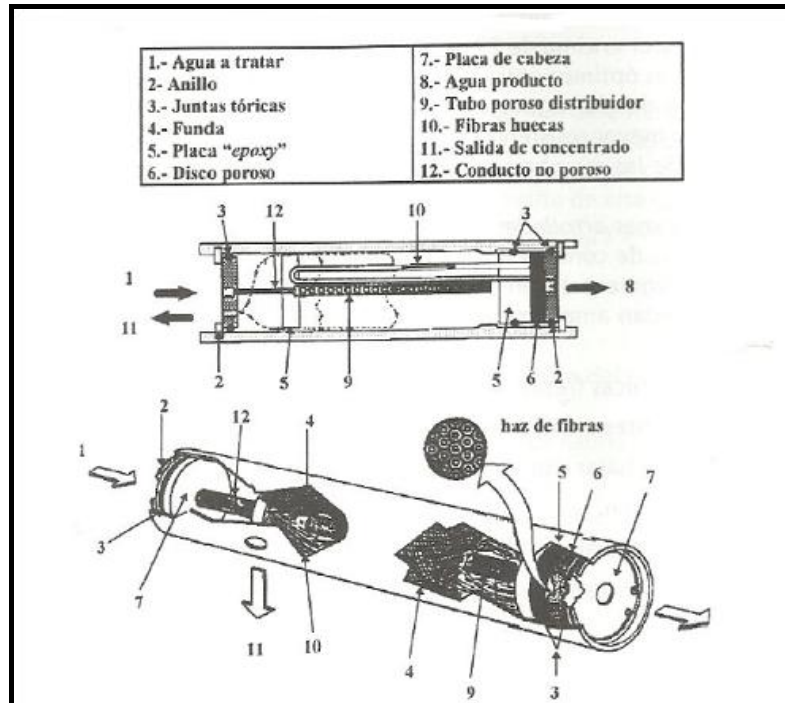


Figura 9.6-c: Imagen membrana de fibra hueca.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

El agua de alimentación entra a presión por un tubo poroso o distribuidor de flujo, que se extiende a lo largo del eje del módulo. De este modo, el agua es distribuida radialmente a partir de este tubo poroso central. Por efecto de la presión, el agua atraviesa las fibras, y el permeado de cada fibra individual fluye por el canal interior de la misma hasta llegar a una placa de resina epoxi de estanqueidad, que soporta los extremos libres de las fibras huecas. En esta zona se unen los flujos individuales de permeado, correspondientes a cada una de las fibras huecas, constituyendo el flujo global de permeado de dicho módulo, que es evacuado por medio de un disco poroso que permite el drenaje del permeado.

El rechazo queda en los espacios exteriores a las fibras y es evacuado, generalmente, por un conducto situado en el mismo lado del módulo que el de entrada del agua de alimentación. La estanqueidad se obtiene mediante las dos placas de fibra de vidrio epoxi situadas en los extremos del módulo y sujetadas por dos anillos de acero inoxidable.

En algunas configuraciones, el agua a tratar se introduce en el interior de las fibras huecas, que en este caso presentan la capa activa en el interior y no en el exterior como en el caso anterior. El permeado discurre por los espacios existentes entre las fibras, mientras que la salmuera lo hace por el interior de las mismas. Sin embargo esta configuración no es la más adecuada debido a que es más susceptible de tener mayores problemas de ensuciamiento siendo además más difícil la limpieza.

Las velocidades del flujo que suelen utilizarse son del orden de 0,5 a 2,5 m/s por lo que el número de Reynolds corresponde a flujo laminar. En un módulo de fibra hueca, el caudal de agua permeada por unidad de área de membrana es bajo y por tanto la polarización por concentración no es muy alta. No obstante, estas membranas deben operar por encima del caudal mínimo de rechazo para minimizar los efectos de polarización por concentración y mantener un buen caudal de distribución dentro del haz de fibras. De esta forma, un módulo de fibra hueca puede operar con valores de recobro de hasta un 50%.

Estos módulos tienen además la ventaja de presentar una elevada productividad en relación con el espacio que ocupan, pero prestan una serie de inconvenientes relacionados con su elevado coste y su facilidad de ensuciamiento.

Las membranas de fibra hueca están disponibles tanto para desalación de aguas salobres como para agua de mar. Pueden fabricarse con mezclas de ésteres de celulosa. Debido al gran empaquetamiento de fibras de estos módulos y al tortuoso recorrido que realiza el agua de alimentación dentro de ellos, los módulos de fibra hueca requieren un agua de alimentación de mejor calidad que la correspondiente a los módulos de membranas en arrollamiento en espiral.

Las membranas de fibra hueca son fabricadas en la actualidad por sólo dos fabricantes, Dupont y Toybo. Este último está más centrado en la fabricación de membranas de agua de mar.

- **Membranas de arrollamiento en espiral**

Las membranas de arrollamiento en espiral son las más utilizadas en los procesos de ósmosis inversa por ser las más económicas y compactas.

En la **Figura 9.6-d** se muestra una membrana de arrollamiento en espiral.

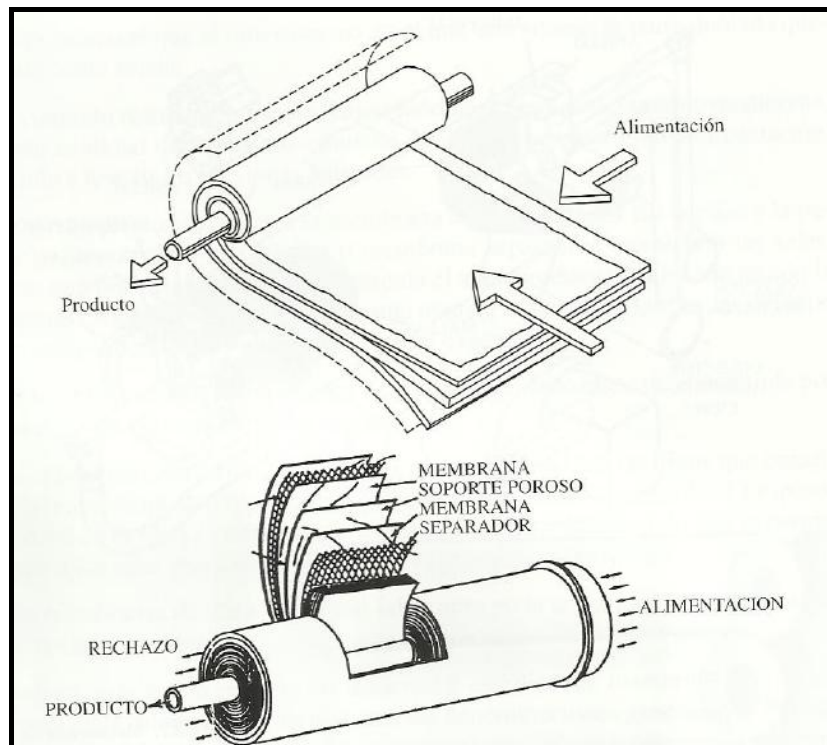


Figura 9.6-d: Imagen membrana de arrollamiento en espiral.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

En esta configuración, dos láminas de membrana se colocan paralelas con sus superficies activas hacia el exterior, y separadas por un canal constituido por una malla de material poroso. El conjunto está sellado por tres lados, el cuarto lado se mantiene abierto y unido a un conducto central que recoge y canaliza el permeado. Otra malla o rejilla, de espesor entre 0,75 y 1,10 mm, sirve de separador y constituye el canal por el que fluirá el conjunto alimentación-rechazo. Con esta malla se termina de ensamblar el sistema, sirviendo además como elemento de ayuda en la formación de régimen turbulento de la alimentación, disminuyendo los riesgos de formación de polarización por concentración.

La compacidad del módulo es elevada. El recorrido de la alimentación-rechazo a través del módulo de membrana es axial, desde el extremo de entrada de alimentación hasta el extremo de salida del rechazo.

Los fabricantes especifican, para cada tipo de membrana, el requerimiento de caudal mínimo de rechazo para evitar los fenómenos de polarización por concentración.

Debido a su amplia utilización, es la membrana que se comercializa en más tamaños, siendo el más utilizado, para plantas de ósmosis inversa medianas y grandes, el de 8 pulgadas de diámetro por 40 pulgadas de longitud (aproximadamente 20 por 10 cm).

Por otro lado, el factor de recobro está en función de la calidad del agua a tratar y de la longitud del recorrido de la alimentación-rechazo. Para poder operar con valores de recobros aceptables, las membranas se montan normalmente en tubos de presión que contienen 7 membranas conectadas en serie. El rechazo o salmuera producida por la primera membrana se convierte en la alimentación de la segunda y así sucesivamente.

Los tubos de presión tienen que estar fabricados en materiales capaces de soportar las presiones de trabajo y de resistir las agresiones de los agentes químicos utilizados en los procesos de limpieza de las membranas. Los materiales de construcción empleados suelen ser PVC o ABS para presiones inferiores a 8 kg/cm² y poliéster reforzado con fibra de vidrio o acero inoxidable para presiones superiores. El permeado de cada membrana entra en el colector central y sale del tubo de presión formando parte del permeado total de las membranas de ese tubo.

A continuación en la **Figura 9.6-e** se muestra la disposición de las membranas dentro de un tubo de presión.

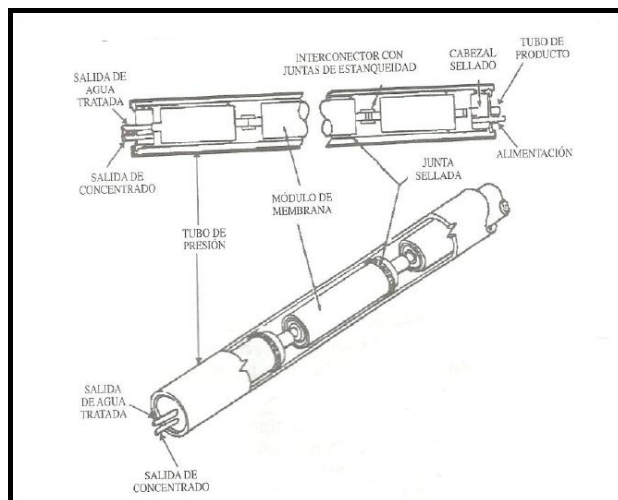


Figura 9.6-e: Disposición de las membranas en el interior del tubo de presión.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

Un tubo de presión que contenga entre 6 -7 membranas conectadas en serie puede operar con un recobro total del 47%, si las condiciones de diseño de la planta lo requieren.

Estos módulos de membrana pueden fabricarse de diferentes materiales, aunque los más frecuentes son los ésteres de celulosa, y polímeros sintéticos, generalmente poliamida aromática (trabajan con rendimientos óptimos a presiones entre 10 y 20 atm). No obstante, el ahorro energético y su mayor resistencia a los agentes químicos han impuesto actualmente el uso de las membranas de poliamida aromática para casi todas las aplicaciones.

Las membranas arrolladas en espiral presentan una productividad algo más baja que las de configuración en fibra hueca. Pero esta desventaja queda ampliamente compensada por las ventajas que se señalan a continuación:

- Más económicas frente a las de fibra hueca
- Más resistentes al ensuciamiento
- Permiten trabajar con aguas más cargadas
- Fácil reposición
- Efectividad y facilidad de lavado
- Mejor control de la calidad del proceso de fabricación

Entre los fabricantes de este tipo de membranas se encuentran las empresas Toray, Hydranautics, Fluid Systems y Filmtec-Down

9.7 MEMBRANAS COMERCIALES

9.7.1 INTRODUCCIÓN

Las membranas que se fabrican en la actualidad están normalizadas, con objeto no sólo de poder ser comparadas entre sí, en torno a unas condiciones de funcionamiento tipo, sino también y en el caso de las membranas de arrollamiento es espiral, poder sustituir unas por otras.

Esta normalización se basa fundamentalmente en el diámetro exterior de la membrana que suele ser de 4'' u 8''.

En cuanto a su longitud, las membranas espirales más comerciales suelen ser de 1 metro aunque las de 8'' se fabrican también de 1,5 m. Precisamente esta última longitud se está introduciendo cada vez más con objeto de aumentar el caudal, ya que se aprovecha mejor el espacio disponible.

Las membranas de fibra hueca, por su mayor capacidad unitaria, se consideran módulos individuales y sus diámetros comerciales son variables y específicos de cada fabricante. Ello impide con carácter general la sustitución de unas membranas por otras de distintos fabricantes. Muy recientemente se han comenzado a producir, por uno de los dos único fabricantes de este tipo de membranas, unidades similares a las del otro, para poder reemplazarlas.

Respecto a las pruebas en que quedan caracterizadas varían según que las membranas sean de agua de mar o salobre, pero tienen en cuenta en ambos casos lo siguiente:

- La salinidad del agua de alimentación
- La temperatura del agua
- La presión de funcionamiento
- La recuperación por elemento

A continuación, en la **Tabla 9.7-a** siguiente se muestran las condiciones de prueba de las membranas:

<i>Tipo membrana</i>	<i>Salinidad ppm</i>	<i>Temp °C</i>	<i>PH</i>	<i>Presión Kg/cm²(psi)</i>	<i>Conversión %</i>
<i>Arrollamiento espiral</i>					
Salobre baja presión y acetato de celulosa	1.500	25	5-6,5	15,5 (225)	10
Salobre media presión	2.000	25	6,5-7	27,6 (400)	10-15
Salobre ultrabaja presión	500	25	6,5-7	5,5-10,2 (80-150)	10
Nanofiltración	500	25	6,5-7	3,5-5,5 (50-80)	10
Agua de mar	32.000-35.000	25	6,5-7,5	55,2 (800)	10
<i>Fibra Hueca</i>					
Agua salobre	1.500	25	7,5	27,6 (400)	75
Agua de mar	35.000	25	7,5	68,9 (1000)	35

Tabla 9.7-a: Condiciones de prueba de las membranas.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

9.7.2 DIFERENCIAS ENTRE LAS MEMBRANAS DE ARROLLAMIENTO EN ESPIRAL Y LAS DE FIBRA HUECA

Existen algunas diferencias según sean membranas de fibra hueca o arrollamiento en espiral. Como bien se detalla en el apartado anterior, el resto de configuraciones tienen un menor uso, luego la elección de la membrana a instalar en la planta objeto estará entre estas dos.

A continuación se detallan las distintas diferencias respecto a variables de operación a tener muy en cuenta.

▪ Caudal

Las membranas espirales son más permeables, tienen mayor caudal unitario que las de fibra hueca, pero estas últimas, al tener más superficie por módulo son finalmente de mayor capacidad. En consecuencia, en una instalación de una determinada producción, las membranas de fibra hueca son menos y por tanto ocupan menos espacio que las membranas espirales.

Para una membrana de 8'' de diámetro externo tenemos las siguientes diferencias entre ambas (**Tabla 9.7-b**):

SUPERFICIE ACTIVA EFICAZ (m ²)	
Membrana de fibra hueca	575
Membrana arrollamiento en espiral	186
VOLUMEN OCUPADO (L)	
Membrana de fibra hueca	42,5
Membrana arrollamiento en espiral	227
CAUDAL (m ³ /d)	
Membrana de fibra hueca	388-555
Membrana arrollamiento en espiral	49-68

Tabla 9.7-b: Comparativa de las membranas respecto al caudal de operación.

Fuente: Desalación de aguas salobres y de mar, José Antonio Medina San Juan.

- **Presión de funcionamiento**

La menor permeabilidad de las membranas de fibra hueca exige mayores presiones transmembrana para vencer la presión osmótica. Por tanto las presiones de funcionamiento suelen ser mayores.

Por ello la resistencia que deben soportar ambos tipo de membranas son distintas y así como las membranas de fibra hueca de agua de mar se fabrican para soportar presiones de 84 kg/cm² (1.200 psi), las de arrollamiento en espiral soportan 70.5 kg/cm² (1.000 psi).

La consecuencia fundamental de esto es el mayor consumo energético que en general tienen las instalaciones de fibra hueca.

- **Ensuciamiento**

La gran compactación que se consigue con los permeatos de fibra hueca determinan espacios muy pequeños entre las fibras, normalmente inferiores a 20 micras.

En cambio en las membranas de arrollamiento en espiral los canales hidráulicos que se determinan mediante mallas separadoras son bastante superiores, por lo que, al menos desde un vista teórico, las membranas de fibra hueca son más propensas a ensuciarse u obstruirse que las espirales. De hecho los fabricantes de las primeras exigen que el SDI del agua a tratar sea inferior, mientras que en las otras permiten valores de dicho índice no superiores a 5.

Pueden ser por tanto sistemas de pretratamientos más caros en el caso de las membranas de fibra hueca.

- **Rechazo de sales**

Las membranas de fibra hueca suelen tener rechazos inferiores a las de arrollamiento en espiral. Así como en estas últimas valores del 99,5% son normales y algún fabricante incluso ofrece productos con rechazo del 99,8%, los de fibra hueca no superan el 99,4%.

En las membranas de fibra hueca las sales que atraviesan las membranas se disuelven en un volumen mayor desde la primera membrana, por lo que la concentración de éste es menor y el producto de menor salinidad.

En las membranas de arrollamiento en espiral, como se colocan de 6-7 membranas en un mismo tubo de presión, el permeado que sale de la primera es de excelente calidad, pero a medida que el agua avanza a través de las membranas se va concentrando y la presión de alimentación descendiendo, por lo que en cada membrana el caudal producido es menor y la salinidad mayor que en la membrana anterior. El resultado final del tubo es el de la mezcla de las producciones de todas las membranas del mismo.

9.8. PARÁMETROS OPERATIVOS EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE OI

Las membranas van perdiendo con el tiempo algunas de sus características más importantes, como el caudal o rechazo de sales. Se debe principalmente a las compactación producida por las altas presiones aplicadas, y a la acumulación sobre sus superficie de elementos disueltos o en suspensión que lleva el agua.

Por ello a la hora de realizar el diseño de una planta de ósmosis inversa, especificar los parámetros operativos que permitan definir un sistema efectivo para la consecución de los fines perseguidos, con los menores costes en su construcción y operación.

En la mayoría de los casos en los que se desala agua salobre o marina para distintos casos, esta consideración de efectividad se traslada a un diseño que produzca la cantidad y calidad de agua producto deseadas, con el mayor recobro posible.

Los principales parámetros a considerar en el diseño son los siguientes:

- Rendimiento de la instalación
- Caudal de agua producto
- Paso de sales

▪ Rendimiento

El rendimiento de la instalación (R) se expresa comúnmente en tanto por ciento, y es el cociente entre el caudal de agua producto Q_P obtenido a partir de un determinado caudal de agua a tratar Q_F :

$$R(\%) = \frac{Q_P}{Q_F} \cdot 100$$

El rendimiento constituye en la práctica un parámetro de diseño con una fuerte incidencia en los aspectos económicos relacionados con la construcción y la operación de las plantas de ósmosis inversa.

Al marcar un rendimiento en el diseño, se están especificando aspectos tales como la cantidad de agua de alimentación por unidad de agua producida, el tipo y magnitud del pretratamiento y el consumo de energía y de reactivos químicos. Además, también influye en la salinidad del producto, en la presión de operación y en la concentración de sales de la salmuera.

El valor máximo del rendimiento está limitado por algunos factores, siendo entre ellos el más importante la presión osmótica de la salmuera, la cual está directamente relacionada con su contenido total en sólidos disueltos (STD).

La presión efectiva de operación de una planta de OI se define como la presión suministrada por la bomba de alta presión a la alimentación menos la presión osmótica del flujo alimentación-salmuera. Un alto valor del rendimiento implica una elevada concentración de sales disueltas en la salmuera, con el consiguiente incremento en su presión osmótica, lo que provoca una disminución de la presión efectiva y por tanto, de la productividad de la planta, entendida ésta como caudal de permeado.

Si el valor del rendimiento es muy elevado, las sales menos solubles presentes en la alimentación, como el carbonato cálcico, sulfato cálcico..., pueden sobrepasar su límite de solubilidad en la salmuera, precipitando sobre la superficie de las membranas, dando lugar a ensuciamiento. En la **Figura 9.8-a** se muestra el factor de concentración en la salmuera en función del rendimiento.

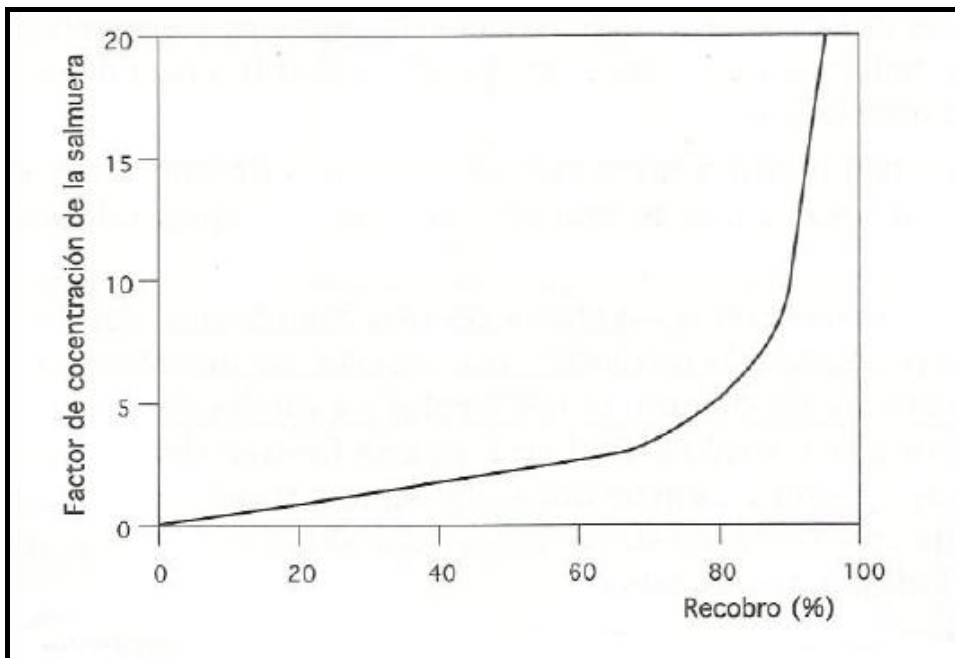


Figura 9.8-a: Factor de concentración en la salmuera en función del rendimiento.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

El rendimiento de diseño de plantas de OI para desalación de agua de mar, los principales factores que determinan el valor máximo de rendimiento son la presión en la alimentación (muy elevada en estos sistemas) y la salinidad deseada en el agua producto, valores que se incrementan de manera importante al aumentar el valor del rendimiento. Los rendimientos más frecuentes oscilan entre el 25-45%, dependiendo de la salinidad a tratar. Sin embargo, en la práctica, el rendimiento puede alcanzar valores superiores en el caso de plantas en el que el agua bruta de alimentación sea de calidad alta, es decir, en el caso en el que el agua de alimentación contenga un SDI bajo.

También se puede aumentar el rendimiento de la instalación diseñando la planta de OI con varias etapas hidráulicas, con respecto a la línea de flujo alimentación-salmuera. Cada etapa hidráulica contiene un número menor de membranas de OI que la etapa anterior, lo que garantiza una constancia relativa de la velocidad del agua de alimentación en los módulos de OI. Así en la

práctica, para trabajar hasta un recobro máximo del 55% se dispone de una sola etapa, hasta el 75% en dos etapas y hasta el 90% en tres etapas.

Como la mayoría de las plantas de OI se diseñan manteniendo constante en el tiempo el caudal de agua producto, esto se traduce en un incremento de presión osmótica con el tiempo, lo que requerirá un incremento de la presión de operación, al mismo tiempo que se genera un incremento de la salinidad media del flujo alimentación-salmuera, dando lugar a un aumento del paso de sales a través de la membrana.

▪ Caudal de agua producto

El caudal de agua producto a través de una membrana semipermeable ideal viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_p = K \cdot \Delta P^*$$

Dónde:

- K es una constante característica de cada tipo de membrana
- ΔP^* es la diferencia de presión neta a través de la membrana

El flujo de volumen (J_v) a través de una membrana, definido como volumen de agua desalada producida por unidad de superficie de membrana instalada y unidad de tiempo, se suele referir a un día de operación y expresarse en m^3/m^2 . El flujo de volumen es una función del tipo de membrana utilizada y del origen y características del agua a tratar.

Esto permite calcular, siempre dentro de un rango conservador, la superficie de membrana a instalar para obtener un determinado caudal de agua producto diario y dividiendo esta superficie global por la superficie de filtración de la membrana específica que se desea instalar, se obtiene el número de membranas idóneo, siempre y cuando se opere en condiciones similares a las condiciones normalizadas en las que se realizaron los cálculos de los caudales específicos de dichas membranas.

Cuando se diseña una planta de OI y se quiere conocer su productividad real, en cuanto a caudal de agua producto se refiere, presente y futura, se han de realizar unas correcciones que tengan en cuenta las variaciones de los factores que influyen en los caudales específico con respecto a las condiciones normalizadas. De este modo, se han de considerar tres factores de corrección relacionados con la presión de operación, la temperatura del agua de alimentación y el tiempo de operación de la planta. Todo esto puede expresarse en la siguiente ecuación:

$$Q_p = f_p \cdot f_T \cdot f_t \cdot Q_{p,0}$$

Dónde:

- Q_p es el caudal producto de la planta de OI en las condiciones reales de trabajo
- $Q_{p,0}$ es el caudal producto de la planta en las condiciones normalizadas
- f_p es el factor de corrección de la productividad asociado a la presión
- f_T es el factor de corrección debido a la temperatura

- f_t es el factor de disminución del caudal específico de las membranas como consecuencia del tiempo de operación.

A continuación se detallan estos tres factores de corrección, lo cuales influyen de forma directa en la productividad de una planta de OI.

- **Factor corrector de la temperatura**

La capacidad instantánea de producción de una planta de OI está condicionada por la temperatura del agua de alimentación (θ). Si se toma 25°C como temperatura de referencia, se define el coeficiente corrector para la temperatura, como el cociente entre la productividad a la temperatura de operación y la productividad a 25°C, manteniendo constantes los otros parámetros operativos (presión y caudal), estableciéndose empíricamente que:

$$f_T = \frac{Q_p(\theta)}{Q_p(25)} = A^{(\theta-25)} = \exp\left[K_T\left(\frac{T}{298}\right)\right]$$

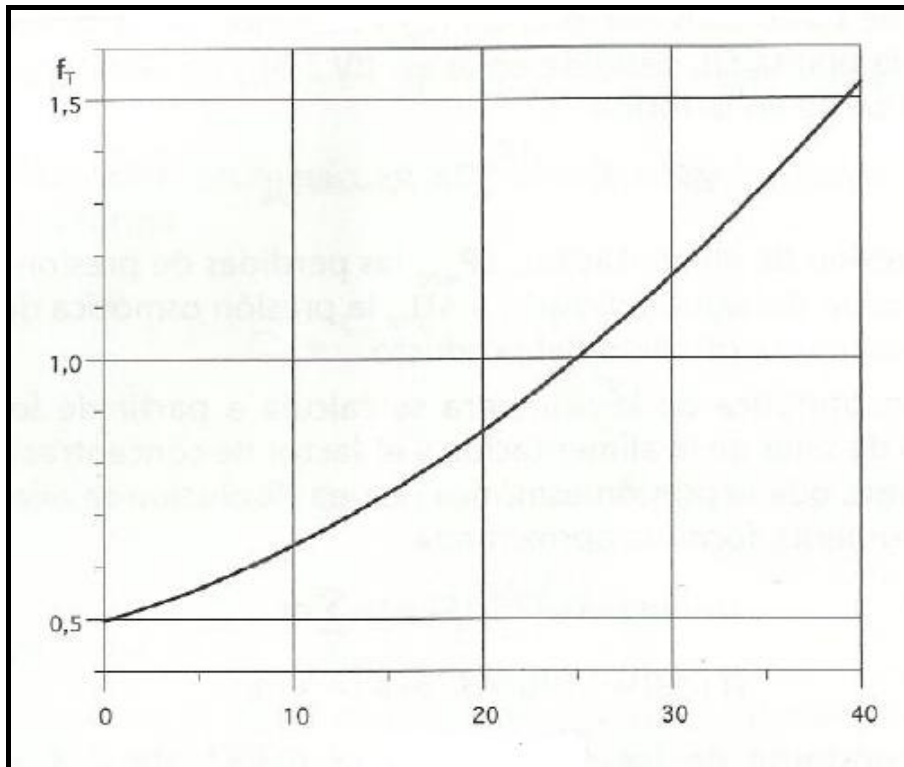
Donde:

- $Q_p(\theta)$: caudal de producción de la planta a la temperatura Celsius θ .
- $Q_p(25)$: caudal de producción de la planta a 25°C.
- A: constante característica de cada tipo de membrana, generalmente con un valor próximo a la unidad.
- T: temperatura en grados Kelvin.
- K_T : constante dependiente del tipo de membrana (varía entre 2.100 y 2.800).

La temperatura es pues un factor muy importante a tener en cuenta en los procesos de OI, ya que afecta a la productividad de las membranas, a su degradación físico-química, así como a la solubilidad de determinadas sales y a determinadas propiedades físicas del agua, tal como la viscosidad.

En la ecuación anterior, la temperatura de referencia es 25°C, ya que es ésta la temperatura a la que los fabricantes de membrana calculan la productividad normalizada de las mismas. En la práctica, raramente se tiene un agua de alimentación a 25°C, salvo que se proceda a su calentamiento, por lo que el diseño de una planta de OI se debe realizar ajustándolo, en la medida de lo posible, a la temperatura media real de la alimentación o bien a una temperatura relativamente baja y conservadora.

En la práctica, la influencia de la temperatura sobre la productividad varía aproximadamente en torno a un 2-3%, por cada grado de aumento o disminución de la temperatura con relación a 25°C. En resumen, cuanto mayor sea la temperatura del agua de alimentación mayor productividad se obtendrá, lo que permite poder emplear un menor número de membranas o trabajar a menores presiones. Por el contrario, cuanto mayor es la temperatura, mayor es la velocidad de degradación de las membranas y, por tanto, menor será su vida media productiva. A continuación en la **Gráfica 9.8-b** se puede ver la variación del coeficiente corrector por temperatura en función de la temperatura del agua de alimentación.



Gráfica 9.8-b: Variación del coeficiente corrector por temperatura de la productividad de un módulo en función de la temperatura del agua de alimentación.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

La temperatura juega un papel muy importante sobre la degradación química de las membranas, ya que todas las reacciones químicas están influenciadas por la temperatura y en consecuencia la velocidad de los procesos de degradación por hidrólisis u oxidación aumentan al hacerlo la temperatura de operación. Por otro lado, los límites de pH y contenido en cloro permisibles en el agua de alimentación están calculados a una temperatura de 25°C, por lo que una variación de la temperatura variará estos límites, pudiendo afectar negativamente a la vida media de las membranas.

Por otra parte, todas las membranas sufren un fenómeno conocido como compactación, que también está influenciado por la temperatura y la presión de operación, consistiendo básicamente en la deformación por aplastamiento de los lechos porosos soporte de la capa activa de las membranas, lo que provoca una disminución del flujo de permeado.

Además, un incremento en la temperatura favorece el paso de sales a través de las membranas. Si se considera que en la mayoría de plantas de OI se diseñan para obtener un caudal de permeado constante en el tiempo, los cambios en la temperatura de la alimentación deberán ser compensados ajustando la presión de operación. Por esta razón, un incremento en la temperatura de alimentación con el correspondiente descenso en la presión de operación da como resultado un aumento de la salinidad del agua producto.

- **Factor corrector de la presión**

El factor de corrección por presión (fp) es función de la presión de operación de la planta de OI, corregida con el efecto de pérdida de carga de la siguiente forma:

$$\Delta P^* = P_{F-} - \frac{\Delta P_{mod}}{2} - P_p - \Delta \Pi_{FR}$$

Donde:

- P_{F-} : presión de alimentación.
- ΔP_{mod} : pérdida de presión en los módulos.
- P_p : presión del agua producto.
- $\Delta \Pi_{FR}$: presión osmótica del conjunto alimentación-salmuera respecto del producto.

- **Factor corrector del tiempo de operación**

Durante el período de tiempo de operación de una planta de ósmosis inversa, todas las membranas sufren cambios en su estructura física interna y en su superficie experimentando compactación, que como ya se ha dicho anteriormente es consecuencia de la compresión de la estructura por efecto de la presión de transmembranal, lo que causa una disminución en la permeabilidad de la membrana, es decir, se vuelven más densas y menos permeables al agua y a las sales.

La variación de f_t y por consiguiente del caudal de producción de una planta de ósmosis inversa, viene definido por el fabricante de la membrana instalada en la unidad. No obstante de forma general se tiene unos valores aproximados de descenso de caudales en función del tipo de agua a tratar (pueden verse en la **Tabla 9.8-a** que se muestra a continuación).

Tipo de Agua de Alimentación	Porcentaje de descenso de caudales* (para tres años)
Agua superficial	de 3,5 a 5,0
Agua subterránea	de 2,0 a 3,5
Agua osmotizada	de 1,0 a 2,0

Tabla 9.8-a: Valores de f_t en función del agua a tratar.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

▪ **Paso de sales**

El paso de sales (PS) se define como el cociente entre la concentración de sales de permeado (C_p) con respecto al promedio de concentración de sales en la alimentación (C_f):

$$SP = \frac{C_P}{C_F}$$

Este parámetro viene reflejado en los cuadros de características técnicas de las membranas.

El incremento del paso de sales en una membrana de ósmosis inversa con el tiempo de operación, es un reflejo del fenómeno de degradación de la membrana, debida al fouling y a la exposición de las membranas a compuestos químicos agresivos durante los procesos de limpieza. En las plantas de OI que trabajen con agua de alimentación de buena calidad y por tanto no requieran frecuentes ciclos de limpieza, las características de paso de sales de las membranas permanecerán constantes con el tiempo.

El factor oscila entre 1,5-2 para membranas celulósicas y entre 1,1-1,5 para membranas de poliamida para tres años de funcionamiento.

9.9. CONFIGURACIÓN MODULAR DE LAS PLANTAS DE ÓSMOSIS INVERSA

Una planta de ósmosis inversa consiste esencialmente en una bomba para presurizar el agua de alimentación, un módulo de ósmosis inversa y una válvula de regulación de caudal de salmuera, para controlar el rendimiento. El término módulo OI se utiliza para definir la unidad de funcionamiento más pequeña posible, que puede contener una o más membranas y sus estructuras de soporte.

La principal característica de un módulo de OI es que, en su interior, los canales por los que circula la disolución alimentación-salmuera están perfectamente sellados con respecto a los canales por lo que circula el agua producto, evitándose cortocircuitos hidráulicos. Otras características pueden ser:

- Estabilidad mecánica, evitando pérdidas de presión
- De carácter hidrodinámico. Tienden a evitar la acumulación tanto de sales como de elementos causantes del ensuciamiento de las superficies de la membrana
- De carácter económico. El diseño debe tener la mayor densidad posible de empaquetamiento de membranas por contenedor, con el fin de reducir los costes de inversión. Además se tendrá en cuenta, que el diseño de los módulos de OI debe contemplar la posibilidad de sustitución rápida y sencilla de las membranas.

Una planta de ósmosis inversa típica es la que utiliza este diseño básico en forma modular hasta alcanzar la calidad y cantidad de agua producto que se desea.

En la **Figura 9.9-a** siguiente se muestra un esquema básico de una planta de OI, en el que se resaltan principalmente los elementos más importantes de la misma.

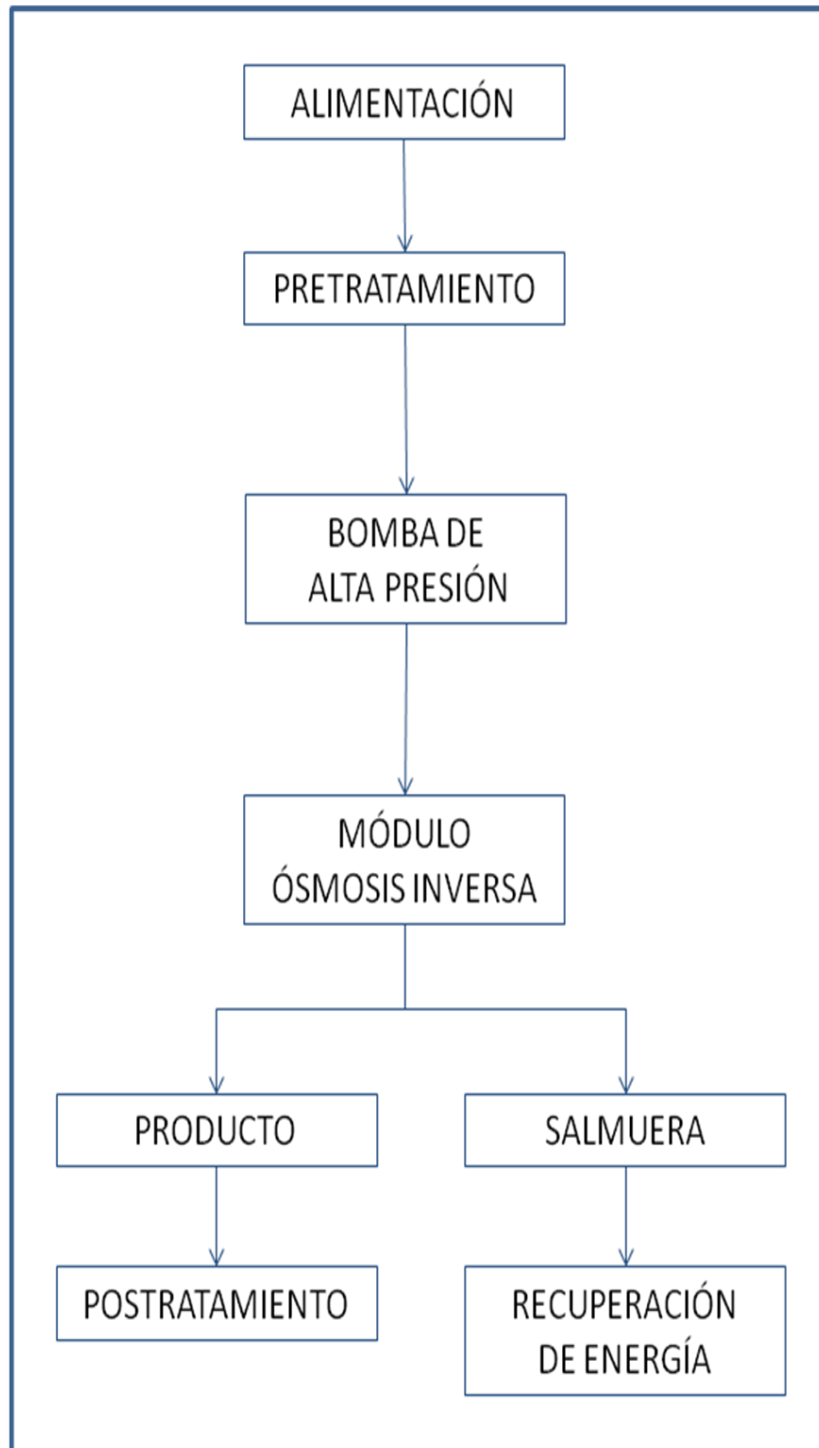


Figura 9.9-a: Esquema básico de una planta de desalación mediante ósmosis inversa.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

El módulo de ósmosis inversa puede tener distintas configuraciones. A continuación se va a desarrollar brevemente las distintas configuraciones que se pueden adoptar en el diseño y construcción de las plantas de OI, en función de las necesidades del agua, uso de la misma y aprovechamiento racional de los recursos de agua a tratar.

Sin embargo es necesario conocer previamente algunos conceptos:

- *Etapa*

Es cada una de las unidades de producción que son alimentadas desde una bomba de presión. Es decir un conjunto de tubos de presión alimentadas por una bomba constituye una etapa.

- *Paso*

Es el conjunto de tubos de presión o membranas que siendo alimentadas con los caudales de agua salen de las membranas de la primera etapa de la ósmosis precisan de otra fuente de energía distinta a la anterior para recuperar un nuevo caudal.

- *Simple*

Es un conjunto de membranas individualmente o en tubos de presión, colocadas en paralelo, que son alimentadas desde una bomba

- *Etapas de salmuera*

Consiste en una serie de tubos colocados en paralelo y otros en serie, de forma que la salmuera de los primeros es utilizada como alimentación de los segundos.

- *Etapas de producto*

Consiste en pasar el agua producto por un nuevo conjunto de membranas, utilizando para ello una bomba independiente.

A continuación se desarrollan las distintas configuraciones modulares que se pueden tener en las plantas de OI.

▪ **Planta unimodular**

En la **Figura 9.9-b** se muestra la forma más sencilla de una planta de OI. Las plantas unimodulares son útiles cuando el caudal de permeado no es superior al que se puede obtener con un solo módulo, pudiendo contener éste de una a siete membranas.

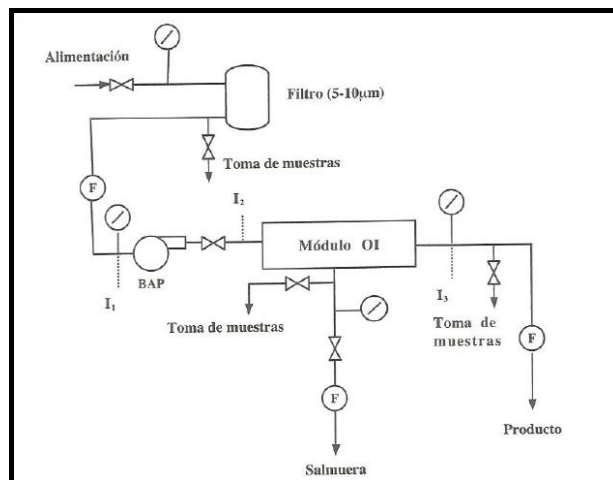


Figura 9.9-b: Planta unimodular.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

▪ **Planta multimodular**

La mayoría de las plantas de OI requieren más de un módulo de ósmosis inversa para producir la cantidad y calidad de agua producto deseada. De entre todas las posibles, son tres las disposiciones básicas de módulos de ósmosis inversa que más se utilizan actualmente en el diseño de este tipo de instalaciones.

- Una etapa hidráulica con los módulos de OI en paralelo

Se diseña cuando el caudal de permeado necesario es superior al producido por un solo módulo. Se puede ver en la **Figura 9.9-c** siguiente:

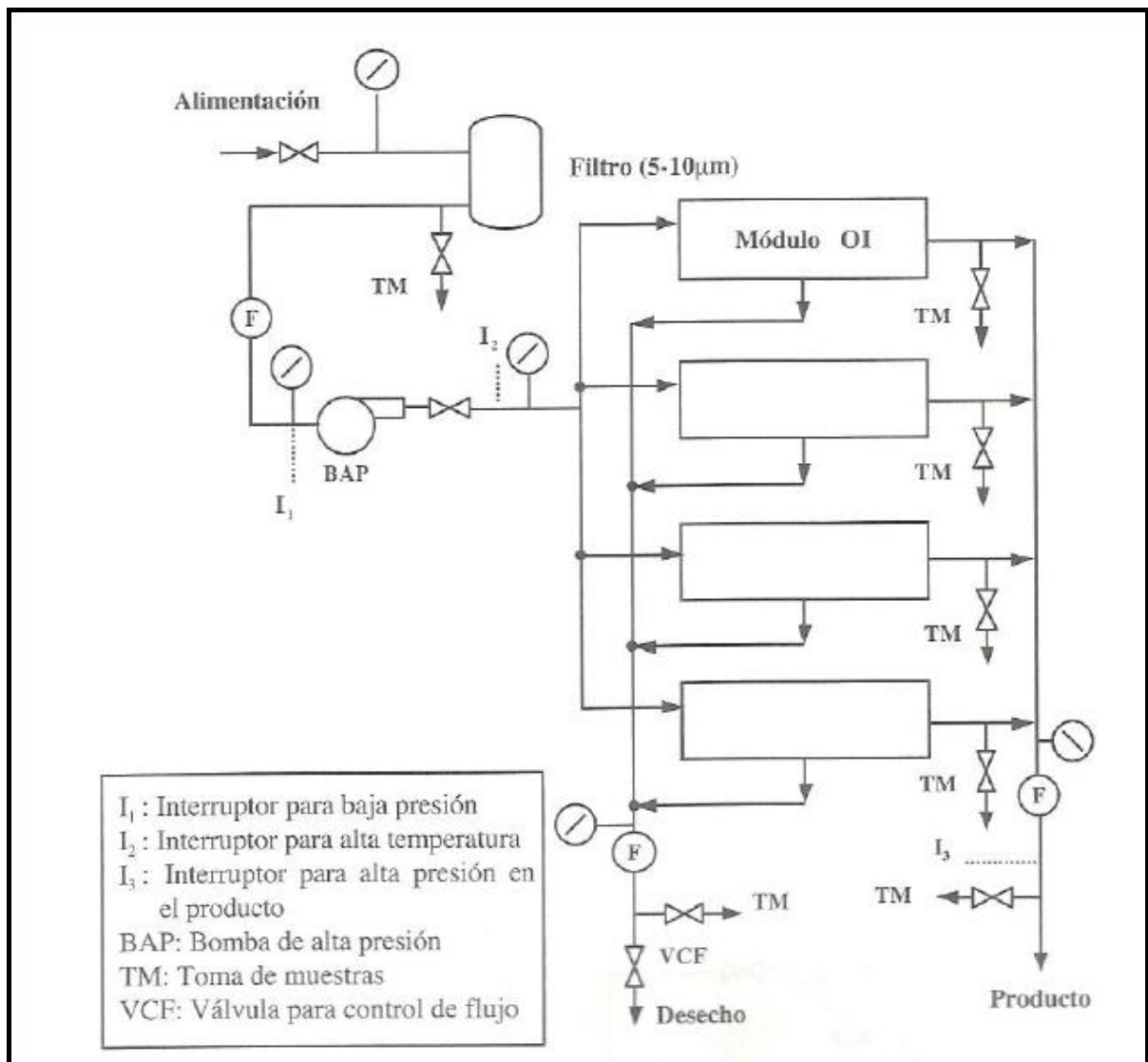


Figura 9.9-c: Una etapa hidráulica con módulos de OI en paralelo.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

- *Varias etapas hidráulicas para la salmuera*

Este tipo de diseño se realiza con el fin de obtener la mayor cantidad de agua producto a partir de una determinada cantidad de agua a tratar .Se puede ver en la **Figura 9.9-d** siguiente:

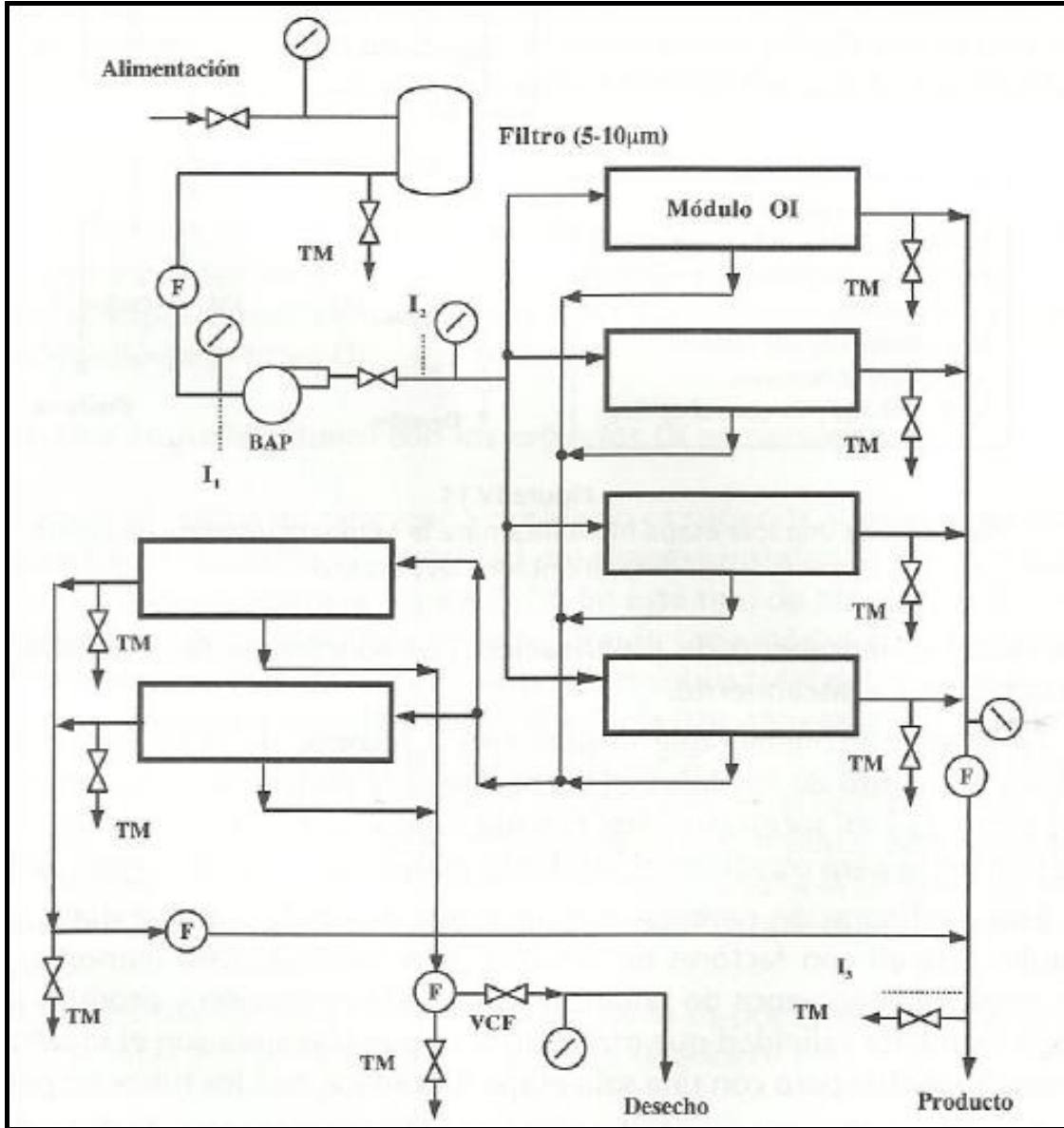


Figura 9.9-d: Varias etapas para la salmuera.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

- *Varias etapas en la línea de producto*

Se diseñan cuando se necesita agua de producto de calidad superior a la obtenida con una sola etapa hidráulica para el producto. Se puede ver en la **figura 9.9-e** siguiente:

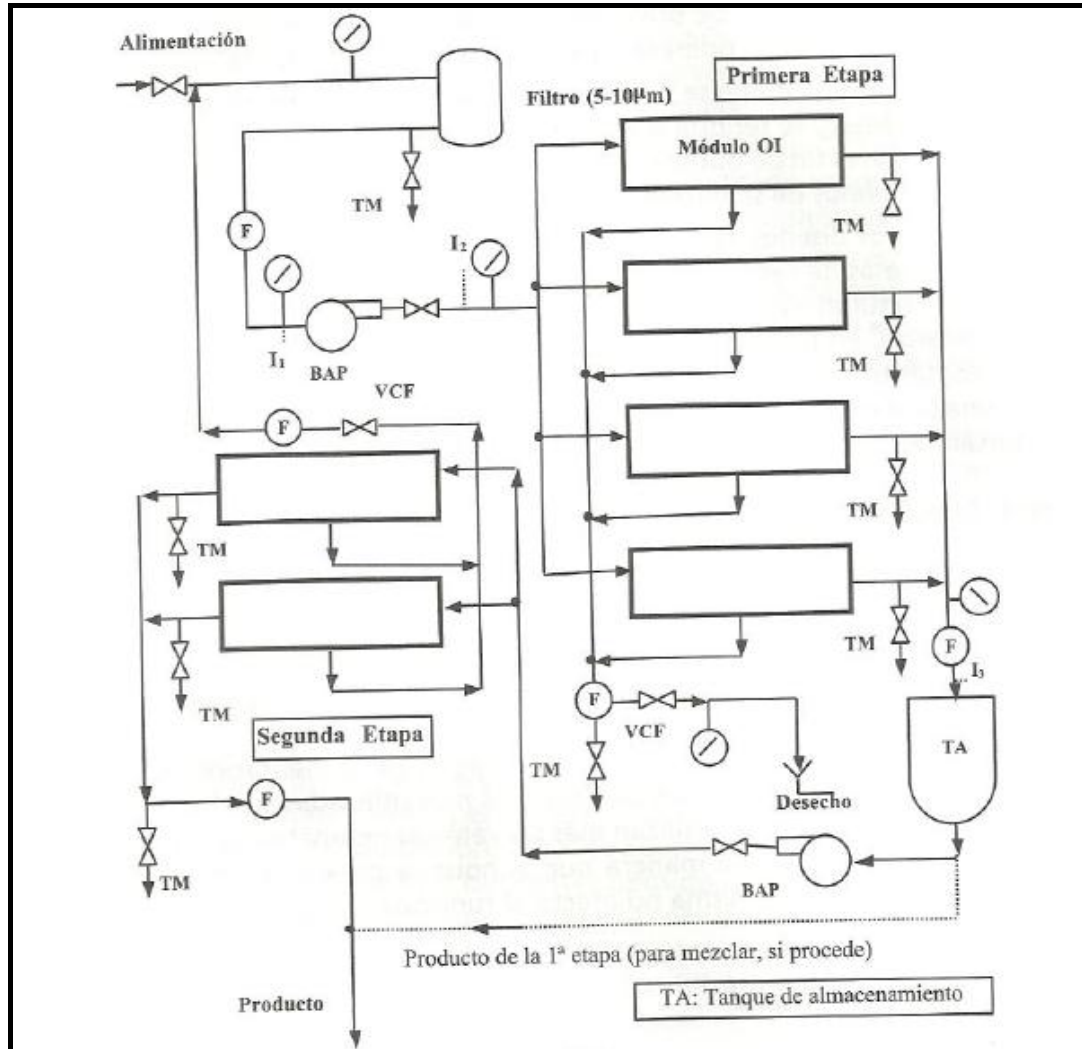


Figura 9.9-e: Varias etapas en la línea de producto.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

La posterior aparición de membranas de agua de mar con rechazos superiores al 99,3%, que permiten obtener agua potable en un solo paso, hace innecesario este tipo de instalaciones.

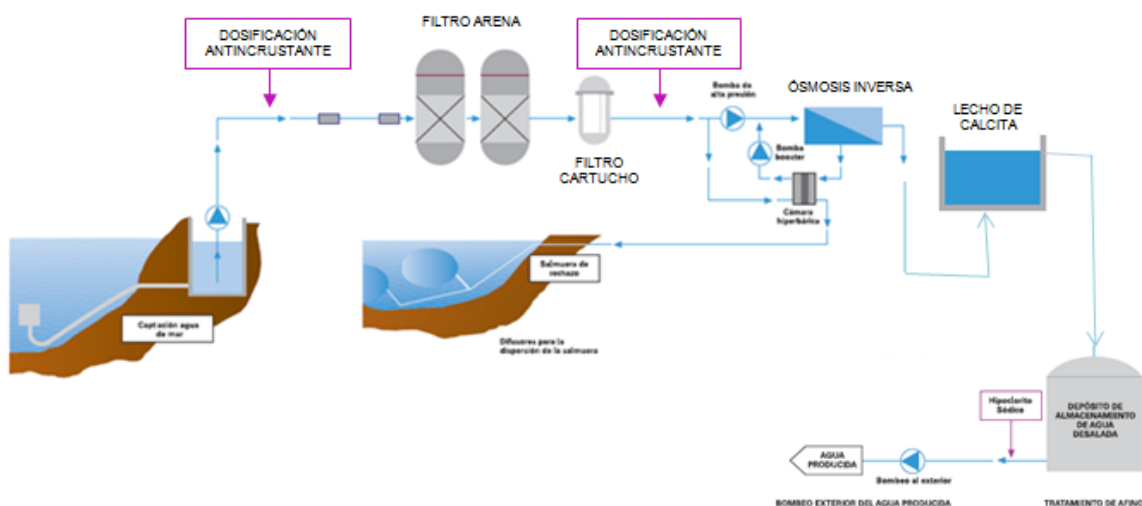
CAPÍTULO 10: DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA – EQUIPOS

10.1. INTRODUCCIÓN

La planta se encuentra ubicada en la isla de Fuerteventura. La instalación permitirá aportar un volumen anual de 7,5 hm³. Con dicha instalación se solventarán los problemas hidráulicos a los que está sometido el municipio en los últimos años.

La desaladora está configurada en 4 líneas exactamente iguales de ósmosis inversa con recuperación de energía mediante intercambiadores de presión. Además, debido a la gran calidad del agua bruta, ésta será sometida a un pretratamiento sencillo, consistente en la dosificación de dos reactivos químicos, un antiincrustante y un reductor, y dos etapas de filtración, por arena y por cartuchos. Finalmente, para adaptar la calidad del agua desalada a la del agua potable y cumplir así con la normativa vigente de calidad de las aguas para abastecimiento (RD 140/2003), se somete a un post-tratamiento que consiste en una remineralización empleando dióxido de carbono y calcita, y dosificación de hipoclorito sódico.

A continuación se muestra un esquema general de la planta:



10.2. CAPTACIÓN Y BOMBEO DE AGUA DE MAR

10.2.1. TOMA DE AGUA

La captación del agua de mar se puede realizar con pozos costeros (toma cerrada) o bien mediante toma directa del mar. La opción a elegir tendrá una importante incidencia sobre el coste final del agua desalada. Esta diferencia de coste se debe no a la obra de captación en sí, que es poco significativa en un caso u otro, sino a la diferente calidad del agua captada y, en consecuencia, a los distintos tratamientos requeridos para su proceso. En términos generales, puede afirmarse que las aguas de pozo son de mejor calidad que las tomadas directamente del mar, puesto que con la toma de pozo se está empleando el poder autodepurador del suelo y subsuelo para eliminar materia orgánica y, frecuentemente, sólidos en suspensión. Por el contrario, las aguas marinas del litoral español suelen estar más o

menos contaminadas en superficie, lo que exige tomas a mayor profundidad, con las consiguientes dificultades técnicas, de operación y encarecimiento.

La captación de pozo comporta, en definitiva, un menor coste de explotación y un funcionamiento de la planta más sencillo.

Las ventajas principales que ofrece la toma de agua mediante pozos son las siguientes:

- Limpieza del agua como consecuencia de su filtrado en el terreno, lo que se traduce en unos índices de turbidez (NTU) y de colmatación (SDI) bajos.
- Ausencia de contaminación orgánica y biológica.
- Bajo contenido de oxígeno disuelto.
- Baja contaminación.
- Temperaturas bastantes estables.

En general podemos clasificar los pozos en pozos abiertos, de construcción manual y diámetros grandes que se pueden identificar con los pozos existentes en las casas de campo, y en pozos perforados con máquina, de pequeño diámetros (menor de 0,5 m) y con buenos caudales.

Los pozos verticales son los más extendidos y se construyen con maquinaria, que puede clasificarse según tres variaciones principales de perforación: percusión, rotación y rotopercusión. La utilización de uno de estos métodos de perforación está condicionada por las características hidrogeológicas de la zona donde se sitúe la obra.

Los pozos verticales clásicos requieren en ocasiones, por imperativo hidrogeológico el empleo de algunas variantes como son los pozos con drenes radiales horizontales o simplemente pozos radiales. Los pozos radiales se utilizan en plantas desaladoras debido a que están albergados en las playas, por ello es por lo que son llamados tradicionalmente pozos playeros.

Por tanto, por todas las ventajas expuestas en los párrafos anteriores y tras consultar en instalaciones próximas a la nuestra, la captación de agua bruta se realizará por toma cerrada mediante pozos playeros.

Teniendo en cuenta que el caudal típico de suministro de estos pozos, según bibliografía, es 6.000 m³/h, se tendrá 3 pozos por línea y 12 en total. En cada uno de ellos se instalará la bomba de captación correspondiente.

El diseño de estos pozos no será objeto del presente proyecto.

10.2.2. BOMBA DE CAPTACIÓN

La bomba de captación se encarga de impulsar el agua bruta desde los pozos playeros hasta el depósito intermedio.

DATOS DE DISEÑO

La bomba seleccionada para llevar a cabo la captación de agua bruta debe aportar un caudal de 248,930 m³/h y una de 38,24 m. La bomba es de tipo centrífuga. La empresa

suministradora es Bombas ITUR y el modelo elegido es el RW. El número total de bombas a instalar en la instalación son 4.

Las prestaciones máximas de la bomba seleccionada se detallan a continuación en la **Tabla 10.2-a**:

“BOMBA DE CAPTACIÓN DE BOMBAS ITUR, MODELO RW”	
Caudal (m³/h)	700
Altura útil (m)	100
Presión (bar)	16
Temperatura (°C)	-5+120
Revoluciones (min⁻¹)	3.000

Tabla 10.2-a: Prestaciones máximas de la bomba de captación seleccionada.

Fuente: Bombas ITUR S.A.

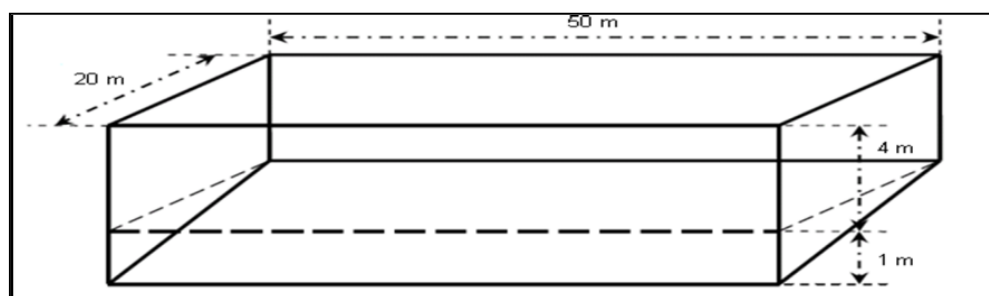
El cálculo justificativo de la selección de la bomba de captación se encuentra en el **ANEXO 6** del presente proyecto

10.2.3. DEPÓSITO INTERMEDIO

Para asegurar el aporte continuo y sin fluctuaciones de agua bruta a las líneas de producción se instala en la planta un depósito intermedio entre la captación y la impulsión del agua a los pretratamientos.

DATOS DE DISEÑO

El depósito se construye de hormigón armado y sus dimensiones como puede verse en **ANEXO 7** correspondiente al dimensionado de depósitos son:



10.2.4. BOMBA TRASVASE DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

Con esta bomba se impulsará el caudal de agua bruta de alimentación desde el depósito intermedio hasta los filtros de arena.

DATOS DE DISEÑO

La bomba seleccionada para llevar a cabo el trasvase de agua bruta desde el depósito intermedio hasta la unidad de pretratamiento debe aportar un caudal de 487,589 m³/h y una

carga de 38,001 m. La bomba es de tipo centrífuga. La empresa suministradora es Bombas ITUR y el modelo elegido es el INP. El número total de bombas a instalar en la instalación son 4.

Las prestaciones máximas de la bomba seleccionada se detallan a continuación en la **Tabla 10.2-b:**

“BOMBA DE TRASVASE AGUA ALIMENTACIÓN, ITUR, MODELO INP”	
Caudal (m³/h)	1.500
Altura útil (m)	100
Presión (bar)	10
Temperatura (°C)	-5+120
Revoluciones (min⁻¹)	3.000

Tabla 10.2-b: Prestaciones máximas de la bomba de captación seleccionada.

Fuente: Bombas ITUR S.A.

10.3. PRETRATAMIENTOS

El agua que se va desalar contiene una serie de componentes orgánicos y no orgánicos que deben ser controlados dentro de unos determinados límites, de forma que cuando llegue a las membranas no se produzca un deterioro importante de las mismas.

Por ello, hay que acondicionar el agua de alimentación antes de someterla al proceso de ósmosis inversa, sometiéndola a una serie de tratamientos que pueden ser de dos tipos:

- Físicos: destinados a eliminar fundamentalmente los elementos sólidos, algas y materia orgánica.
- Químicos: destinados a evitar ataques a la membrana o precipitados de sales sobre la misma.

Para determinar qué pretratamiento es necesario aplicar al agua de alimentación, de forma que se salvaguarde a las membranas del ensuciamiento prematuro, es necesario realizar un análisis del agua y así conocer la calidad de la misma.

Entre los parámetros a considerar, se encuentran:

- Parámetros físico-químicos tales como temperatura, pH y conductividad eléctrica.
- Cantidad y tipos de microorganismos existentes
- Índice de densidad de sedimentos (SDI) que se mide a través de la turbidez.

Teniendo en cuenta la analítica proporcionada por el ITC (adjunta en el **ANEXO 8**), observamos que puede considerarse nuestra agua bruta como agua de muy buena calidad, por lo que el sistema de pretratamiento a diseñar es un sistema poco complejo con el consiguiente ahorro económico.

10.3.1 PRETRATAMIENTOS FÍSICOS

El objetivo de estos pretratamientos es eliminar fundamentalmente los elementos sólidos, algas y materia orgánica que se encuentran en el agua de alimentación. Es muy importante eliminarlos o conseguir mantenerlos dentro de unos determinados límites para evitar el deterioro o avería del sistema hidráulico y de las membranas fundamentalmente.

El número y tipo de pretratamientos físicos, como bien se indica en la introducción, dependerá de las características del agua de alimentación, las cuáles están directamente relacionadas con el tipo de captación elegida.

En muchas ocasiones el pretratamiento físico debe ayudarse con adición de componentes químicos que consigan una mayor depuración, como por ejemplo la adición de coagulantes para la formación de flóculos.

Teniendo en cuenta la gran calidad del agua bruta de alimentación, los pretratamientos físicos a los que será sometido antes de entrar en los bastidores de ósmosis inversa son la filtración grosera y la filtración de afino. Esta última se realiza generalmente como etapa previa a la entrada del agua en las membranas y como exigencia por parte de los fabricantes de las mismas para garantizar su correcto funcionamiento.

▪ **FILTRACIÓN GROSERA: FILTROS DE ARENA**

La filtración grosera se realiza con filtros que contienen una o más capas de material filtrante. En ellos el agua se introduce por la parte superior y va percolando a través de las distintas capas, llegando a la parte inferior donde es recogida.

Para el diseño de los filtros de arena un factor fundamental es la velocidad de filtración. Ésta depende de la presión aplicada, de la granulometría usada y de la profundidad de la capa o capas del material filtrante.

Los filtros que se utilizan pueden ser tanto abiertos como cerrados, y en ellos se deposita un material poroso que actúa a modo de medio filtrante. Dependiendo de este, podemos tener filtros de arena abiertos o de gravedad y cerrados o de presión.

Pero además, por la forma en que se realiza el proceso de filtración puede hablarse de filtración lenta o rápida.

Los filtros lentos utilizan velocidades de filtración muy bajas, 0,1-0,4 m/h lo que implica tener mayor espacio en la instalación. Son más fáciles de operar y se limpian solamente con agua a contracorriente.

Los filtros rápidos funcionan a velocidades más elevadas que varían entre 5-7,5 m/h para los filtros de gravedad y de 7-12 m/h para los filtros a presión. La filtración rápida es más eficaz. En instalaciones de ósmosis inversa sólo se emplean los filtros rápidos.

En los filtros abiertos, la altura de la columna de agua necesaria para efectuar la filtración es de 1-1,5 m y por ellos la velocidad de filtración no es tan elevada. En la parte inferior llevan un falso suelo en el que se disponen una serie de boquillas uniformemente repartidas para recoger el agua filtrada, que se almacena en un depósito situado en la parte inferior de los filtros y desde él se vuelve a bombear hacia la siguiente fase del proceso.

Los filtros de presión empleados en las instalaciones de ósmosis inversa trabajan en el intervalo de 3,5-7,5 Kg/cm² y pueden ser verticales u horizontales.

Generalmente son unos depósitos metálicos, cuyo tamaño viene limitado por el precio y la resistencia de los materiales que se emplean. En su parte inferior se colocan, al igual que en

los filtros abiertos, unos colectores o placas con boquillas que recogen el agua que atraviesa en forma descendente el material filtrante.

Las mayores velocidades de filtración de los filtros de presión hacen de ellos los preferidos en las instalaciones de ósmosis inversa. Los filtros verticales producen una calidad de filtrado superior y más homogénea que los horizontales, pues la capa filtrante es del mismo espesor en toda su superficie, mientras que en los horizontales el espesor varía del centro a los bordes del depósito. Sin embargo, los filtros verticales tienen una limitación de superficie filtrante por lo que son más adecuados los horizontales en el caso de instalaciones de tamaño medio, como es en nuestro caso.

- **Parámetros de diseño**

Un filtro viene definido fundamentalmente por las velocidades de filtración y a partir de ellas se determina la superficie filtrante.

Como el coste de un filtro es función de la superficie filtrante, el diseño debe tratar de conseguir la mayor producción sobre la menor superficie.

El objetivo final es conseguir un filtro que proporcione un agua que responda a las características exigidas, que los ciclos de funcionamiento sean lo más largos posibles, y que una vez que se ensucie, el lavado del mismo permita recuperar sus condiciones de funcionamiento. Por tanto, en el diseño deben analizarse los siguientes aspectos principalmente:

- Tipo, granulometría y espesor del medio filtrante: en nuestro caso, al ser la captación de agua bruta mediante pozo playero, una simple capa de arena es suficiente. El material más empleado es la arena de sílice, cuya granulometría se encuentra entre 0,8 y 1,2 mm. Respecto al espesor de la capa es de 35-45 cm.
- Velocidad de filtración: para los filtros a presión el rango de operación es 7-12 m/h tal y como se indica en los párrafos anteriores.

DATOS DE DISEÑO

Dada la buena calidad del agua a tratar, y teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, se ha optado por filtros de arena a presión, horizontales, con una sola capa de material filtrante de granulometría entre 0,8 y 1,2 mm con un tamaño efectivo de grano entre 0,5 y 2 mm, y un coeficiente de uniformidad de 1,5 según bibliografía.

La instalación objeto del presente proyecto estará dotada de 4 unidades de filtros de presión horizontales más uno de reserva, por línea de producción, de la firma Calplas, contruidos en poliéster reforzado con fibra de vidrio. En la **Figura 10.3-a** puede verse el modelo seleccionado.

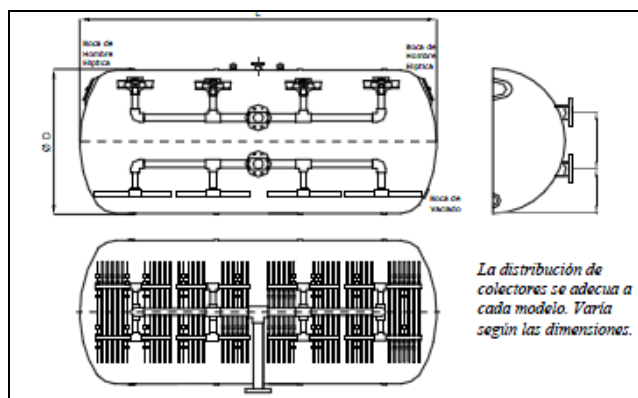


Figura 10.3-a: Filtro de arena Calplas ϕ 1440-2800.

Fuente: Fabricante Calplas.

Los filtros estarán dotados de las conexiones necesarias así como de bocas de hombre para su revisión y acceso al interior. En cada unidad se dispondrá de la instrumentación necesaria, compuesta por manómetros y medidores de presión diferencial que advertirán de la necesidad de lavado en función de la pérdida de carga a través del lecho.

A continuación, en la **Tabla 10.3-a** se detallan las dimensiones del equipo:

“FILTRO DE ARENA HORIZONTAL CALPLAS ϕ 1440-2800”	
Diámetro (m)	2,55
Longitud (m)	6,5
Superficie filtrante (m²)	14,4
Presión de operación (kg/cm²)	2,5
Temperatura (°C)	40

Tabla 10.3-a: Especificaciones técnicas del filtro de arena seleccionado.

Fuente: Fabricante Calplas.

El cálculo justificativo del diseño de las unidades de filtración se presenta en el **ANEXO 2** del presente proyecto.

- **Lavado de los filtros de arena**

Esta operación se realizará incrementando el caudal impulsado por las bombas de captación de agua de mar, actuando sobre los variadores de frecuencia de las mismas. El procedimiento se realiza en 3 fases, tras las cuáles el filtro entrará nuevamente en funcionamiento.

La primera fase, es un lavado a contracorriente con agua de mar que arrastre las partículas y coloides retenidas por el lecho durante el funcionamiento normal. Para ello se necesita un caudal de agua de 144 m³/h que asegure la velocidad recomendada de 10 m/h.

La segunda fase, que ocurre junto con la primera, es la inyección de aire a contracorriente con intención de fluidizar el lecho y favorecer el arrastre. El caudal de aire a utilizar es de 720 m³/h para asegurar la velocidad recomendada de 50 m/h para la fluidización

del lecho. Dicha operación se realiza con un grupo motosoplante de la firma Mapner, el cuál está dotado de los equipos de control y accionamiento necesarios para su funcionamiento.

Se completa el lavado con la tercera fase, llamada fase de maduración. Con esta fase se consigue homogenizar el lecho y compactarlo, regenerando su capacidad filtrante. Para ello se necesita un caudal de lavado de 259,2 m³/h que asegure la velocidad de paso recomendada de 18 m/h.

El cálculo justificativo del proceso de lavado de los filtros de arena se encuentra en el **ANEXO 2** del presente proyecto.

▪ **FILTRACIÓN DE AFINO: FILTROS DE CARTUCHO**

Los filtros de cartucho se utilizan como parte del pretratamiento físico para realizar una filtración más fina que la llevada a cabo con los filtros de arena. Esto se realiza porque los fabricantes de membranas exigen un nivel de filtración mínimo del agua (5 micras).

Hasta ahora los filtros de cartucho más usados eran los filtros de hilo. Éstos están formados por un alma o eje, de material resistente a la corrosión, PVC o acero inoxidable, con perforaciones laterales. Su funcionamiento está basado en que sobre él se enrolla un hilo, de espesor igual. El tipo de enrollamiento y la tensión o presión que se aplica depende del tamaño del poro. El aumento de partículas retenidas va incrementando la obturación de poros y por tanto la pérdida de carga, hasta llegar a un valor en el que la sustitución es inevitable ya que las partículas no se desprenden rápidamente.

Sin embargo, actualmente existe una variedad mejorada de filtros de cartucho, son los filtros plegables. El sistema es el mismo pero el material filtrante se sustituye por una tela plegada sobre el eje. El material más usado es el propileno, aunque hay variedad en base a las características y propiedades.

Las ventajas que tienen estos filtros frente a los de hilo son las siguientes:

- Su superficie filtrante es superior y les permite en igualdad de condiciones disminuir las pérdidas de carga.
- Elongación en la vida útil del filtro.
- Se necesitan un menor número de filtros para conseguir una caudal determinado por lo que hay una reducción de costes.

DATOS DE DISEÑO

Por línea de producción se instalarán 2 portafiltros de cartucho de la firma HARMSCO, que alojan en su interior 70 cartuchos filtrantes de hilo bobinado de polipropileno, cada uno de longitud 1.250 mm, capaces de filtrar partículas de tamaños hasta 5 µm. Cada unidad de microfiltración soporta presiones de trabajo de hasta 6 Kg/cm². La entrada y salida de los filtros de cartucho se realiza mediante tuberías de PRFV.

El total de filtros a instalar en la instalación es 9 (8 más uno de reserva).

En las **Figuras 10.3-b** y **10.3-c** se muestran las figuras de los cartuchos y portafiltros seleccionados.



Figura 10.3-b: Cartuchos Harmsco serie 801.
Fuente: Fabricante Harmsco.

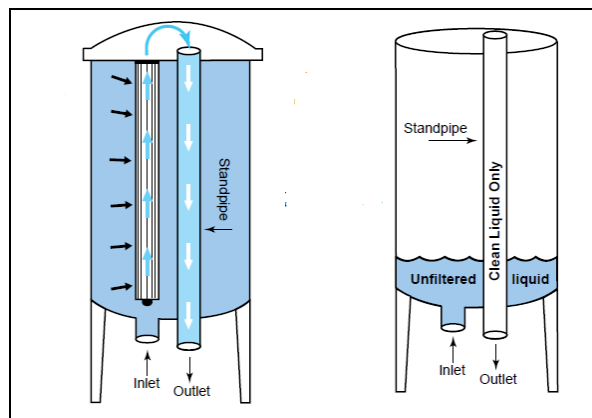


Figura 10.3-c: Portafiltros Harmsco HIF 200 FL.
Fuente: Fabricante Harmsco.

A la entrada y salida de los filtros de cartucho se dispondrá de un juego de válvulas de mariposa para realizar su aislamiento del sistema, así como de los elementos de control (toma de muestras para medir SDI y un medidor de presión diferencial que detecte la necesidad de sustitución de los cartuchos filtrantes en función de la caída de presión en el sistema), necesarios para indicar sustitución. Si uno de los filtros requiere de la sustitución de los cartuchos filtrantes, se aislará la línea correspondiente y entrará en funcionamiento la unidad de reserva diseñada a tal efecto.

A continuación, en la **Tabla 10.3-b** y **Tabla 10.3-c** se muestran las características de los filtros y portafiltros elegidos:

"CARTUCHO HARMSCO SERIE 801, MODELO 800-5"	
Caudal de operación (GPM)	3-6
Diámetro externo (inch)	2-3/4"
Diámetro interno (inch)	1-1/16"
Temperatura (°F)	200

Tabla 10.3-b: Especificaciones técnicas de los cartuchos seleccionados.

Fuente: Fabricante Harmsco.

"PORTAFILTRO HARMSCO HIF 200 FL"	
Caudal máximo de operación (m ³ /h)	200
Nº máximo de cartuchos	100

Tabla 10.3-c: Especificaciones técnicas del portafiltro seleccionado.

Fuente: Fabricante Harmsco.

El cálculo justificativo del proceso de diseño de los filtros de cartucho se encuentra en el **ANEXO 2**, correspondiente a los pretratamiento, del presente proyecto.

10.3.2. PRETRATAMIENTOS QUÍMICOS

Cuando se llega a un descenso en el rendimiento de la instalación por debajo de unos límites, se procede a la limpieza química de las membranas para restaurar, en lo posible, su capacidad filtrante. Sin embargo, la limpieza no debe ser la única solución a considerar. Con un adecuado tratamiento químico del agua de alimentación al proceso, se logra aumentar tanto la eficiencia como la vida útil de las membranas.

En los procesos de ósmosis inversa, el pretratamiento químico es necesario fundamentalmente por tres motivos:

- Incrustación en las membranas

Es la precipitación y deposición de sales poco solubles como por ejemplo, CaCO₃, BaSO₄, CaSO₄, y metales que atacan a las membranas.

Para evitar eficazmente los depósitos de estas sales sobre las membranas se puede añadir antiincrustante o reducir el pH.

- Ensuciamiento de las membranas

El ensuciamiento de las membranas puede ser de varios tipos. A continuación se detallan alguno de ellos:

Coloidal: partículas o materia coloidal que permanecen en los poros de las membranas, tales como, arcillas, sílice, hidruros, hidróxidos metálicos y restos orgánicos. Ocurre en todos los procesos de filtración por presión, independientemente del origen de las aguas.

Se controla eficazmente utilizando varios procesos de filtración antes del proceso de membranas.

Biológico: crecimiento de una película biológica. Ocurre cuando en las membranas se ha eliminado la cloración del agua de entrada o si ésta es biológicamente activa. Afecta a las membranas de distintas formas. Las bacterias, al colonizar las membranas se multiplican y producen una mucosidad que afecta a la superficie alterando sus condiciones y facilitando el ensuciamiento coloidal y las incrustaciones. Estas bacterias pueden llegar a colonizar parte del permeado, apareciendo en tal caso la mucosidad y bacterias en el permeado. Se controla con la adición de cloro, productos químicos específicos y limpiezas químicas.

Orgánico: adsorción de componentes orgánicos sobre la superficie de las membranas. Ocurre cuando compuestos orgánicos solubles se adhieren a la superficie de las membranas o reaccionan con otros aditivos o constituyentes presentes en el agua de entrada. Forman incrustaciones. Se controla con una adecuada selección de los aditivos químicos, tipo de membrana y limpiezas química.

El efecto de las incrustaciones o el ensuciamiento de las membranas se traduce en una disminución del rendimiento de la instalación o un aumento de la presión de operación de las membranas. A veces van acompañados de un aumento en la presión diferencial a lo largo del tubo de presión así como de un incremento en la salinidad del permeado.

- Ataque a las membranas

En este caso se produce un daño irreversible en la capa activa o de rechazo de sales de las membranas permitiendo el paso relativamente libre de sales y agua.

El efecto que tiene sobre las membranas y la producción es contrario a los anteriores, ya que se produciría una disminución de la presión de operación en condiciones de producción constante, al mismo tiempo que aumentaría la conductividad del agua producto.

Los pretratamientos químicos más generalizados son la dosificación de coagulante, reductor, ácido y antiincrustante. A continuación se detallan cada uno de ellos:

▪ **DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE**

En el caso de tener materia muy fina en suspensión, o cantidades significativas de hierro oxidado, se recomienda la inyección de un floculante (polielectrolito) que ayude a mejorar el proceso de filtración gruesa.

Al haber elegido para el proceso una toma de agua cerrada mediante pozo, existe una filtración inicial realizada por el propio terreno que provoca una elevada reducción en la cantidad de sólidos en suspensión y una muy buena calidad del agua de alimentación, con SDI < 2 que hacen innecesaria la adición de coagulante.

▪ **DOSIFICACIÓN DE ÁCIDO**

La dosificación de ácido como agente regulador de pH beneficia el proceso de desalación reduciendo la posibilidad de precipitaciones e incrustaciones de carbonatos y sulfatos.

Sin embargo, dadas las buenas características del agua a desalar y basándonos

en la experiencia operativa de plantas desaladoras cercanas a la que se proyecta y alimentadas por tanto con aguas de similares características, se ha optado por el uso de antiincrustante en lugar de ácido sulfúrico como prevención de los precipitados salinos.

Las menores dosificaciones de antiincrustante, junto con unos precios aceptables de los antiincrustantes comerciales, influyen en unos costes menores de explotación por este concepto. Además, como se indicó en el apartado anterior, los antiincrustantes también actúan como reguladores de pH, por lo que se hace totalmente innecesario el uso de ácido.

▪ **DOSIFICACIÓN DE ANTIINCRUSTANTE**

A fin de retardar el fenómeno de precipitación de las sales como CaSO_4 se añade un inhibidor, típicamente hexametáfosfato sódico (SHMP), cuya acción fundamental es impedir la formación de redes cristalinas de dichas sales, manteniendo a los iones en dispersión y permitiendo sobrepasar el límite del producto de solubilidad de las sales mediante una disminución del pH.

Sin embargo, actualmente, el hexametáfosfato sódico apenas es utilizado debido al gran desarrollo de otros productos para esta función. Los principales son polímeros de síntesis, con aplicaciones específicas que han mejorado la efectividad.

En la instalación diseñada el producto utilizado es un ácido policarboxílico neutralizado cuyo nombre comercial es Genesys SW.

Se trata de una solución de ácido fosfórico desarrollado como antiincrustante para medianas y grandes desaladoras. Es un producto de nueva tecnología que se utiliza en pequeñas dosis. Inhibe todas las formas de incrustación permitiendo el diseño de sistemas que operen a elevados porcentajes de recuperación.

Este producto es una alternativa técnico-económica frente a la dosificación de hexametáfosfato, ya que reduce considerablemente la limpieza y sustitución de las membranas.

Genesys SW debe ser dosificado de forma continua al agua de alimentación. Sus principales características son:

- Sus principios activos son muy utilizados en instalaciones de agua potable.
- Es altamente efectivo frente a las incrustaciones más comunes.
- Inhibe depósitos de sílice, hierro y aluminio.
- Es compatible con todo tipo de membrana.
- Reduce la necesidad de usar ácido.
- Permite a los sistemas operar a con porcentajes de recuperación altos.
- Es una alternativa económica frente al uso de ácidos y polímeros.

DATOS DE DISEÑO

El caudal de disolución que hay que inyectar por línea de operación es de 0,035 m³/d.

La solución se prepara en un depósito del fabricante AIQSA, tipo D. Su capacidad es de 3.000 L y sus dimensiones son 1,2 m de diámetro y 2,8 m de altura. El depósito está provisto de un electroagitador eléctrico de turbina de la firma Dosapro, modelo 0021S. Su ficha técnica puede verse en el **ANEXO 9** adjunto con el presente proyecto.

Para la dosificación del inhibidor se dispone de 1 bomba dosificadora (más una de reserva) por línea de producción, de la firma Rosapro Miltron Roy, modelo GA. Dichas bombas están equipadas con variadores de frecuencia y han sido seleccionadas con capacidad para tratar el 100% del caudal (su ficha técnica se encuentra en el **ANEXO 9**).

No obstante, la correcta dosificación del producto se garantiza mediante ensayo previo. La inhibición de las incrustaciones precisa de estudio detallado en la instalación, con el fin de realizar los ajustes pertinentes.

En el **ANEXO 2** del presente proyecto se encuentra el cálculo justificativo de la dosificación de antiincrustante.

▪ **DOSIFICACIÓN DE REDUCTOR**

Para la reducción de la actividad de los agentes oxidantes, se ha previsto la dosificación en continuo de metabisulfito sódico, antes de acceder el agua de mar a las membranas, de tal forma que se garantice la ausencia total de cloro libre, ya que dada la naturaleza química de las membranas, poliamida aromática, no toleran el cloro.

Además se consigue un poder alguicida, regulando el crecimiento biológico mediante la eliminación del oxígeno del agua de alimentación, a la vez que se consigue una disminución de pH, evitando incrustaciones. Como tercera ventaja, cabe destacar que la eliminación del oxígeno minimiza los problemas de la corrosión de los metales expuestos al agua de mar, prolongando la vida útil de los mismos, así como de las membranas.

DATOS DE DISEÑO

El caudal de la solución comercial de metabisulfito que es necesario añadir por línea de producción es 0,065 m³/d la solución es al 40%.

La solución se prepara en un depósito del fabricante AIQSA, tipo D. Su capacidad es de 6.000 L y sus dimensiones son 1,4 m de diámetro y 4,17 m de altura. El depósito está provisto de un electroagitador eléctrico de turbina de la firma Dosapro, modelo 0021S. La ficha técnica puede verse en el **ANEXO 9** del presente proyecto.

Para su dosificación se dispone de 1 bomba dosificadora (más una de reserva) por línea de producción, de la firma Rosapro Miltron Roy, modelo GA. Dichas bombas están equipadas con variadores de frecuencia y han sido seleccionadas con capacidad para tratar el 100% del caudal (ver su ficha técnica en el **ANEXO 9**)

Los cálculos justificativos de la dosificación de reductor se presentan en el **ANEXO 2** del presente proyecto.

10.4. UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA

El tratamiento de aguas, al igual que muchos otros procesos, está sufriendo una innovación continua. Dentro de este campo, la tecnología de desalación de aguas por ósmosis inversa no es ajena a la incorporación de avances tecnológicos.

Las mejoras en los últimos años implantadas en las IDAM, se han centrado en la reducción de los consumos energéticos y en la mejora de la eficiencia de las instalaciones, produciendo un descenso en los costes del agua desalada. Además estas mejoras han producido la extensión de esta tecnología a sectores cada vez más amplios de la actividad económica.

Las características principales de este tipo de proceso son:

- Se requieren presiones en un rango de trabajo de 50-80 bar.
- Se requiere el uso de aleaciones inoxidables especiales en bombas, tuberías y válvulas de las partes sometidas a alta presión.

Las áreas dónde fundamentalmente se han llevado a cabo las innovaciones son en los pretratamientos y en el proceso de ósmosis. Sin embargo, en nuestro caso, al ser la captación del agua bruta mediante pozos, no son de especial interés las innovaciones en los pretratamientos ya que el agua bruta de alimentación es de muy buena calidad.

Respecto a las innovaciones que han tenido lugar en el proceso de ósmosis cabe destacar las siguientes:

- *Utilización de tubos de presión de 7 elementos de membrana*

La utilización de los tubos de presión de 7 elementos ha permitido, entre otros, aumentar la recuperación por encima del 40 % en una sola etapa y reducir el número de tubos de presión con la consecuente reducción del coste de inversión.

- *Mejora del rechazo de las membranas*

Conforme ha avanzado el tiempo, los procesos de fabricación de membranas han ido perfeccionándose aumentando el porcentaje medio de rechazo de sales. En la actualidad está en torno al 99,7% con la consiguiente mejora en la calidad del permeado en una sola etapa (contenido en sales inferior al los 400 mg/L).

- *Aumento de la superficie de membrana*

En el proceso de fabricación de membranas, la automatización y los sistemas de enrollado, junto con la modificación del tamaño y el número de hojas utilizadas en cada módulo, han permitido obtener una distribución más uniforme de las hojas así como una mayor superficie por módulo. Este aumento de la superficie de membrana por cada módulo permite reducir el número de módulos, incidiendo directamente en el coste de la instalación con una disminución considerable.

- *Aumento de la presión de trabajo de las membranas*

Tradicionalmente, las membranas espirales de agua de mar trabajan con presiones de hasta 70 bares. En la actualidad, los fabricantes de membranas han lanzado al mercado una nueva generación de membranas de agua de mar que pueden trabajar con presiones de hasta 80 bares.

- *Sustitución de turbinas Pelton por Cámaras Hiperbáricas*

Las cámaras hiperbáricas, también llamadas conversores hidráulicos, son unos sistemas que permiten aprovechar con mayor rendimiento la energía hidráulica que posee la salmuera que sale de las membranas de ósmosis inversa. Transmiten al agua de mar con un excelente rendimiento (mayor del 95%) la presión disponible en el rechazo. Dicha transmisión se lleva a cabo por desplazamiento de agua en el interior de unos tubos.

Permiten obtener reducciones en el consumo energético frente a las turbinas Pelton de entorno a $0,3 - 0,5 \text{ kWh/m}^3$.

10.4.1 BASTIDOR DE ÓSMOSIS INVERSA

DATOS DE DISEÑO

Se instalarán 4 líneas de producción, cada una de ellas compuestas por un bastidor de estructura metálica construido para albergar los tubos de presión de 7 elementos. El bastidor estará distribuido en 7 filas y 6 columnas, alojando 47 tubos de presión de la firma BELL, de entrada frontal y presión máxima de operación de 69 kg/cm^2 . En la **Figura 10.4-a** que se muestra a continuación se puede ver una imagen real de un bastidor de ósmosis inversa instalado en una instalación semejante a la instalación objeto.



Figura 10.4-a: Bastidor de Ósmosis Inversa IDAM Telde.

Fuente: ITC (Instituto Tecnológico Canario).

Cada línea contendrá 329 membranas, haciendo un total de 1.316 elementos de membrana. Se han adoptado membranas de poliamida aromática y arrollamiento en espiral de la firma Hydranautics cuyas características técnicas se describen a continuación en la **Tabla 10.4-a**. La ficha técnica se puede ver en el **ANEXO 9** del presente proyecto.

“MEMBRANA HYDRANAUTICS SWC4 MAX”	
Caudal de permeado (m³/d)	27,3
Porcentaje Rechazo de sales	99,7-99,8
Área activa (m²)	40,8
Presión máxima de operación (MPa)	8,27
Temperatura máxima (°C)	45
Rango de pH operación	2-11

Tabla 10.4-a: Especificaciones técnicas de la membrana seleccionada.

Fuente: Fabricante Hydranautics.

La conversión de diseño es del 47% según experiencias en plantas similares, y la configuración, es en 1 etapa y 1 paso. Se ha optado por esta configuración dada las características del agua de mar a desalar, atendiendo a los criterios de diseño del fabricante de membranas Hydranautics y teniendo en cuenta todo lo detallado en el **CAPÍTULO 9** del presente proyecto.

10.4.2 BOMBEO DE ALTA PRESIÓN

Este grupo tiene la misión de proporcionar la presión necesaria para conseguir superar la presión osmótica del agua aporte así como vencer las pérdidas de carga del circuito hidráulico.

El agua de rechazo de los módulos de ósmosis inversa es aprovechada por los recuperadores ERI para suministrar parte de la energía necesaria a la línea de alta presión.

Para el funcionamiento de los bastidores se ha adoptado por un sistema de bomba-intercambiadores de presión para cada una de las líneas.

La bomba seleccionada debe suministrar un caudal de 487,589 m³/h y una capacidad de 566,770 m. Es de tipo centrífuga horizontal multicelular, modelo LE, del fabricante Hidrotecar Bombas. Sus prestaciones máximas se muestran a continuación en la **Tabla 10.4-b**.

“BOMBA ALTA PRESIÓN DE HIDROTECAR BOMBAS MODELO LE”	
Caudal (m³/h)	700
Altura útil (m)	600
Presión (bar)	98,07
Temperatura (°C)	160
Revoluciones (min⁻¹)	1500

Tabla 10.4-b: Prestaciones máximas de la bomba de alta presión seleccionada.

Fuente: Hidrotecar Bombas S.A.

Se debe aclarar que la presión máxima nunca se alcanzará ya que su límite superior debe ser la presión máxima admisible de trabajo de las membranas.

Los cálculos justificativos de la selección de la bomba de alta presión pueden verse en el **ANEXO 6** del presente proyecto.

10.4.3 LIMPIEZA QUÍMICA DE LAS MEMBRANAS

Además del funcionamiento de la instalación, problemas derivados de un pretratamiento insuficiente, pueden provocar el ensuciamiento de las membranas.

Los parámetros que indican la necesidad de limpieza química de las membranas son:

- Disminución del flujo de permeado en un 10%
- Incremento del paso de sales en un rango del 5-10%
- Incremento de la caída de la presión a lo largo del tubo.

Para la detección de estos parámetros se tendrán en la planta los dispositivos de control adecuados, como por ejemplo, medidores de presión entre la línea de alimentación y línea de salmuera, caudalímetros en la línea de alimentación y de agua producto y conductivímetros en la línea de alimentación y de agua producto, entre otros.

Una vez detectado el ensuciamiento, deben analizarse las causas del mismo ya que no existe una limpieza genérica, sino que dependerá de la naturaleza del ensuciamiento y se deben seguir las directrices del fabricante de membranas. Para las membranas adoptadas, el fabricante de Hydranautics expone las siguientes recomendaciones:

▪ Secuencias de lavado

- Cuando las membranas sufren ensuciamiento coloidal, orgánico y biológico en combinación con precipitados de CaCO_3 , el lavado a realizar es un lavado alcalino seguido de un lavado ácido. Debido a que nuestra captación de agua bruta es mediante pozos playeros, nuestra agua está libre materia coloidal, orgánica y biológica.
- Si el ensuciamiento es provocado sólo por precipitados de CaCO_3 , se debe realizar sólo el lavado ácido. Este será el lavado a aplicar en nuestra planta.

▪ Lavado ácido

Se lleva a cabo para la eliminación de precipitados salinos, carbonatos y sulfatos. La solución química a utilizar es el producto comercial Genesol 37 que ha sido desarrollado como un limpiador de incrustaciones tanto orgánicas como inorgánicas. Como ventajas presenta un amplio rango de aplicaciones, es un producto de fácil manejo y su aplicación es compatible con la mayoría de modelos de membranas. El fabricante recomienda utilizar diluciones al 1-2%.

Las etapas a seguir son las siguientes:

1. Se disuelve en el depósito el ácido en una solución de agua producto libre de cloro hasta alcanzar pH 3-4.
2. Bombear la solución de lavado por el circuito y recircular al depósito.

3. Si el pH baja demasiado, añadir hidróxido amónico. Comprobar el pH a la salida de las membranas hasta que se mantenga constante en todo el circuito.
4. Una vez se tenga el pH constante, parar la recirculación y dejar empapadas las membranas en la solución de lavado durante un periodo de 2-4 horas.
5. Tras este periodo, poner en marcha la recirculación con agua producto de forma que se vaya expulsando a drenaje el líquido acidificado hasta que se obtenga a la salida la misma calidad de agua que a la entrada.
6. Por último se vuelve a poner en marcha el bastidor.

DATOS DISEÑO

Para realizar la limpieza química de las membranas se dispondrá de:

- *Depósito de preparación de solución química*

El depósito será de PRFV de 14 m³ de capacidad. En él se preparará la solución ácida de Genesol 37 al 1,5%. Además el depósito cuenta con un electroagitador de la firma Dosapro, modelo 0031S construido en acero inoxidable. Su ficha técnica puede verse en el **ANEXO 9** del presente proyecto.

- *Bomba de lavado químico*

Se dispondrá de una bomba de lavado químico (más una de reserva) de la firma ITUR de 423 m³/h de caudal y una capacidad 29,226 m. Su ficha técnica puede verse en el **ANEXO 9**.

- *Filtros de cartucho*

La unidad de lavado químico tendrá dos filtros de cartucho de la firma Harnsco, idénticos a los que se utilizan en el pretratamiento.

El cálculo justificativo de la unidad de lavado químico se encuentra detallado en el **ANEXO 8** del presente proyecto.

10.4.4 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO: DEPÓSITO DE EQUILIBRIO OSMÓTICO

Tras una parada de la instalación, ya sea voluntaria o involuntaria, se realizará un desplazamiento del agua contenida en su interior con el objetivo de homogeneizar las concentraciones o para reparar algunos de los equipos del circuito de alta presión.

Pero cuando dicha parada dicha parada supere las 5 horas, será necesario además, la realización de un desplazamiento con agua procedente del permeado de la planta que no haya sido sometida a un postratamiento, de forma que se consiga una mayor dilución en el agua existente en el interior de equipos, tubos y membranas y así preservarlas de la corrosión salina y de las precipitaciones indeseadas. El desplazamiento se considerará finalizado cuando la conductividad alcance valores de 2.000 µS.

Para la realización de dicha operación de desplazamiento se utilizará el mismo equipo que en el sistema de lavado químico. Para ello, este previamente se deberá encontrar libre de cualquier producto químico, por lo que se debe mantener en perfectas condiciones. La

diferencia con el sistema anterior es que no existe recirculación al depósito sino vertido a las arquetas de salmuera.

También se prevé el uso del depósito de equilibrio osmótico para realizar estas funciones de desplazamiento ante paradas imprevistas de la instalación. Dicho depósito, de 45 m³ de capacidad, es alimentado por la parte inferior y tiene la salida por la parte superior de forma que permita el retroceso del agua hacia los bastidores de ósmosis de forma natural ante la ausencia de presión. Esto es necesario para diluir el agua existente en las membranas impidiendo que tenga lugar la ósmosis directa y con ello el daño a las membranas.

El cálculo justificativo del depósito de equilibrio osmótico se encuentra en el **ANEXO 7** del presente proyecto.

10.5. SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

De los tres caudales que intervienen en el proceso de desalación por ósmosis inversa, alimentación, producto y rechazo, este último abandona el bastidor de la membrana a casi la misma presión que entra en él la corriente de alimentación.

La energía retenida en ese caudal no es muy importante en planta desaladoras de aguas poco salobres, donde las presiones de trabajo son relativamente bajas, y el caudal de rechazo porcentualmente reducido. Otra cosa es la que corresponde a la desalación de aguas altamente salobres y especialmente cuando consideramos el agua de mar, que requieren muy altas presiones, donde la salmuera o rechazo resultante retiene mucha energía asociada a la presión. Por tanto, la recuperación de forma óptima de esa energía es del máximo interés.

El procedimiento por el cual se recupera esa energía nos lleva a clasificar los mecanismos de recuperación en tres grandes familias. A continuación se detalla cada uno de estos mecanismos.

10.5.1 TURBINAS DE RECUPERACIÓN

Este es el sistema más empleado hasta tiempos recientes y consiste en turbinar la salmuera a través de una turbina acoplada mecánicamente a la bomba de alta presión de forma que ayude al trabajo del motor que acciona la bomba mejorando de esta forma muy sustancialmente el rendimiento energético del conjunto.

En la **Figura 10.5-a** se puede ver con detalle un esquema del proceso indicado en el párrafo anterior.

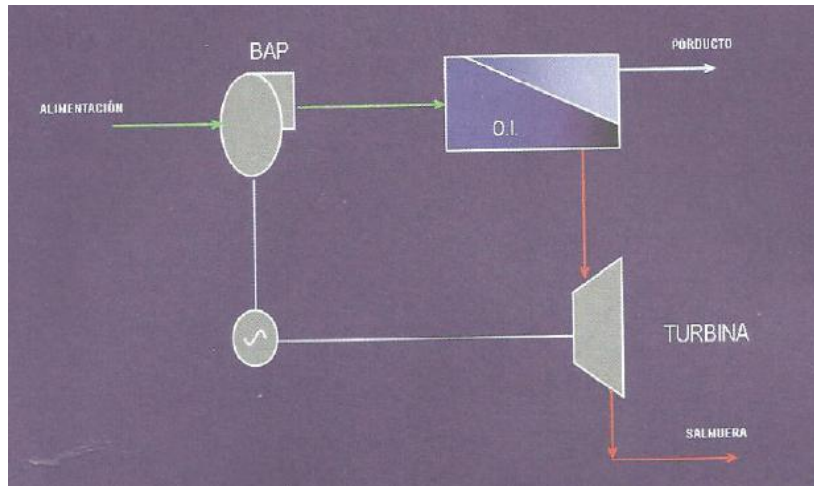


Figura 10.5-a: Esquema de recuperación con Turbinas Pelton.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

Básicamente existen dos tipos de turbina que se emplean. Se detallan a continuación:

- **Bombas invertidas o turbinas de contrapresión**

Su configuración es la de una bomba centrífuga, generalmente multietapa que funciona de forma inversa. Es decir se le alimenta con salmuera a alta presión y el líquido sale prácticamente a la presión atmosférica, recuperando una gran parte de la energía de la salmuera.

Estas turbinas tienen que estar construidas en materiales de altísima resistencia a la corrosión pues hay que considerar que la salmuera tiene una salinidad, en el caso de agua de mar, próxima al doble que esta.

Estas turbinas son muy robustas y fiables pero de un rendimiento hidráulico relativamente bajo si la comparamos con las más modernas turbinas de tipo Pelton.

- **Turbinas Pelton**

Su muy alto rendimiento hidráulico y la fiabilidad conseguida últimamente, ha propiciado que este tipo de turbinas hayan sustituidos en gran medida a las turbinas de contrapresión.

Su principio de funcionamiento es sencillo. Se muestra en la **figura 10.5-b**. Por medio de unas boquillas o inyectoras (nozzles), la energía asociada a la presión de la salmuera se transforma en energía cinética de una vena líquida. Este chorro de agua a gran velocidad, se inyecta a unas cazoletas (buckets) dispuestas en la periferia de una rueda, solidaria al eje de la turbina, transformándose la energía cinética en trabajo de rotación. Todo ello va alojado en una carcasa. El número de boquillas puede variar y en general suelen ser de una a dos.

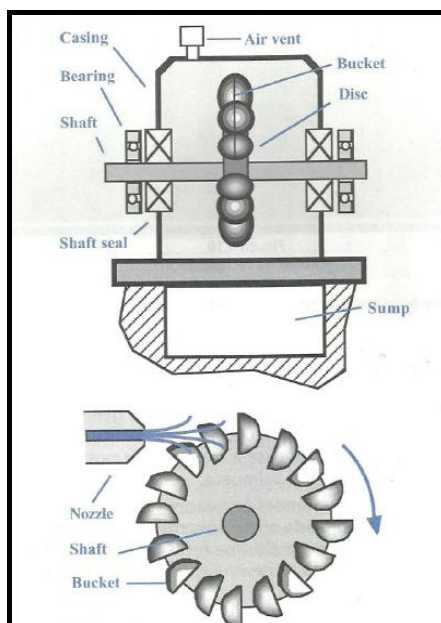


Figura 10.5-b: Funcionamiento de las Turbinas Pelton.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

En el diseño de este tipo de turbinas, se ha de procurar que la energía cinética del chorro de agua que sale de la tubería se aproveche al máximo, de forma que tras el impacto, la velocidad de las partículas del líquido sea próxima a cero, y a la presión atmosférica.

Estas turbinas pueden llegar a tener un rendimiento hidráulico del 90%. Otra ventaja es que pueden funcionar a distintos caudales sin que se afecte su rendimiento, lo que le da gran flexibilidad a la instalación.

Lo más frecuente es situar a la turbina y a la bomba de alta presión a ambos lados del motor eléctrico.

En ocasiones, y para plantas más pequeñas, el fabricante suministra el conjunto bomba de alta presión-turbina como una unidad compacta movida por el motor eléctrico.

La mayor desventaja que presentan estas turbinas es que su descarga no soporta ninguna contrapresión, lo que obliga a diseñar un caudal de evacuación de dimensiones elevadas y situado por debajo de la brida de la turbina.

10.5.2 INTERCAMBIADORES DE PRESIÓN

Este mecanismo se basa en un único principio que consiste en transmitir la presión de un líquido a otro en el seno de una cámara. En nuestro caso de la desalación por ósmosis inversa, la salmuera transmite la energía asociada a la presión a parte del caudal de alimentación. Estos sistemas se llaman también sistemas isobáricos, dado que la presión de ambos líquidos es básicamente la misma.

A continuación, en la **Figura 10.5-c** se muestra un diagrama general de flujo de un sistema de ósmosis inversa trabajando con un sistema isobárico.

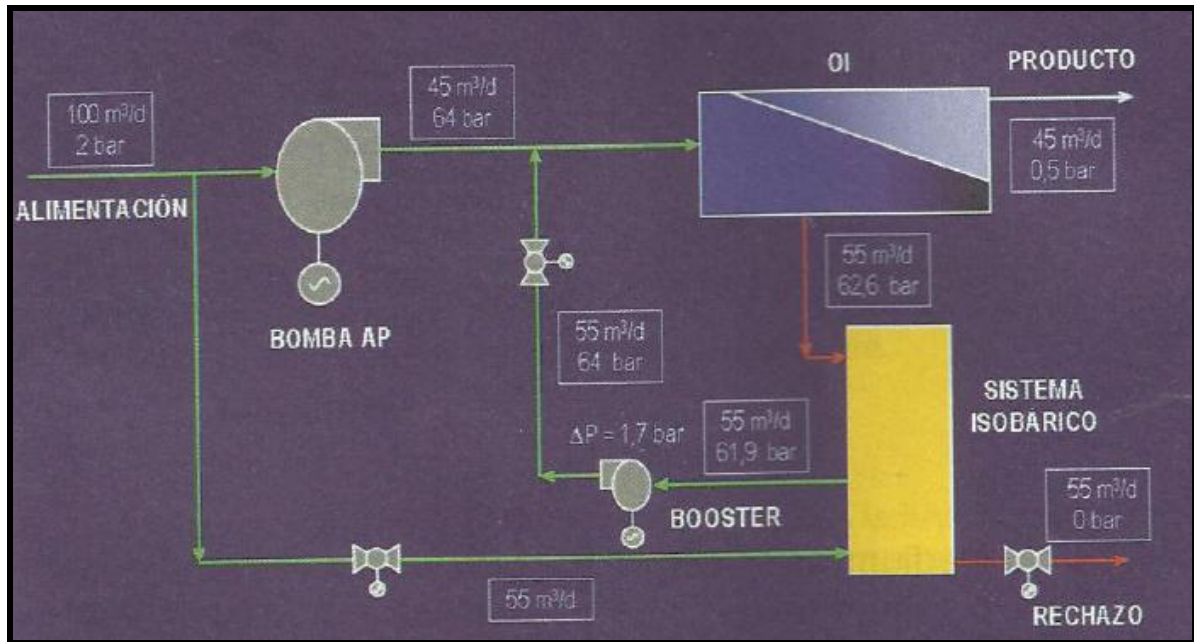


Figura 10.5-c: Diagrama general de flujo de un sistema de OI-sistema isobárico.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

Como se puede ver en la figura anterior, el caudal de la bomba de alta presión es básicamente el mismo que el agua producto. Por este motivo algunos autores prefieren hablar de sistemas de aprovechamiento energético en vez de sistemas de recuperación de energía, dado que no recuperan la energía cedida por la bomba de alta presión sino que hacen el conjunto más eficiente.

También como puede verse en la **Figura 10.5-c**, en el circuito del recuperador se originan una serie de pequeñas pérdidas de presión debido a:

- Pérdida de carga en las tuberías.
- Pérdida de carga a lo largo de las membranas.
- Pérdidas de carga en las válvulas y el recuperador propiamente dicho.

Todas estas pérdidas, generalmente suman entre 2 y 3 bares. Luego, para poder introducir el caudal de alimentación proveniente del recuperador a la tubería de alimentación al bastidor de membranas se necesita incrementar la presión entre 2 y 3 bares. Esto se realiza mediante una bomba booster. El incremento que suministra esta bomba se regula, bien por una válvula a su descarga, o lo que es más frecuente y energéticamente más eficiente mediante un variador de frecuencia.

La bomba booster es de gran importancia pues regulando el caudal que proporciona, nos determina el recobro de todo el sistema de ósmosis inversa. Una característica de gran importancia en la elección de la bomba, cuando se diseña una instalación, es la de que tenga un cierre mecánico capaz de resistir una alta presión, generalmente mayor de 60 bares, que existen en la succión.

A continuación, en la **Figura 10.5-d** se muestra una cámara isobárica.

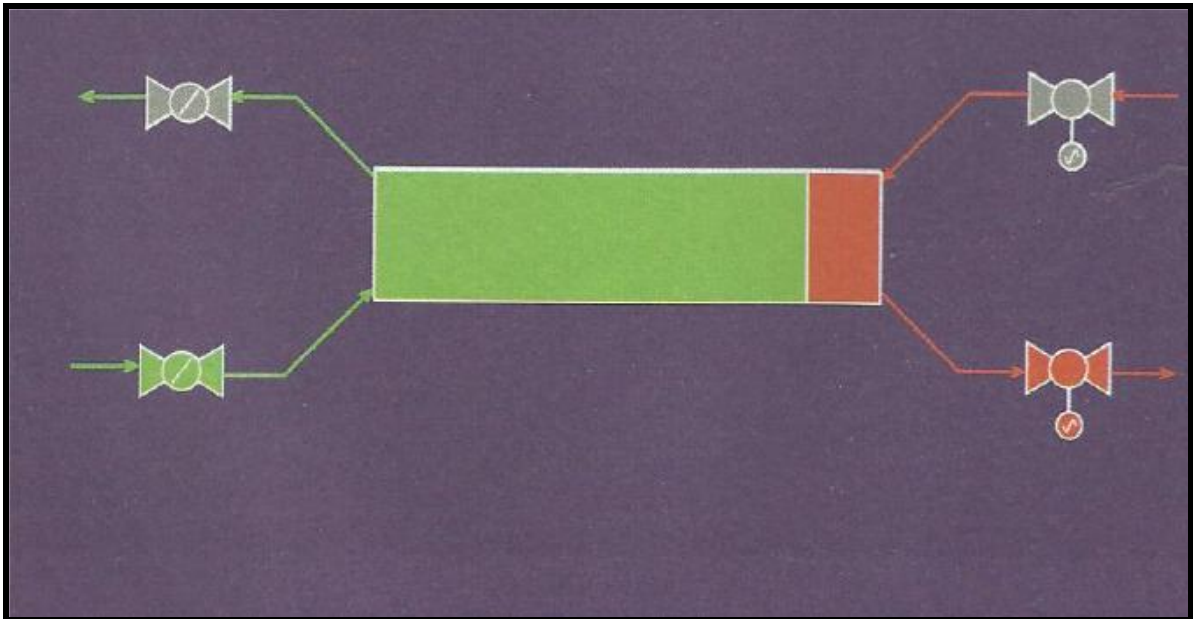


Figura 10.5-d: Diagrama de cámara isobárica.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

La parte izquierda es la que corresponde al circuito de alimentación, con dos válvulas de retención, la de abajo que alimenta la cámara a baja presión en la fase de llenado y la de arriba que alimenta al circuito de alta presión en la fase de alimentación a alta presión. En la parte derecha, se pueden ver dos válvulas comandadas, la de arriba que permite el llenado de la cámara de alta presión y la de abajo que permite el vaciado de la cámara, lo cual se hace a baja presión lógicamente.

Como puede verse, cada cámara realiza su función de forma alternativa por lo que es necesario un mínimo de dos para que el mecanismo funcione. De hecho podemos tener un flujo continuo en la alimentación a alta presión con dos cámaras, solapando ligeramente sus ciclos. Sin embargo, esto no es así en baja presión, donde hay una interrupción de caudal que origina sobrepresiones en el circuito que pueden aliviarse con válvulas de alivio. Por ello, para que los caudales de alta y baja sean continuos, se necesita un mínimo de tres cámaras trabajando coordinadamente. Para conseguir esta coordinación, las válvulas comandadas que regulan la alta y baja presión de la salmuera, se activan y controlan mediante ordenador. En la **Figura 10.5-e** se muestra el sistema descrito.

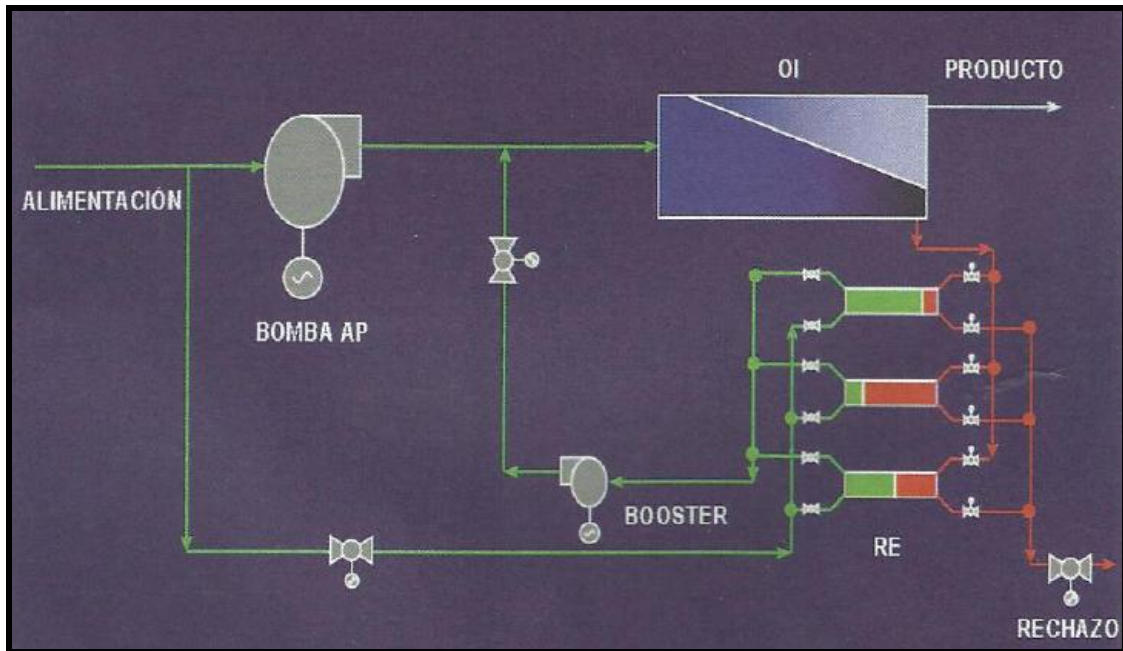


Figura 10.5-e: Agrupación de cámaras isobáricas.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

La salmuera y el agua de alimentación pueden estar en contacto o separadas por medio de un émbolo o pistón. En el primer caso, es inevitable que se origine una pequeña mezcla. En el caso del émbolo o pistón separador, la mezcla se minimiza aunque en la práctica no se consigue eliminar totalmente.

La disposición de las cámaras puede ser horizontal, lo que es más común, y opcionalmente, en posición vertical.

Existen distintos tipos atendiendo al sistema de funcionamiento.

▪ **Intercambiadores de presión con cámaras rotativas**

Las cámaras van incorporadas en un rotor, que gira dentro de una carcasa, y entre dos piezas que tienen dos aberturas a lumbreras cada una. Las cámaras del rotor en su giro se enfrentan a estas lumbreras, lo que permite el llenado y vaciado de las mismas, con agua de alimentación o salmuera, tanto en la fase de alta presión como en la de baja. La rotación del rotor la realiza la misma agua, por lo que no se necesita comandar ninguna válvula ni motor para que funcione.

Existen diferentes modelos según su capacidad, por lo que conectándolos en paralelo se consiguen procesar todo tipo de caudales.

Las características de este tipo de recuperadores son las siguientes:

- No llevan válvulas sino lumbreras
- Son modulares
- No hay separación física entre líquidos.
- Se basan en un rotor cerámico
- No necesitan control por ordenador.

- La lubricación la realiza la propia agua.
- Está construida con materiales sintéticos resistentes a la corrosión.

Como consecuencia de estas características, especialmente el de la lubricación, se originan pequeñas fugas entre la alta y baja presión, que hacen que el balance de masas se modifique un poco teniendo en cuenta estos factores.

En la **Figura 10.5-f** se muestra el diagrama de una planta de agua de mar. Como se ve, el caudal proporcionado por la bomba de alta presión es algo superior al caudal del agua producto mientras que el caudal de alimentación al intercambiador en baja presión es algo inferior al de salmuera.

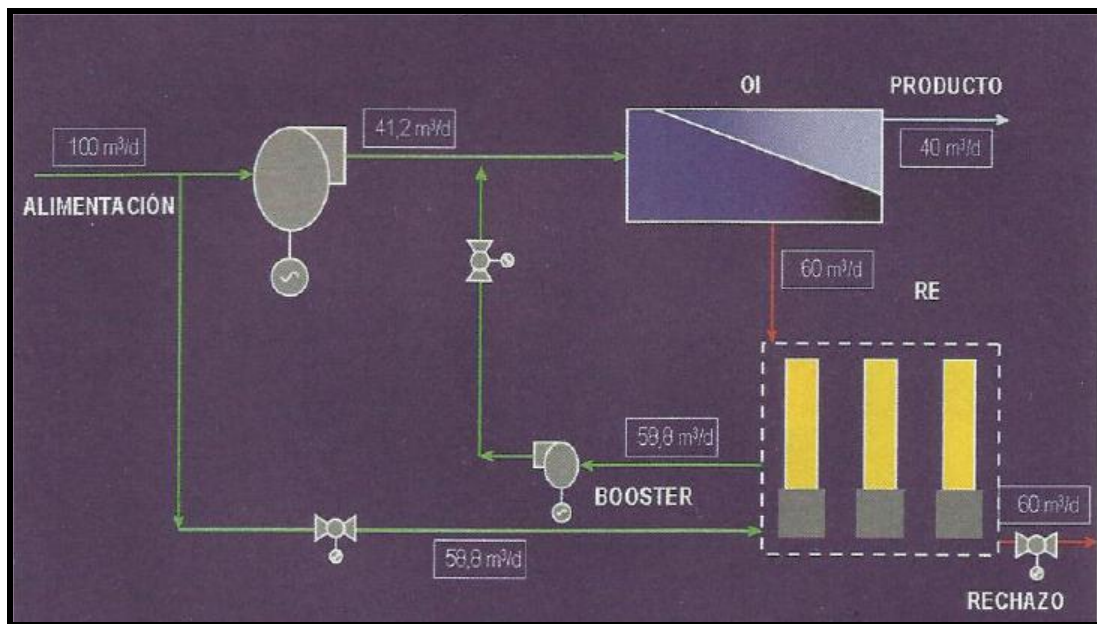


Figura 10.5-f: Diagrama de planta de OI para agua de mar provista de cámaras isobáricas.

Fuente: Desalación de aguas, IEA.

▪ **Intercambiador de presión mediante cámaras toroidales**

Otro sistema que merece especial atención, basado en el mismo principio de intercambio de presión es el de cámaras toroidales, cuya principal singularidad consiste en que la vena líquida no cambia de sentido, al pasar de la fase de llenado a la de vaciado, tanto en la alta presión como en la baja.

Las características más importantes de este sistema se resumen en las siguientes:

- El agua circula siempre en la misma dirección con lo que no se pierde energía cinética en la vena líquida.
- Es un sistema compacto donde las cámaras tienen forma de toro o anillo.
- Existe mezcla de líquidos pues no lleva pistón separador.
- Es muy flexible en cuanto a caudales se refiere.

Ambos sistemas están teniendo en la actualidad una aplicación práctica. Sin embargo, el sistema más utilizado es el de las cámaras rotativas. Su éxito se basa en la buena transferencia de energía entre salmuera y agua de alimentación, lo que supone una muy alta eficiencia energética del sistema.

A continuación se enumeran sus ventajas:

- Muy alta eficiencia energética (superior al 95% en muchos casos).
- La bomba de alta presión bombea el caudal producido.
- Generalmente tienen pocas partes móviles.

10.5.3. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Teniendo en cuenta lo expuesto en los epígrafes anteriores, la primera diferencia que nos encontramos entre los sistemas isobáricos y los de turbina es el tamaño de la bomba. Mientras en los primeros la capacidad de la bomba de alta presión es prácticamente igual al caudal producto, en los sistemas de turbina la bomba de alta presión deberá bombear el total del caudal de alimentación.

Por otra parte, la mayor o menor mezcla de salmuera y agua de alimentación que se origina en las cámaras isobáricas, lo que dependerá de si llevan o no separador, hace que el agua de alimentación a los bastidores vea aumentada su salinidad en un pequeño porcentaje. Esto obliga a un incremento de la presión de alimentación que hay q tener en cuenta.

En general, puede afirmarse teniendo en cuenta todos los factores descritos, que para el diseño de grandes instalaciones, la ventaja en cuanto a consumo energético a favor de los sistemas isobáricos.

DATOS DE DISEÑO

En la planta objeto del presente proyecto, el sistema de recuperación de energía elegido es mediante Intercambiadores de Presión con cámaras rotativas suministrados por el fabricante ERI. El modelo seleccionado teniendo en cuenta el caudal de salmuera a tratar es el PX-260. Se instalarán 5 unidades por línea de producción, además de una Bomba Booster del fabricante KSB. En las **Tablas 10.5-a y 10.5-b** se muestran las características más destacables de los Intercambiadores de Presión y de la bomba Booster seleccionados. No obstante, en el **ANEXO 9** del presente proyecto puede verse la ficha técnica del PX-260.

“INTERCAMBIADOR DE PRESIÓN ERI, MODELO PX-260”	
Caudal (m³/h)	50-59
Eficiencia (%)	98
Presión (bar)	20,7-82,7
Temperatura (°C)	49

Tabla 10.5-a: Prestaciones máximas del PX-260.

Fuente: Fabricante ERI.

“BOMBA BOOSTER KSB, MODELO RPH-RO 80-180”	
Caudal máx (m³/h)	280
Eficiencia (%)	75
Presión (bar)	104
Temperatura (°C)	-40+50

Tabla 10.5-b: Prestaciones máximas de la Bomba Booster seleccionada.

Fuente: Fabricante KSB.

En la **Figura 10.5-g** que se muestra a continuación se puede ver la instalación de los intercambiadores de presión ERI en una instalación similar a la proyectada.



Figura 10.5-g: Intercambiadores de Presión ERI en una IDAM.

Fuente: Instituto Tecnológico Canario.

La ficha técnica del equipo se encuentra en el **ANEXO 9** de presente proyecto. Así mismo, la justificación del diseño de recuperación de energía mediante intercambiadores de presión con cámaras rotativas se encuentra en el **ANEXO 4**.

10.6. POSTRATAMIENTOS

Para el acondicionamiento del agua desalada producida, es necesario someterla a un postratamiento. El objetivo del mismo, es cumplir con la normativa vigente, RD 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios para el agua de consumo humano.

Alguno de los postratamientos más usados son los siguientes:

- Eliminación de CO₂

Una elevada concentración de CO₂ en el permeado puede ser perjudicial principalmente porque el CO₂ incrementa el carácter corrosivo del permeado. Para eliminar el CO₂ se hace pasar el permeado por un desgasificador atmosférico. En nuestro caso, el contenido en CO₂ en el permeado es menor a 60 mg/L.

- Ajuste de pH

Cuando la concentración de CO₂ es inferior a 60 mg/L no es rentable utilizar un desgasificador atmosférico para subir el pH. En tal caso se requiere la adición de NaOH o KOH al permeado mediante una bomba dosificadora.

- Desionización

El permeado de una planta de ósmosis inversa contiene una cantidad de sales disueltas cuya concentración está en función del rechazo de sales específico de la membrana y de la concentración del agua de alimentación a la planta. Dicho contenido en sales puede ser inaceptable para determinados usos industriales en los que se requiere un agua de mayor pureza. Para obtener estos niveles de pureza se suele acoplar un sistema de resinas de intercambio iónico a la planta de ósmosis inversa. Este no es nuestro caso, puesto que el agua obtenida tiene como objeto el abastecimiento urbano para consumo humano.

- Esterilización

Para evitar presencia de virus y bacterias en el agua es necesario someterla a un proceso de cloración.

- Remineralización

En el caso de aguas para abastecimiento urbano, es necesario que ésta contenga los niveles de calcio exigidos por el RD 140/2003. Para ellos se hace pasar el permeado por un lecho de calcita. Con este sistema se consigue además ajustar el pH.

Por tanto, teniendo en cuenta lo expuesto en los párrafos anteriores, el agua obtenida tras el proceso de desalación se va a someter a los siguientes procesos:

10.6.1 REMINERALIZACIÓN : LECHOS DE CALCITA DE FLUJO ASCENDENTE Y ALTURA CONSTANTE

▪ **Introducción**

El objetivo de la remineralización es aumentar la dureza cálcica y la alcalinidad del agua desalada hasta valores que permitan alcanzar un índice de Langelier (LSI) próximo a cero (LSI ± 0,5 según el RD 140/2003). También se persigue obtener un agua que permanezca estable en contacto con la atmósfera.

Según un estudio realizado por el Instituto Tecnológico Canario (ITC), se considera que para que un agua esté bien remineralizada, en un rango de temperaturas de 14-25°C, deberá tener las características que se muestran a continuación en la **tabla 10.6-a**:

Parámetro	Rango
pH	8,2 ± 0,1
Alk, mg CaCO ₃ /L	56 ± 3
HCO ₃ ⁻ , mg/L	68 ± 3
Ca ²⁺ , mg/L	21 ± 2
CO ₂ , mg/L	0,7 ± 0,1
LSI (SM2330)	± 0,15

Tabla 10.6-a: Características óptimas para la remineralización.

Fuente: Guía para la remineralización de las aguas desaladas, Manuel Hernández-Suárez.

La remineralización reduce el carácter agresivo del agua desalada al aumentar el LSI y el contenido en bicarbonatos respecto al cloro y a los sulfatos. En la **Figura 10.6-a** se ilustra el principio de la remineralización de las aguas desaladas, desde el punto de vista del equilibrio $\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-}$, para un agua desalada con las siguientes características: pH=6, 1,5 mg HCO_3^-/L , 3 mg CO_2/L , 200 mg STD/L y T=20°C.

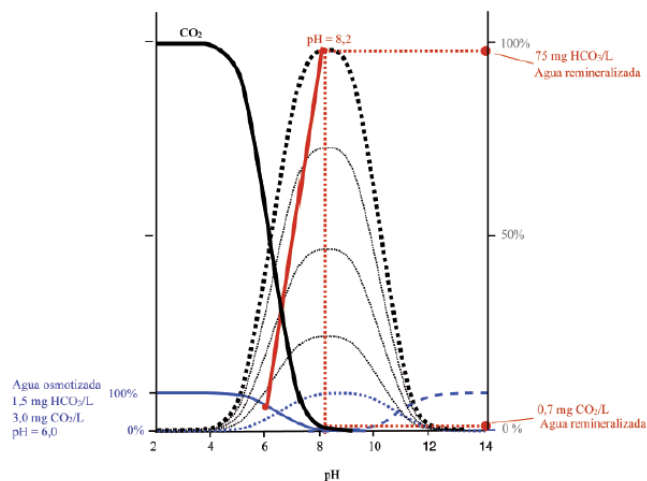


Figura 10.6-a: Aspectos del equilibrio $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-$ en el proceso de remineralización del agua osmotizada.

Fuente: Guía para la remineralización de las aguas desaladas, Manuel Hernández-Suárez.

Tal y como se ve en la figura anterior, con el proceso de la remineralización se aumenta el contenido en bicarbonatos hasta los 75 mg/L consumiendo el CO_2 hasta dejarlo en 0,7 mg/L. De esta forma se obtiene un agua en equilibrio con la atmósfera. Además este aumento de bicarbonatos va acompañado de un aumento de pH hasta pH óptimo (8,2).

A continuación, en la **Tabla 10.6-b** se describen las distintas técnicas para la remineralización de las aguas desaladas.

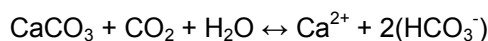
	Proceso de remineralización	Reacción del proceso	Consumo de químicos por incremento de 1 mmol (61 mg) de HCO_3^-	Incremento del contenido en cationes y aniones por 1 mmol (61 mg) de HCO_3^-
1	Carbonato cálcico + Dióxido de carbono	$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2(\text{HCO}_3^-)$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

Figura 10.6-b: Técnicas para la remineralización.

Fuente: Guía para la remineralización de las aguas desaladas, Manuel Hernández-Suárez.

De las 5 técnicas de remineralización descritas en la figura anterior, las más utilizadas en la práctica son la 1 y la 2. Sin embargo, el menor consumo de CO_2 y la menor complejidad del proceso apuntan a que los lechos de calcita son una técnica más estable para la remineralización de las aguas desaladas que la dosificación con lechada de cal.

La remineralización con calcita, utiliza carbonato cálcico para neutralizar el gas carbónico agresivo durante la filtración dando lugar a bicarbonato y calcio en disolución, y aumentando de esta manera la alcalinidad y dureza del agua. La reacción que ocurre es la siguiente:



La filtración se puede llevar a cabo tanto en sentido ascendente como descendente. Sin embargo este último presenta problemas de atascamientos lo que obliga a efectuar lavados a contracorriente cada 10-14 días con el consiguiente coste económico. Dentro de los lechos ascendentes, los más utilizados en desalación son los de altura constante. Por tanto, la técnica elegida para llevar a cabo el proceso de remineralización en nuestra planta es la remineralización con lechos de calcita de flujo ascendente y alimentación en continuo o altura constante.

▪ **Descripción del funcionamiento del lecho de calcita**

El diseño implementado para la remineralización con calcita consiste en una serie de lechos de calcita de flujo ascendente y de altura constante. Los lechos están alojados en una serie de celdas rectangulares de hormigón armado que funcionan en paralelo, haciendo pasar el flujo ascendente del agua a través de los lechos de calcita.

El conjunto de las celdas tiene capacidad para tratar una producción de 20.000 m³/d.

El funcionamiento de estas celdas es como se describe a continuación. El agua entra en la parte inferior de la celda y se distribuye a través del piso filtrante. A continuación asciende por la parte inferior del lecho de carbonato cálcico triturado y a medida que sube por el lecho el agua va corrigiendo su composición química ya que el CO₂ disuelto en el agua reacciona con el carbonato cálcico del lecho formando bicarbonato cálcico soluble.

Una vez atravesado el lecho, el agua ya remineralizada entra en una zona de remanso y abandona las celdas por un vertedero perimetral donde se recoge en una serie de canales que la conducen directamente y por gravedad al depósito de agua tratada.

Para la dosificación de CO₂ se tiene un depósito de almacenamiento dónde se almacena el CO₂ en forma líquida (ver ficha técnica en el **anexo 9** del presente proyecto). Desde dicho depósito el CO₂ es trasegado bajo forma líquida, vaporizado y llevado a temperatura ambiente mediante un evaporador eléctrico. Posteriormente se inyecta en la tubería de agua producto antes de entrar en los lechos de calcita.

▪ **Aspectos de diseño**

A continuación se describen los criterios de diseño para los lechos de calcita ascendentes y de altura constante.

Velocidad ascensional

En los lechos ascendentes con dosificación en continuo, la velocidad ascensional dicta la turbidez del agua de salida. De acuerdo con datos facilitados por el Instituto Tecnológico Canario (ITC), el valor de 1 NTU se supera con velocidades superiores a 20 m/h. Por tanto en la práctica se trabajan con velocidades comprendidas entre 10-15 m/h.

Tiempo de contacto ó EBCT

El cálculo del tiempo de contacto en lecho vacío se realiza mediante una simulación matemática del proceso de saturación de los lechos de calcita. Según la guía de

remineralización publicada por ITC, el tiempo de contacto óptimo debe estar comprendido entre 11-15 minutos.

Efecto de la temperatura

Es importante ajustar el tiempo de contacto en base a la temperatura, ya que la caída de temperatura produce un descenso en la velocidad de reacción y por tanto en el rendimiento de los lechos de calcita.

Pérdida de carga del lecho y fluidización

Cuando las pérdidas de carga del lecho empiezan a aumentar es necesario llevar a cabo la fluidización del mismo para realizar la limpieza de finos. De acuerdo con datos proporcionados por el ITC la expansión del lecho empieza cuando la velocidad alcanza los 30 m/h y la fluidización completa se alcanza a partir de los 50 m/h. Después, para obtener un agua con una turbidez menor a 1 NTU es necesario mantener el caudal nominal entre 10-15 m/h unos 30-45 minutos.

Calidad de la calcita

Es importante disponer de calcita libre de polvo ($\phi < 40 \mu\text{m}$) y con una granulometría uniforme, de 1-3 mm.

La calidad recomendada para un buen funcionamiento de los lechos debe ser la que se resume en la **Tabla 10.6-c** que se muestra a continuación. Además deberá contar también con el certificado para uso en abastecimientos.

Parámetro	Valor recomendado
Pureza	98-99,9%
SiO ₂	3%
Al ₂ O ₃	1%
MgO	2%
SO ₃	1%
Óxido de Hierro	< 0,05%
Peso específico (t/m ³)	27
PE granulado seco (t/m ³)	15
PE granulado húmedo (t/m ³)	1,8
% partículas Ø 0,3 mm	<3%
% partículas Ø 0,1 mm	<1%
Material insoluble >50 μm	<0,5%

Tabla 10.6-c: Recomendación para la calidad de la calcita (valores en % en seco).

Fuente: Guía para la remineralización de las aguas desaladas, Manuel Hernández-Suárez.

Configuración de los lechos de calcita

Los lechos de calcita se diseñan en celdas rectangulares de distintos tamaños o bien en depósitos circulares.

Para los lechos ascendentes y de altura constante la capacidad de tratamiento de las celdas rectangulares es de 8000 m³/d y para los depósitos circulares de 2500 m³/d.

Dosificación de CO₂

Generalmente es necesario un cierto aporte de CO₂ al agua desalada para poder realizar una adecuada remineralización. Según la guía de remineralización publicada por el ITC, la dosificación de CO₂ para alcanzar el objetivo de remineralización varía según la alcalinidad del agua desalada.

La dosificación del CO₂ funciona bien con inyección directa. La velocidad del agua en la tubería de inyección debe mantenerse en 0,07 ± 0,02 m/s para así evitar el arrastre de burbujas.

DATOS DISEÑO

En la instalación se van construir 4 celdas rectangulares de 3 por 6 metros de superficie horizontal.

A continuación se muestran los datos de diseño del lecho de calcita de flujo ascendente y altura constante obtenidos en el **ANEXO 5** del presente proyecto.

LECHO DE CALCITA DE FLUJO ASCENDENTE Y ALTURA CONSTANTE

Volumen (m ³)	54
Altura del lecho (m)	3
Velocidad (m/h)	12,73
EBCT (min)	11
CO ₂ (mg/L)	21,9

10.6.2. POST-CLORACIÓN

Como el agua que se va a desalar ha sido desprovista de sus características oxidantes mediante la dosificación de metabisulfito sódico, en el producto no existe cloro residual.

Y como antes de su uso final suele almacenarse en algún depósito, existe riesgo de que pueda contaminarse.

Por ello, si el agua se va a dedicar a abastecimiento urbano, es necesario volver a clorarla para cumplir con la normativa sanitaria en cuanto a presencia de cloro residual en la red.

Los tres procedimientos de cloración que se emplean en esta fase son:

- Gas cloro. Muy extendido en los abastecimientos, por su menor coste, cuando se tratan de grandes caudales. Su manipulación es más peligrosa y se requiere aislar adecuadamente los equipos para evitar accidentes.

- Hipoclorito sódico. Es el procedimiento más barato tanto de implantación como de funcionamiento.
- Hipoclorito cálcico. Similar en su aplicación al anterior. Tiene la ventaja de aportar calcio, que sirve para elevar el contenido de este elemento en el agua producto.

En nuestro caso, al tener lechos de calcita para la remineralización del agua producto la dosificación de hipoclorito cálcico es innecesaria, por lo que la mejor alternativa para llevar a cabo la cloración es utilizar hipoclorito sódico.

DATOS DE DISEÑO

El caudal a dosificar de hipoclorito sódico al 20% de disolución es 0,210 m³/d. Con él se tratarán los 20.000 m³/d de agua producto que se obtienen en la planta.

Para su dosificación se dispone de 1 bomba dosificadora (más una de reserva) de la firma Dosapro, modelo GA. Dicha bomba está equipada con variadores de frecuencia y ha sido seleccionada con capacidad para tratar el 100% del caudal.

La solución se preparará en un depósito de la empresa AIQSA de 6.000 L de capacidad. El modelo seleccionado es del tipo D. El depósito está provisto de un electroagitador eléctrico de turbina de la firma Dosapro, modelo 0021S. Su ficha técnica puede verse en el **ANEXO 9** del presente proyecto.

Los cálculos justificativos de la dosificación de reductor se presentan en el **ANEXO 5** del presente proyecto.

10.7 CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN HIDRÁULICA

10.7.1 DIMENSIONADO DE TUBERÍAS

Las tuberías de la instalación deben permitir el transporte del agua desde el punto de captación hasta los bastidores, así como los dos flujos que se originan tras el proceso, el producto hasta el depósito de almacenamiento y la salmuera al punto de vertido, además de la distribución y dosificación de agua de servicio y reactivos químicos respectivamente.

El diseño de las tuberías de una planta de OI debe tender a:

- .Disminuir el número de conexiones y de estrechamientos.
- Ser resistentes a la corrosión.
- Tener una buena relación calidad/precio.
- Proteger a las tuberías de plástico (PVC) de las vibraciones y de los golpes de agua.
- Montar los bastidores de forma que se eviten al máximo los posibles accidentes mecánicos de las tuberías.

La instalación puede dividirse en dos zonas bien diferenciadas atendiendo al material utilizado en las conducciones, denominadas *zona de alta presión* y *zona de baja presión*.

Existen dos tipos de materiales que juegan un papel fundamental en las instalaciones de ósmosis inversa, materiales plásticos y metálicos.

La tecnología de plásticos ha sido fundamental para el desarrollo de las instalaciones de desalación, ya que han permitido disponer de materiales a precios razonables y muy resistentes tanto a la corrosión como a los productos químicos.

Existe una gran variedad de plásticos que permiten encontrar el material adecuado a cada caso.

Su menor resistencia a los esfuerzos, frente a los materiales metálicos, los hace imprescindibles en toda parte de la instalación que trabaja a baja presión. Los más utilizados en las instalaciones desaladoras son: PE, PVC y PRFV.

Las conducciones generales de la parte de la instalación de *baja presión*, es decir, las conducciones que van desde la aspiración e impulsión de las bombas de captación hasta la aspiración de las bombas de alta presión, y las que conducen el permeado producido por las membranas hasta el depósito de almacenamiento o regulación de la instalación suelen ser de materiales plásticos, por ser más resistentes a la corrosión, así como por soportar presiones medias ($P \leq 10 \text{ Kg/cm}^2$).

Los más utilizados son el PVC o el polipropileno en conducciones de diámetros pequeños de hasta 4" y PRFV para diámetros superiores a 4".

Se trata de materiales rígidos, aunque dotados de una cierta flexibilidad, que por tanto, mediante los correspondientes accesorios, se adaptan perfectamente a cualquier recorrido y permiten construir una instalación hidráulica compacta.

En instalaciones pequeñas suele ser de PVC toda la baja presión y según circunstancias puede serlo también la denominada alta presión en instalaciones de nanofiltración o para salinidades bajas.

En instalaciones de mayor tamaño se prefiere el PRFV por sus mayores prestaciones compatibles con el precio.

La unión de los distintos tramos de PVC puede hacerse mediante pegamento y accesorios o mediante cordón de soldadura. Este procedimiento es más lento y difícil de ejecución, pero garantiza una estanqueidad que no proporciona el otro.

Este aspecto es digno de consideración en aquellas partes de la instalación en que existan numerosos accesorios como en los bastidores de ósmosis inversa o en los circuitos de los distintos equipos de dosificación de reactivos.

En estas partes de la instalación también se suele usar alternativamente el polipropileno cuyas uniones también se realizan por cordón de soldadura y que ofrecen una mayor resistencia.

Las tuberías para la zona de baja presión de nuestra planta estarán construidas de PRFV, proporcionadas por la empresa FLOWTIT del modelo denominado SN 10.000 y PN 10, a excepción del tramo AT-75-PVC-28.0, que corresponde a la salida de permeado de los tubos de presión.

La única excepción a estas conducciones son las tuberías de ácido sulfúrico que deben ser de acero al carbono.

Las conducciones de *alta presión*, es decir, los tramos de tuberías entre la impulsión de las bombas de alta presión y las membranas, así como las que recogen la salmuera y la

retoman a los sistemas de recuperación de energía o la evacúan del sistema, son de materiales metálicos dado que tienen que soportar presiones superiores a 25 Kg/cm^2 y en el caso del agua de mar pueden alcanzar hasta los 70 o más Kg/cm^2 .

Se recurre por tanto a aleaciones metálicas, pero teniendo en cuenta que no sólo deben soportar las altas presiones de operación, sino que además deben ser muy resistentes a la corrosión.

La corrosión de las conducciones metálicas provocaría el desprendimiento y la incrustación de depósitos en las membranas, limitando la vida útil de éstas.

Bajo estas premisas, como primera opción por su disponibilidad en el mercado y precio frente a otro tipo de aleaciones metálicas no férricas, se encuentra toda la familia de los aceros.

En este caso, un acero inoxidable austenítico es suficiente para soportar la presión de operación.

Para agua marina se ha comprobado que los mejores resultados en servicio los proporciona el acero AISI 316.

En nuestra instalación, las conducciones de alta presión serán de ACERO INOXIDABLE AISI 316, por ser el material que más se adecua. No solo debe resistir las altas presiones, sino además ser resistentes a la corrosión, ya que provocaría el desprendimiento y la incrustación de depósitos de las membranas, limitando la vida útil de éstas.

Un factor clave para la resistencia a la corrosión es la velocidad del fluido en la conducción, que debe ser $\geq 3 \text{ m/s}$, por encima de la cual el acero inoxidable AISI 316 L se comporta de manera pasiva frente a la corrosión y además se evitan formación de depósitos.

Los cálculos del dimensionado de tuberías se encuentran realizados en el **ANEXO 6** de los cálculos hidráulicos de dicho proyecto. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	$Q_{\text{TUBERÍA}}$ (m^3/d)	$Q_{\text{TUBERÍA}}$ (m^3/s)	V_{FLUIDO} (m/s)	DN (mm)	D_i (mm)	Longitud (m)	Espesor (mm)
AM-200-10-PRFV-1.1	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	6	5,3
AM-200-10-PRFV-1.2	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	6	5,3
AM-200-10-PRFV-1.3	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	6	5,3
AM-200-10-PRFV-2.1	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	2	5,3
AM-200-10-PRFV-2.2	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	2	5,3
AM-200-10-PRFV-2.3	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	2	5,3
AM-300-10-PRFV-3	17.922,928	0,207	2,708	300	312,3	150	6,1
AM-150-10-PRFV-4.1	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-4.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-4.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-4.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.1	2925,532	0,034	1,688	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AL-200-10-PRFV-6	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AF-150-10-PRFV-7.1	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1
AF-150-10-PRFV-7.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1

AF-150-10-PRFV-7.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1
AF-150-10-PRFV-7.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1
AL-200-10-PRFV-8.1	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AL-200-10-PRFV-8.2	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AL-200-10-PRFV-8.3	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AL-200-10-PRFV-8.4	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AF-150-10-PRFV-9.1	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AF-150-10-PRFV-9.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AF-150-10-PRFV-9.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AF-150-10-PRFV-9.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AM-250-10-PRFV-10.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	8,5	6,4
AF-250-10-PRFV-11.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	29,5	6,4
AF-200-10-PRFV-12.1	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,5	5,3
AF-200-10-PRFV-12.2	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,5	5,3
AF-200-10-PRFV-13.1	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,6	5,3
AF-200-10-PRFV-13.2	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,6	5,3
AF-250-10-PRFV-14.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	1,5	6,4
AF-250-10-PRFV-15.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	22,5	6,4
AT-200-10-PRFV-16.0	5.000	0,064	1,840	200	209,9	4	5,3
AT-350-10-PRFV-17.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	20	7,1
ATLQ-250-10-PRFV-18.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	6	6,4
ALQ-250-10-PRFV-19.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	0,5	6,4
ALQ-250-10-PRFV-20.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	1,5	6,4
ALQ-250-10-PRFV-21.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	6	6,4
AT-350-10-PRFV-22.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	10	7,1
AT-350-10-PRFV-23.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	1,5	7,1
AT-200-10-PRFV-24.0	5.500	0,064	1,840	200	209,9	2	5,3
AT-200-10-PRFV-25.0	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1,5	5,3
AT-350-10-PRFV-26.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	5	7,1
AT-350-10-PRFV-27.1	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-350-10-PRFV-27.2	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-350-10-PRFV-27.3	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-350-10-PRFV-27.4	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-63,5-PVC-28.0	117,021	0,001	0,003	63,5	71,4	0,5	1,8
AP-273,10-sch40-SS-29.0	11.702,128	0,135	3,000	273,1	239,756	3	9,27
AP-168,28-sch40-SS-30.0	3900,709	0,045	3,000	168,28	138,423	3,5	7,11
AP-48,26-sch40-SS-31.0	248,981	0,003	3,000	48,26	34,972	0,5	3,68
AP-219,08-sch40-SS-32.0	6202,128	0,072	3,000	219,08	174,545	10	8,18
AP-219,08-sch40-SS-33.0	6202,128	0,072	3,000	219,08	174,545	2,2	8,18
AP-114,3-sch40-SS-34.0	2067,376	0,024	3,000	114,3	100,774	3,0	6,02
AP-26,67-sch40-SS-35.0	131,960	0,002	3,000	26,67	25,460	0,5	2,87

Tabla 10.6.1-a: Cálculos hidráulicos para las líneas de la instalación.

NOTA: Las longitudes se refieren a tramos de tubería recta.

10.7.2 PÉRDIDAS DE CARGA

Las pérdidas de carga que se producen al circular el agua por las conducciones se dividen en dos tipos: lineales y singulares.

▪ **Pérdidas lineales:**

Para calcular el valor de la pérdida de carga lineal que se ha producido en un conducto de sección circular, se emplea la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$(h_f)_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga (m).

f : Factor de fricción de fanning.

L : Longitud de la tubería(m)

D : Diámetro interno de la tubería(m).

V : Velocidad del fluido(m/ s)

g : Aceleración de la gravedad = $9,81 \frac{m}{s^2}$

La ecuación de Darcy-Weisbach es válida para fluidos viscosos e incompresibles en régimen estacionario y completamente desarrollado, laminar o turbulento.

El factor de fricción de Fanning es función de la rugosidad relativa de la tubería (ϵ/D) y del número de Reynolds (Re). La rugosidad (ϵ) depende únicamente del material con la que se fabrica el material.

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa se calcula el factor de fricción para cada tramo de tubería. Este factor se obtiene a través de ecuaciones de ajuste no lineal o por medio de la gráfica de Moody.

▪ **Pérdidas singulares:**

Las pérdidas de carga singulares son las que se producen en los accesorios (codos, válvulas, téj.,...). Se deben a que el flujo en el interior de los mismos es tridimensional y complejo, produciéndose una gran disipación de energía.

Se determinan mediante el método de las cargas de velocidad, que consiste en asignar a cada accesorio un valor de "K", que al multiplicarlo por la carga de velocidad que lo atraviesa, sea igual al valor de la pérdida de carga que produce.

La pérdida de los accesorios viene dada por la siguiente expresión::

$$(hf)_s = \sum K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Siendo K una constante que depende del tipo de accesorio.

Los resultados de los cálculos de las pérdidas de carga de las conducciones realizadas en el **ANEXO 6**, cálculos hidráulicos de la instalación, se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	Re	f	$(h_f)_s(m)$	$(h_f)_L(m)$	$(h_f)_T(m)$
AM-200-10-PRFV-1.1	1,998	0,012	0,850	0,067	0,917
AM-200-10-PRFV-1.2	1,998	0,012	0,850	0,067	0,917
AM-200-10-PRFV-1.3	1,998	0,012	0,850	0,067	0,917
AM-200-10-PRFV-2.1	1,998	0,012	3,605	0,022	3,627
AM-200-10-PRFV-2.2	1,998	0,012	3,605	0,022	3,627
AM-200-10-PRFV-2.3	1,998	0,012	3,605	0,022	3,627
AM-300-10-PRFV-3.0	2,708	0,009	2,841	1,578	4,419
AM-150-10-PRFV-4.1	2,586	0,012	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-4.2	2,586	0,012	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-4.3	2,586	0,012	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-4.4	2,586	0,012	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-5.1	1,688	0,014	0,173	0,013	0,186
AM-150-10-PRFV-5.2	1,688	0,014	0,173	0,013	0,186
AM-150-10-PRFV-5.3	1,688	0,014	0,173	0,013	0,186
AM-150-10-PRFV-5.4	1,688	0,014	0,173	0,013	0,186
AL-200-10-PRFV-6.0	2,081	0,011	0,009	0,056	0,065
AF-150-10-PRFV-7.1	2,586	0,012	0,240	0,105	0,345
AF-150-10-PRFV-7.2	2,586	0,012	0,240	0,105	0,345
AF-150-10-PRFV-7.3	2,586	0,012	0,240	0,105	0,345
AF-150-10-PRFV-7.4	2,586	0,012	0,240	0,105	0,345
AL-200-10-PRFV-8.1	2,081	0,011	0,119	0,006	0,125
AL-200-10-PRFV-8.2	2,081	0,011	0,119	0,006	0,125
AL-200-10-PRFV-8.3	2,081	0,011	0,119	0,006	0,125
AL-200-10-PRFV-8.4	2,081	0,011	0,119	0,006	0,125
AF-150-10-PRFV-9.1	2,586	0,012	0,269	0,013	0,282
AF-150-10-PRFV-9.2	2,586	0,012	0,269	0,013	0,282
AF-150-10-PRFV-9.3	2,586	0,012	0,269	0,013	0,282
AF-150-10-PRFV-9.4	2,586	0,012	0,269	0,013	0,282
AM-250-10-PRFV-10.0	2,565	0,010	0,013	0,106	0,119
AF-250-10-PRFV-11.0	2,565	0,010	11,400	0,366	11,766
AF-200-10-PRFV-12.1	1,957	0,012	0,535	0,005	0,540
AF-200-10-PRFV-12.2	1,957	0,012	0,535	0,005	0,540
AF-200-10-PRFV-13.1	1,957	0,012	1,062	0,006	1,068
AF-200-10-PRFV-13.2	1,957	0,012	1,062	0,006	1,068
AF-250-10-PRFV-14.0	2,565	0,010	0,600	0,019	0,619
AF-250-10-PRFV-15.0	2,565	0,010	0,684	0,279	0,963
AT-200-10-PRFV-16.0	1,840	0,012	0,395	0,039	0,434
AT-350-10-PRFV-17.0	2,471	0,009	0,062	0,146	0,208
ATLQ-250-10-PRFV-18.0	2,225	0,010	0,073	0,058	0,131
ALQ-250-10-PRFV-19.0	2,225	0,010	0,033	0,005	0,038
ALQ-250-10-PRFV-20.0	2,225	0,010	0,073	0,073	0,146
ALQ-250-10-PRFV-21.0	2,225	0,010	0,578	0,058	0,636
AT-350-10-PRFV-22.0	2,471	0,009	0,349	0,073	0,422
AT-350-10-PRFV-23.0	2,471	0,009	0,090	0,073	0,163
AT-200-10-PRFV-24.0	1,840	0,012	0,438	0,020	0,458
AT-200-10-PRFV-25.0	1,840	0,012	0,395	0,015	0,410
AT-350-10-PRFV-26.0	2,471	0,009	0,103	0,037	0,140
AT-200-10-PRFV-27.1	1,840	0,012	0,172	14,647	14,819

AT-200-10-PRFV-27.2	1,840	0,012	0,172	14,647	14,819
AT-200-10-PRFV-27.3	1,840	0,012	0,172	14,647	14,819
AT-200-10-PRFV-27.4	1,840	0,012	0,172	14,647	14,819
AT-63,5-PVC-28.0	0,003	0,074	0,005	0,007	0,012
AP-273,10-sch40-SS-29.0	3,000	$1,013 \cdot 10^{-2}$	1,174	0,058	1,232
AP-168,28-sch40-SS-30.0	3,000	$1,352 \cdot 10^{-2}$	2,661	0,157	2,818
AP-48,26-sch40-SS-31.0	3,000	$3,723 \cdot 10^{-2}$	0,183	0,244	0,427
AP-219,08-sch40-SS-32.0	3,000	$1,186 \cdot 10^{-2}$	1,239	0,312	1,551
AP-219,08-sch40-SS-33.0	3,000	$1,186 \cdot 10^{-2}$	0,409	0,068	0,477
AP-114,3-sch40-SS-34.0	3,000	$1,653 \cdot 10^{-2}$	0,864	0,224	1,088
AP-26,67-sch40-SS-35.0	3,000	$4,909 \cdot 10^{-2}$	0,183	0,442	0,605

Tabla 10.6.2-a: Pérdidas de carga lineales, singulares y totales de la instalación.

10.8. ALMACENAMIENTO DE AGUA PRODUCTO Y DISTRIBUCIÓN

Tras el postratamiento el agua es conducida mediante una tubería de PRFV al depósito de agua producto. Este es un depósito suministrado por la empresa auxiliar de instalaciones químicas AIQSA S.A. El modelo del depósito es el Big-Tank y está fabricado de poliéster de fibra de vidrio. En el depósito se dispone de un medidor de nivel con alarma por bajo nivel.

Tiene una capacidad de 2.000.000 L, suficiente para albergar la producción de un día durante 2 horas y realizar así el bombeo de distribución evitando las horas punta y optimizando los costes de impulsión.

A la salida del depósito se disponen medidores de conductividad, pH y potencial redox, cuya misión es realizar un ajuste fino de los parámetros de calidad del agua, actuando si fuese necesario sobre los equipos de dosificación del postratamiento.

10.8.1 BOMBA DE IMPULSIÓN DE AGUA PRODUCTO

La distribución final del agua producto, $20.000 \text{ m}^3/\text{d}$, se realiza mediante una bomba centrífuga (más una de reserva) de la firma Itur, que impulsa dicho caudal a la red a una presión máxima de 10 bar. Debe suministrar $916,667 \text{ m}^3/\text{h}$ y una capacidad 41,352 m.

A continuación en la **Tabla 10.8-a** se muestran las características de la bomba seleccionada.

"BOMBA IMPULSIÓN AGUA PRODUCTO DE ITUR, MODELO INP"	
Caudal (m^3/h)	1.500
Altura útil (m)	100
Presión (bar)	10
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	-5+120
Revoluciones (min^{-1})	3.000

Tabla 10.8-a: Especificaciones técnicas de la bomba de impulsión de agua producto.

Fuente: Fabricante ITUR.

CAPÍTULO 11: CONTROL AUTOMÁTICO DE LA PLANTA

11.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallará de forma general y breve la instrumentación que debe llevar una instalación desaladora. Se describirán cada uno de los equipos y finalmente se detallarán los bucles de control que deben instalarse en este tipo de plantas.

El diseño del control automático no será objeto del presente proyecto.

11.2 INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA

▪ Nomenclatura de la instrumentación

- *CIT*: transmisor e indicador de conductividad. Este instrumento transforma la señal de conductividad de un fluido en una señal eléctrica que oscila entre 4 y 20 mA.
- *FT*: transmisor de caudal. Este instrumento transforma la señal de caudal en una señal eléctrica que oscila entre 4 y 20 mA.
- *FI*: indicador de caudal (caudalímetro).
- *FLS*: sensor que actúa sobre un contacto normalmente cerrado y que se abre cuando el caudal detectado por este cae por debajo del valor de consigna dado al sensor.
- *LSL*: sensor que actúa sobre un contacto normalmente cerrado y que se abre cuando el nivel de un depósito cae por debajo del valor de consigna determinado.
- *PDSH*: presostato diferencial. Sensor que actúa sobre un contacto normalmente cerrado y que se abre cuando la presión detectada entre dos puntos dados del circuito sobrepasa un valor dado.
- *PT*: transmisor de presión. Este instrumento transforma la señal de presión en una señal eléctrica que oscila entre 4 y 20 mA, de tal forma que cuando la presión sea la que se le ha asignado como mínima dará un valor de 4 mA y cuando la presión sea la que se le ha asignado como máxima, dará un valor de 20 mA.
- *PI*: indicador de presión (manómetro).
- *PSL*: presostato de baja. Sensor que actúa sobre un contacto normalmente cerrado y que se abre cuando la presión detectada por éste cae por debajo del valor de consigna dado al sensor.
- *PSH*: presostato de alta. Sensor que actúa sobre un contacto normalmente cerrado y que se abre cuando la presión detectada por éste sobrepasa el valor de consigna dado al sensor.
- *TT*: transmisor de temperatura. Este instrumento transforma la señal de temperatura en una señal eléctrica que oscila entre 4 y 20 mA.
- *TI*: indicador de temperatura (termómetro).
- *pHIT*: transmisor e indicador de pH. Instrumento de lectura y transformación de la señal de pH en una señal eléctrica entre 4 y 20 mA.
- *ORPI*: Indicador de potencial redox.

▪ **Descripción de los equipos**

- ***Manómetros***

Los manómetros son instrumentos de precisión y se deben manejar con cuidado. Se recomienda seleccionar para cada manómetro un rango estándar cuyo valor fondo escala sea aproximadamente el doble de la presión de trabajo, con lo que se logrará prolongar la duración del aparato y al mismo tiempo se facilitará la lectura de la indicación que se efectuará en el centro de la esfera.

Deberá comprobarse que los materiales de las partes en contacto con el fluido de proceso (elemento sensible y racord) sean los adecuados para el tipo de fluido a medir.

En este tipo de plantas, se utilizan equipos distintos para medir la presión del agua dulce y del agua salada.

Unos de los más importantes son los instalados en cada una de las líneas de salmuera, para el control de la presión del rechazo que va al sistema de recuperación energético dadas las características más o menos fijas de dichos equipos. Dicho manómetro, pertenece al bucle de control de drenaje de salmuera, actuando sobre la válvula del by-pass de la turbina Pelton y manteniendo de esta forma la presión de admisión de la turbina en sus valores de especificación.

- ***Transmisores de presión***

Los transmisores usados en este tipo de plantas funcionan con la técnica de dos cables y tienen una señal de salida analógica de 4 a 20 mA. Estos transmisores contienen un microprocesador interno que permite realizar diversas funciones y da facilidad de operación.

El tipo de material del transmisor en contacto con el fluido a medir dependerá de la resistencia a la corrosión que precise.

Análogamente al caso de los manómetros, hay que distinguir entre los transmisores utilizados en las líneas de agua de alimentación y rechazo, y el que se encuentra en la línea de agua producto. Esta distinción alude al rango de calibración

- Rango de calibración:
 - Línea de Alimentación y Rechazo: 0-100 atm.
 - Línea de agua Producto: 0-6 atm.

- ***Presostatos diferenciales***

Los presostatos diferenciales, como todos los instrumentos de presión diferencial, requieren especial cuidado en el diseño y ejecución de las uniones entre los puntos de medida y el instrumento, ya que la línea de conexión forma parte integrante del instrumento en la transmisión de la variable medida desde el punto de medida al mismo instrumento.

Su principio de funcionamiento está basado en que la presión diferencial, actuando sobre un elemento sensible a membrana, determina la deformación elástica utilizada para accionar, automáticamente, uno o dos microrruptores eléctricos posicionados en valores de

actuación prefijados.

El instrumento debe montarse sobre un soporte rígido, exento de vibraciones.

En cuanto a la temperatura, el instrumento debe funcionar dentro de los límites de temperatura admitidos (normalmente de -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$), de ser necesario, se tomarán las medidas adecuadas para mantenerla dentro de esos límites.

En la planta existen estos instrumentos en cada una de las líneas siguientes:

- Equipo para la medida de la presión diferencial en el filtro de arena:
 - Rango: 0-2,5 bar
- Equipo para la medida de la presión diferencial en el filtro de cartucho:
 - Rango: 0-2,5 bar
- Equipo para la medida de la presión diferencial en las membranas:
 - Rango: 0-16 bar

- ***Indicador y transmisor de caudal***

El tipo de equipos utilizados en este tipo de plantas para la medición de caudal son aquéllos empleados en fluidos conductivos y en tubería cerrada.

El principio de funcionamiento está basado en la medición de un caudal electromagnético según la ley de Faraday, es decir, generación de un voltaje por inducción en un campo magnético. La velocidad de caudal es proporcional al voltaje inducido, medido por dos electrodos dentro del tubo de medida.

Se utilizan los siguientes caudalímetros:

- En la línea de entrada a los filtros de arena. Están asociados a sensores de bajo caudal que controlan los valores de consigna de dichos filtros tanto en modo de limpieza como en modo de operación normal aunque su función principal es la del bucle de control de flujo de la planta actuando sobre los variadores de frecuencia de las bombas de captación.
- En la línea de admisión de las bombas de alta presión.
- En las líneas de alimentación a las membranas y agua producto para control del flujo de permeado, asociado al bucle de control de limpieza química de las membranas.

- ***Transmisor e indicador de conductividad***

Los Indicadores (sensores) son equipos de diseño sencillo y mediciones precisas. Los materiales de que están hechos son de alta durabilidad y resistencia a la corrosión. No requieren calibración. Disponen de unos electrodos de titanio robustos disponibles con células constantes. El electrodo incluye un sensor de temperatura del tipo Pt-100.

Los transmisores son equipos que están montados con dos hilos de campo de gran utilidad para instalaciones que precisen elaboración central de datos y control.

En la planta se encuentran instalados de forma conjunta en las siguientes líneas:

- En el depósito intermedio
- En la línea de alimentación a los filtros de cartucho. Pertenece al bucle de control de adición de antiincrustante. Actúa sobre los variadores de frecuencia de las bombas dosificadoras.
- En la línea de alimentación a las membranas. Pertenece al bucle de control de presión. Actúa sobre la válvula de control.
- En la línea de agua producto. Controla la calidad del agua producto y pertenece al bucle de control de limpieza química de las membranas.
- En la línea de agua producto, para controlar la calidad del agua lista para la distribución.

- ***Indicador y transmisor de pH***

Los indicadores de pH son sensores de fácil instalación. Poseen un diafragma de PTFE que repele la suciedad y previene las obstrucciones, asegurando una medición precisa durante un largo periodo. Con un conducto o tubería pueden ser sumergidos en un tanque.

El transmisor de pH es similar a los de conductividad, poseen un microprocesador que da valores de pH y temperatura.

En la planta se encuentran instalados los siguientes pH-metros descritos:

- En el depósito intermedio. Pertenece al bucle de control de adición de reductor actuando sobre los variadores de frecuencia de las bombas de dosificación.
- En la línea de alimentación a los filtros de cartucho. Pertenece al bucle de control de adición de reductor actuando sobre los variadores de frecuencia de las bombas de dosificación.
- En la línea de alimentación a las membranas. Pertenece al bucle de control de adición de reductor actuando sobre los variadores de frecuencia de las bombas de dosificación.
- En la línea de agua producto antes del depósito de equilibrio osmótico.
- En la línea de agua tratada lista para distribución: Pertenece al bucle de control de dosificación del desinfectante.

- ***Transmisor e indicador de temperatura***

Estos equipos tienen misiones similares a las descritas en los apartados anteriores, con la diferencia de que suelen usar elementos termo resistivos como el Pt-100.

Realmente el Pt-100 es un sensor de Temperatura que consiste en un alambre de platino que a 0°C le corresponden 100 ohmios y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal pero sí creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas se encuentra la temperatura exacta a la que corresponde.

En la planta se encuentran instalados en las siguientes líneas:

- En el depósito intermedio. Se instala un termómetro para la medición de la

temperatura del agua bruta.

- En la línea de alimentación a las membranas. En este caso, el termómetro pertenece al bucle de control de drenaje, de tal forma que si la temperatura es demasiado alta actuará sobre la válvula de drenaje del bastidor.

- **Sensores de nivel**

Se emplean para llevar a cabo el control del nivel de líquido en los depósitos de la instalación.

En la planta se encuentran instalados en las siguientes líneas:

- En la dosificación de Reactivos. Pertenecen al bucle de control de la adición de la solución en los distintos equipos de tratamiento químico.
- En el depósito intermedio. Pertenecen al bucle de control de parada de la instalación al detectar bajo nivel en la cántara.
- En el depósito de agua producto.
- En el depósito de lavado químico/desplazamiento. Pertenecen al bucle de control de adición de la solución limpiadora.

- **Presostatos**

Son elementos de protección de los equipos. Cuando se superan los valores de consigna dados a sus sensores provocan la apertura del contacto normalmente cerrado y paran el equipo al que están asociados.

Hay presostatos de baja instalados en la admisión de todas las bombas para evitar la cavitación, que producen la parada de las mismas. Y presostatos de alta en la impulsión de la soplante del circuito de aire de lavado de los filtros de arena, así como en la alimentación a las membranas por si se supera la presión de trabajo máximo admisible de las mismas, poder parar la bomba de alta presión.

También se instala un presostato de alta y baja en la impulsión de las bombas de captación que producen la parada de las mismas si la presión del fluido no se encuentra dentro del rango de valores de consigna.

- **Válvulas de control**

La planta dispone de una válvula de control electrónica en la impulsión de cada uno de los grupos de alta presión, antes de la entrada del agua de alimentación a las membranas. Son las encargadas de regular en cada momento la presión de alimentación a las membranas, que variará con el tiempo en función del rendimiento de las mismas. Pertenecen por tanto, al bucle de control de presión de cada línea.

Son válvulas de tipo electrónico, provistas de actuador y tarjeta electrónica, que permiten ser manipuladas desde el centro de control mediante una señal digital.

11.3 SISTEMA DE CONTROL

La utilización de los distintos instrumentos descritos anteriormente, tiene como misión la automatización de la planta. La instalación de un sistema de control permite:

- Recogida de información del funcionamiento de la planta en un tiempo real, de forma que se pueda realizar un análisis crítico y tomar medidas correctivas.
- Facilitar la operación de la planta por medio de la transmisión de órdenes que afectan el funcionamiento de las distintas partes de la instalación.

El sistema de control automático constará de una unidad central de control y bloques de entrada y salida unidos por un bus de comunicación. De esta forma, los distintos parámetros de control se analizan, y cualquier alteración sobre los valores operacionales programados pueden corregirse alterando las condiciones de funcionamiento de algún equipo sin tener que parar la instalación excepto en casos extremos.

La utilización de señales tanto analógicas como digitales permite visualizar sobre una pantalla de ordenador, tanto los diferentes datos de funcionamiento, como la situación de operación de los distintos instrumentos o equipos. Además se dispone de un teclado para poder actuar sobre los mismos.

▪ **Autómata programable**

Un Autómata programable se puede definir como un equipo electrónico que realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias. El aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal.

La potencia de un autómata está directamente relacionada con la velocidad de ejecución del programa y las variables tratadas. El fin de dicha ejecución es provocar el cambio de las variables tratadas.

Este cambio sobre las variables se realiza antes, durante y al final del programa. Antes del programa se realiza la lectura de las entradas (inicio de ciclo), al final se realiza la escritura de las salidas (fin de ciclo y enlace con el inicio). Durante la ejecución del programa se realiza la lectura y escritura de las variables internas según el contexto programado.

El autómata es el encargado de gestionar todas las señales generadas en el sistema.

Estas señales se pueden dividir en cuatro grupos:

- Señales analógicas de entrada: son señales eléctricas que oscilan entre 4 y 20 mA, y que procedentes de los transmisores, “entran” en el autómata.
- Señales digitales de entrada: son señales denominadas normalmente de “0” ó “1”. Proviene de los sensores y se corresponden con un contacto abierto o cerrado. Como las anteriores también son recibidas por el autómata.
- Señales analógicas de salida: son señales eléctricas que varían entre 4 y 20 mA pero que ahora son generadas por el autómata en función de un programa previamente

establecido. Salen del autómatas y son recibidas por algún elemento de la planta.

- Señales digitales de salida: análogamente a las de entrada son señales de "0" ó "1", pero en este caso las genera el autómatas con un determinado nivel de tensión y son recibidas por algún dispositivo de la planta.

▪ **Variadores de frecuencia**

Los variadores de frecuencia son dispositivos altamente empleados en la regulación de los procesos industriales.

El término variador de frecuencia o velocidad incluye una amplia variedad de motores controlados mecánica, neumática y electrónicamente, cuya velocidad se puede modificar.

El variador consta de:

- El convertidor de entrada transforma corriente alterna en continua, necesaria para los transistores de potencia controlados electrónicamente del inversor de salida

- El enlace de continua es la fuente de potencia del inversor de salida. Los variadores de frecuencia de gran potencia tienen un gran banco de condensadores para almacenar carga eléctrica procedente de la entrada.

- El inversor de salida proporciona una tensión y una frecuencia variables en alterna. La tensión y la frecuencia se varían a la vez para obtener un par constante con velocidad variable, o se varían en distinta proporción, para obtener un par variable a distintas velocidades.

- Los circuitos de control temporizan la conmutación de los circuitos de E/S y transportan comandos desde el panel de control del operador. También monitorizan la aparición de fallos de funcionamiento y la existencia de condiciones de funcionamiento incorrectas, informando al operador. Si es necesario, los circuitos de control paran el variador de frecuencia para proteger el motor o el inversor de salida.

11.4 BUCLES DE CONTROL DE LA PLANTA

Los bucles de control instalados en la planta, aunque se han ido mencionando anteriormente junto con la descripción de los instrumentos, son:

▪ **Bucle de control de presión de cada una de las líneas**

La presión de la planta se controla con la válvula electrónica situada en la impulsión de cada uno de los grupos de alta presión. Dicha válvula recibe las señales de salida del autómatas en función a las entradas proporcionadas por el manómetro situado en la entrada de los bastidores.

▪ **Bucle de control del caudal de cada una de las líneas**

El caudal es controlado por un sistema jerárquico de señales de entrada. Existen dos medidores de flujo que gobiernan dicho control: el situado a la entrada de cada una de las líneas de alimentación a los filtros de arena, que manda la señal principal, y el medidor de flujo situado en la admisión de los grupos de alta presión, que manda la señal secundaria.

- *Señal principal:* el medidor de caudal proporciona la señal de entrada al autómata (en función de la caída de presión en los filtros de arena, ya que ésta determinará el comienzo o no del ciclo de lavado de los filtros y el correspondiente aumento del caudal de captación), el cuál manda la salida adecuada a los variadores de frecuencia de las bombas de captación.

- *Señal secundaria:* la detección de variación del caudal a la entrada de los grupos de alta presión, puede ser debida al ensuciamiento de alguno de los filtros de arena o de cartucho, por lo que el autómata responderá enviando la señal correspondiente a los variadores de frecuencia de las bombas de captación.

▪ **Bucle de control de la presión de la salmuera**

La salmuera que sale del bastidor de ósmosis para la unidad de recuperación, es decir hacia los intercambiadores de presión, va a alta presión. Este tipo de equipos, tienen unas especificaciones de caudal y presión más o menos fijas. El ensuciamiento gradual de las membranas a lo largo de la vida de la instalación provoca un aumento en el caudal de rechazo y por consiguiente, de la presión de dicho flujo.

A fin de regular la presión de admisión a los ERI, se sitúa un manómetro a la entrada de los mismo, de forma que si detecta presiones superiores a la de trabajo del equipo, actúa sobre la válvula de by-pass de los intercambiadores permitiendo el paso a drenaje de una parte del caudal hasta que la presión de admisión sea la adecuada.

▪ **Bucle de control de lavado químico de las membranas**

El ensuciamiento de las membranas viene determinado por la variación de alguno de los siguientes parámetros:

- Flujo de permeado
- Conductividad
- Caída de presión a lo largo de los tubos de membranas.

Estos parámetros serán los que gobiernen la activación del circuito de lavado químico o desplazamiento de agua de los equipos actuando sobre la válvula que permite el paso al depósito de lavado químico.

La medida de los mismos serán las señales de entrada al autómata:

- Manómetro diferencial entre entrada y salida de los bastidores (línea de agua de alimentación y producto) para detectar la caída de presión.
- Medidor de conductividad a la entrada y salida de agua producto como medida de la salinidad en el permeado (medida del ensuciamiento de las membranas).
- Medidores de flujo a la entrada y salida del agua producto para medida de la variación del flujo de permeado.

▪ **Bucle de control del post-tratamiento**

Aunque la dosificación continua de los reactivos en el post-tratamiento es fija, ante posibles variaciones en las características del agua de salida de los módulos se establece el

control del postratamiento. Para esto, en el colector de agua producto se ubican medidores de potencial redox, pH y conductividad, que serán las señales de entrada al autómata en este bucle, y según los valores de consigna prefijados sobre éstos parámetros, se mandará señal de salida a los equipos de dosificación de reactivos (variadores de frecuencia de las bombas dosificadoras).

Posteriormente, en la salida del depósito de agua producto para la distribución, se instalarán de nuevo medidores de redox, pH y conductividad, para realizar un ajuste fino del postratamiento.

▪ **Bucle de control del pretratamiento químico**

Al igual que para el postratamiento, la dosificación de reductor y antiincrustante del pretratamiento químico son cantidades fijas, aunque igualmente, se considera su control para responder a posibles variaciones en la calidad del agua que circula por las distintas etapas de la instalación.

Los parámetros que gobernarán el control del pretratamiento, serán los valores medidos de pH, conductividad y redox a lo largo de las distintas etapas.

La señal de salida del autómata actuará sobre los variadores de frecuencia de las bombas dosificadoras de dichos equipos.

▪ **Bucle de control de nivel de depósitos**

El nivel de los distintos depósitos, tanto de preparación de reactivos como de agua producto vendrá controlado por sensores de nivel de baja, que proporcionan la señal de entrada al autómata para que actúe sobre los sistemas de adición de reactivos y solución dando además, una señal de alarma local.

▪ **Bucle de control de nivel de líquido en la cántara de captación**

El nivel de agua de mar en el depósito intermedio es controlado igualmente por un sensor de nivel de baja que proporciona la señal de entrada al autómata y una alarma local. La salida del autómata en este caso, es la parada de la instalación.

▪ **Bucle de control para la parada de las bombas por baja presión en la aspiración:**

Se dispone de distintos presostatos de baja presión en la admisión de todas las bombas de la instalación, así como en el recuperador de energía, que al detectar un nivel de presión por debajo del establecido provocan la parada de las bombas a las que están asociados.

▪ **Bucle de control del lavado de los filtros de arena**

Para el control de los filtros de arena, se dispone de un manómetro de presión diferencial entre la línea de alimentación y la de salida de agua filtrada, que cuando sobrepasa el valor de la caída de presión en el filtro proporciona la señal de entrada al autómata. La señal de salida del autómata actúa sobre varios instrumentos:

- Actuación sobre los variadores de frecuencia de las bombas de captación para que

proporcionen el caudal de lavado del filtro.

- Puesta en marcha de la soplante para la inyección del aire de lavado a contracorriente.
- Apertura de la válvula de retención de la línea de alimentación del agua de lavado a contracorriente (by-pass entrada a los filtros).
- Paro de la soplante y cierre de válvula de agua de lavado a contracorriente tras finalizar el tiempo de ciclo de lavado a contracorriente.
- Apertura de la válvula de retención y la de mariposa de la línea de alimentación de agua a corriente.
- Apertura de las válvulas para drenaje tras el tiempo de ciclo de lavado a corriente.

▪ **Bucle de control de sustitución de filtros de cartuchos**

La señal de entrada al autómatas en este caso, vendrá dada por la medida de presión proporcionada por el manómetro de presión diferencial situado en cada filtro de cartucho. Al superar el valor preestablecido de caída de presión en el filtro, el autómatas mandará la señal de salida de aislamiento de dicha línea para poder sustituir los elementos de cartucho correspondientes.

CAPÍTULO 12: SEGURIDAD EN LA PLANTA

12.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS LABORALES

El diseño de la planta debe tener en cuenta la normativa de obligado cumplimiento (Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y sus Reglamentos).

Se han seguido para la realización del proyecto los principios de acción preventiva que se describen en el artículo 15 de la ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Los principios de la acción preventiva son los siguientes:

- El empresario aplicará las medidas para la prevención, como son:
 - Evitar los riesgos.
 - Evaluar los riesgos que no se puedan evitar.
 - Combatir los riesgos en su origen.
 - Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular, a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.
 - Tener en cuenta la evolución de la técnica.
 - Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
 - Planificar la prevención, buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.
 - Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.

Los principales riesgos asociados a plantas desaladoras son los siguientes:

- Manejo de maquinaria y equipos, y ruido generado por soplantes de aire, bombas de alta presión y en general por el funcionamiento de los restantes equipos de la Planta.
- Manejo de cargas pesadas y trabajos repetitivos.
- Pisos resbaladizos en parte de la línea de producción.
- Manipulación de productos peligrosos como inhibidor, limpiadores para membrana,...
- Manejo de vehículos para transporte de los reactivos químicos necesarios.
- Contacto de los trabajadores con la corriente eléctrica.
- Riesgos de caída de algún operario al depósito intermedio.

- El empresario tomará en consideración las capacidades profesionales de los trabajadores en materia de seguridad y de salud en el momento de encomendarles las tareas.
- El empresario adoptará las medidas necesarias a fin de garantizar que sólo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada para acceder a las zonas de riesgo grave y específico.
- La efectividad de las medidas preventivas deberá prever las distracciones o imprudencias no temerarias que pudiera cometer el trabajador. Para su adopción se tendrán en cuenta los riesgos adicionales que pudieran implicar determinadas medidas preventivas, las cuales sólo podrán adoptarse cuando la magnitud de dichos riesgos sea substancialmente inferior a la de los que pretende controlar y no existan alternativas más seguras.

La mayor frecuencia de accidentes que es baja se produce por golpes y cortes. Otros motivos de accidentes son el contacto por inhalación, contacto con la piel u ojos y por la ingestión de alguno de los reactivos químicos usados en la Planta. Las principales enfermedades laborales son lumbagos y problemas de pérdidas de audición.

Se utilizarán instalaciones fijas como duchas y lavaojos de emergencia para evitar en la medida de lo posible los efectos causados por el contacto de los trabajadores con algún reactivo. Estos equipos deben estar debidamente señalizados y se colocarán en dirección a la salida.

12.2. MEDIDAS PREVENTIVAS RECOMENDADAS

Las medidas preventivas generales para mejorar la salud ocupacional, las condiciones de trabajo y la seguridad son:

- Entrenamiento e instrucciones a los trabajadores en las técnicas y principios de un trabajo seguro.
- Distribución de ropa de trabajo adecuada.
- Optimización de las condiciones de trabajo, enfocado a áreas de trabajo climatizadas y lugares para descanso.
- Rotación de trabajo y mejora de la gestión de la organización.
- Pisos ásperos para evitar resbalones y protecciones de seguridad de las máquinas.
- Se utilizarán instalaciones fijas como duchas y lavaojos de emergencia para evitar en la medida de lo posible los efectos causados por el contacto de algún operario con los reactivos a los que está expuesto. Estos equipos estarán debidamente señalizados y se colocarán en dirección a la salida.
- Reducción de los tiempos de exposición de los trabajadores.
- Reducción de los niveles de ruidos y usos protectores.
- Colocación de protecciones de seguridad de las máquinas.

- Señalización adecuada de:
 - Medios de extinción de incendios.
 - Salidas, duchas y lavaojos de emergencia.
 - Riesgos latentes.
 - Depósitos tanto de productos químicos, como de almacenamiento de agua de aporte y agua producto.

12.3. RIESGO ELÉCTRICO

En cuanto al riesgo eléctrico, definido como la posibilidad de circulación de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano, utilizarás las siguientes medidas:

- Protección contra los contactos directos. Se entiende por contacto directo el contacto de personas con partes activas de los materiales y equipos con elementos por los que circula habitualmente la electricidad. Las medidas de protección contra los contactos directos serán:
 - Alejamiento de las partes activas de la instalación.
 - Interposición de obstáculos.
 - Aislamiento de las partes activas.
- Protección contra los contactos indirectos. Se entiende por contacto indirecto el contacto de las personas con elementos puestos accidentalmente en tensión. Para evitar estos contactos se realizará:
 - Disposición que impida el paso de corriente por el cuerpo humano.
 - Limitación de la intensidad que pudiera circular a un valor no peligroso.
 - Corte automático de la corriente cuando se produzca una tensión de defecto.

Para conseguir estos objetivos, se seguirán las medidas siguientes:

- Separación de circuitos.
- Empleo de tensiones de seguridad:
 - 50 V: locales secos.
 - 24 V: locales húmedos o mojados.
 - 12 V: condiciones de inmersión.
- Separación entre las partes activas y las masas accesibles por medio de aislamientos de protección (doble aislamiento).
- Inaccesibilidad simultánea de elementos conductores y masas.
- Conexiones equipotenciales.

- Dispositivos de corte por tensión de defecto.
- Puesta a tierra de las masas, asociadas a dispositivos de corte por intensidad de defecto (diferenciales).

12.4. SISTEMA GENERAL CONTRA INCENDIOS

En este punto se describe el sistema general contra incendios de la planta. Cualquier equipo instalado para la lucha contra incendios cumplirá con el “Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios”, incluidos en el R.D. 1942/1993.

12.4.1 SISTEMAS DE DETECCIÓN Y ALARMA

La instalación de estos equipos se realizará por instaladores debidamente autorizados.

- Sistemas automáticos de detección de incendios.

Los sistemas de detección, sus características y especificaciones se ajustarán a la norma UNE 23007. Se someterán a las revisiones de conservación que se establecen en el Apéndice II del R.D. 1942/1993 de 5 de Noviembre de 1.993, donde se determina el tiempo máximo que debe transcurrir entre dos revisiones o inspecciones consecutivas.

- Sistemas manuales de alarmas de incendios.

Los sistemas manuales de alarmas de incendios, sus características y especificaciones se ajustarán a la norma UNE 2007. Estarán constituidos por un conjunto de pulsadores que permitirán provocar voluntariamente y transmitir una señal a una central de control y señalización permanentemente vigilada.

Los pulsadores de alarma se situarán de modo que la distancia máxima a recorrer, desde cualquier punto hasta alcanzar el pulsador, no supere los 25 metros, y además debe estar preferentemente cercanos a una salida, o en dirección a la misma.

- Extintores de incendios.

Los extintores de incendio, sus características y sus especificaciones se ajustarán al “Reglamento de Aparatos a Presión” y a su Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP5.

El emplazamiento de los extintores permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a las salidas de evacuación y preferentemente sobre soportes fijados a parámetros verticales, de modo que la parte superior del extintor quede como máximo a 1,70 m sobre el suelo. Se ubicará un extintor de polvo químico en cada lugar donde se instale un pulsador de alarma.

Todos los extintores se someterán a las revisiones de conservación que se establecen en el Apéndice II del RD 1942/1993 de 5 de Noviembre, donde se determina el tiempo máximo que debe transcurrir entre dos revisiones o inspecciones consecutivas.

- Bocas de Incendio Equipadas (BIE).

La instalación de estos equipos se realizará por instaladores debidamente autorizados.

Las BIE deberán montarse sobre un soporte rígido, de forma que la altura de su centro quede como máximo a 1,50 metros sobre el nivel del suelo.

Las BIE se situarán, siempre que sea posible, a una distancia máxima de 5 metros de las salidas de cada sector de incendio, sin que constituyan obstáculo para su utilización.

La separación máxima entre cae BIE y su más cercana será de 50 m. La distancia desde cualquier punto del local protegido hasta la BIE más próxima no deberá exceder de 25 metros. Se deberá mantener alrededor de cada BIE una zona libre de obstáculos que permita el acceso a ella y su maniobra sin dificultad.

12.5. SEGURIDAD FRENTE A LOS REACTIVOS QUÍMICOS

12.5.1. Manejo del antiincrustante GENESYS SW

Este antiincrustante recibe el nombre comercialmente de GENESYS SW, y es una solución acuosa de un polímero aniónico acrílico neutralizado.

En la siguiente tabla se muestran los síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios ante una posible exposición a este reactivo.

EXPOSICIÓN	SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Irritación del sistema respiratorio o mucosas	Ninguno establecido	Aire limpio, reposo posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y asistencia médica.
PIEL	Irritación	Vestir mono de trabajo o delantal. Utilización de guantes de neopreno o goma.	Quitar inmediatamente la ropa contaminada. Limpiar con papel absorbente o toallas de tela. Lavar con agua y jabón. No utilizar disolventes orgánicos.
OJOS	Irritación	Utilizar gafas de seguridad	Lavar inmediatamente con agua durante al menos 15 minutos. Llamar a un especialista si persiste la irritación
INGESTIÓN	Nocivo	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo	Beber inmediatamente mucha agua. En el caso de vómito

espontáneo asegurarse que éste sale libremente debido al peligro de asfixia. Dar agua repetidamente. No dar nada a ingerir si el paciente está inconsciente. Solicitar atención médica.

Tabla 10.4.1-a Síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios

12.5.2. Manejo del GENESOL 37

Genesol 37 es una solución de color pálido concentrada de ácidos nítricos y fosfóricos, clasificado como líquido corrosivo.

En la siguiente tabla se muestran los síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios ante una posible exposición a este reactivo.

EXPOSICIÓN	SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Irritación del sistema respiratorio o mucosas	Ninguno establecido	Aire limpio, reposo posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y asistencia médica.
PIEL	Altamente corrosivo. Irritación	Vestir mono de trabajo o delantal. Utilización de guantes de neopreno o goma.	Quitar inmediatamente la ropa contaminada. Limpiar con papel absorbente o toallas de tela. Lavar con agua y jabón. No utilizar disolventes orgánicos.
OJOS	Irritación	Utilizar gafas de seguridad	Lavar inmediatamente con agua manteniendo los párpados abiertos durante 15 minutos y solicitar atención médica.
INGESTIÓN	Nocivo	No comer, ni beber, ni fumar durante el	Beber inmediatamente

trabajo	mucha agua. En el caso de vómito espontáneo asegurarse que éste sale libremente debido al peligro de asfixia. Dar agua repetidamente. No dar nada a ingerir si el paciente está inconsciente. Solicitar atención médica.
---------	--

Tabla 10.4.2-a Síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios

12.5.3. Manejo del METABISULFITO SÓDICO

El Bisulfito sódico actúa como reductor de la actividad de los agentes oxidantes de forma que se garantice la ausencia total de cloro libre. Además tiene poder alguicida, regula en crecimiento biológico, y actúa contra las incrustaciones (regula el pH).

En la siguiente tabla se muestran los síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios ante una posible exposición a este reactivo.

EXPOSICIÓN	SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Irritación del sistema respiratorio o mucosas. La exposición prolongada puede provocar náuseas y vómitos.	Usar mascarilla respiratoria adecuada.	Trasladar al afectado a un lugar ventilado. Si la exposición ha sido prolongada avisar a un médico.
PIEL	El contacto prolongado irrita la piel.	Usar guantes de neopreno, butilo, PVC ó caucho natural. Si existe riesgo de proyecciones muy grandes usar buzo ó traje antiácido.	Quitar inmediatamente la ropa contaminada. Lavar las zonas afectadas con abundante agua.
OJOS	Puede provocar conjuntivitis y quemaduras.	Utilizar gafas cerradas.	Lavar inmediatamente con agua durante al menos 15 minutos, forzando los párpados a

			permanecer abiertos.
INGESTIÓN	Causa irritación del estómago. En cantidades importantes causa cólicos violentos, diarrea y depresión.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo	Beber inmediatamente mucha agua. Provocar el vómito si es necesario. Requerir inmediatamente atención médica.

Tabla 10.4.3.a- Síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios

12.5.4. Manejo del HIPOCLORITO SÓDICO

El hipoclorito sódico es una solución clara entre verde y amarillo, de olor característico.

Este producto se descompone al calentarlo intensamente, en contacto con ácidos y bajo la influencia de luz, produciendo gases tóxicos y corrosivos. Es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, originando peligro de incendio y explosión. La disolución en agua es una base fuerte, que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva.

En la siguiente tabla se muestran los síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios ante una posible exposición a este reactivo.

EXPOSICIÓN	SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Puede provocar irritación, tos y edema pulmonar.	En caso de liberación de cloro utilizar mascarilla protectora adecuada.	Trasladar al afectado a un lugar ventilado y taparlo con una manta. Si fuese necesario, hacer respiración artificial. Avisar a un médico.
PIEL	Provoca quemaduras.	Usar guantes de neopreno, butilo, PVC ó productos plásticos en general. En caso de peligro de proyecciones utilizar buzo o traje antiácido.	Quitar inmediatamente la ropa contaminada bajo la ducha y lavar las zonas afectadas con agua abundante. Si es necesario, avisar a un médico.
OJOS	Provoca quemaduras.	Utilizar gafas cerradas y, en caso de peligro de proyecciones, pantalla facial.	Lavar inmediatamente con agua durante al menos 15 minutos, forzando los

			párpados a permanecer abiertos. Avisar a un médico.
INGESTIÓN	Provoca quemaduras en la boca y vómitos. Puede producir perforación del estómago.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo	Lavar la boca con abundante agua y dar a beber gran cantidad de la misma o leche. No provocar el vómito. Avisar a un médico

Tabla 10.4.4.a- Síntomas, medidas de prevención y primeros auxilios

En el **ANEXO 8: GRÁFICAS Y TABLAS**, se pueden ver las fichas de seguridad completa de estos reactivos.

En cuanto a los riesgos relacionados con la manipulación y almacenamiento de reactivos, los depósitos comerciales que contienen los productos químicos necesarios para el pretratamiento y postratamiento del agua de mar, se colocarán dentro de cubetos con capacidad suficiente para contener todo el volumen de los mismos en caso de rotura.

12.6. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Como ya mencionamos al principio de este capítulo, el diseño de la planta debe tener en cuenta la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y sus Reglamentos, en concreto el artículo 15 de dicha Ley, anteriormente se definieron los principios de la acción preventiva.

De acuerdo a los principios básicos de prevención de riesgos laborales, es en la fase de proyecto de una instalación donde mayor efectividad y menor coste tienen las medidas destinadas a evitar que el trabajo tenga consecuencias negativas sobre los trabajadores. Las medidas que se proponen previamente al proceso de construcción son por ello muy importantes.

A continuación, se enumeran las medidas de seguridad adoptadas en los equipos que suponen algún tipo de riesgo para los trabajadores:

- **Ruido:** Durante la elección de las máquinas, un factor a tener en cuenta será la elección de las máquinas. Los focos de ruido se deberán reducir en la medida de lo posible.
- **Quemaduras:** Todo equipo o tubería que está a una temperatura que pueda provocar quemaduras por contacto deberá estar aislado convenientemente, o no será posible su acceso.
- **Riesgo eléctrico:** Todos los sistemas eléctricos contarán con protecciones frente a contactos directos (mediante aislamientos) o indirectos (a través de toma de tierra y corte por intensidad de defecto).
- **Agresiones físicas:** Tales como cortes, atrapamientos y aplastamientos. Todas las partes en movimiento de los equipos estarán dotadas de dispositivos de protección de seguridad que impidan el acceso de partes peligrosas de las máquinas.

- **Riesgo de caídas:** Para evitar este tipo de accidente, se han dispuesto en las distintas unidades barandillas y suelos de rejillas. También se recomienda al personal de la planta el uso de calzado antideslizante.

Existen otros muchos riesgos de menor importancia que no pueden preverse hasta que la planta esté construida y en operación. Se realizará una Evaluación Inicial de Riesgos, mediante la que se detectarán y valorarán los posibles riesgos, y se propondrán medidas correctoras encaminadas a su eliminación o reducción al mínimo. La formación continua de los operarios es fundamental.

Durante la fase de construcción de la planta se redactará el Plan de Seguridad y Salud de la Obra para identificar los peligros en la construcción, adoptando medidas de prevención y protección oportunas.

CAPÍTULO 13: IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

13.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a detallar el impacto ambiental de las plantas desalinizadoras por ósmosis inversa, aunque la mayor parte de los aspectos ambientales de las plantas desalinizadoras puede aplicarse a otros procesos de desalinización.

13.2. IMPACTOS AMBIENTALES

Al igual que ocurre con tantas otras actividades que el ser humano desarrolla para la obtención de recursos naturales, la industria de la desalinización, que pretende asegurar la disponibilidad futura de agua dulce, ocasiona efectos adversos en el medio natural. Una forma de visualizar los posibles impactos de la desalinización es la realización de un modelo conceptual de los flujos implicados en el proceso. En la **figura 13.2-a** se consideran tres entradas principales en el proceso de desalinización: energía, agua de mar y utilización del territorio.

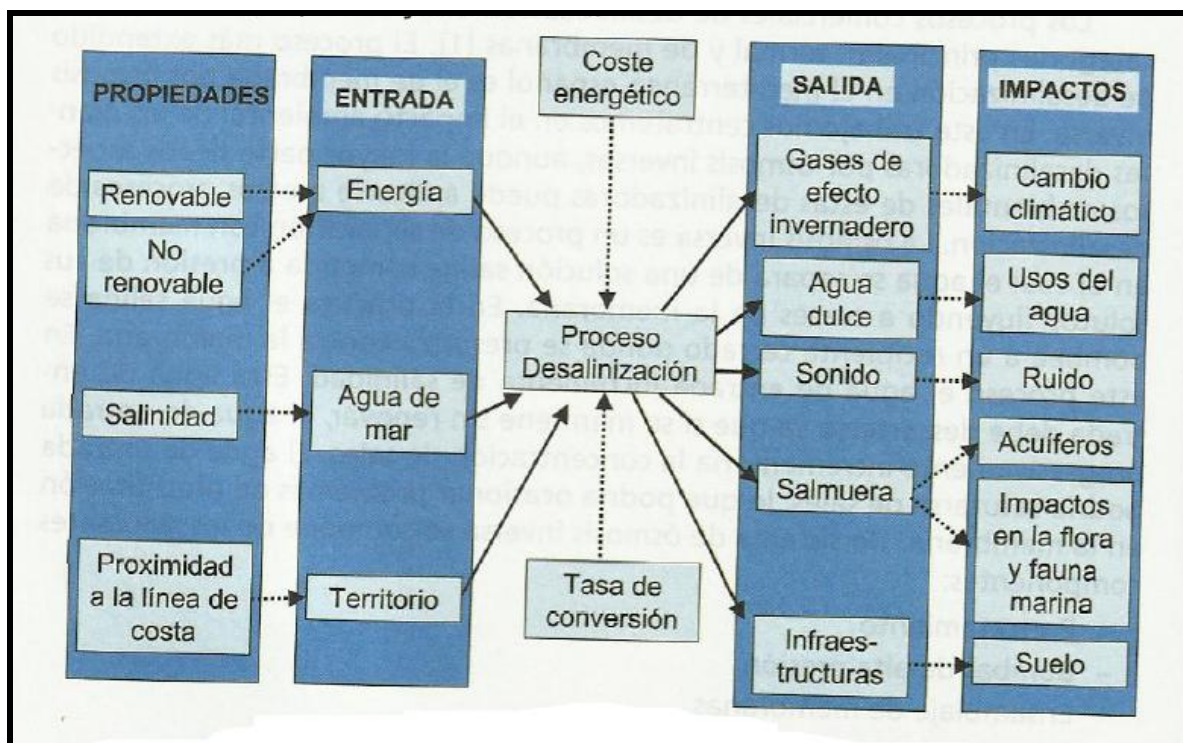


Figura 13.2-a: Modelo de flujos del proceso de desalinización

Fuente: Desalación de aguas, IEA

Las características de interés de estas entradas son la proporción de fuentes energía renovable y no renovable, la salinidad y la proximidad a la línea de costa respectivamente. Los flujos de salidas son agua dulce, gases con efecto invernadero, salmuera e infraestructuras. El coste de la energía y la tasa de conversión de agua marina en agua dulce son clave para la evaluación de los impactos ambientales.

Los estudios ambientales están definidos por las autoridades locales competentes en medio ambiente. El procedimiento general de Estudio de Impacto Ambiental para plantas desalinizadoras implica cinco pasos básicos (según el procedimiento general que recomienda la UNEP):

1. Recolección de información anterior y revisión de la legislación existente. Este paso considera que el conocimiento de casos análogos puede ser utilizado para reducir la duración y costes de los estudios de impacto ambiental.
2. Investigación del proyecto y el lugar seleccionado, incluyendo el medio natural, el escenario socio-económico y posibles alternativas al diseño del proceso propuesto y localización.
3. Identificación y valoración de los impactos potenciales en la calidad del medio ambiente como consecuencia de la implantación del proyecto mediante:
 - Análisis de las causas del impacto ambiental.

Para las plantas desalinizadoras los impactos pueden ocurrir durante la construcción o las operaciones regulares de la planta. Durante el funcionamiento de las plantas desalinizadoras se produce emisión de vertidos de agua al medio marino, gases de combustión en la atmósfera y posiblemente vertidos accidentales en nivel freático o agua costera. Se deberían identificar las actividades y compuestos emitidos de interés particular.

- Definición de las relaciones entre causas y efectos.

Entre estas relaciones causa efecto podemos mencionar a modo de ejemplo como los vertidos de salmuera afectan a las propiedades físicas y químicas del agua de mar, o como el vertido de compuestos tóxicos como afecta a la biota marina, etc.

- Análisis del ecosistema impactado.

Los ecosistemas marinos varían su sensibilidad a los vertidos de las plantas desalinizadoras. Las praderas de Posidonia oceánica y las comunidades de maërl, de gran complejidad y diversidad biológica, se encuentran entre los ecosistemas más sensibles.

4. Recomendación de alternativas o medidas de mitigación para cada componente que puede ocasionar efectos adversos con el propósito de reducir el impacto general de la planta desalinizadora. Uno de los mecanismos de mitigación del impacto ambiental básico es seleccionar un área de vertido con la comunidad menos sensible y de menor valor ambiental.
5. Establecimiento de un programa de seguimiento ambiental, tanto para la fase de construcción como para la fase de funcionamiento para verificar si las predicciones hechas en el Estudio de Impacto Ambiental y autoriza la construcción y funcionamiento de la planta.

Los principales impactos ambientales de las plantas desalinizadoras se detallan a continuación:

▪ **Efecto en el uso del suelo**

Uno de los efectos adversos que se asocian con la industria de la desalación está relacionado con el uso del suelo. El valor ambiental de las superficies ocupadas para el desarrollo de esta industria varía en función del lugar donde se proyecten dichas instalaciones. De forma general este valor está relacionado con la densidad de la población existente en la zona y con la conciencia pública que a sociedad tenga del lugar seleccionado. Normalmente, las plantas desalinizadoras se localizan en zonas del litoral, muchas veces cercanas a poblaciones o zonas de desarrollo turístico donde, de forma general, el valor del suelo alcanza precios elevados. Debido a que estas instalaciones requieren grandes extensiones de suelo, se estima que una planta desalinizadora de ósmosis inversa de tamaño medio ocupa una superficie de 10.000 m², y a su vez llevan asociadas otras infraestructuras como las necesarias para el transporte de energía hasta la planta, las conducciones por las que se transporta el agua de alimentación y el agua producto, así como las tuberías y emisarios necesarios para el vertido del agua de rechazo entre otros. Todo este tipo de construcciones en zonas litorales causan de forma general un importante impacto visual, principalmente en zonas que presentan un elevado valor natural, paisajístico, turístico, dónde además pueden interferir con el desarrollo de otras actividades e incluso con el acceso a zonas recreativas o de dominio público.

El entorno físico inmediato a la orilla del mar es uno de los ecosistemas terrestres más sometidos a sobrecarga de acciones humanas en los últimos años. La zona costera constituye un sistema dinámico que se caracteriza por una alta diversidad de recursos naturales y por consiguiente de actividades humanas que se concentran en este lugar.

Los ecosistemas costeros son una fuente de alimento y hábitat para muchas especies que muchas veces entran en conflicto con la alta variedad de actividades económica que soportan. El continuo crecimiento de la población humana en las áreas costeras supone un incremento continuo en las actividades económicas y en la demanda de recursos costeros. El uso y ocupación de la franja litoral llegan a ser tan intensos que es imprescindible una planificación cuidadosa. Los indudables valores ambientales que posee la franja costera, así como su gran sensibilidad a las acciones humanas que se ejercen sobre ella o en su entorno inmediato, han determinado que se realicen programas para su gestión integral en el marco de un modelo de desarrollo sostenible. La gestión de la costa no se refiere únicamente al dominio público maritimoterrestre o a la ribera del mar sino a un ámbito territorial más amplio, tanto en la franja terrestre como marina en la que se producen acciones o actividades que tienen influencia directa sobre la integridad del borde marino. Hay que tener en cuenta que los sectores morfológicos costeros no responden a la división artificial de municipio, provincia o comunidad autónoma, sino a una serie de tipologías costeras que, teniendo en cuenta su constitución física, su evolución y dinámica van formando las distintas unidades.

El uso intensivo de la franja costera hace que el emplazamiento de cualquier infraestructura entre en conflicto con el turismo o la conservación de los ecosistemas costeros. La mayor parte de los países ponen limitaciones a la instalación de procesos industriales cerca de la línea costera. Una solución para minimizar el impacto de las plantas desalinizadoras es instalarlas en el interior lejos de la costa. Esto ocasiona la necesidad de tener conducciones para la captación del agua del mar y el vertido de la salmuera. La posibilidad de fugas de agua salada de las tuberías supone un riesgo potencia de contaminación de los acuíferos y humedales costeros. La instalación de las plantas desalinizadoras en zonas con otras infraestructuras o bajo valor ecológico reduce el impacto medioambiental de las mismas.

▪ **Impacto en los acuíferos**

En el proceso de desalación mediante ósmosis inversa existe un riesgo de impacto potencial sobre los acuíferos cuando las conducciones por las que se transporta el agua de mar se construyen sobre estos. Las pérdidas que pudieran tener estas conducciones podrían causar la infiltración de las aguas salinas en el subsuelo contaminando los acuíferos. Es preferible por lo tanto, situar las plantas desalinizadoras y sus conducciones de agua en zonas donde la probabilidad de contaminar las aguas subterráneas sean bajas. Por otro lado, para este tipo de conducciones deberían de aplicarse técnicas de sellado apropiadas e incluso la instalación de detectores que detuvieran el bombeo en caso de pérdidas de carga.

▪ **Ruido**

Otro impacto asociado a las plantas desalinizadoras de ósmosis inversa es la contaminación acústica que producen. Tanto las bombas empleadas para el transporte de los distintos tipos de agua como los sistemas de recuperación de energía producen un nivel de ruido significativo por encima de los 90 dB.

El impacto causado por el ruido, sugiere que este tipo de instalaciones deberían situarse alejadas de zonas pobladas y a su vez estar provistas de la tecnología acústica apropiada para la reducción del nivel de ruido generado.

▪ **Contribución del cambio climático global**

Las elevadas demandas energéticas asociadas a las plantas desalinizadoras de agua de mar mediante ósmosis inversa, aunque significativamente reducidas en los últimos años por los avances tecnológicos que ha experimentado este proceso industrial gracias a la incorporación de nuevas membranas así como al empleo de sistemas de recuperación de energía, van a producir un impacto indirecto sobre el medio ambiente. En este sentido, las instalaciones de desalación que se están creando en España cuentan con los últimos avances tecnológicos, siendo estando en la actualidad el consumo de energía entorno a las 3 kWh/m³.

Toda esta energía necesaria se cubre con grandes aportes externos de electricidad que suelen provenir de centrales térmicas, donde es obtenida mediante la quema de combustibles fósiles. Esta quema de combustibles produce grandes cantidades de gases de efecto invernadero que son vertidos a la atmósfera favoreciendo el proceso conocido como calentamiento global. Las principales emisiones atmosféricas asociadas con la quema de combustibles para la obtención de energía eléctrica son el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido y monóxido de carbono. De acuerdo con el protocolo de Kioto, los países industrializados deben reducir sus emisiones de este tipo de gases a niveles que se encuentran un 5% por debajo de las emisiones producidas en 1990. Sin embargo, las perspectivas de crecimiento de la industria de la desalación en España va acompañado de la necesidad de nuevas infraestructuras eléctricas que darán como resultado un aumento significativo en las emisiones de gases de efecto invernadero, a no ser que estas energía convencionales se vena sustituidas por energías renovables.

Por todo lo expuesto en los párrafos anteriores, el desarrollo de una desalinización sostenible requiere la reducción de consumo de energía pero también el uso de energías renovables. Los sistemas más factibles en la actualidad son los sistemas basados en energía solar y eólica. Los paneles fotovoltaicos en combinación con la ósmosis inversa tienen un bajo costo en lugares muy soleados.

En las Islas Canarias existen algunos ejemplos de plantas fotovoltaicas-ósmosis inversa que funcionan adecuadamente. La energía eólica puede utilizarse eficazmente en lugares con una velocidad media de 5m/s. Por ello, es interesante en islas con alto viento como la isla canaria de Fuerteventura. Para llevar a cabo el diseño de una instalación con este tipo de energía, es necesario realizar un estudio para evitar efectos indeseables, por ejemplo sobre el paisaje o aves.

- **Impacto de los productos químicos**

En el proceso de desalinización se utilizan distintos productos químicos tanto en el pretratamiento y en la estructura de las membranas como en el postratamiento.

Es todavía difícil establecer relaciones entre estos productos químicos utilizados y las consecuencias ecológicas. En general se puede considerar que cualquier concentración de estos productos químicos que exceda los valores naturales ambientales es considerada como contaminación ambiental, incluso aunque las consecuencias biológicas no hayan sido probadas. En muchos casos no es posible establecer la concentración a la que determinados elementos son nocivos o inocuos.

Para evitar la contaminación, se recomienda llevar a cabo un estudio del diseño de vertido de productos químicos junto con el vertido de la salmuera.

- **Impacto del vertido de salmuera**

El principal impacto en el medio marino asociado a la industria de la desalación es debido a la descarga de la salmuera en el mar, impacto cuya intensidad va a depender de factores ambientales e hidrogeológicos, así como de los hábitats y comunidades que se vean afectados, la batimetría de los fondos, el oleaje y las corrientes o la profundidad alcanzada en el punto de vertido, entre otros. Las comunidades principalmente afectadas en las Islas Canarias son las praderas de sebales (*Cymodosea Nodosa*).

Las salmueras o aguas de rechazo que son vertidas en el medio marino presentan una concentración de sales que suele ser aproximadamente el doble de los valores naturales de las aguas que son empleadas para el proceso de la desalación y por lo tanto de las aguas receptoras naturales donde son vertidas. Las sales que componen las salmueras son idénticas a las presentes en las aguas naturales aunque se encuentran, como se ha dicho, en concentraciones significativamente mayores. Concentraciones que van a variar entre 1,3-1,7 veces las concentraciones de las aguas originales en función de la conversión de las membranas empleadas en el proceso de la ósmosis inversa.

Debido a los enormes volúmenes de rechazo que se generan en el proceso de desalinización, estos no pueden permanecer en tierra por el peligro que suponen para los recursos hídricos naturales, tanto superficiales como subterráneos, además de otros impactos ambientales potenciales que pudieran causar. Por ello, su vertido en el medio marino parece ser en la actualidad el método más comúnmente aceptado y empleado. Sin embargo, debido a su elevada densidad, el vertido de salmuera en el medio marino va a favorecer la formación de una pluma salina que se depositará en el fondo del mar afectando a las comunidades que pueblan los fondos.

- **Impacto social**

Mientras los impactos ambientales descritos en los párrafos anteriores inciden directamente en el medio ambiente, existe un impacto indirecto sobre la sociedad humana.

La crisis global del agua se debe al incremento de población junto con el crecimiento de consumo del agua combinado con una disminución de los recursos naturales del agua debido principalmente a la contaminación y a la explotación no sostenible de los recursos. El agua en España ha sido un tema clave en el desarrollo y crecimiento económico, especialmente en las regiones de las Islas Canarias, donde el agua para los servicios turísticos han incrementado la demanda.

La desalinización del agua puede llevar a la paradoja de que la tecnología utilizada para paliar la escasez del agua incremente la demanda del agua. Este sistema de retroalimentación ocurre en sociedades que no explotan los recursos de forma sostenible. Así por ejemplo, en la Isla de Lanzarote, el cambio de escasez de agua a relativa abundancia ocurrió con la introducción de la tecnología de la desalinización en 1964. Desde esta fecha la demanda de agua para los servicios turísticos no ha parado de aumentar. Por otro lado, se produce una importación de hábitos no apropiados para zonas áridas como es la presencia de prados de césped o piscinas con un alto consumo de agua. Algunos autores señalan que en la nueva cultura del agua la posesión de estos hábitos importados se ha convertido en signo de bienestar económico en la sociedad.

La Directiva Marco del agua indica la necesidad de ajustar la demanda del agua a una buena gestión de la misma que denomina Gestión de la demanda de agua, que se apoya en los tres pilares de la sostenibilidad:

- Economía: principio de plena recuperación de los costos.
- Social: participación pública preactiva
- Aspectos ambientales: el buen estatus ecológico de los cuerpos del agua.

La Directiva Marco del agua lucha por el restablecimiento del balance entre suministro y demanda proporcionando más bienes y servicios usando menos agua. Desde este punto de vista la tecnología de la desalinización es solo una parte de la solución del problema del agua. La desalinización es utilizada para paliar la falta de recursos de agua dulce y para paliar los periodos de sequía. Entonces, como se muestra en la **figura 13.2-b**, el sistema entonces no funciona como un circuito de retroalimentación demandando cada vez más agua sino como un circuito de seguridad que atenúa las fluctuaciones climáticas.

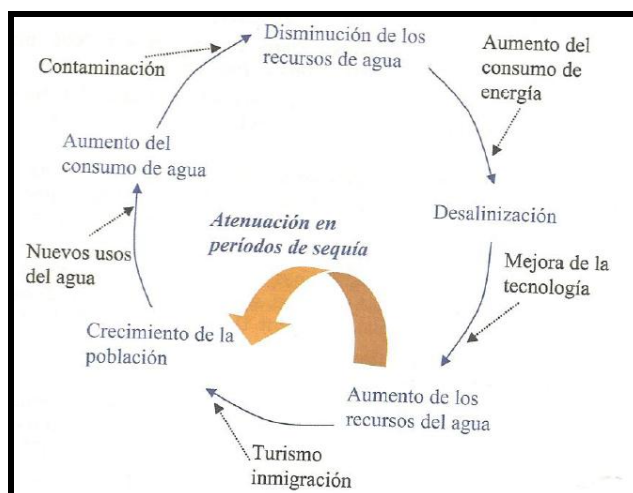


Figura 13.2-b: Impacto social de la desalinización

Fuente: Desalación de aguas, IEA

13.3. ESTUDIO DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS PARA EL RECHAZO DE LA PLANTA

Dada la importancia de la disposición final del rechazo de la planta, se analizarán a continuación las distintas opciones que pueden emplearse.

Entre los factores que afectan a la selección del destino final de la salmuera están:

- El volumen o cantidad de concentrado y su calidad o constitución.
- La localización física o geográfica del punto de vertido.
- La disponibilidad del medio receptor.
- La permisibilidad de la opción.
- La aceptación social.
- Los costes de capital y operación.

El coste juega un papel muy importante en la selección del método de deposición de la salmuera, entre un 5- 30% de los costes totales de la desalación, siendo además mayores en las plantas ubicadas en el interior que en las cercanas a las costas. Dependerá de las características del rechazo, del tratamiento, de las aplicaciones del mismo, del volumen a eliminar y de la naturaleza del medio receptor.

13.3.1 VERTIDO CONTROLADO AL MAR

La opción más comúnmente empleada en España y en la multitud de países que se lleva a cabo la desalación de agua de mar por ósmosis inversa, es el vertido controlado al mar, bien de forma directa o bien mediante emisarios submarinos. Cabe destacar, que en la composición química del rechazo se incluye, como se comenta en párrafos anteriores, además de las sales concentradas (salmuera), los diferentes productos químicos utilizados en distintas fases del proceso de desalinización.

Para la gestión de dichos productos químicos lo conveniente sería su vertido a una arqueta distinta de la salmuera y transporte hasta una EDAR. Sin embargo, al ser dosificados en pequeñas cantidades y estar todos aprobados por la EPA además de existir estos mismos iones en el agua del mar, se llevan a la misma arqueta de la salmuera. Es conveniente su dilución con más agua de mar antes de su vertido, pero según diversas investigaciones no tienen por qué considerarse compuestos tóxicos contaminantes ya que:

- Las dosis usadas son del orden de 1 a 25 ppm, por lo que resultan despreciables frente al resto de sales.
- La biodegradabilidad de los antiincrustantes es total aunque varía la velocidad con la que lo hacen.
- El cloro libre de los biocidas debe pasar a cloruros antes de entrar en la membrana debido a su baja tolerancia frente al cloro, siendo despreciable frente al contenido de este ión en la salmuera.

- El reductor se oxida a sulfato, siendo también despreciable frente al contenido de este ión.

Existen dos alternativas posibles para vertido controlado, la construcción del emisario marino y la dilución correcta de la salmuera. La construcción del emisario es de carácter temporal y sus efectos sobre el fondo marino pueden llegar a ser incluso mayores que la incorrecta dilución de las sales del rechazo.

▪ **Dilución de la salmuera**

La clave para el vertido controlado de la salmuera está en usar todos los medios tecnológicos y conocimientos al alcance para provocar la dilución rápida de las sales contenidas en el rechazo en el medio receptor, de tal forma que no afecte al hábitat marino, homogeneizando la salinidad de manera que se mantenga por debajo de los límites de tolerancia salina de las diversas especies.

Existen dos procesos físicos en la dilución de la salmuera:

- *Dilución primaria*

El ratio de dilución del proceso depende de la diferencia de densidades entre la salmuera y el agua de mar, del momento, del flujo de salida y su velocidad, así como del radio del emisario y de la profundidad a la que se encuentre. Normalmente, la descarga va hacia el fondo marino y para mejorar el proceso debe diseñarse correctamente el emisario y añadirse difusores.

- *Dilución natural o secundaria*

Es que sigue a la primaria, y es debida a un proceso de difusión y mezcla propiciada por el oleaje y las corrientes marinas y que varía en función de las condiciones marinas. El uso de difusores mejora dicho proceso, ya que elevan la presión del agua entrante y ponen en contacto con la masa de agua de mar un mayor volumen de rechazo, mejorando la mezcla. El éxito de los difusores depende del número de ellos y del espaciado. Es posible mejorar la eficacia de estos difusores con el uso de difusores directos en ángulo de 30-90° respecto del fondo del mar, ya que lanzan la salmuera en dirección a la superficie.

Por último destacar que en el vertido controlado de la salmuera deben tenerse en cuenta una serie de recomendaciones que se indican a continuación:

- Localizar zonas donde el impacto sobre las comunidades bentónicas sea mínimo con preferencias en fondos sin vegetación.
- Evitar bahías cerradas y sistemas de importancia ecológica.
- Vertidos de salmuera en zonas con hidrodinamismo medio o elevado y de carácter constante para evitar que afecte a procesos de sedimentación.
- Procurar que el agua de alimentación sea de la mayor calidad posible a fin de reducir los tratamientos químicos necesarios.
- Investigar distintos aspectos del impacto de salmueras en el litoral.

- Realizar estudios de impacto de cada elemento del vertido por separado y sus posibles interacciones, estableciendo límites de tolerancia.
- Añadir difusores y realizar un monitoreo del vertido en un radio amplio donde se crea que puede haber afección al hábitat marino.
- Uso de emisarios de depuradoras cercanas para reducir el impacto.

13.3.2 ALTERNATIVAS AL VERTIDO CONTROLADO

Los efluentes salinos suelen llevar problemas medioambientales asociados, aunque la otra cara de la moneda es verlos como una oportunidad industrial. Dentro de las distintas alternativas, que ya están siendo aplicadas a cabo con mayor o menor éxito son:

- Obtención de la sal: bien mediante salinas naturales o industriales con fines comerciales, tales como, conservación de carnes y pescados, de pieles o incluso consumo doméstico.
- Acuicultura: para riego de plantas de alta tolerancia salina, como las distintas especies de algas con fines comerciales.
- Cría de especies: para la cría de camarones o peces de alta tolerancia salina con fines comerciales. Los camarones fueron introducidos primero para eliminar la materia orgánica, descubriéndose después su finalidad como alimento de diversos peces tropicales y anfibios.
- Generación de electricidad: la salmuera de alta concentración salina es almacenada en tanques expuestos a la luz solar usándose un motor rankine para la producción de energía eléctrica y así aportar parte de la electricidad necesaria en el proceso de ósmosis inversa.
- Recuperación de productos químicos valiosos como materia prima en otras aplicaciones.

Sin embargo, la utilización del rechazo salino para la producción de productos químicos o como materia prima para otras aplicaciones como la generación de electricidad mediante evaporadores solares, han sido tachadas de inviables económicamente. Con el rápido crecimiento de la industria desaladora y el consecuente desarrollo tecnológico, han ido disminuyendo los costes del proceso y se están abriendo numerosas oportunidades para mejorar la eficiencia del proceso total de la desalinización (incluyendo la solución para el rechazo de la planta como parte del ciclo total de la producción).

Todas estas aplicaciones se obtienen con éxito individualmente, lo que está bajo estudio es la unión de todas ellas en un único sistema integrado: "cómo unir el tratamiento del agua de mar con la generación de electricidad, desalación, acuicultura, cría de camarones de salmuera, obtención de sal y recuperación de recursos minerales integrados en un único sistema que minimiza el impacto ambiental de las desaladoras convencionales tanto en vertidos como en emisiones indirectas de gases de efecto invernadero".

13.4. DISEÑO RECOMENDADO

Como bien se detalla en el **apartado 13.2**, para mitigar el impacto ambiental, el vertido de la salmuera al mar deberá hacerse tras haberse diluido previamente. La proporción mínima debe ser de 2 partes de agua de mar por 1 parte de salmuera. De esta forma se consigue disminuir muy significativamente la extensión dentro del mar de la pluma hipersalina resultante tras el vertido y su consiguiente alejamiento del límite superior de las praderas de seadales (*Cymodosea Nodosa*). Al final de la conducción del vertido se aconseja la instalación de difusores para ayudar la dispersión del vertido de salmuera en el agua de mar.

El diseño de este sistema de dilución no es objeto del presente proyecto.

CAPÍTULO 14: MANTENIMIENTO DE LA PLANTA

14.1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de la industria competitiva actual de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de producción, así como de obtener de ellos la máxima disponibilidad, ha originado una significativa evolución del mantenimiento industrial en las últimas décadas, pasando de métodos puramente estáticos (a la espera de la avería) a métodos dinámicos (seguimiento funcional y control multiparamétrico) con la finalidad de predecir las averías en una etapa incipiente e incluso llegar a determinar la causa del problema y, por tanto, procurar erradicarla.

Según Souris. J.P, [1992], el instrumento de producción debe responder a un objetivo fundamental: disponibilidad con una calidad de servicio óptima. Las modernas técnicas de verificación del estado de los equipos e instalaciones contribuyen de manera notable al logro de este objetivo, permitiendo además, mediante la adecuada selección de filosofías y métodos de mantenimiento, una disminución de los costes productivos.

El concepto de mantenimiento puede definirse de muy distintas formas, atendiendo al enfoque que se le dé en cada caso. Habitualmente solemos definirlo como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento. [García. S, 2003].

14.2. FUNCIONES DEL MANTENIMIENTO

En términos muy generales, puede afirmarse que las funciones básicas del mantenimiento se pueden resumir en el cumplimiento de todos los trabajos necesarios para establecer y mantener el equipo de producción de modo que cumpla los requisitos normales del proceso.

Una vez construida la planta desaladora, se tendrán en cuenta los aspectos generales de mantenimiento de todos los equipos que lo componen, con el fin de procurar el correcto funcionamiento de los mismos, el alargamiento de sus vidas y la minimización de las pérdidas y daños ocasionados por la ineficiencia del mantenimiento

Las funciones básicas del mantenimiento que se van a considerar para la Planta desaladora del presente Proyecto son las siguientes:

- Mantener los equipos e instalaciones en condiciones operativas eficaces y seguras.
- Efectuar un control del estado de los equipos así como de su disponibilidad.
- Realizar los estudios necesarios para reducir el número de averías imprevistas.
- En función de los datos históricos disponibles, efectuar una previsión de los repuestos de almacén necesarios.
- Intervenir en los proyectos de modificación del diseño de equipos e instalaciones.
- Llevar a cabo aquellas tareas que implican la modificación del diseño de equipos e instalaciones.

- Instalación de nuevo equipo.
- Asesorar a los mandos de producción.
- Velar por el correcto suministro y distribución de energía.
- Realizar el seguimiento de los costes de mantenimiento.
- Preservación de locales, incluyendo la protección contra incendios.
- Gestión de almacenes.
- Tareas de vigilancia.
- Gestión de residuos y desechos.
- Establecimiento y administración del servicio de limpieza.
- Proveer el adecuado equipamiento al personal de la instalación.

El mantenimiento de la planta desaladora comenzará antes de su puesta en marcha, por medio de una inspección y prueba de los diferentes equipos que intervienen, emitiéndose un informe fechado que indique dicha inspección. Una vez puesto en marcha, el mantenimiento del sistema se planificará atendiendo a las componentes correctiva, preventiva y predictiva.

14.3. POLÍTICA DE MANTENIMIENTO

La política de mantenimiento abarca los objetivos técnicos y económicos específicos del mantenimiento, relativos a su responsabilidad sobre los equipos y encaminados a conseguir los objetivos generales de la empresa.

Los objetivos operacionales, económicos, sociales y de organización de mantenimiento que se van a seguir son:

- Llevar a cabo una inspección sistemática de todas las instalaciones, con intervalos de control para detectar cualquier desgaste o rotura, manteniendo los registros adecuados.
- Mantener permanentemente los equipos e instalaciones en su mejor estado, para así evitar los tiempos de parada que aumentan los costes.
- Efectuar las reparaciones de emergencia lo más pronto posible, empleando métodos sencillos de reparación.
- Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo.
- Proyectar mejoras en la maquinaria y equipos para disminuir las posibilidades de daño y rotura.
- Controlar los costes directos del mantenimiento mediante el uso correcto y eficaz del tiempo, materiales, mano de obra y servicios.

14.4. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Según García. S. [2003], hoy por hoy no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un tipo de mantenimiento. Cada equipo ocupa una posición distinta en el proceso industrial, y tiene unas características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares. Si se pretende optimizar, no es suficiente con pensar en el tipo de instalación o en las características del equipo. Es necesario tener en cuenta toda una serie de factores, como el coste de una parada de producción, su influencia en la seguridad, el coste de una reparación, etc., que van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo.

Aunque podrían establecerse diversas clasificaciones del mantenimiento, las más comúnmente aceptada es la que se muestra a continuación:

A. Mantenimiento Correctivo

También llamado “a rotura”, tan sólo interviene cuando ya se ha producido el fallo. Se trata, por lo tanto, de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de una avería.

Esta filosofía de mantenimiento no requiere de ninguna planificación sistemática, por cuanto no se trata de un planteamiento organizado de tareas. Sin embargo, adoptar esta forma de mantenimiento supone asumir algunos inconvenientes respecto de las máquinas y equipos afectados, entre los que pueden citarse:

- Las averías se producen generalmente de forma imprevista, lo que puede ocasionar trastornos en la producción, que pueden ir desde ligeras pérdidas de tiempo, por reposición de equipo o cambio de tarea, hasta la parada de la producción, en tanto no se repare o sustituya el equipo averiado.
- Las averías, al ser imprevistas, suelen ser graves para el equipo, con lo que su reparación suele ser costosa.
- Las averías son siempre, en mayor o menor medida, inoportunas, por lo que la reparación de los equipos averiados suele llevar más tiempo del previsto, ya sea por ausencia del personal necesario para su reparación, o ya sea por la falta de los repuestos necesarios.
- Por tratarse de averías inesperadas, el fallo podría venir acompañado de algún siniestro, lo que obviamente puede tener consecuencias muy negativas para la seguridad del personal o de las instalaciones.

B. Mantenimiento Preventivo

Pretende disminuir o evitar en cierta medida la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos deteriorados, lo que se conoce como “las tres erres del mantenimiento”.

El éxito de este tipo de mantenimiento depende de la correcta elección del período de inspección. Un período demasiado largo conlleva el peligro de la aparición de fallos entre dos inspecciones consecutivas, en tanto que un período corto puede encarecer considerablemente el proceso productivo. El equilibrio se encuentra como solución de compromiso entre los costes procedentes de las inspecciones y los derivados de las averías imprevistas.

El grave inconveniente que presenta la aplicación exclusiva de este tipo de mantenimiento es el coste de las inspecciones. El desmontaje y revisión de una máquina que

está funcionando correctamente o la sustitución de elementos (lubricantes, rodamientos, etc.) que no se encuentran en mal estado, parece innecesario. Por otra parte, sea cual sea el período de inspección fijado, no se elimina por completo la posibilidad de una avería imprevista, si bien cuanto menor sea dicho período, en mayor grado se reducirá este peligro.

C. Mantenimiento Predictivo

También conocido como “mantenimiento según estado o según condición”, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costes de los métodos tradicionales (correctivo y preventivo) de mantenimiento. La idea básica de esta filosofía de mantenimiento parte del conocimiento del estado de los equipos. De esta manera es posible, por un lado, reemplazar los elementos cuando realmente no se encuentren en buenas condiciones operativas, suprimiendo las paradas por inspección innecesarias y, por otro lado, evitar las averías imprevistas, mediante la detección de cualquier anomalía funcional y el seguimiento de su posible evolución.

La aplicación del mantenimiento predictivo se apoya en dos pilares fundamentales:

1. La existencia de parámetros funcionales indicadores del estado del equipo.
2. La vigilancia continua de los equipos.

Y todo esto se fundamenta en la idea de Patton [1983] de que a mayoría de las máquinas avisan de alguna manera de su fallo antes de que éste ocurra.

Entre las ventajas más importantes que reporta este tipo de mantenimiento pueden citarse las siguientes:

- Detectar e identificar precozmente los defectos que pudieran aparecer, sin necesidad de parar y desmontar la máquina
- Observar aquellos defectos que solo se manifiestan sobre la máquina en funcionamiento.
- Elaborar un historial de funcionamiento de la máquina, a través de la evolución de sus parámetros funcionales y su relación con algún defecto significativo: parada, revisión, lubricación, reemplazo de algún elemento, etc.
- Programar la parada, para la corrección del defecto detectado, haciéndola coincidir con un tiempo muerto o una parada rutinaria del proceso de producción.
- Programar el suministro de repuestos y la mano de obra
- Reducir el tiempo de reparación, ya que previamente se ha identificado el origen de la avería y los elementos afectados por la misma
- Aislar las causas de los posibles fallos repetitivos y procurar su erradicación.
- Proporcionar criterios para una selección satisfactoria de las mejores condiciones de operación de la máquina
- Aumentar la seguridad de funcionamiento de la máquina, y en general de toda la instalación.

D. Mantenimiento Productivo Total (MPT)

Con el MPT se intenta recoger y aplicar las tendencias más recientes en cuando a la planificación participativa integral de todas las tareas del mantenimiento, incluyendo las técnicas utilizadas y su gestión, la administración del mantenimiento, el control de los distintos índices asociados al funcionamiento de los equipos y al conjunto de las instalaciones (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad), la calidad de la producción y, finalmente, su repercusión en la economía de la empresa. Por tanto, esta filosofía de mantenimiento implica a todos los estamentos y niveles de la producción, con una estructura de planificación jerárquica que, partiendo de los objetivos últimos de la explotación, vaya desglosándose en tareas concretas hasta llegar al operador y a las actuaciones específicas sobre cada máquina y componente de las instalaciones.

Mediante el MPT se intenta, pues, abarcar una visión más amplia del mantenimiento, que recoja todos aquellos aspectos que inciden de alguna manera en la utilización de los equipos e instalaciones, y por tanto en la capacidad de producción.

Ninguno de los tipos anteriores se utiliza de forma exclusiva sino que, en aras de la rentabilidad de la explotación, se impone practicar una adecuada combinación de los tipos anteriores, realizando lo que se ha venido a llamar "mantenimiento planificado".

14.5. PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DESALADORA PROYECTADA

▪ Análisis previo

A la hora de implantar un Plan de Mantenimiento, es necesario comprobar la posibilidad, justificación y viabilidad de cada una de las opciones previstas, es decir, realizar un análisis minucioso de todos los detalles que implica su implantación para lograr resultados satisfactorios y evitar enfoques erróneos en cuanto al tipo de mantenimiento a aplicar en cada uno de los equipos, así como el alcance del mismo.

En primer lugar, una vez construida la planta desaladora, se generará una base de datos que incluya fichas técnicas para cada equipo implicado (especificaciones de diseño del equipo, datos descriptivos relevantes, sistemas auxiliares necesarios, instrumentación existente, etc). Cualquier cambio de diseño, reforma, eliminación del equipo o modificación en el seguimiento predictivo, se actualizará en la base de datos.

▪ Selección de equipos

El primer problema que se plantea a la hora de realizar un análisis de equipos es elaborar una lista ordenada de todos los equipos que hay en la planta. Ante esto, lo más útil es confeccionar una estructura arbórea, que permite distinguir los distintos niveles de la planta.

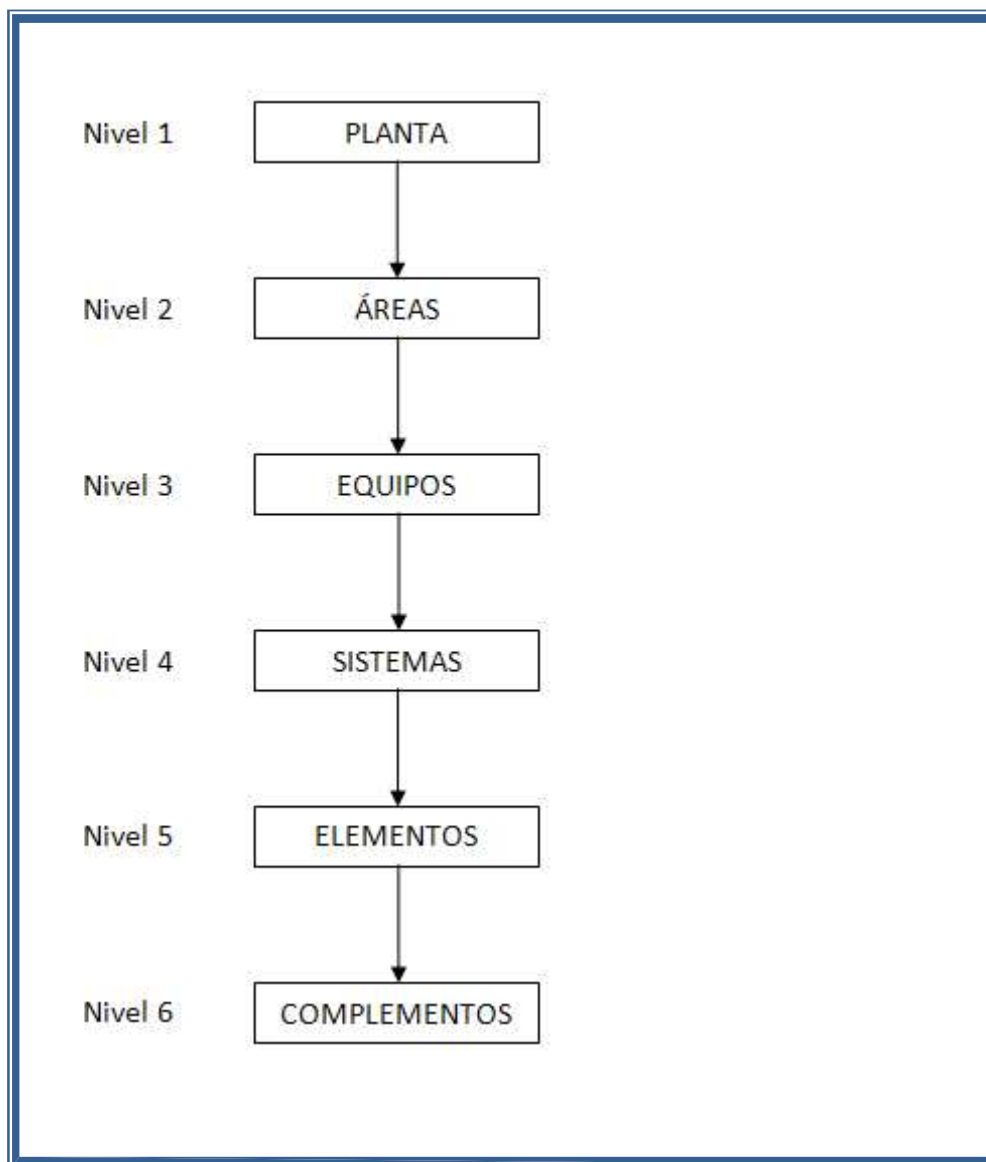


Figura 14.5-1: Selección de equipos.

Fuente: Gómez de León. F.C, 1998.

Antes de elaborar el Plan de Mantenimiento, será necesario decidir qué equipos entrarán en el programa previsto. Se trata pues de clasificar los equipos atendiendo principalmente a su implicación operacional y económica.

En general, para decidir los equipos implicados se establece el criterio de seleccionar aquellos cuyo fallo supone una parada de la instalación, una disminución de su capacidad productiva, una merma de calidad o un peligro inminente.

En primer lugar, puede establecerse una clasificación entre los diferentes equipos de la planta en estudio, atendiendo a su efecto sobre el proceso productivo, con el objetivo de establecer una prioridad entre ellos, de la siguiente manera:

- Equipos cuyo fallo provoca la parada del proceso productivo o afectan negativamente a la capacidad normal de producción. En el caso del presente Proyecto, este equipo corresponde a la Bomba de Alta Presión y a la unidad de Ósmosis Inversa.
- Equipos cuyo fallo no provoca efectos inmediatos sobre el proceso productivo. En este caso, podrían encuadrarse en esta categoría los equipos tales como, bombas de baja presión, soplante y depósitos.

De este modo, derivada de la división expuesta anteriormente, puede utilizarse la clasificación ABC de los equipos:

Categoría A: Equipos esenciales para la producción. Su fallo provoca la parada o la pérdida inmediata de la producción, o afectan seriamente a las condiciones de seguridad de la instalación. Dentro de la planta desaladora proyectada, los equipos que se deben incluir en esta categoría son exclusivamente la Bomba de Alta Presión y la unidad de Ósmosis Inversa.

Categoría B: Equipos importantes para la producción. Su fallo no provoca efectos inmediatos en la producción, pero si el fallo persiste sus efectos si podrían resultar perjudiciales para la producción o para la seguridad de la instalación.

En este caso, los equipos que pueden considerarse dentro de esta categoría son los que se detallan a continuación:

- Filtros de arena
- Intercambiadores de Presión
- Bombas de baja presión
- Depósitos

Categoría C: El resto de los equipos. Aquí se encuadrarían los siguientes:

- Lechos de calcita

▪ **Mantenimiento de la planta**

Para obtener un funcionamiento óptimo de la instalación se ha de conseguir un equilibrio entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo, lo cual constituye el mantenimiento planificado (nunca se descartará la componente del mantenimiento correctivo).

El mantenimiento predictivo se aplicará a todos los equipos del sistema de producción, quedando excluidos los equipos de reserva.

El mantenimiento preventivo que se desarrollará para el sistema de producción de agua desalada para consumo humano será de tres tipos:

- a. Mantenimiento preventivo programado: se realizarán una serie de ajustes, comprobaciones, inspecciones y sustituciones periódicas de componentes de los equipos.
- b. Mantenimiento preventivo en paradas: para aquellos equipos a los que se les ha detectado un deterioro incipiente que requiere una inspección en detalle.

c. Mantenimiento preventivo legal: este tipo no obedece a razones técnicas sino a los plazos y a las operaciones impuestas por imperativos de la reglamentación vigente, como es el caso de las inspecciones de los extintores del sistema contra incendios.

En todo momento deben seguirse las recomendaciones de los fabricantes y establecer un cuadro de mantenimiento que se cumpla con rigidez. El abandono o descuido del mantenimiento en el sistema de depuración proyectado puede ser muy peligroso.

14.6. COSTES DEL MANTENIMIENTO

Los gastos necesarios para poner en marcha un Plan de Mantenimiento pueden dividirse en las siguientes partidas:

- 1) Coste de la instrumentación, instalaciones y equipamiento necesario.
- 2) Coste de las modificaciones pertinentes en los equipos y en la instalación existente.
- 3) Coste del personal encargado de realizar la instalación del plan.
- 4) Coste de la integración.
- 5) Preparación y adiestramiento del personal encargado de ejecutar el plan.
- 6) Coste del personal destinado a ejecutar el plan.
- 7) Coste del mantenimiento del plan.


BIBLIOGRAFÍA

- “Aguas del Telde”, Gestión Integral de Servicios, S.A.
- Circe. “La desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional”.
- Fariñas Iglesia, Manuel. “Ósmosis Inversa”. Edición Alcion.
- Ibáñez Mengual, José Antonio. “Desalación de aguas. Aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos”. Edición: Instituto Euromediterráneo del agua.
- M^a José Muñoz Cueto, 2007. “Apuntes de la asignatura Flujo de Fluidos y Trasmisión de Calor”.
- Manuel Hernández, “Guía de remineralización de aguas desaladas”.
- Medina San Juan, José Antonio. “Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis Inversa”. Ediciones Mundi-Prensa.
- Perry R.H., Green D.W, Maloney J.O, 2001. “Manual del Ingeniero Químico”. Edición Mc-Graw Hill.
- Prescal, 2009. “Apuntes de Máster de Prevención de Riesgos Laborales. Seguridad en el Trabajo”.
- Romero Zúñiga, Luis Enrique, 2009 “Apuntes de la asignatura Simulación y Optimización de Procesos”.
- Rudd D.F, Watson 1976. “Estrategias de Ingeniería de Procesos”. Edición Alhambra.
- Sanchis.J, 2007. “Introducción al control automático”.
- Souris J.P, 1992. “El mantenimiento fuente de beneficios”. Edición Díaz de Santos, 1^a edición.

Direcciones de Internet:

- www.acinesgon.es
- www.aiqsa.es
- www.calplas.es
- www.dosapro.es
- www.eri.es

- www.flowtite.es
- www.harmsco.es
- www.hidranautics.es
- www.hidrotecar.es
- www.itur.es
- <http://www.mtas.es/insht/> “Instituto de Higiene y Seguridad en el trabajo”

 Otras referencias:

- Desaladora Fuerteventura
- Befesa, Sevilla
- Instituto Tecnológico Canario.
- Blesa García, Joaquín Antonio, 2007. “Proyecto Fin de Carrera Universidad de Cádiz”.

DOCUMENTO 1

MEMORIA

ANEXOS

ÍNDICE ANEXOS A LA MEMORIA

ANEXO 1. BALANCE DE MATERIA

- A.1.1 Introducción
- A.1.2 Datos de partida
- A.1.3 Balance de materia inicial

ANEXO 2. PRETRATAMIENTOS

- A.2.1 Introducción
- A.2.2 Filtro de arena
- A.2.3 Filtro de cartucho
- A.2.4 Dosificación de antiincrustante
- A.2.5 Dosificación de reductor

ANEXO 3. DIMENSIONAMIENTO DE LA UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA

- A.3.1 Introducción
- A.3.2 Método de cálculo
- A.3.3 Selección de la membrana
- A.3.4 Cálculo de los sólidos totales disueltos
- A.3.5 Cálculo de la presión osmótica
- A.3.6 Cálculo de número de membranas y tubos de presión
- A.3.7 Normalización del sistema
- A.3.8 Cálculo de la presión de operación

ANEXO 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

- A.4.1 Introducción
- A.4.2 Sistema de recuperación con Turbinas Pelton

- A.4.3 Sistema de recuperación con Intercambiadores de Presión

ANEXO 5. POSTRATAMIENTO

- A.5.1 Introducción
- A.5.2 Dimensionado del lecho de calcita de flujos ascendente y altura constante
- A.5.3 Dosificación del Hipoclorito Sódico

ANEXO 6. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

- A.6.1 Dimensionado de tuberías
- A.6.2 Cálculo hidráulico

ANEXO 7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS

- A.7.1 Depósito intermedio
- A.7.2 Depósito de equilibrio osmótico
- A.7.3 Depósito de lavado químico de las membranas
- A.7.4 Depósito de productos químicos

ANEXO 8. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LAVADO QUÍMICO

- A.8.1 Introducción
- A.8.2 Depósito de limpieza química
- A.8.3 Dosis del limpiador ácido
- A.8.4 Bomba de lavado químico
- A.8.5 Filtros de cartucho

ANEXO 9. CTALOGOS, GRÁFICAS Y TABLAS

- A.9.1 Introducción
- A.9.2 Fichas técnicas de los equipos
- A.9.3 Fichas de seguridad de los productos químicos
- A.9.4 Gráficas y Tablas

ANEXO 1: BALANCE DE MATERIA

A.1.1. INTRODUCCIÓN

Se parte de que actualmente en la isla de Fuerteventura, concretamente, en el municipio de Puerto del Rosario, la demanda de agua potable es de 20.000 m³/día.

Por ello, se va a diseñar una planta desaladora que sea capaz de llegar a producir 20.000 m³/día de agua potable para abastecer a 80.000 habitantes, cumpliendo con la normativa vigente.

Por tanto, se van a diseñar 4 líneas, con una producción de 5.000 m³/día por línea. Los cálculos se realizarán para una sola línea, ya que las cuatro serán exactamente iguales.

A.1.2. DATOS DE PARTIDA

Las características físicas y químicas del agua que se va a tratar constituyen la base de partida para el diseño de una IDAM.

El análisis iónico es por tanto imprescindible, pues no sólo nos sitúa en cuanto a salinidad dentro del rango de membranas que van a poder utilizarse, sino que además nos va a mostrar las limitaciones que en cualquier caso se van a presentar respecto a la conversión del sistema.

El análisis iónico debe ser lo más completo posible con especial referencia a los iones que presentan más dificultades para su separación, como es el caso del boro.

Por tanto, según lo expuesto en párrafos anteriores, el diseño de una planta desaladora se debe hacer teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales:

- **Análisis del agua de alimentación**

A continuación, se adjunta la **Tabla A.1-a** con la composición iónica del agua de mar (Océano Atlántico, Sur de Fuerteventura), según datos facilitados por Aguas de Telde, Gestión Integral del Servicio, S.A:

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDAD DE MEDIDA
Calcio	587	mg/L Ca ²⁺
Magnesio	1320	mg/L Mg ²⁺
Sodio	11201,2	mg/L Na ⁺
Potasio	460	mg/L K ⁺
Aluminio	0,06	mg/L Al ³⁺
Amonio	0,5	mg/L NH ₄ ⁺
Boro	3,2	mg/L B ³⁺
Bicarbonatos	152,5	mg/L HCO ₃ ⁻
Sulfatos	2525,8	mg/L SO ₄ ²⁻
Cloruros	19880	mg/L Cl ⁻
Fluoruros	0,74	mg/L F ⁻
Nitratos	6,1	mg/L NO ₃ ⁻

Tabla A.1-a: Composición iónica del agua del mar

Fuente: Aguas de Telde, Gestión Integral del Servicio

Por tanto, tenemos en nuestra agua de alimentación un total de 36.138,4 ppm de sólidos totales disueltos (STD).

Otros datos de gran interés para el diseño de este tipo de instalaciones son la temperatura media del agua del mar, el pH, el índice de turbidez y el índice de ensuciamiento (SDI). En nuestro caso:

- T = 20°C
- pH = 7,7
- Índice de turbidez (NTU) < 1
- Índice de ensuciamiento (SDI) < 2

▪ Características y calidad deseadas del agua producto

Por último, el objetivo de este proyecto, en cuanto a la calidad del agua producto, no es sólo cumplir con el RD 140/2003, del 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, sino además, cumplir con las exigencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS) respecto a la concentración de boro. Detallando a continuación las más destacadas:

- STD < 500 mg/L
- Dureza = 60 mg/L de Ca
- B ≤ 0,5 mg/L
- pH = 6,5 – 9,5

A.1.3. BALANCE DE MATERIA INICIAL

De forma general se tiene que:

$$Q_F = Q_p + Q_r \quad [A.1.1]$$

$$Q_F = \frac{Q_p}{\eta} \quad [A.1.2]$$

En la **Figura A.1-a** se muestra el diagrama de bloques de la unidad de ósmosis inversa. Tal y como se detalla en la memoria descriptiva, en el **CAPÍTULO 10**, la configuración de la unidad de ósmosis será de un solo paso y la conversión global del proceso del 47%.

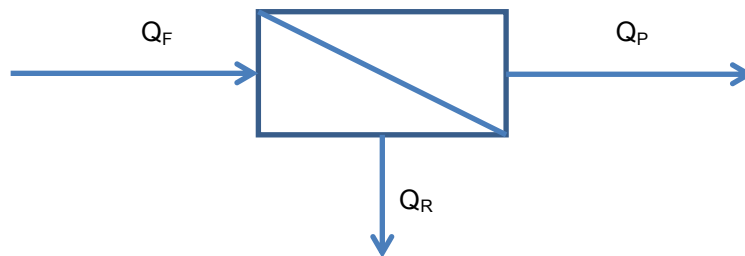


Figura A.1-a: Diagrama de bloque de la unidad de ósmosis

Dónde:

Q_F = caudal de alimentación ($m^3/día$)

Q_P = caudal de permeado o caudal agua producto ($m^3/día$)

Q_R = caudal de rechazo o salmuera ($m^3/día$)

Conocidos el caudal de agua producto y el rendimiento global, resolvemos el balance de materia.

$$Q_P = 5.000 \text{ m}^3/día$$

Aplicando un factor de seguridad de un 10%, se obtiene que el caudal de agua desalada por línea será de:

$$Q_P = (5.000 + 0,10 \cdot 5.000) = 5.500 \text{ m}^3/d$$

Por tanto el caudal de alimentación será de:

$$Q_F = \frac{Q_p}{\eta} = \frac{5.500}{0,47} = 11.702,128 \text{ m}^3/\text{d}$$

Y el caudal de salmuera:

$$Q_R = 11.702,128 - 5.500 = 6.202,128 \text{ m}^3/\text{día}$$

En la **Figura A.1-b** se muestra el diagrama de bloques de la unidad de ósmosis inversa con los resultados obtenidos:

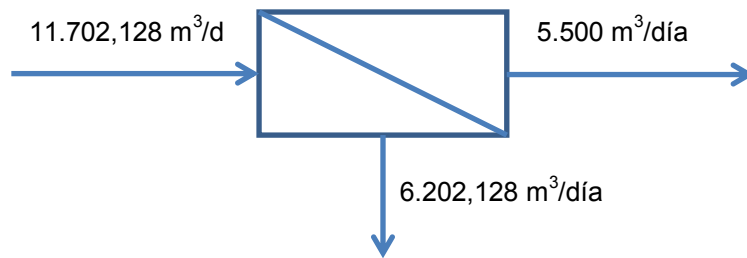


Figura A.1-b: Diagrama de bloque de la unidad de ósmosis

ANEXO 2: DISEÑO DEL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

A.2.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anexo es el diseño del sistema de pretratamiento, tanto físico como químico, que se van a llevar a cabo en la planta.

Como bien se detalla en el **APARTADO 10.3** de la memoria descriptiva, el sistema de pretratamiento va a ser el siguiente:

- Pretratamientos físicos:
 - Filtración grosera con los filtros de arena
 - Filtración de afino con los filtros de cartucho
- Pretratamientos químicos:
 - Dosificación de antiincrustante
 - Dosificación de reductor

A continuación se diseñan cada uno de los equipos.

A.2.2. FILTROS DE ARENA

La filtración en arena se encuentra dentro de los pretratamientos físicos a los que es sometida el agua de mar antes de su acceso a la unidad de ósmosis inversa. Con ella se consigue la eliminación de los sólidos suspendidos y la reducción de la concentración de coloides que pueda tener el agua de mar.

El filtro elegido, como bien se detalla en el **CAPÍTULO 10** de la memoria descriptiva, es el filtro horizontal serie H del fabricante Calplas. Su ficha técnica se adjunta en el **ANEXO 9** correspondiente a fichas técnicas. Sus dimensiones son:

- Diámetro = 2,55 m
- Longitud = 6,5 m
- Superficie filtrante = 14,4 m²

La velocidad de filtración para este tipo de filtros, según fabricante, debe estar comprendida entre 7-12m/h, siendo de 10 m/h el máximo en el caso de estar todos los filtros operativos y de 12 m/h en el caso de que alguno de los filtros se encuentre en la fase de lavado.

A continuación se determinará el número de filtros necesarios a instalar. Para ello se aplica la expresión siguiente:

$$n_{\text{filtros}} = \frac{Q_{\text{filtrar}}}{v_{\text{filtración}} \cdot S_{\text{filtro}}} \quad [\text{A.2.1}]$$

En nuestro caso, el caudal de agua a filtrar por línea de producción es de 487,589 m³/h. Y como la velocidad de filtración recomendada como máxima es de 10 m/h en el caso de tener todos los filtros operativos, se puede determinar que el número de filtros a instalar es:

$$n_{\text{filtros}} = \frac{Q_{\text{filtrar}}}{v_{\text{filtración}} \cdot S_{\text{filtro}}} = \frac{487,589}{10 \cdot 14,4} = 3,38 \cong 4$$

Luego se instalan por línea de producción 4 filtros.

Sin embargo, es necesario determinar la velocidad de filtración real en el caso de tener todos los filtros operativos (no debe de sobrepasar de 10 m/h) y en el caso de tener alguno de los filtros en la fase de lavado (como máximo debe ser de 12 m/h). Luego:

$$v_{\text{filtración}_{n_{\text{filtros}}}} = \frac{487,589}{14,4 \cdot 4} = 8,47 \text{ m/h} < 10 \text{ m/h}$$

$$v_{\text{filtración}_{n_{\text{filtros}}}} = \frac{487,589}{14,4 \cdot 3} = 11,29 \text{ m/h} < 12 \text{ m/h}$$

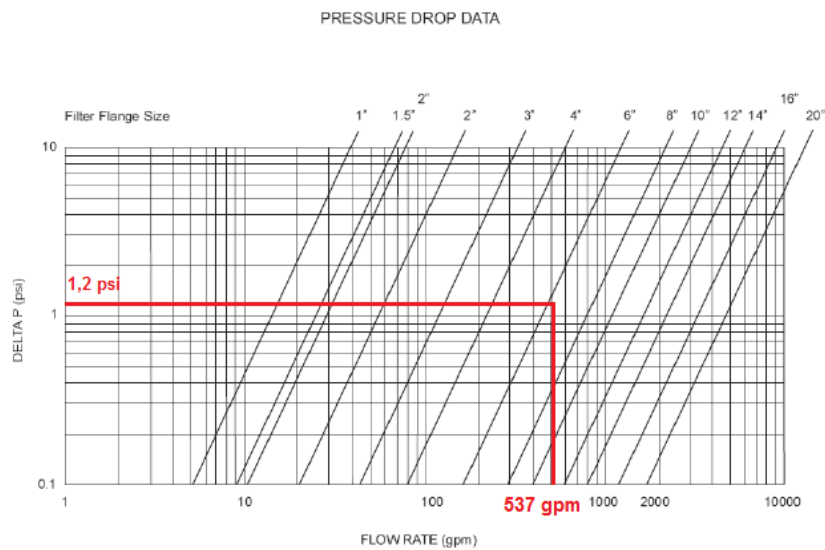
Por tanto el resultado obtenido es válido:

$$n_{\text{filtros}} = 4$$

▪ **Pérdidas de carga en los filtros de arena**

En este apartado se determinan las pérdidas de carga que introducen los filtros de arena en el sistema de conducciones.

Se determinan gráficamente mediante la gráfica A.2-a que se muestra a continuación y que ha sido facilitada por el fabricante.



Gráfica A.2-a: Pérdidas de carga en los filtros de arena

Fuente: Fabricante Calplas

Como puede verse en la gráfica anterior, para un caudal por filtro de 537 gpm y un diámetro de la conexión de 6,29 inch, se obtiene una caída de presión de 1,2 psi.

Teniendo en cuenta que se tienen 4 filtros por línea de operación, las pérdidas totales por línea son 4,8 psi lo que equivale a 0,023 metros.

▪ **Lavado de los filtros de arena**

Cuando la pérdida de carga a través del filtro de arena alcanza los 0,8-1 kg/cm² de presión se debe proceder a su limpieza.

Para obtener unos resultados óptimos en el proceso de lavado, este se llevará a cabo, como bien se detalla en el **capítulo 10** de la memoria descriptiva, con lavados a contracorriente de aire y agua alternativamente. Luego en este apartado se va a determinar los caudales de aire y agua necesarios para llevar a cabo la operación de limpieza de los filtros de arena.

- **Caudal de aire:** se introduce aire a contracorriente para el adecuado esponjamiento de la arena. La velocidad de aire recomendada es de 50 m/h, por tanto el caudal de aire a utilizar es:

$$Q_{\text{aire}} = S_{\text{filtro}} \cdot v_{\text{aire}} \quad [\text{A.2.2}]$$

$$Q_{\text{aire}} = 14,4 \cdot 50 = 720 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para aportar dicho caudal se instalará una soplante de aire del fabricante Mapner por línea de producción más una de reserva. Los datos técnicos se encuentran en el anexo de equipos correspondientes.

- **Caudal de agua:** se utiliza en la fase de lavado y en un posterior aclarado.
- **Fase de lavado:** en esta fase se arrastran las partículas y coloides retenidas por el lecho durante el tiempo de operación. La velocidad recomendada en esta fase es de 10 m/h, por tanto:

$$Q_{\text{agua}} = S_{\text{filtro}} \cdot v_{\text{agua}} = 14,4 \cdot 10 = 144 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Fase de aclarado:** es esta fase se homogeneiza y se compacta el lecho, de forma que se regenera su capacidad filtrante. La velocidad recomendada en esta fase es de 18 m/h, por tanto:

$$Q_{\text{agua}} = S_{\text{filtro}} \cdot v_{\text{agua}} = 14,4 \cdot 18 = 259,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

El agua a emplear en la fase de lavado será agua de mar y se impulsará con las bombas de captación de agua de mar. En el sistema de lavado se deben instalar un juego de válvulas que ajusten los caudales de agua requeridos para cada fase de lavado.

A.2.3 FILTROS DE CARTUCHO

El segundo de los pretratamientos físicos es la filtración de seguridad o filtración por cartuchos. El cometido de esta filtración es proteger a las membranas de partículas en suspensión. Los fabricantes de membranas establecen el tamaño máximo de partícula en 5 micras. Cuando la pérdida de carga a través de los filtros alcanza 1 kg/cm^2 se procede a la sustitución de los filtros de cartucho por otros nuevos.

El portafiltro y filtro de cartucho elegidos son de la firma Harmsco. Por sus características se van a instalar portafiltros de la serie HIF. Teniendo en cuenta el alto caudal a tratar se ha elegido el portafiltro HIF 200 FL. En él entran 100 cartuchos de 1250 mm. Los cartuchos elegidos son de la serie 801. Debido a que el tamaño de las partículas a retener es de 5 micras como mínimo, el filtro de cartucho a instalar será el 801-5. Las fichas técnicas se adjunta en el **ANEXO 9** del presente proyecto.

El caudal de alimentación a tratar por los filtros es de $487,489 \text{ m}^3/\text{h}$. Asumiendo caudales normales de operación de $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ por cartucho elemental de 250 mm, para unidades de 1250 mm tendremos que el caudal de operación es de $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$. A continuación se determina el número de filtros de cartuchos necesario por línea de operación:

$$n_{FC} = \frac{Q_F}{Q_{FC}} \quad [\text{A.2.3}]$$

Dónde:

- n_{FC} es el número de filtros de cartucho a instalar.
- Q_F es el caudal de agua a tratar, $487,589 \text{ m}^3/\text{h}$
- Q_{FC} es el caudal de operación del filtro de cartucho, $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Sustituyendo en la expresión anterior se obtiene:

$$n_{FC} = \frac{Q_F}{Q_{FC}} = \frac{487,589}{3,5} = 139,11 = 140 \text{ unidades}$$

Sin embargo, según el fabricante, para el diseño es necesario tomar que cada portafiltro de cartucho va a tratar entre el 60-80% del caudal total. Tomando un valor medio, 70%, se obtiene que en cada portafiltro hay 70 filtros de cartucho de 1250 mm. Luego el número de portafiltros a instalar por línea es de:

$$n_{PF} = \frac{n_{uds}}{n_{udsdis}} \quad [\text{A.2.4}]$$

$$n_{PF} = \frac{140}{70} = 2$$

Por tanto, se tiene que por línea de producción se instalan 2 portafiltras.

▪ **Pérdidas de carga en los filtros de cartucho**

En el caso de los filtros de cartucho de la firma Harmsco, se tiene que las pérdidas de carga, según el fabricante, son de 5 metros

A.2.4 DOSIFICACIÓN DEL ANTIINCRUSTANTE

La dosificación de antiincrustante tiene como objetivo evitar los depósitos de las sales incrustantes, tales como sulfato cálcico y sulfato de bario, en las membranas. Estos depósitos producen una disminución en el rendimiento de la instalación y un aumento en la presión de operación.

El antiincrustante elegido es un ácido policarboxílico neutralizado cuyo nombre comercial es Genesys SW. Su ficha técnica se adjunta en el **ANEXO 9** correspondiente a fichas técnicas.

La dosis recomendada por el fabricante es 0,8-1,5 mg/L. Sin embargo, el proveedor facilita un programa para calcular la dosis de diseño según el tipo de agua de alimentación que se tenga. La dosis de diseño que se ha obtenido en nuestro caso es de 1,05 mg/L. Sin embargo al ser esta cantidad tan pequeña hace que su dosificación sea compleja, y por ello se va a diluir en un 30%. Por tanto habrá que aumentar la cantidad a dosificar 3 veces aproximadamente, resultando 3,465 mg/L

A continuación se determina el caudal de antiincrustante que es necesario añadir por línea de operación:

$$Q_d = \frac{c \cdot Q_F}{\rho} \quad [A.2.5]$$

Dónde:

- c es la dosis de producto a añadir, 3,465 g/m³
- Q_F es el caudal de agua de alimentación a tratar, 11702,128 m³/d
- ρ es la densidad del producto a utilizar, 1,16 g/cm³

Luego, sustituyendo se tiene que el caudal de disolución a inyectar es:

$$Q_d = \frac{c \cdot Q_F}{\rho} = \frac{3,465 \cdot 11702,128}{1,16 \cdot 10^6} = 0,035 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_d = 0,035 \text{ m}^3/\text{d}$$

A.2.5 DOSIFICACIÓN DEL REDUCTOR

La dosificación de reductor tiene como objetivo reducir la actividad de los agentes oxidantes de forma que se garantice la ausencia total de cloro libre. Además, tiene poder alguicida, regula el crecimiento biológico, y actúa contra las incrustaciones (regula el pH). La eliminación del oxígeno del agua favorece la protección de las partes metálicas de la instalación de la corrosión y como consecuencia protege a las membranas de dichos productos corrosivos,

El punto de inyección puede ser después de los filtros de arena como después de los filtros de cartucho, lo que supone una medida más eficaz, ya que se elimina el cloro libre justo antes de la entrada a las membranas. Luego se dosificará en este punto.

El reductor seleccionado es el metabisulfito sódico. Su ficha técnica se adjunta en el **ANEXO 9** correspondiente a fichas técnicas.

La dosis recomendada es de 3 mg/L. Como la solución comercial es al 40%, la dosis a inyectar será de 7,5 mg/L.

A continuación se determina el caudal de disolución a inyectar, utilizando la expresión [A.2.5]:

$$Q_d = \frac{c \cdot Q_F}{\rho}$$

Dónde:

- c es la dosis de producto a añadir, 7,5 g/m³
- Q_F es el caudal de agua de alimentación a tratar, 11702,128 m³/d
- ρ es la densidad del producto a utilizar, 1,34 g/cm³

$$Q_d = \frac{c \cdot Q_F}{\rho} = \frac{7,5 \cdot 11702,128}{1,34 \cdot 10^6} = 0,065 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_d = 0,065 \text{ m}^3/\text{d}$$

ANEXO 3: DIMENSIONAMIENTO UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA

A.3.1. INTRODUCCIÓN

En la unidad de ósmosis inversa es dónde ocurre la separación de las sales, por ello es muy importante su perfecto dimensionamiento.

En este anexo se determinarán las variables de diseño definidas en el **capítulo 10** de la memoria descriptiva. Para ello se va a seguir una secuencia de cálculo, que se detalla en el apartado siguiente.

A.3.2. MÉTODO DE CÁLCULO

Para el diseño de la unidad de ósmosis inversa se han seguido la siguiente secuencia de cálculo:

- a) Selección de la membrana.
- b) Cálculo de los sólidos totales disueltos.
- c) Cálculo de la presión osmótica.
- d) Cálculo del número de membranas y tubos de presión.
- e) Normalización del sistema: cálculo de los factores de corrección, cálculo del flujo de diseño, cálculo del número de membranas y tubos de presión reales.
- f) Cálculo de la presión de operación
- g) Cálculo del rendimiento real de la instalación.

A.3.3. SELECCIÓN DE LA MEMBRANA

Como se detalla en el **capítulo 10** de la memoria descriptiva, la membrana elegida será asimétrica, de poliamida aromática y con una configuración de arrollamiento en espiral. Además deberá poseer un alto rechazo frente al boro.

Existen varios proveedores de membranas, entre los que cabe destacar Filmtec e Hydranautics. Tras comparar uno con otro, Hydranautics, proporciona mayor variedad de membranas con alto rechazo al boro. La membrana elegida es la SWC4 MAX, cuya ficha técnica que se adjunta en el anexo correspondiente del presente proyecto.

A continuación se detallan alguna de las características de dicha membrana:

- $Q_p = 27,3 \text{ m}^3/\text{d}$
- % Rechazo sales = 99,7-99,8%
- % Rechazo boro = 93%

- Área activa = 40,8 m²

A.3.4 CÁLCULO DE LOS SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD)

Conocidos los caudales volumétricos de todas las corrientes y las concentraciones de los distintos iones en la corriente de alimentación, se calculan las concentraciones de estos mismos iones en las corrientes del permeado y del rechazo. Para ello se resuelve el balance de materia:

$$Q_F = Q_P + Q_R \quad [A.3.1]$$

$$Q_F \cdot C_F = Q_P \cdot C_P + Q_R \cdot C_R \quad [A.3.2]$$

Despejando de la ecuación [A.3.2], la concentración del permeado para el componente i, se tiene que:

$$C_{P_i} = \frac{C_{F_i} \cdot Q_{F_i} - C_{R_i} \cdot Q_R}{Q_P} \quad [A.3.3]$$

Por otro lado, conocidos la concentración de la alimentación para el componente i, detallada en el **ANEXO 1**, el rechazo de sales de la membrana (**APARTADO A.3.3**) y la conversión global del sistema (**ANEXO 1**), se determina la concentración del rechazo para el componente i:

$$C_R = \frac{R \cdot C_F}{1 - R} \quad [A.3.4]$$

Por ejemplo, para el ión Boro, dónde la concentración en la alimentación y el porcentaje de rechazo de la membrana hacia el boro son:

$$C(B^{3+})_F = 3,2 \text{ mg/L} ,$$

$$RS = 93\%$$

Utilizando la expresión [A.3.4], se tiene que la concentración de boro en las corrientes de rechazo y permeado respectivamente es:

$$C(B^{3+})_R = \frac{0,93 \cdot 3,296}{1 - 0,47} = 5,784 \text{ mg/L}$$

$$C(B^{3+})_P = \frac{3,296 \cdot 11.702,128 - 5,784 \cdot 6.202,128}{5.500} = 0,491$$

Para el resto de componentes, el porcentaje de rechazo de la membrana es 99,7%. Realizando el cálculo de la misma forma que para el boro, se obtiene, como puede verse a continuación en la **Tabla A.3-a**, las composiciones de cada una de las corrientes.

Iones	Concentración (mg/L) Corriente Rechazo	Concentración (mg/L) Corriente Permeado
Ca ²⁺	1137,351	1,854
Mg ²⁺	2557,587	8,678
Na ⁺	21703,065	73,642
K ⁺	891,280	3,024
Al ³⁺	0,116	0,000
NH ⁴⁺	0,969	0,003
B ³⁺	5,784	0,491
HCO ³⁻	295,479	1,603
SO ₄ ²⁻	4893,904	16,606
Cl ⁻	38518,813	130,700
F ⁻	1,434	0,005
NO ³⁻	11,819	0,040

Tabla A.3-a: Composición corrientes rechazo y permeado.

Sumando todas las composiciones se obtienen los sólidos totales disueltos en cada una de las corrientes. Para la corriente de permeado, corriente de interés, se tiene que:

$$STD_p = 236,646 \text{ mg/L}$$

De esta forma se comprueba que nuestra agua producto cumple con el RD.140/2003, en cuánto a este parámetro se refiere, el cuál establece que los STD deben ser inferiores a 500 mg/L. Por otro lado, también se comprueba que se cumple con el requerimiento inicial de diseño con respecto al boro, ya que como se puede observar en la tabla, la cantidad de boro en la corriente de permeado es menor a 0,5 mg/L.

A.3.5. CÁLCULO DE LA PRESIÓN OSMÓTICA

Si dos disoluciones acuosas de diferente concentración se encuentran separadas por una membrana semipermeable aparece un diferencial de presión entre los dos lados de la membrana. Cuando lo que se coloca a un lado de la membrana es agua pura y al otro una disolución cualquiera, la diferencia de presión que se registra entre ambos lados de la membrana recibe el nombre de presión osmótica.

Si se aplica artificialmente, al lado de la disolución, una presión superior a la presión osmótica, comienza a pasar agua desde la disolución de mayor concentración a la de menor, purificando ésta última y obteniendo por tanto, un agua de pureza admisible. Por ello, es importante conocer la presión osmótica del agua de alimentación, ya que a partir de ella se determinará la presión de trabajo de las bombas de alta presión. Esta última condicionará el consumo energético del proceso, de aquí, su gran importancia.

Consideraciones termodinámicas permiten establecer que la relación existente entre la presión osmótica de una solución y la concentración de sustancias que la componen viene dada por la ecuación **[Ósmosis inversa, Manuel Fariñas]:**

$$\pi = - \left(\frac{R \cdot T}{V_0} \right) \cdot \ln a_0 \quad [A.3.5]$$

Dónde:

π = presión osmótica de la solución

a_0 = actividad del solvente (agua)

R = constante de los gases perfectos

T = temperatura absoluta en grados Kelvin

V_0 = volumen molar parcial del solvente en la solución

La actividad del agua en una solución, teniendo en cuenta que en 1 kg de agua hay 55,51 moles, viene dada por la ecuación:

$$\ln a_0 = \frac{\sum m_i}{55,51} \cdot \emptyset \quad [A.3.6]$$

Sustituyendo el valor de la actividad del agua en la expresión [A.3.5], obtenemos que la presión osmótica queda :

$$\pi = 0,08308 \cdot \emptyset \cdot (t+273,16) \cdot \sum m_i \quad [A.3.7]$$

Donde:

π = presión osmótica en bares

\emptyset = coeficiente osmótico

t = temperatura del agua en ° C

$\sum m_i$ = sumatorio de las molalidades de todos los constituyentes de la solución, tanto iónicos como no iónicos

La molalidad de cada componente se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$m_i = \frac{C_i}{1000 \cdot PM_i \cdot \frac{10^6 - STD}{10^6}} \quad [A.3.8]$$

Dónde:

C_i = concentración del componente i de la solución expresada en mg/L

PM_i = peso molecular del componente i

STD = contenido en sales totales de la solución en mg/L

Y el coeficiente osmótico \varnothing viene dado por la relación siguiente:

$$\varnothing = 1 - \frac{S}{3,375 \cdot I} \cdot \left(A - 2 \cdot \ln A - \frac{1}{A} \right) + B \cdot I' + C \cdot (I')^2 \quad [A.3.9]$$

Dónde I e I' son fuerzas iónicas y S, A, B y C coeficientes empíricos; para calcularlos se utilizan las siguientes expresiones:

$$I = \frac{1}{2} \sum (m_i \cdot Z_i^2) \quad [A.3.10]$$

$$I' = \frac{1}{2} \sum m_i \quad [A.3.11]$$

$$S = 1,17202 \cdot \left(\frac{\sum m_i \cdot Z_i^2}{\sum m_i} \right) \cdot \left[\frac{23375,556}{D(t + 273,16)} \right]^{3/2} \cdot \rho^{1/2} \quad [A.3.12]$$

Dónde la densidad se calcula como:

$$\rho = 1,00157 - 1,56096 \cdot 10^{-4} \cdot T - 2,69491 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \quad [A.3.13]$$

$$A = 1 + 1,5 \cdot (I)^{1/2} \quad [A.3.14]$$

$$B = 6,72817 - \frac{348,662}{T + 273,16} - 0,971307 \cdot \ln(T + 273,16) \quad [A.3.15]$$

$$C = \frac{40,5016}{(T + 273,16)} - 0,721404 + 0,103915 \cdot \ln(T + 273,16) \quad [A.3.16]$$

$$D = 233,76 + \frac{5321}{(T + 273,16)} - 0,9297 \cdot (T + 273,16) + 0,001417 \cdot (T + 273,16)^2 - 8,292 \cdot 10^{-7} \cdot (T + 273,16)^3 \quad [A.3.17]$$

A continuación se realizan los cálculos correspondientes. A modo de ejemplo se harán para la corriente de alimentación. Para ello se parte de los datos de composición y peso molecular de cada ión tabulados a continuación. Por seguridad se considera un aumento de la concentración del 3%.

Iones	Concentración (mg/L) Corriente de Alimentación	Concentración con mixing del 3% (mg/L) Corriente Alimentación	Peso Molecular (g/mol)
Ca ²⁺	587	604,610	40,080
Mg ²⁺	1320	1.359,600	24,320
Na ⁺	11201,2	11.537,236	22,990
K ⁺	460	473,800	39,100
Al ³⁺	0,06	0,062	87,630
NH ⁴⁺	0,5	0,515	55,850
B ³⁺	3,2	3,296	24,800
HCO ³⁻	152,5	157,075	61,020
SO ₄ ²⁻	2525,8	2.601,574	96,070
Cl ⁻	19880	20.476,400	35,460
F ⁻	0,74	0,762	19,000
NO ³⁻	6,1	6,283	62,010

Tabla A.3-b: Composición y peso molecular de cada ión.

Una vez expuestos los datos, se inician los cálculos correspondientes.

En primer lugar se determinan los sólidos totales disueltos en la corriente:

$$STD = \sum C_i = 37.221,213 \text{ mg/L}$$

A continuación se realiza el cálculo de la molalidad de la corriente. Para ello es necesario obtener primero la molalidad de cada componente, y después con el sumatorio de todas se tendrá la molalidad de la corriente. La expresión a utilizar es la que se expone a continuación. Para el caso del calcio:

$$m_i = \frac{C_i}{1.000 \cdot PM \cdot \frac{10^6 - STD}{10^6}} = \frac{604,610}{1.000 \cdot 40,080 \cdot \frac{10^6 - 37.221,213}{10^6}} = 0,016 \text{ mol/1000 g de agua}$$

Los resultados obtenidos se muestran a continuación (**Tabla A.3-c**):

IONES	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺	B ³⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻
mi(mol/1000 g agua)	0,016	0,058	0,521	0,013	0	0	0	0,003	0,028	0,600	0	0

Tabla A.3-c: Molalidades componentes

Seguidamente se calcula la valencia de cada ión (**Tabla A.3-d**):

IONES	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺	B ³⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻
Z _i	2	2	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1

Tabla A.3-d: Valencia de los iones

Con los datos de molalidad y valencia, se calculan las fuerzas iónicas. Para ello es necesario tener calculados los términos siguientes:

- $\sum m_i = 1,238$ mol/1000 g de agua
- $\sum (m_i \cdot Z_i^2) = 1,545$

Por tanto:

- $I = 0,773$
- $I' = 0,619$

A continuación se calcula el valor del coeficiente osmótico y como se puede observar en su definición, para calcularlo son necesarios los siguientes datos:

- Fuerza iónica, calculada anteriormente.
- Correlaciones empíricas tales como A, B, C, D y S, definidas en párrafos anteriores:

$$A = 2,318$$

$$B = 0,023$$

$$C = 0,007$$

$$D = 79,503$$

S , en este caso es necesario calcular la densidad de la corriente primero. Para ello se parte de que la temperatura máxima de la corriente es 22°C, de forma que:

$$\rho = 0,997$$

Luego:

$$S = 1,451$$

Por tanto, el valor del coeficiente osmótico es:

$$\emptyset = 0,902$$

Por último, utilizando todos los cálculos anteriores se determina la presión osmótica de la corriente de alimentación:

$$\Pi_F = 27,402 \text{ bar}$$

Haciendo los mismos cálculos para las corrientes de permeados y rechazo, se obtiene que:

Corriente	Presión osmótica , Π (bar)
Alimentación	27,402
Permeado	0,182
Rechazo	54,574

Tabla A.3-e: Resultados cálculos presiones osmóticas.

A.3.6 CÁLCULO DEL NÚMERO DE MEMBRANAS Y TUBOS DE PRESIÓN

Partiendo del caudal que es necesario producir y con los datos técnicos de la membrana elegida, tales como área y flujo específico, se puede hacer una estimación inicial del número de membranas que va a llevar el rack de ósmosis inversa. A continuación se realizan los cálculos.

- **Cálculo del número de membranas**

El número de membranas se representa por N y se determina a partir de la expresión siguiente:

$$N = \frac{Q_p}{J \cdot A} \quad [A.3.18]$$

Dónde:

Q_p : es el caudal de permeado que se quiere obtener, en este caso es de 5.500 m³/día.

J: es el flujo específico y se define como el volumen producido de agua desalada por unidad de superficie de membrana instalada y unidad de tiempo. Se expresa en m³/m²·día. Luego:

$$J = \frac{Q}{A} \quad [A.3.19]$$

A: es el área nominal de la membrana.

El primer cálculo de membranas se hará para un flujo idealizado igual al máximo. Para ello se utiliza el caudal nominal de la membrana, proporcionado por el fabricante, el cual se encuentra tabulado en el apartado A.2.3 de este anexo. Por tanto conocidos el caudal nominal y área de la membrana:

$$Q_n = 27,3 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$A = 40,8 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en la expresión [A.3.19]:

$$J_{\max} = \frac{Q_n}{A} = \frac{27,3}{40,8} = 0,669 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$$

$$J_{\max} = 27,880 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$$

Luego, el número de membranas será:

$$N = \frac{Q_p}{J_{\max} \cdot A} = \frac{5.500}{0,669 \cdot 40,8} = 202$$

$$N = 202$$

▪ Cálculo del número de tubos de presión

Aplicando la recomendación del fabricante de utilizar 7 membranas por tubo de presión, se tiene que el número total de tubos de presión será de:

$$\text{tubos de P} = \frac{403}{7} = 28,8 \cong 29$$

$$\text{tubos de P} = 29$$

A.3.7 NORMALIZACIÓN DEL SISTEMA

La normalización del sistema se realiza porque la instalación no funciona durante todo el tiempo con los rendimientos teóricos.

Las membranas nunca trabajan a flujo máximo, por ello, cuando se diseña una planta de ósmosis inversa y se quiere conocer su productividad real, en cuanto al caudal de agua

producto se refiere, es necesario realizar unas correcciones que tengan en cuenta las variaciones de los factores que influyen en los caudales específicos con respecto a las condiciones normalizadas. De este modo, y como se explica en los apartados siguientes, se han de considerar tres factores correctores relacionados con la presión de operación, la temperatura del agua de alimentación y el tiempo de operación de la planta.

Según el fabricante, el flujo de diseño para nuestra membrana, considerando las características del agua de alimentación, debe estar comprendido entre 13,6-20,4 L/m²·h.

▪ Cálculo de los factores correctores

A continuación se determinan los factores correctores a los que se hace referencia en el apartado anterior:

a.- Factor corrector de temperatura.

La temperatura es un factor importante a tener en cuenta en los procesos de ósmosis inversa, ya que afecta a la productividad de las membranas, a su degradación físico-química y a la solubilidad de determinadas sales.

Los fabricantes de membranas calculan la productividad de las mismas a 25°C, pero en la práctica raramente se tiene el agua de alimentación a esta temperatura. La variación de la misma, varía la productividad en torno a un 2-3% por cada grado de aumento o disminución. En resumen, cuanto menor sea la temperatura del agua de alimentación mayor productividad se obtendrá, lo que permitirá utilizar un menor número de membranas o trabajar a presiones menores. Por el contrario, cuanto mayor sea la temperatura mayor es la velocidad de degradación de la membrana y, por tanto, menor será su vida media productiva.

Se establece empíricamente que:

$$f_T = \frac{Q_P(\theta)}{Q_P(25)} = A^{(\theta-25)} = \exp\left[K_T \cdot \left(\frac{T}{298}\right)\right] \quad [A.20]$$

Dónde:

$Q_P(\theta)$: caudal de producción de la planta a la temperatura θ Celsius.

$Q_P(25)$: caudal de producción de la planta a 25°C.

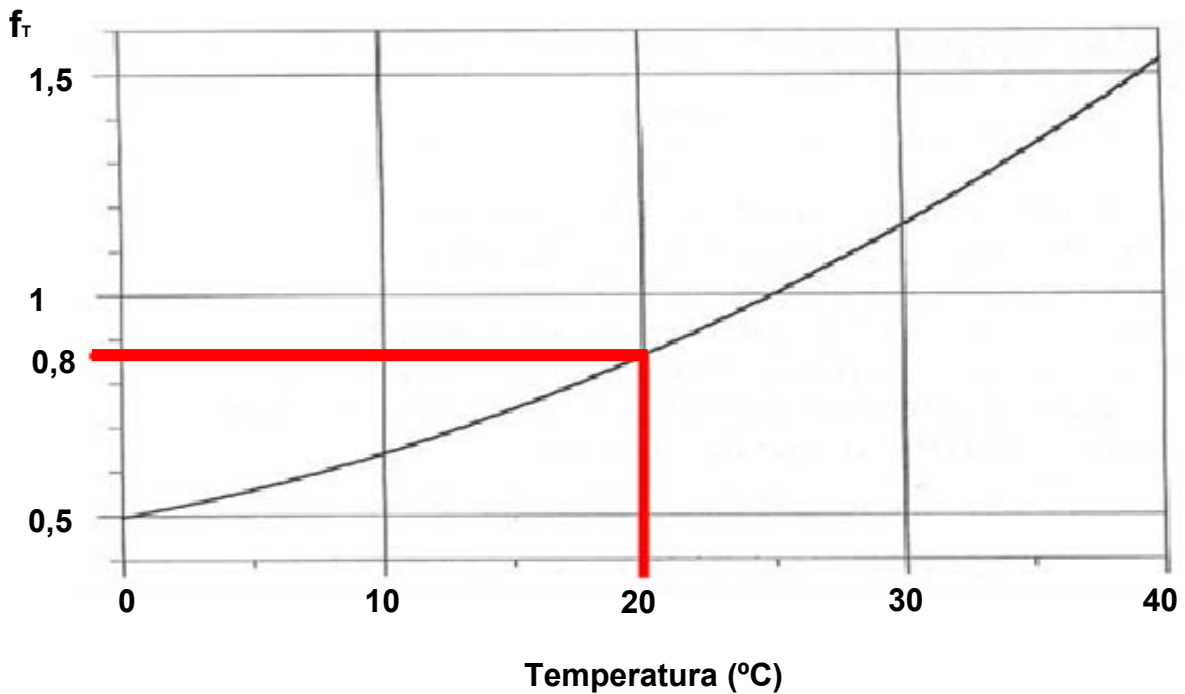
A: constante característica de cada tipo de membrana, generalmente con un valor próximo a la unidad.

T: temperatura en grados Kelvin.

K_T : constante dependiente del tipo de membrana.

El factor corrector de temperatura se puede determinar también mediante la gráfica que se muestra a continuación (**Gráfica A.3-a**). Nosotros, tras consultar a expertos en el diseño de este tipo de instalaciones, utilizaremos el método gráfico para su cálculo.

La temperatura de nuestra agua de alimentación es $T = 20^\circ\text{C}$, por tanto:



Gráfica A.3-a: Factor de corrección de temperatura frente a la temperatura.

Fuente: Guía para la remineralización de las aguas desaladas, Manuel Hernández-Suárez.

Luego:

$$f_T \approx 0,87$$

b.- Factor corrector de presión

El factor corrector de presión (f_p) se define como:

$$f_p = \frac{(P_m - \Delta\pi)_{operacion}}{(P_m - \Delta\pi)_{prueba}} \quad [A.21]$$

Dónde:

P_m : presión de membrana, y se define como la presión requerida para que la separación ocurra. Está en función del flujo, del coeficiente de permeabilidad de la membrana y de la diferencia de presión osmótica a ambos lados de la membrana. Luego:

$$P_m = \frac{Jd}{A} + \Delta\Pi_{F-R} \quad [A.22]$$

$\Delta\pi$: diferencia de presión osmótica entre la corriente de alimentación y rechazo.

Como se ve en la **expresión [A.21]**, para calcular el factor corrector de presión es necesario tener datos de operación y de prueba, luego:

Datos de operación:

El flujo máximo viene recomendado por el fabricante y en nuestro caso es 20,4 L/m²·h; el coeficiente de permeabilidad de nuestra membrana es 0,681 L/m²·h·bar; y del **APARTADO A.3.5** obtenemos los datos de presiones osmóticas. Luego obtenemos que:

$$P_m = 57,128 \text{ bar}$$

$$\Delta\pi = 27,172 \text{ bar}$$

Datos de prueba:

Estos datos son facilitados por el fabricante de la membrana:

$$P_m = 55 \text{ bar}$$

$$\Delta\pi = 22,2 \text{ bar}$$

Por tanto sustituyendo en la expresión [A.21] obtenemos que el factor corrector es:

$$f_p = \frac{(P_m - \Delta\pi)_{operacion}}{(P_m - \Delta\pi)_{prueba}} = \frac{57,128 - 27,172}{55 - 22,2}$$

$$f_p = 0,912$$

c.- Factor corrector del tiempo de operación.

Durante el período de tiempo de operación de una planta de ósmosis inversa, todas las membranas sufren cambios en su estructura física interna y en su superficie experimentando un fenómeno de compactación, lo que afecta a su permeabilidad. Es decir, las membranas se vuelven más densas y menos permeables al agua y a las sales. El factor de descenso de flujo de agua a través de una membrana con el tiempo de operación se define como:

$$f_t = \frac{Q_p(t)}{Q_p(0)} \quad [A.23]$$

Dónde:

$Q_p(t)$: caudal de agua a tiempo t de operación de la planta.

$Q_p(0)$: caudal de agua en el momento de puesta en marcha de la planta.

Este factor también es conocido como factor fouling y presenta un comportamiento peculiar y es que su variación no es muy significativa una vez que se ha producido el descenso inicial. En nuestro caso, el fabricante nos proporciona este factor y su valor es:

$$f_t = 0,79$$

A continuación, con los factores correctores obtenidos, se realiza la normalización del sistema y se determina el número de membranas de nuestra instalación.

- **Cálculo del flujo de diseño**

Haciendo uso de los factores correctores obtenidos en los apartados anteriores y de la expresión que se muestra a continuación, se calcula el caudal de diseño de nuestra membrana:

$$Q_d = Q_n \cdot f_p \cdot f_T \cdot f_t \quad [A.24]$$

Dónde:

Q_d : es el caudal de diseño de nuestra membrana

Q_n : es el caudal nominal de nuestra membrana, que es 27,3 m³/día

f_p : factor corrector de presión, que es 0,912

f_T : factor corrector de temperatura, que es 0,87

f_t : factor corrector tiempo, que es 0,79

Luego:

$$Q_d = 27,3 \cdot 0,87 \cdot 0,912 \cdot 0,79 = 16,716 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_d = 16,716 \text{ m}^3/\text{día}$$

Con este caudal, utilizando la expresión [A.3.19] se obtiene que el flujo de diseño para nuestra membrana es:

$$J_d = \frac{Q_d}{A} = \frac{16,716}{40,8} = 0,410 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} = 17,071 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$$

$$J_d = 17,071 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$$

Con este valor obtenido se comprueba que la normalización es válida puesto que se encuentra entre los valores recomendados por el fabricante teniendo en cuenta las características de nuestra agua de alimentación. El valor típico que se recomienda usar como flujo de diseño es de 17 L/m²·h. La tabla con los límites de diseño que recomienda el fabricante se adjunta en el **ANEXO 8** del presente proyecto.

▪ Cálculo del número de membranas y tubos de presión

Una vez obtenido el flujo de diseño, se realiza el cálculo del número de membranas y tubos de presión que va a tener nuestra unidad de ósmosis inversa. Utilizando las expresiones definidas en el **APARTADO A.3.6** se obtiene que:

$$N = \frac{Q_p}{J_d \cdot A} = \frac{5.500}{0,410 \cdot 40,8} = 328,790 \cong 329$$

$$N = 329$$

Luego, como por tubo de presión se tienen 7 membranas, el número total de tubos de presión será:

$$\text{tubos de P} = \frac{N}{7} = 47$$

$$\text{tubos de P} = 47$$

A.3.8 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN

La presión de operación es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta en el diseño de este tipo de instalación ya que va a condicionar la economía del proceso. Además es la presión necesaria para vencer la presión osmótica y conseguir la separación.

Teniendo en cuenta el flujo de operación de las membranas, la presión requerida para que se dé el proceso es:

$$P_d = \frac{J_d}{A} + \Delta\Pi = \frac{17,071}{0,681} + 27,172 = 52,4 \text{ bar} \quad [\text{A.25}]$$

Sin embargo, como se puede ver en la expresión anterior, no se están teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en el sistema. Por ello es necesario determinar la presión óptima de rendimiento de la bomba de alta presión (presión recomendada de bombeo). Esta presión se determina mediante la expresión siguiente:

$$PRB = P_d + (0,10 \cdot \Delta P^* + 0,2) \quad [A.26]$$

Dónde ΔP^* , es la diferencia de presión neta que se define como:

$$\Delta P^* = P_d - \Delta \Pi_{F-R} \quad [A.27]$$

Por tanto sustituyendo en la expresión [A.26], se obtiene que la presión recomendada de bombeo es:

$$PRB = 52,240 + [0,10 \cdot (52,240 - 27,172) + 0,2] = 54,947 \text{ bar}$$

$$\mathbf{PRB = 54,947 \text{ bar}}$$

La presión recomendada de bombeo obtenido es un valor lógico, ya que según bibliografía y expertos consultados, para que se lleve a cabo el proceso sin ningún tipo de problema, dicha presión deber ser de 20 a 30 bar superior a la presión osmótica de alimentación.

ANEXO 4: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

A.4.1 INTRODUCCIÓN

El punto de mayor consumo de energía en este tipo de instalaciones es el bombeo a alta presión que impulsa el agua hacia las membranas. Para abaratar el coste del m^3 de agua de mar desalada, se debe estudiar los distintos sistemas de recuperación que hay en el mercado y elegir el más adecuado para nuestra planta, de forma que se consiga reducir al máximo el consumo de energía.

Por tanto, el objetivo de este anexo es seleccionar el sistema de recuperación más adecuado entre los más utilizados actualmente. El primero de ellos, es el sistema de recuperación mediante turbinas Pelton. El otro sistema, es el llamado sistema de recuperación mediante recuperadores rotativos de transferencia de presión, que como bien se detalla en la memoria descriptiva, es un sistema más innovador que el primero.

A continuación se detalla brevemente cada uno de los sistemas de recuperación y se calcula su consumo específico.

A.4.2 SISTEMA DE RECUPERACIÓN CON TURBINAS PELTON

Para recuperar la energía que hay en la corriente de rechazo se acopla una turbina al eje del motor que acciona la bomba de alta presión.

En la **FIGURA A.4-a** siguiente se muestra un esquema del sistema de recuperación de energía con una turbina Pelton, dónde se detalla cada una de las corrientes del sistema. Como se puede ver, en el proceso de recuperación, la corriente de salmuera se introduce en los inyectores de la turbina de forma que la energía existente en forma de presión se transforma en energía cinética de traslación, y después, tras golpear las cazoletas de la turbina en energía cinética de rotación en el eje de la turbina. Por tanto, el motor eléctrico de accionamiento sólo tiene que aportar la energía que reclama la bomba menos la que recupera la turbina.

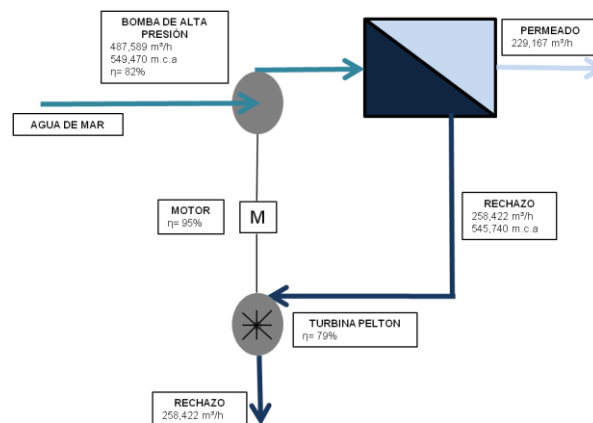


Figura A.4-a: Esquema de recuperación con Turbina Pelton

A continuación se determina en primer lugar la eficiencia energética del proceso, es decir, la energía que se recupera de la corriente de rechazo, y luego se calculará el consumo específico del sistema.

▪ **Eficiencia energética del proceso**

Para determinar el rendimiento del sistema de recuperación con turbina Pelton hay que calcular que porcentaje de la energía hidráulica existente en el rechazo se recupera y es utilizada en el proceso.

Por definición, la eficiencia del proceso será la energía hidráulica transferida al proceso entre la energía hidráulica disponible en la corriente de rechazo. Expresándola matemáticamente:

$$\eta = \eta_{\text{turbina}} \cdot \eta_{\text{bomba}} \cdot \eta_{\text{motor}} \quad [\text{A.4.1}]$$

Dónde:

$$\eta_{\text{turbina}} = 79\%$$

$$\eta_{\text{bomba}} = 82\%$$

$$\eta_{\text{motor}} = 95\%$$

Sustituyendo en la expresión [A.4.1]:

$$\eta = 0,79 \cdot 0,82 \cdot 0,95$$

$$\eta = 0,62$$

El resultado obtenido expresa que el 62% de la energía hidráulica que contiene la corriente de rechazo será recuperada y utilizada en el proceso.

▪ **Consumo específico del sistema**

Para determinar la energía hidráulica que contiene la corriente de rechazo se parte de la siguiente expresión:

$$P = Q \cdot H \quad [\text{A.4.2}]$$

Dónde:

P es la potencia

Q es el caudal

H es la presión

Teniendo en cuenta que 10 m.c.a equivalen a 1kg/cm² y que 1kw·h a 367 kg, la expresión [A.4.2] anterior queda de la siguiente forma:

$$P = \frac{Q \cdot H}{367} \quad [\text{A.4.3}]$$

Dónde:

P es la potencia en kW

Q es el caudal en m³/h

H es la presión en m.c.a

Conocidos el caudal de rechazo y su presión:

$$Q_R = 6.202,128 \text{ m}^3/\text{día} = 258,422 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_R = 54,574 \text{ bar} = 545,740 \text{ m.c.a}$$

Sustituyendo estos datos en la expresión [A.4.3] se tiene que la energía hidráulica existente en la corriente de rechazo es:

$$P_R = \frac{258,422 \cdot 545,740}{367} = 384,281 \text{ kW}$$

$$P_R = 384,281 \text{ kW}$$

Y como la turbina posee un rendimiento del 79%, sustituyendo en la expresión [A.4.2], la potencia que se recupera en su eje es:

$$P_{\text{turbina}} = 384,281 \cdot 0,79 = 303,582 \text{ kW}$$

$$P_{\text{turbina}} = 303,582 \text{ kW}$$

De la misma forma, la bomba de alta presión tiene un rendimiento del 82%, luego la potencia absorbida en su eje es:

$$P_{\text{Bomba}} = \frac{487,589 \cdot 549,470}{367 \cdot 0,82} = 890,262 \text{ kW}$$

$$P_{\text{bomba}} = 890,262 \text{ kW}$$

Por tanto conocidos la potencia que se recupera con la turbina y la potencia que absorbe la bomba en su eje se determina la potencia neta que debe aportar el eje del motor:

$$P_{\text{motor}} = P_{\text{bomba}} - P_{\text{turbina}} \quad [\text{A.4.4}]$$

$$P_{\text{motor}} = 890,262 - 303,582 = 586,680 \text{ kW}$$

$$P_{\text{motor}} = 586,680 \text{ kW}$$

Y como el motor no transfiere toda esta energía eléctrica en mecánica ya que su rendimiento es del 95%, la potencia eléctrica que se debe aportar al sistema es:

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{motor}}}{0,95} \quad [\text{A.4.5}]$$

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{motor}}}{0,95} = \frac{586,680}{0,95} = 617,455 \text{ kW}$$

$$P_{\text{eléctrica}} = 617,455 \text{ kW}$$

Conocida la potencia eléctrica que es necesario aportar al sistema, se determina el consumo específico de energía por m³ de agua desalada producida cada hora:

$$\frac{P_{\text{eléctrica}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = \frac{617,455}{229,167} = 2,694 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^3$$

A.4.3. SISTEMA DE RECUPERACIÓN CON INTERCAMBIADORES DE PRESIÓN

Los intercambiadores de presión son dispositivos que transfieren directamente la alta presión que contiene la corriente de rechazo al agua de mar sin convertirla previamente en energía mecánica de rotación.

Como se explica en el **CAPÍTULO 10** de la memoria descriptiva, los intercambiadores de presión se pueden dividir en dos grandes grupos, recuperadores de cámaras toroidales y recuperadores de cámaras rotativas. En nuestro caso, se van a utilizar estos últimos.

A continuación en la **Figura A.4-b** se muestra el esquema de recuperación diseñado con los recuperadores de energía de cámaras rotativas del fabricante ERI.

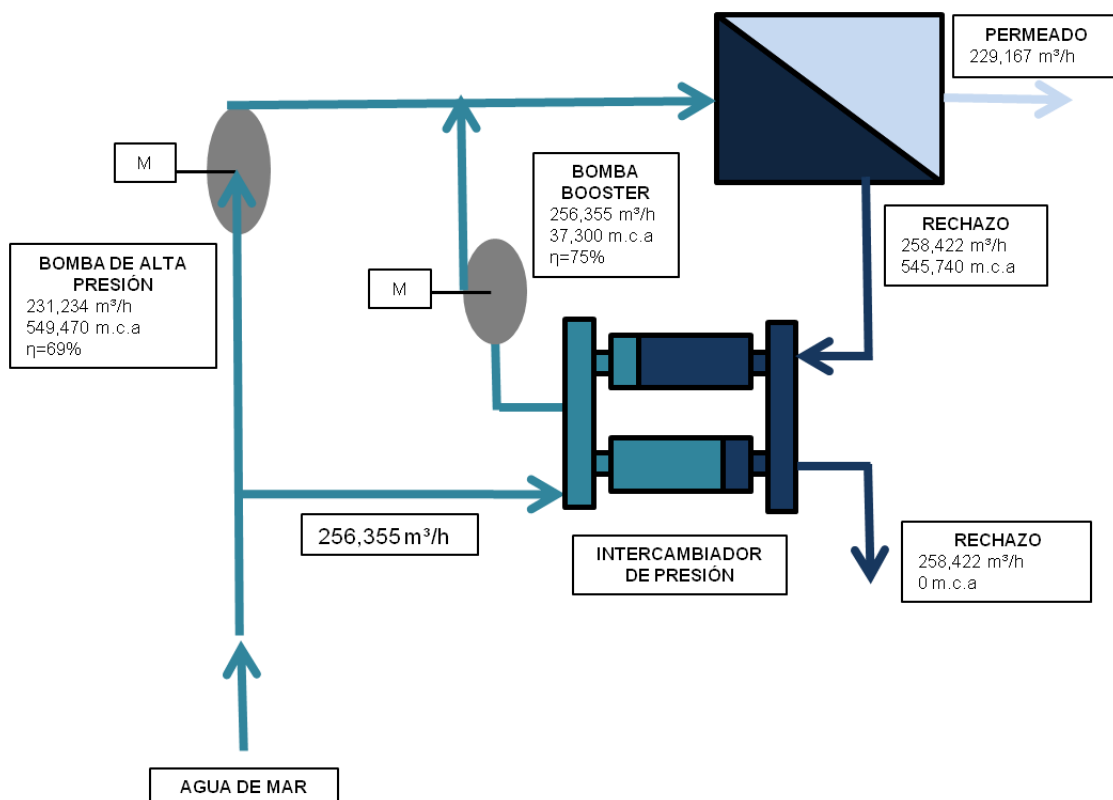


Figura A.4-b: Esquema de recuperación con Intercambiadores de Presión ERI

Como se puede ver, a la salida del intercambiador de presión se instala una bomba Booster. Con ella se impulsa un caudal de agua de mar ligeramente inferior al caudal de rechazo, debido a las pérdidas que se producen en el interior del intercambiador (aproximadamente 0,08%). Por tanto, la bomba de alta presión sólo debe suministrar el caudal de agua que falta, es decir, un caudal ligeramente superior al de permeado.

▪ **Eficiencia energética del proceso**

En este caso el rendimiento del proceso se define como:

$$\eta = \eta_{\text{booster}} \cdot \eta_{\text{motor}} = 0,96 \cdot 0,75 = 0,698$$

$$\eta = 69,8\%$$

Luego, aproximadamente el 70% de la energía hidráulica que contiene la corriente de rechazo será recuperada y utilizada nuevamente en el proceso.

▪ **Consumo específico del sistema**

Como la bomba de alta presión tiene un rendimiento del 69% y el motor del 96%, el consumo de potencia eléctrica en la bomba de alta presión será de:

$$P_{\text{bomba alta P}} = \frac{Q \cdot H}{367 \cdot 0,69} = \frac{231234 \cdot 549,470}{367 \cdot 0,69} = 501742$$

$$P_{\text{eléct.bomba alta P}} = \frac{P_{\text{bomba alta P}}}{0,96} = \frac{501,742}{0,96} = 522,648 \text{ kW}$$

$$P_{\text{eléct.bomba alta P}} = 522,648 \text{ kW}$$

A esta potencia hay que sumarle el consumo energético de la bomba booster instalada:

$$P_{\text{booster}} = \frac{Q \cdot H}{367 \cdot 0,75} = \frac{256,355 \cdot 37,300}{367 \cdot 0,75} = 34,739 \text{ kW}$$

$$P_{\text{eléct.booster}} = \frac{P_{\text{booster}}}{0,93} = \frac{34,739}{0,93} = 37,354 \text{ kW}$$

$$P_{\text{eléct.booster}} = 37,354 \text{ kW}$$

Por tanto, la potencia total consumida por el sistema es:

$$P_{\text{eléct.total}} = P_{\text{eléct.bomba alta P}} + P_{\text{eléct.booster}} = 522,648 + 37,354 = 560,002 \text{ kW}$$

$$P_{\text{eléct.total}} = 560,002 \text{ kW}$$

Dividiendo por los m³ por hora que la desaladora produce, se obtiene que el consumo específico de energía instalando un intercambiador de recuperación es de:

$$\frac{P_{\text{eléctrica}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = \frac{560,002}{229,167} = 2,444 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$$

A.4.4 CONCLUSIÓN

Como bien se explica al inicio del anexo, en la parte del proceso “bomba alta presión-recuperación de energía” es dónde se consume la mayor parte de energía que se va a utilizar en la planta.

Por tanto, observando los resultados obtenidos se puede justificar el diseño de la instalación, desde el punto de vista técnico, con recuperador de intercambio de presión frente a las turbinas, ya que se produce un ahorro de 0,250 kW·h/m³.

A.4.5 DIMENSIONADO DEL INTERCAMBIADOR DE PRESIÓN

Como se detalla en el apartado de la conclusión, el sistema de recuperación a instalar en la planta objeto es el intercambiador de presión. Atendiendo al capítulo 10 de la memoria descriptiva, el tipo de intercambiador de presión a instalar es con cámaras rotativas.

El intercambiador seleccionado es el PX-260 del fabricante ERI. Como se puede ver en la ficha técnica adjunta en el anexo 9 del presente proyecto, el rango de trabajo de caudal es 50-59 m³/h. Tomando un valor medio, 55 m³/h, y teniendo en cuenta que el caudal de salmuera a tratar es de 258,422 m³/h, se tiene que el número de intercambiadores de presión a instalar por línea de producción es:

$$n = \frac{Q_R}{Q_n} \quad [A.4.4]$$

Dónde:

- n es el número de intercambiadores de presión por línea de producción.
- Q_R es el caudal de salmuera a tratar en m³/h
- Q_n es el caudal medio por recuperador en m³/h

Luego:

$$n = \frac{258,422}{55} = 4,699 \approx 5$$

Por tanto, el sistema de recuperación de energía constará 5 intercambiadores de presión por línea de producción.

En la planta se instalarán 4 sistemas de recuperación de energía, uno por línea de producción.

ANEXO 5: POSTRATAMIENTOS

A.5.1. INTRODUCCIÓN

El permeado final obtenido tras el proceso de ósmosis inversa posee una baja concentración de iones así como un pH bajo. Por ello, con el fin de adecuar el agua desalada a la normativa vigente (RD 140/2003) y reducir la agresividad del agua para así proteger los elementos de conducción al abastecimiento, se ha previsto un sistema de remineralización. También con el objeto de evitar contaminación, tras la remineralización se dosificará un desinfectante.

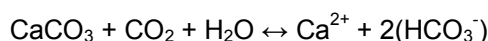
Como se detalla en el **CAPÍTULO 10** de la memoria descriptiva del presente proyecto, la técnica de remineralización elegida es mediante lechos de calcita de flujo ascendente y altura constante, y el desinfectante seleccionado es el hipoclorito sódico (NaClO).

A.5.2. DIMENSIONADO DEL LECHO DE CALCITA DE FLUJO ASCENDENTE Y ALTURA CONSTANTE

▪ Método de cálculo

El lecho de calcita de flujo ascendente y altura constante del presente Proyecto, se ha diseñado utilizando la guía de remineralización publicada por el ITC.

La reacción que ocurre es la siguiente:



Para el diseño del lecho de calcita se han seguido las siguientes etapas:

- a) Definición de las características del permeado a remineralizar
- b) Definición de la configuración del lecho y características de la calcita a usar.
- c) Cálculo de la velocidad ascensional con la que se va a llevar a cabo la filtración.
- d) Cálculo del tiempo de contacto (EBCT).
- e) Cálculo de la cantidad de CO₂ que es necesario añadir.
- f) Cálculo de las pérdidas de carga del lecho

▪ **Características del permeado**

Según la analítica proporcionada por Aguas Telde, adjunta en el **ANEXO 8** del presente proyecto, y el balance de materia realizado (**ANEXO 1**), nuestra agua permeada posee las siguientes características:

Parámetros	Valores
pH	6,5
T	20°C
[HCO ₃ ⁻]	1,603 mg/L
[Ca ²⁺]	1,854 mg/L
[STD]	236,646 mg/L

▪ **Configuración del lecho**

Los lechos de calcita se pueden diseñar en celdas rectangulares o en depósitos circulares dependiendo del caudal a tratar. Estos últimos no permiten tratar caudales superiores a 2.500 m³/d mientras que en las celdas rectangulares se pueden tratar caudales de hasta 8.000 m³/d. Por tanto, teniendo en cuenta que el caudal de permeado total a tratar es de 22000 m³/d se elegirán las celdas rectangulares para el diseño del lecho de calcita.

En la planta se construirán 4 celdas rectangulares de 3 x 6 metros de superficie horizontal. El caudal a tratar por unidad será de 5.500 m³/d.

La altura seleccionada para el lecho, siguiendo recomendaciones de expertos en el diseño de este tipo de instalaciones, es 3 metros. Luego el volumen adoptado es:

$$V = 3 \times 6 \times 3 = 54 \text{ m}^3$$

Las características de la calcita a usar son las que se muestran en el **CAPÍTULO 10** del presente proyecto.

▪ **Velocidad ascensional**

De forma general se tiene que:

$$Q = v \cdot S \quad \text{[A.5.1]}$$

Dónde:

- Q es el caudal a tratar por unidad de celda, el cuál es 5.500 m³/d.
- V es la velocidad de filtración (m/h)

- S es la superficie horizontal de la celda (18 m²)

Por tanto, despejando de la expresión anterior y sustituyendo los datos, se tiene que la velocidad ascensional es:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{5.500}{18 \cdot 24} = 12,73 \text{ m/h}$$

$$v = 12,73 \text{ m/h}$$

La velocidad obtenida es válida ya que se encuentra entre 10-15 m/h, que es el rango aconsejado de operación.

▪ **Tiempo de contacto (EBCT)**

Como se explica en el **CAPÍTULO 10** de la memoria descriptiva, el cálculo del tiempo de contacto se realiza por medio de una simulación matemática del proceso de saturación de los lechos de calcita. Sin embargo, después de contrastar dicha simulación con numerosos datos de campo, se asume, que para permeados normales (valores próximos de pH=6,2, mg/L HCO₃⁻=2,8, STD=200 mg/L y T=22°C), existe una relación gráfica entre la temperatura del agua y el tiempo de contacto para alcanzar un pH de 8,2.

En nuestro caso, como se detalla en el **APARTADO A.5.2-2** del presente anexo, el permeado a remineralizar cumple con la consideración de permeado normal.

Por tanto, a continuación se determina gráficamente el tiempo de contacto mínimo que debe seleccionarse para alcanzar los valores óptimos de remineralización.

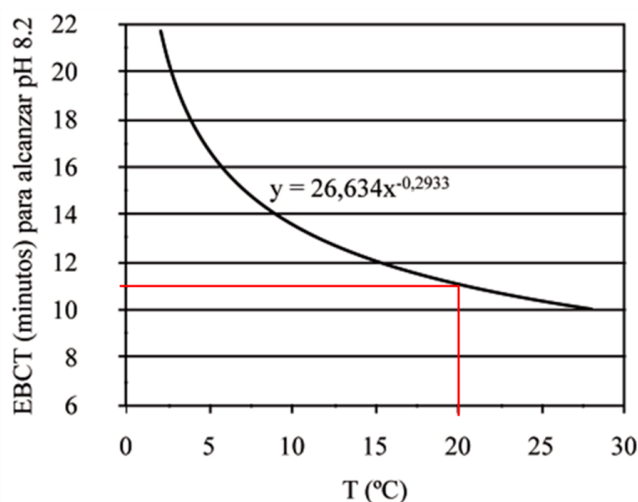


Gráfico A.5-a: Relación entre EBCT y temperatura

Fuente: Guía de Remineralización, Manuel Hernández Suárez

El tiempo de contacto obtenido se encuentra en el rango de trabajo aconsejado (11-15 minutos)

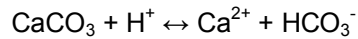
EBCT ≈ 11 min

▪ **Dosificación de CO₂**

Para realizar una adecuada remineralización y alcanzar los valores definidos en la introducción de este anexo, es necesario un cierto aporte de CO₂. Este aporte varía en función de la alcalinidad del agua desalada (mg/L CaCO₃).

A continuación se determina la alcalinidad del permeado. Para ello se utiliza la [HCO₃⁻] presente en el agua.

La reacción que tiene lugar dentro del lecho es la siguiente:



Conocida la [HCO₃⁻] en el permeado, 1,603 mg/L, por estequiometria se tiene que:

$$\text{molesCaCO}_3 = \frac{1,603 \cdot 10^{-3}}{61} = 2,628 \cdot 10^{-5} \text{ moles}$$

$$\text{mgCaCO}_3 = 2,628 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \cdot 1000 = 2,628 \text{ mg}$$

Gráficamente, conocido el pH del permeado, existe una relación entre la alcalinidad del permeado y la dosis de CO₂ que es necesario añadir para obtener un agua remineralizada con las características inicialmente definidas:

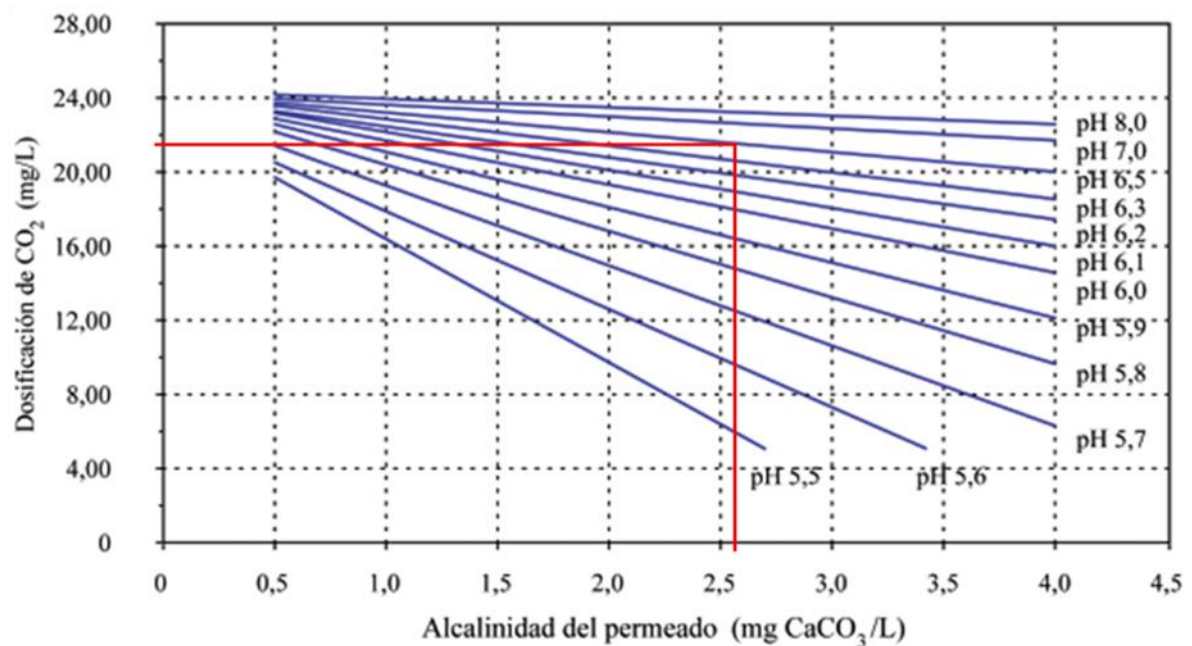


Gráfico A.5-b: Relación entre la alcalinidad del permeado y la dosificación de CO₂ a pH conocido

Fuente: Guía Remineralización, Manuel Hernández Suárez

Por tanto se obtiene que la cantidad de CO₂ que es necesario añadir para llevar a cabo el proceso de remineralización es:

$$\text{mg/L CO}_2 \approx 21,9$$

▪ **Pérdida de carga del lecho**

La gráfica que se muestra a continuación muestra las pérdidas de carga que tienen lugar en el lecho según la velocidad ascensional de operación de 12,73 m/h:

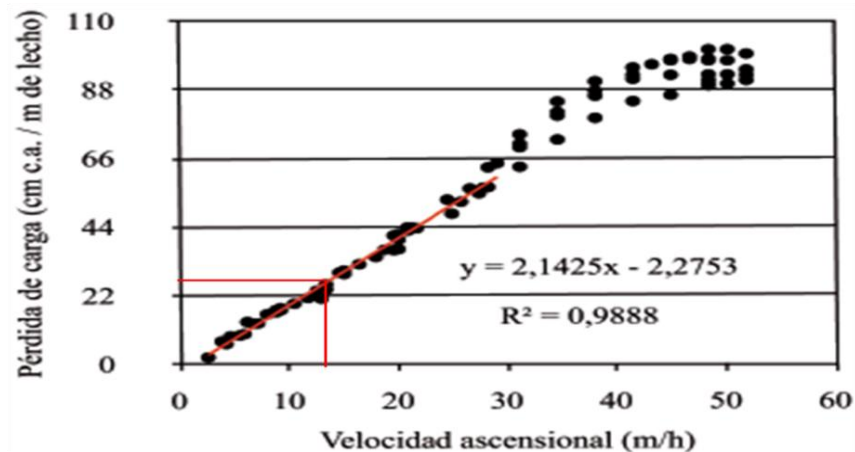


Gráfico A.5-c: Pérdidas de carga en el lecho

Fuente: Guía Remineralización, Manuel Hernández Suárez

Las pérdidas de carga son aproximadamente:

28 cm.c.a/m de lecho

A.5.3 DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO SÓDICO

Debido a la adición del reductor antes de los bastidores de ósmosis inversa, el permeado obtenido tiene una muy baja concentración de cloro activo residual. Como consecuencia de esto, el agua producto corre peligro de contaminarse durante su almacenado y distribución a la red de abastecimiento.

Por ello, como bien se detalla en la introducción del presente anexo, se va a dosificar tras la remineralización hipoclorito sódico con el fin de cumplir con la normativa vigente en cuanto a presencia de cloro residual. Su ficha técnica se encuentra en el **anexo 9** de presente proyecto.

La dosis recomendada a añadir según expertos en el diseño de este tipo de instalaciones es de 1-3 mg/L de producto puro. Tomando 2 mg/L y como la solución comercial adquirida es al 20%, la dosis a inyectar es 10 mg/L.

A continuación se determina el caudal de hipoclorito sódico que es necesario añadir:

$$Q_d = \frac{c \cdot Q_p}{\rho} \quad [A.5.2]$$

Dónde:

- c es la dosis de producto a añadir, 10 g/m^3
- Q_p es el caudal de agua producto a tratar, $22.000 \text{ m}^3/\text{d}$
- ρ es la densidad del producto a utilizar, $1,048 \text{ g/cm}^3$

Luego, sustituyendo se tiene que el caudal de disolución a inyectar es:

$$Q_d = \frac{c \cdot Q_F}{\rho} = \frac{10 \cdot 22.000}{1,048 \cdot 10^6} = 0,210 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_d = 0,210 \text{ m}^3/\text{d}$$

ANEXO 6: CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN HIDRÁULICA.

A.6.1. DIMENSIONADO DE TUBERÍAS

Como bien se detalla en el **CAPÍTULO 10.6.1** de la memoria descriptiva, la instalación se divide en dos zonas bien diferenciadas atendiendo al material utilizado en las conducciones, denominadas *zona de alta presión* y *zona de baja presión*.

En nuestra instalación se utilizará PRFV (poliéster reforzado de fibra de vidrio) para las tuberías de la zona de baja presión y acero inoxidable AISI 316 L para la de alta presión.

- **Tuberías de baja presión:**

A continuación se detalla el procedimiento de cálculo para las tuberías de baja presión. Este consiste en hallar el diámetro del conducto por el que circula el agua, que será el diámetro nominal del fabricante inmediatamente superior al hallado en el procedimiento de cálculo. Para ello, se supone una velocidad de fluido. Conocido el caudal, el número de tuberías y una velocidad supuesta de 3 m/s, velocidad de caudal máxima recomendada por el fabricante FLOWTITE, obtenemos el diámetro del conducto.

Las expresiones utilizadas para realizar el dimensionado de tuberías se muestran a continuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} \quad [A.6.1]$$

$$D_{\text{int}} = D_{\text{ext}} - 2 \cdot e \quad [A.6.2]$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad [A.6.3]$$

$$A = \Pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad [A.6.4]$$

Los cálculos se harán para una única línea, siendo idéntico el procedimiento de cálculo para las tres líneas restantes.

1. Aspiración bombas captación agua de mar.

Denominación de la línea: *AM-200-10-PRFV-1.1*.

Conocidos el caudal de alimentación total que alimenta a la planta y el caudal de lavado de los filtros de arena, podemos obtener el caudal por pozo.

$$Q_{\text{A línea}} = 11.702,128 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{LF}} = 259,2 \text{ m}^3/\text{h} = 6220,8 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{AT} = 11.702,128 \cdot 4 = 46.808,512 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{TOTAL} = Q_{AT} + Q_{LF} = 46.808,512 + 6220,8 = 71.691,712 \text{ m}^3/\text{d}$$

El caudal típico de los pozos para este tipo de instalación según bibliografía es de 6000 m³/d. Por tanto:

$$N^{\circ} \text{ pozosplanta} = \frac{Q_{total}}{Q_{\text{típico pozo}}} = \frac{71691,712 \text{ m}^3/\text{d}}{6000 \text{ m}^3/\text{d}} \approx 12 \text{ pozos}$$

$$N^{\circ} \text{ pozoslínea} = \frac{N^{\circ} \text{ pozosplanta}}{N^{\circ} \text{ líneas planta}} = \frac{12 \text{ pozos}}{4 \text{ líneas}} \approx 3 \text{ pozos}$$

Se construirán doce pozos más uno de reserva, cada uno con su respectiva bomba de captación. También tendremos una bomba de captación de reserva.

Por tanto:

$$Q_{\text{pozo}} = \frac{Q_{TOTAL}}{N^{\circ} \text{ pozosplanta}} = \frac{71.691,712 \text{ m}^3/\text{d}}{12 \text{ pozos}} = 5974,309 \text{ m}^3/\text{d} = 248,930 \text{ m}^3/\text{h} = 0,069 \text{ m}^3/\text{s}$$

Conocido el caudal por pozo y para una velocidad supuesta de 3 m/s, calculamos el diámetro (D) para ver que tipo de material y dimensiones hay que utilizar para la tubería de aspiración de la bomba de captación del agua de mar.

Utilizando la expresión [A.6.1], obtenemos el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,069}{\pi \cdot 3}} = 0,171 \text{ m} = 171,309 \text{ mm} = 6,744 \text{ inch}$$

Como el D = 6,744 inch > 4 inch, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-1: Dimensiones tubería línea AM-200-10-PRFV-1.1.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Utilizamos la expresión [A.6.2]:

$$D_{int} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,90 \text{ mm} = 0,210 \text{ m}$$

A continuación, realizamos una serie de comprobaciones para confirmar que la tubería elegida es la correcta. La velocidad recalculada, tiene que ser menor a la supuesta. Para ello aplicamos la expresión [A.6.3] y [A.6.4], respectivamente:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035m^2$$

$$v = \frac{0,069}{0,035} = 1,998m/s < 3m/s$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son idénticos para los dos pozos restantes de la línea.

2. Impulsión bombas captación agua de mar.

Denominación de la línea: AM-200-10-PRFV-2.1

Los cálculos son idénticos a los de la línea de aspiración de agua de mar.

$$Q_{\text{impulsión}} = 5974,309 m^3/d = 248,930 m^3/h = 0,069 m^3/s$$

Por tanto, aplicando la expresión [A.6.1], obtenemos el siguiente diámetro de tubería:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,069}{\Pi \cdot 3}} = 0,171 m = 171,309 mm = 6,744 inch$$

Como el $D = 6,744 inch > 4 inch$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-2: Dimensiones tuberías línea AM-200-10-PRFV-2.1.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Para ello, utilizamos la expresión [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,90mm = 0,210m$$

A continuación, realizamos una serie de comprobaciones para confirmar que la tubería elegida es la correcta. La velocidad recalculada, tiene que ser menor a la supuesta. Aplicamos las expresiones [A.6.2] y [A.6.3] como se muestra a continuación:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035m^2$$

$$v = \frac{0,069}{0,035} = 1,998m/s < 3m/s$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son idénticos para las dos líneas de impulsión restantes de la línea.

3. Colector de impulsión de bombas captación agua de mar.

Denominación de la línea: *AM-300-10-PRFV-3*.

El caudal que va por el colector de impulsión se las bombas de captación de agua de mar, es:

$$Q_{\text{colector}} = Q_A + Q_{LF} = 11.702,128 + 6220,8 = 17.922,928 m^3/d = 746,789 m^3/h = 0,207 m^3/s$$

Conocido el caudal que circula por el colector y para una velocidad supuesta de 3 m/s, calculamos el diámetro (D) para ver que tipo de material y dimensiones utilizar para la tubería colectora de impulsión de las bombas de captación de agua de mar.

Por tanto, aplicando la ecuación [A.6.1], obtenemos el diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,207}{\Pi \cdot 3}} = 0,297m = 296,717 mm = 11,682 inch$$

Como el D = 11,682 inch > 4 inch, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10.

TUBERÍA DE PRFV FLOWLITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
300	324,5	6,1

Tabla A.6.1-3: Dimensiones tuberías línea *AM-300-10-PRFV-3*.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Utilizamos la expresión [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 324,5 - 2 \cdot 6,1 = 312,3mm = 0,312m$$

A continuación, realizamos una serie de comprobaciones para confirmar que la tubería elegida es la correcta. La velocidad recalculada, tiene que ser menor a la supuesta. Aplicamos las ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4], respectivamente:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,312^2}{4} = 0,077 m^2$$

$$v = \frac{0,207}{0,077} = 2,708 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

4. Derivaciones a filtros de arena.

Denominación de la línea: *AM-150-10-PRFV-4.1*.

Conocidos el caudal de alimentación total y el número de filtros de arena por línea, obtenemos el caudal a cada filtro de arena:

$$Q_{\text{A línea}} = 11.702,128 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{Lavado}} = 6220,800 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$N^{\circ} \text{ filtros de arena} = 4$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{A línea}} + Q_{\text{Lavado}} = 11.702,128 + 6220,800 = 17922,928 \text{ m}^3/\text{d} = 746,789 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{filtro}} = Q_{\text{total}} / N^{\circ} \text{ filtros} = 746,789 / 4 = 186,697 \text{ m}^3/\text{h} = 0,052 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{\pi \cdot 3}} = 0,148 \text{ m} = 148,358 \text{ mm} = 5,841 \text{ inch}$$

Como el $D = 5,841 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
150	168	4,1

Tabla A.6.1-4: Dimensiones tubería línea *AM-150-10-PRFV-4.1*.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Utilizamos la expresión [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 168 - 2 \cdot 4,1 = 159,8 \text{ mm} = 0,160 \text{ m}$$

Comprobamos si la tubería elegida es la correcta, a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \pi \cdot \frac{0,160^2}{4} = 0,020 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,052}{0,020} = 2,586 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de filtros de arena de la instalación.

5. Agua de alimentación a filtro de arena.

Denominación de la línea: *AM-150-10-PRFV-5.1*.

$$Q_{\text{filtro}} = Q_{\text{total sin LF}} / N^{\circ} \text{ filtros} = 487,789 / 4 = 121,897 \text{ m}^3/\text{h} = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción, a través de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,034}{\Pi \cdot 3}} = 0,120 \text{ m} = 119,878 \text{ mm} = 4,720 \text{ inch}$$

Como el $D = 4,720 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
150	168	4,1

Tabla A.6.1-5: Dimensiones tubería línea *AM-150-10-PRFV-5.1*.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Utilizamos la expresión [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 168 - 2 \cdot 4,1 = 159,8 \text{ mm} = 0,160 \text{ m}$$

Comprobamos si la tubería elegida es la correcta, utilizamos expresiones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,160^2}{4} = 0,020 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,034}{0,020} = 1,688 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de filtros de arena de la instalación.

6. Agua de contralavado a filtros de arena.

Denominación de la línea: *AL-200-10-PRFV-6.*

Partimos de un caudal de contralavado por línea para los filtros de arena de 259,2 m³/h (0,072 m³/s).

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,072}{\Pi \cdot 3}} = 0,175 \text{ m} = 174,808 \text{ mm} = 6,882 \text{ inch}$$

Como el $D = 6,882 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-6: Dimensiones tubería línea *AL-200-10-PRFV-6.*

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería a partir de la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,9 \text{ mm} = 0,210 \text{ m}$$

Comprobaciones, a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,072}{0,035} = 2,081 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

7. Agua filtrada y bypass de cada filtro de arena.

Denominación de la línea: *AF-150-10-PRFV.7.1.*

$$Q_{\text{filtro}} = 186,697 \text{ m}^3/\text{h} = 0,052 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{\Pi \cdot 3}} = 0,148 \text{ m} = 148,358 \text{ mm} = 5,841 \text{ inch}$$

Como el $D = 5,841 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
150	168	4,1

Tabla A.6.1-7: Dimensiones tubería línea *AF-150-10-PRFV.7.1*.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interno a partir de ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 168 - 2 \cdot 4,1 = 159,8 \text{ mm} = 0,160 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,160^2}{4} = 0,020 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,052}{0,020} = 2,586 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de filtros de arena de la instalación.

8. Entrada de agua de lavado a filtro de arena.

Denominación de la línea: *AL-200-10-PRFV.8.0*.

Partimos de un caudal de lavado de los filtros de arena de $259,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,072 \text{ m}^3/\text{s}$).

$$Q_{\text{LF LÍNEA}} = 6220,8 \text{ m}^3/\text{d} = 259,2 \text{ m}^3/\text{h} = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,018}{\Pi \cdot 3}} = 0,175 \text{ m} = 174,808 \text{ mm} = 6,882 \text{ inch}$$

Como el $D = 6,882 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-8: Dimensiones tubería línea AL-200-10-PRFV.8.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interno a partir de ecuación [A.6.2]:

$$D_{int} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,9mm = 0,210m$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035m^2$$

$$v = \frac{0,018}{0,035} = 2,081 \frac{m}{s} < 3 \frac{m}{s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de filtros de arena de la instalación.

9. Salida de agua filtrada.

Denominación de la línea: AF-150-10-PRFV.9.1.

Partimos del siguiente caudal:

$$Q_{filtro} = 186,697 \frac{m^3}{h} = 0,052 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{\Pi \cdot 3}} = 0,148 \text{ m} = 148,358 \text{ mm} = 5,841 \text{ inch}$$

Como el D = 5,841 inch > 4 inch, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
150	168	4,1

Tabla A.6.1-9: Dimensiones tubería línea : AF-150-10-PRFV.9.1.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior con la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 168 - 2 \cdot 4,1 = 159,8 \text{ mm} = 0,160 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,160^2}{4} = 0,020 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,052}{0,020} = 2,586 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de conducciones de salida que llevan agua filtrada en la instalación.

10. Bypass a filtros de arena.

Denominación de la línea: *AF-250-10-PRFV. 10.*

El caudal de bypass a los filtros de arena será igual al caudal que alimenta la línea.

$$Q_{\text{bypass}} = Q_{\text{A línea}} = 11.702,128 \text{ m}^3/\text{d} = 487,589 \text{ m}^3/\text{h} = 0,135 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción con la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,135}{\Pi \cdot 3}} = 0,240 \text{ m} = 239,756 \text{ mm} = 9,439 \text{ inch}$$

Como el $D = 9,439 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-10: Dimensiones tubería línea *AF-250-10-PRFV. 10.*

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería con la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 272,1 - 2 \cdot 6,4 = 259,3 \text{ mm} = 0,259 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,259^2}{4} = 0,053 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,135}{0,053} = 2,565 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de líneas de la instalación.

11. Colector de salida de filtros de arena a filtros de cartucho.

Denominación de la línea: *AF-250-10-PRFV.11.*

Partimos de un caudal de 11.702,128 m³/d (0,135 m³/s). Suponiendo una velocidad del fluido de 3 m/s, calculamos el diámetro de la conducción a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,135}{\pi \cdot 3}} = 0,240 \text{ m} = 239,756 \text{ mm} = 9,439 \text{ inch}$$

Como el $D = 9,439 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWLITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWLITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-11: Dimensiones tubería línea *AF-250-10-PRFV-11.*

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería a partir de la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 272,1 - 2 \cdot 6,4 = 259,3 \text{ mm} = 0,259 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \pi \cdot \frac{0,259^2}{4} = 0,053 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,135}{0,053} = 2,565 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de líneas de la instalación.

12. Derivaciones a filtros de cartucho.

Denominación de la línea: *AF-150-10-PRFV.12.1.*

El caudal que llevará cada derivación será el caudal de alimentación entre el número de filtros de cartucho que se necesitan, por línea.

Por tanto:

$$Q_{\text{derivaciónFC}} = Q_{\text{A línea}} / N^{\circ} \text{FC} = 11.702,128 / 2 = 5851,064 \text{ m}^3/\text{d} = 243,794 \text{ m}^3/\text{h} = 0,068 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del diámetro de la conducción a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,068}{\Pi \cdot 3}} = 0,170 \text{ m} = 169,533 \text{ mm} = 6,675 \text{ inch}$$

Como el $D = 6,675 \text{ inch} > 4,$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-12: Dimensiones tubería línea *AF-150-10-PRFV.12.1.*

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería a partir de ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,9 \text{ mm} = 0,210 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,068}{0,035} = 1,957 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de conducciones que derivan agua a los filtros de cartucho en la instalación.

13. Salida de filtros de cartucho.

Denominación de la línea: *AF-150-10-PRFV. 13.1.*

El caudal de salida de cada filtro de cartucho es:

$$Q_{\text{SalidaFC}} = Q_{\text{A línea}} / N^{\circ} \text{FC} = 11.702,128 / 5 = 2340,426 \text{ m}^3/\text{d} = 97,518 \text{ m}^3/\text{h} = 0,027 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,027}{\Pi \cdot 3}} = 0,107 \text{ m} = 107,222 \text{ mm} = 4,221 \text{ inch}$$

Como el $D = 4,221 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
150	168	4,1

Tabla A.6.1-13: Dimensiones tubería línea *AF-150-10-PRFV. 13.1.*

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería a partir de ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 168 - 2 \cdot 4,1 = 159,8 \text{ mm} = 0,160 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,160^2}{4} = 0,020 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,027}{0,020} = 1,351 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de conducciones de salida de los filtros de cartucho en la instalación.

14. By-pass filtros de cartucho.

Denominación de la línea: *AF-250-10-PRFV. 14.*

El caudal de by-pass de los filtros de cartucho será:

$$Q_{\text{By-pass FC}} = Q_{\text{A línea}} = 11.702,128 \text{ m}^3/\text{d} = 487,589 \text{ m}^3/\text{h} = 0,135 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción mediante la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,135}{\pi \cdot 3}} = 0,240 \text{ m} = 239,756 \text{ mm} = 9,439 \text{ inch}$$

Como el $D = 9,439 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-14: Dimensiones tubería línea AF-250-10-PRFV.14.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior a través de la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 272,1 - 2 \cdot 6,4 = 259,3 \text{ mm} = 0,259 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.1] y [A.6.2]:

$$A = \pi \cdot \frac{0,259^2}{4} = 0,053 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,135}{0,053} = 2,565 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de conducciones de by-pass de los filtros de cartucho de la instalación.

15. Colector de salida filtros de cartucho.

Denominación de la línea: AF-250-10-PRFV-15

El caudal del colector de los filtros de cartucho será:

$$Q_{\text{Colector FC}} = 11.702,128 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 487,589 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,135 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,135}{\pi \cdot 3}} = 0,240 \text{ m} = 239,756 \text{ mm} = 9,439 \text{ inch}$$

Como el $D = 9,439 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-15: Dimensiones tubería línea AF-250-10-PRFV-15.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

A partir de la expresión [A.6.2], calculamos el diámetro interno de la conducción:

$$D_{int} = 272,1 - 2 \cdot 6,4 = 259,3mm = 0,259m$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,259^2}{4} = 0,053 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,135}{0,053} = 2,565 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

Estos cálculos son análogos para el resto de colectores de filtros de cartucho de la instalación.

16. Colector horizontal salida permeado de tubos de presión.

Denominación de la línea: AT-200-10-PRFV. 16.0.

El caudal del colector horizontal de salida del permeado de los tubos de presión es:

$$Q_{\text{Colectorhorizontal}} = 5.500 \text{ m}^3/d = 229,167 \text{ m}^3/h = 0,064 \text{ m}^3/s$$

A partir de la ecuación [A.6.1], calculo el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,064}{\Pi \cdot 3}} = 0,164m = 164,369 \text{ mm} = 6,471 \text{ inch}$$

Como el D = 6,471 inch > 4 inch, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-16: Dimensiones tubería línea AT-200-10-PRFV. 16.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

A partir de la ecuación [A.6.2], calculamos el diámetro interno, conocido el diámetro exterior y espesor de dicha tubería:

$$D_{\text{int}} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,9 \text{ mm} = 0,210 \text{ m}$$

Comprobaciones a través de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,064}{0,035} = 1,840 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

17. Colector general permeado hasta bifurcación lavado químico-postratamiento.

Denominación de la línea: AT-350-10-PRFV. 17.0.

El caudal que transporta el colector general de permeado es:

$$Q_{\text{Colector general P}} = 22.000 \text{ m}^3/\text{d} = 916,667 \text{ m}^3/\text{h} = 0,255 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir de la ecuación [A.6.1], calculo el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,255}{\Pi \cdot 3}} = 0,329 \text{ m} = 328,737 \text{ mm} = 12,942 \text{ inch}$$

Como el $D = 12,942 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
350	376,4	7,1

Tabla A.6.1-17: Dimensiones tubería línea AT-350-10-PRFV. 17.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

A partir de la ecuación [A.6.2], calculamos el diámetro interno de la conducción:

$$D_{\text{int}} = 376,4 - 2 \cdot 7,1 = 362,2 \text{ mm} = 0,362 \text{ m}$$

Comprobaciones a través de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,362^2}{4} = 0,103 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,255}{0,103} = 2,471 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

18. Permeado para lavado químico.

Denominación de la línea: *ATLQ-250-10-PRFV.18.0.*

El caudal de permeado para lavado químico es:

$$Q_{P-LQ} = 10.152 \text{ m}^3/\text{d} = 423 \text{ m}^3/\text{h} = 0,118 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,118}{\Pi \cdot 3}} = 0,223 \text{ m} = 223,313 \text{ mm} = 8,792 \text{ inch}$$

Como el $D = 8,792 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-18: Dimensiones tubería línea *ATLQ-250-10-PRFV.18.0.*

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Con la ecuación [A.6.2], calculamos el diámetro interno, conocidos el diámetro exterior y espesor de la tubería:

$$D_{int} = 272,1 - 2 \cdot 6,4 = 259,3 \text{ mm} = 0,259 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,223^2}{4} = 0,053 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,118}{0,053} = 2,225 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

19. Salida depósito LQ a by-pass bombas LQ.

Denominación de la línea: *ALQ-250-10-PRFV.19.0.*

El caudal que lleva la tubería de salida del depósito de LQ hasta el by-pass de las bombas de LQ es:

$$Q_{By-pass LQ} = 10.152 \text{ m}^3/\text{d} = 423 \text{ m}^3/\text{h} = 0,118 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción con la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,118}{\pi \cdot 3}} = 0,223\text{m} = 223,313 \text{ mm} = 8,792\text{inch}$$

Como el $D = 8,792 \text{ inch} > 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-19: Dimensiones tubería línea ALQ-250-10-PRFV.19.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería con la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 272,1 - 2 \cdot 6,4 = 259,3\text{mm} = 0,259\text{m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \pi \cdot \frac{0,223^2}{4} = 0,053 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,118}{0,053} = 2,225 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

20. By-pass a aspiración bomba de LQ.

Denominación de la línea: ALQ-250-10-PRFV.20.0.

Como el caudal de la línea de by-pass hasta la aspiración de la bomba de LQ es el mismo que los del apartado 18 y 19, los cálculos son semejantes a los realizados anteriormente en la línea de LQ. La tubería elegida será también de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10, cuyas dimensiones se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWLITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-20: Dimensiones tubería línea ALQ-250-10-PRFV.20.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

21. Impulsión de la bomba de LQ.

Denominación de la línea: *ALQ-250-10-PRFV.21.0*.

En la línea de impulsión de la bomba de LQ, ocurre lo mismo que en los apartados anteriores.

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
250	272,1	6,4

Tabla A.6.1-21: Dimensiones tubería línea *ALQ-250-10-PRFV.21.0*.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A (www.flowtite.com).

22. Colector de permeado desde by-pass de L.Q hasta depósito de equilibrio osmótico.

Denominación de la línea: *AT-350-10-PRFV-22.0*.

El caudal que lleva este colector de permeado al depósito de equilibrio osmótico es el siguiente:

$$Q_{\text{Colectora depósito equilibrio osmótico}} = 22.000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 916,667 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,255 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Cálculo del diámetro de la ecuación a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,255}{\Pi \cdot 3}} = 0,329\text{m} = 328,737 \text{ mm} = 12,942\text{inch}$$

Como el $D = 12,942 > 4\text{inch}$, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
350	376,4	7,1

Tabla A.6.1-22: Dimensiones tubería línea *AT-350-10-PRFV-22.0*.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Para ello, utilizamos la expresión [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 376,4 - 2 \cdot 7,1 = 362,2\text{mm} = 0,362\text{m}$$

Comprobaciones a partir de las ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,362^2}{4} = 0,103 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,255}{0,103} = 2,471 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

En este colector tenemos que tener en cuenta que cuando sea necesario el lavado químico de las membranas, el caudal que pasará a través de él será el siguiente:

$$Q_{\text{equilibrioosmótico}} = Q_{\text{total}} - Q_{\text{LQ}} = 22.000 - 10152 \text{ m}^3/\text{d} = 11848 \text{ m}^3/\text{d} = 493,667 \text{ m}^3/\text{h} = 0,037 \text{ m}^3/\text{s}$$

Las dimensiones de la tubería que lleva este caudal serán las mismas que las calculadas para la línea AT-350-10-PRFV-22.0.

23. Colector desde depósito de equilibrio osmótico hasta bifurcación postratamiento (lechos de calcita).

Denominación de la línea: AT-350-10-PRFV-23.0.

El caudal que transporta este colector, desde el by-pass de la línea de L.Q hasta los lechos de calcita (postratamiento), es el mismo que el del apartado 22. Por tanto, el cálculo del dimensionado de este colector será idéntico.

TUBERÍA DE PRFV FLOWLITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
350	376,4	7,1

Tabla A.6.1-23: Dimensiones tubería línea AT-350-10-PRFV-23.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

24. Tubería de entrada a lecho de calcita.

Denominación de la línea: AT-200-10-PRFV-24.0.

El caudal que transporta la tubería de entrada al lecho de calcita es el siguiente:

$$Q_{\text{Entrada lechoscalcita}} = 5.500 \text{ m}^3/\text{d} = 229,167 \text{ m}^3/\text{h} = 0,064 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del Diámetro de la conducción a partir de la ecuación [A.6.1]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,064}{\Pi \cdot 3}} = 0,164 \text{ m} = 164,369 \text{ mm} = 6,471 \text{ inch}$$

Como el D = 6,471 inch, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE, SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWTITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-24: Dimensiones tubería línea AT-200-10-PRFV-24.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

A partir de la expresión [A.6.3], calculo el diámetro interior de la conducción:

$$D_{\text{int}} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,9 \text{ mm} = 0,210 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de las ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,064}{0,035} = 1,840 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

25. Tubería de salida del lecho de calcita.

Denominación de la línea: AT-200-10-PRFV-25.0.

Los cálculos para el dimensionado de esta tubería serán idénticos a los del apartado 24 ya que el caudal de salida del lecho de calcita es el mismo que el de entrada.

TUBERÍA DE PRFV FLOWLITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-25: Dimensiones tubería línea AT-200-10-PRFV-25.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR, S.A. (www.flowtite.com).

26. Colector entrada a depósito de agua producto.

Denominación de la línea: AT-350-10-PRFV-26.0.

El caudal del colector de entrada a depósito de agua producto será el caudal total que queremos obtener en nuestra planta.

$$Q_{\text{Entrada depósito agua producto}} = 22.000 \text{ m}^3/\text{d} = 916,667 \text{ m}^3/\text{h} = 0,255 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir de la ecuación [A.6.1], calculamos el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,255}{\pi \cdot 3}} = 0,329\text{m} = 328,737\text{mm} = 12,942\text{inch}$$

Como el $D = 12,942$ inch, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionados por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWLITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
350	376,4	7,1

Tabla A.6.1-26: Dimensiones tubería línea AT-350-10-PRFV-26.0.

Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería con la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 376,4 - 2 \cdot 7,1 = 362,2\text{mm} = 0,362\text{m}$$

A partir de las ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4] realizamos las siguientes comprobaciones:

$$A = \pi \cdot \frac{0,362^2}{4} = 0,103 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,255}{0,103} = 2,471 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

27. Tubería de impulsión desde depósito de agua producto hasta acometida de abastecimiento.

Denominación de la línea: AT-200-10-PRFV-27.0.

El caudal de la tubería de impulsión que transporta el agua producto hasta la acometida de la red de abastecimiento es:

$$Q_{\text{abastecimiento}} = \frac{22.000 \text{ m}^3/d}{4 \text{ líneas}} = 5.500 \text{ m}^3/d = 229,167 \text{ m}^3/h = 0,064 \text{ m}^3/s$$

A partir de la ecuación [A.6.1], calculamos el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,064}{\pi \cdot 3}} = 0,164\text{m} = 164,369\text{mm} = 6,47\text{inch}$$

Como el $D = 6,471$ inch, el material utilizado es PRFV. La tubería elegida es de PRFV del fabricante FLOWTITE SN 10.000 y PN 10. Las dimensiones proporcionados por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PRFV FLOWLITE, SN 10.000 Y PN 10

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
200	220,5	5,3

Tabla A.6.1-27: Dimensiones tubería línea AT-200-10-PRFV-27.0.Fuente: FLOWTITE ANDECOR,S.A. (www.flowtite.com).

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Para ello utilizamos la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 220,5 - 2 \cdot 5,3 = 209,9\text{mm} = 0,210\text{m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,210^2}{4} = 0,035 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,064}{0,035} = 1,840 \text{ m/s} < 3 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

28. Salida de permeado de tubos de presión (47).

Denominación de la línea: AT-63,5-PVC-28.0.

El caudal que lleva cada tubería de salida de permeado de los tubos de presión, será el caudal de permeado de la línea dividido entre el número de tubos de presión (47). Nos queda:

$$Q_{\text{permeadoTP}} = \frac{229,167}{47} = 4,876 \text{ m}^3/\text{h} = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir de la ecuación [A.6.1], calculamos el diámetro de la conducción:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001}{\Pi \cdot 1,5}} = 0,029\text{m} = 29,135\text{mm} = 1,147\text{inch}$$

Como el $D = 1,147 \text{ inch} < 4 \text{ inch}$, el material utilizado es PVC. La tubería elegida es de PVC de AMITECHSPAIN. Las dimensiones proporcionadas por el fabricante se muestran en la siguiente tabla:

TUBERÍA DE PVC

DN (mm)	Dext (mm)	Espesor (mm)
63,5	75	1,8

Tabla A.6.1-28: Dimensiones tubería línea AT-75-PRFV-28.0.Fuente: AMITECHSPAIN (www.amitechspain.es)

Calculamos el diámetro interior, conocidos el diámetro exterior y el espesor de tubería. Para ello utilizamos la ecuación [A.6.2]:

$$D_{\text{int}} = 75 - 2 \cdot 1,8 = 71,4 \text{ mm} = 0,071 \text{ m}$$

Comprobaciones a partir de ecuaciones [A.6.3] y [A.6.4]:

$$A = \Pi \cdot \frac{0,071^2}{4} = 0,004 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,001}{0,004} = 0,25 \text{ m/s} < 1,5 \text{ m/s}$$

Queda comprobado que la velocidad supuesta es correcta y por tanto la tubería elegida es la adecuada.

La nomenclatura utilizada para la designación de las líneas de la zona de baja presión se define a continuación:

- AM-200-10-PRFV-1.1: Aspiración bomba de captación agua de mar, pozo 1.
- AM-200-10-PRFV-1.2: Aspiración bomba de captación agua de mar pozo 2.
- AM-200-10-PRFV-1.3: Aspiración bomba de captación agua de mar pozo 3.
- AM-200-10-PRFV-2.1: Impulsión bomba de captación agua de mar pozo 1.
- AM-200-10-PRFV-2.2: Impulsión bomba de captación agua de mar pozo 2.
- AM-200-10-PRFV-2.3: Impulsión bomba de captación agua de mar pozo 3.
- AM-300-10-PRFV-3: Colector de impulsión bombas de captación agua de mar.
- AM-150-10-PRFV-4.1: Derivación a filtros de arena 1.
- AM-150-10-PRFV-4.2: Derivación a filtros de arena 2.
- AM-150-10-PRFV-4.3: Derivación a filtros de arena 3.
- AM-150-10-PRFV-4.4: Derivación a filtros de arena 4.
- AM-150-10-PRFV-5.1: Agua de alimentación a filtro de arena 1.
- AM-150-10-PRFV-5.2: Agua de alimentación a filtro de arena 2.
- AM-150-10-PRFV-5.3: Agua de alimentación a filtro de arena 3.
- AM-150-10-PRFV-5.4: Agua de alimentación a filtro de arena 4.
- AL-200-10-PRFV-6: Agua contralavado filtros de arena.
- AF-150-10-PRFV-7.1: Agua filtrada y bypass filtro arena 1.
- AF-150-10-PRFV-7.2: Agua filtrada y bypass filtro arena 2.
- AF-150-10-PRFV-7.3: Agua filtrada y bypass filtro arena 3.
- AF-150-10-PRFV-7.4: Agua filtrada y bypass filtro arena 4.

- AL-200-10-PRFV-8.1: Entrada agua de lavado a filtro de arena 1.
- AL-200-10-PRFV-8.2: Entrada agua de lavado a filtro de arena 2.
- AL-200-10-PRFV-8.3: Entrada agua de lavado a filtro de arena 3.
- AL-200-10-PRFV-8.4: Entrada agua de lavado a filtro de arena 4.
- AF-150-10-PRFV-9.1: Agua filtrada, filtro 1.
- AF-150-10-PRFV-9.2: Agua filtrada, filtro 2.
- AF-150-10-PRFV-9.3: Agua filtrada, filtro 3.
- AF-150-10-PRFV-9.4: Agua filtrada, filtro 4.
- AM-250-10-PRFV-10: By-pass filtros de arena.
- AF-250-10-PRFV-11: Colector de salida filtros de arena a filtros de cartucho.
- AF-150-10-PRFV-12.1: Derivación a filtro de cartucho 1.
- AF-150-10-PRFV-12.2: Derivación a filtro de cartucho 2.
- AF-150-10-PRFV-13.1: Salida de filtro de cartucho 1.
- AF-150-10-PRFV-13.2: Salida de filtro de cartucho 2.
- AF-250-10-PRFV-14: By-pass filtros de cartucho.
- AF-250-10-PRFV-15: Colector de salida filtros de cartucho.
- AT-200-10-PRFV-16: Colector horizontal salida permeado de tubos de presión.
- AT-350-10-PRFV-17.0: Colector general permeado hasta bifurcación lavado químico-postratamiento.
- ATLQ-250-10-PRFV-18.0: Permeado para lavado químico.
- ALQ-250-10-PRFV-19.0: Salida depósito LQ a by-pass bombas LQ.
- ALQ-250-10-PRFV-20.0: By-pass a aspiración bomba de LQ.
- ALQ-250-10-PRFV-21.0: Impulsión de la bomba de LQ.
- AT-350-10-PRFV-22.0: Colector de permeado desde by-pass de LQ hasta depósito de equilibrio osmótico.
- AT-350-10-PRFV-23.0: Colector desde depósito de equilibrio osmótico hasta bifurcación postratamiento (lecho de calcita).
- AT-200-10-PRFV-24.0: Tubería de entrada a lecho de calcita.
- AT-200-10-PRFV-25.0: Tubería de salida del lecho de calcita.
- AT-350-10-PRFV-26.0: Colector entrada a depósito de agua producto.
- AT-350-10-PRFV-27.1: Tubería de impulsión desde depósito de agua producto hasta acometida de abastecimiento 1.

- AT-350-10-PRFV-27.2: Tubería de impulsión desde depósito de agua producto hasta acometida de abastecimiento 2.
- AT-350-10-PRFV-27.3: Tubería de impulsión desde depósito de agua producto hasta acometida de abastecimiento 3.
- AT-350-10-PRFV-27.4: Tubería de impulsión desde depósito de agua producto hasta acometida de abastecimiento 4.
- AT-63,5-PVC-28.0: Salida de permeado de tubos de presión.

Donde:

- AM: agua de mar.
- AL: agua de lavado.
- ALQ: agua para lavado químico.
- AF: agua filtrada.
- AT: agua tratada.
- ATLQ: agua tratada para lavado químico.

En la **Tabla [A.6.R.1]** se muestran los resultados a modo de resumen de una de las líneas de la instalación de baja presión:

TRAMO (LÍNEAS DE BAJA PRESIÓN)	Q _{TUBERÍA} (m ³ /d)	Q _{TUBERÍA} (m ³ /s)	V _{FLUIDO} (m/s)	DN (mm)	D _i (mm)	Longitud (m)	Espesor (mm)
AM-200-10-PRFV-1.1	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	6	5,3
AM-200-10-PRFV-1.2	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	6	5,3
AM-200-10-PRFV-1.3	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	6	5,3
AM-200-10-PRFV-2.1	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	2	5,3
AM-200-10-PRFV-2.2	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	2	5,3
AM-200-10-PRFV-2.3	5974,309	0,069	1,998	200	209,9	2	5,3
AM-300-10-PRFV-3	17.922,928	0,207	2,708	300	312,3	150	6,1
AM-150-10-PRFV-4.1	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-4.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-4.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-4.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.1	2925,532	0,034	1,688	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AM-150-10-PRFV-5.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	1	4,1
AL-200-10-PRFV-6	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AF-150-10-PRFV-7.1	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1
AF-150-10-PRFV-7.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1
AF-150-10-PRFV-7.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1
AF-150-10-PRFV-7.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	8	4,1
AL-200-10-PRFV-8.1	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AL-200-10-PRFV-8.2	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AL-200-10-PRFV-8.3	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3

AL-200-10-PRFV-8.4	6220,8	0,072	2,081	200	209,9	0,5	5,3
AF-150-10-PRFV-9.1	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AF-150-10-PRFV-9.2	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AF-150-10-PRFV-9.3	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AF-150-10-PRFV-9.4	4480,732	0,052	2,586	150	159,8	0,5	4,1
AM-250-10-PRFV-10.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	8,5	6,4
AF-250-10-PRFV-11.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	29,5	6,4
AF-200-10-PRFV-12.1	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,5	5,3
AF-200-10-PRFV-12.2	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,5	5,3
AF-200-10-PRFV-13.1	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,6	5,3
AF-200-10-PRFV-13.2	5851,064	0,068	1,957	200	209,9	0,6	5,3
AF-250-10-PRFV-14.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	1,5	6,4
AF-250-10-PRFV-15.0	11.702,128	0,135	2,565	250	259,3	22,5	6,4
AT-200-10-PRFV-16.0	5.000	0,064	1,840	200	209,9	4	5,3
AT-350-10-PRFV-17.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	20	7,1
ATLQ-250-10-PRFV-18.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	6	6,4
ALQ-250-10-PRFV-19.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	0,5	6,4
ALQ-250-10-PRFV-20.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	1,5	6,4
ALQ-250-10-PRFV-21.0	10.152	0,118	2,225	250	259,3	6	6,4
AT-350-10-PRFV-22.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	10	7,1
AT-350-10-PRFV-23.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	1,5	7,1
AT-200-10-PRFV-24.0	5.500	0,064	1,840	200	209,9	2	5,3
AT-200-10-PRFV-25.0	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1,5	5,3
AT-350-10-PRFV-26.0	22.000	0,255	2,471	350	362,2	5	7,1
AT-200-10-PRFV-27.1	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-200-10-PRFV-27.2	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-200-10-PRFV-27.3	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-200-10-PRFV-27.4	5.500	0,064	1,840	200	209,9	1.500	5,3
AT-63,5-PVC-28.0	117,021	0,001	0,003	63,5	71,4	0,5	1,8

Tabla [A.6.R.1]: Cálculos hidráulicos para las líneas de baja presión.

▪ **Tuberías de alta presión:**

En la zona de alta presión, que se extiende desde la bomba de alta presión hasta el bastidor de membranas y desde la salida del rechazo del bastidor hasta el sistema de recuperación de energía, es imposible la utilización de materiales plásticos ya que ninguno es capaz de soportar las elevadas presiones a utilizar (60-70 bar).

Se recurre por tanto a aleaciones metálicas, pero teniendo en cuenta que además de tener que soportar elevadas presiones, deber ser muy resistentes a la corrosión.

Para agua marina se ha comprobado que los mejores resultados en servicio los proporciona el acero inoxidable AISI 316.

Un factor clave para la resistencia a la corrosión, es que la velocidad del fluido debe ser ≥ 3 m/s, por encima de la cual este acero se comporta de manera pasiva frente a la corrosión y se evitarían depósitos.

Para el dimensionamiento de las tuberías de acero se va a utilizar la expresión que relaciona la tensión que soporta una tubería de pared delgada ($R_i/e > 4$) en dirección radial y longitudinal:

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot R_i}{e}; \text{en dirección radial} \quad [A.6.5]$$

$$\sigma_z = \frac{P \cdot R_i}{2 \cdot e}; \text{en dirección longitudinal} \quad [A.6.6]$$

Los esfuerzos más importantes se soportan en dirección radial, por lo que se utilizará esta expresión [A.6.5], en lugar de la de los esfuerzos en dirección longitudinal.

Como tensión máxima admisible se empleará el límite elástico del material con un coeficiente de seguridad de 1,5.

Se tiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot R_i}{e}; \text{en dirección radial} \quad [A.6.5]$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\Pi \cdot v}} \quad [A.6.1]$$

$$\frac{R_i}{e} > 4; \text{hipótesis de pared delgada} \quad [A.6.7]$$

A continuación se detalla el procedimiento de cálculo para las tuberías de alta presión. Este consiste en hallar el diámetro y espesor mínimo del conducto por el que circula el agua, que será el diámetro nominal del fabricante inmediatamente superior al hallado en el procedimiento de cálculo. Para ello, se supone una velocidad de fluido. Conocido el caudal, el número de tuberías y la velocidad supuesta, obtenemos el diámetro del conducto. Por último se realizan las comprobaciones necesarias para confirmar que se cumple con la teoría de hipótesis de pared delgada.

Los cálculos se harán para una única línea, siendo idéntico el procedimiento de cálculo para las tres líneas restantes.

29. Tubería de salida de las bombas de alta presión hasta bifurcaciones.

Denominación de la línea: AP-273,1-sch40-SS-29.0.

Partimos de que el caudal que lleva la conducción es el caudal de alimentación sin considerar el de lavado de los filtros de arena. Es decir:

$$Q_{\text{BAP-BIFURC.}} = 11.702,128 \text{ m}^3/d = 487,589 \text{ m}^3/h = 0,135 \text{ m}^3/s$$

Suponiendo una velocidad de fluido de 3 m/s y conocidos la presión máxima que puede soportar la conducción y el límite elástico del acero inoxidable AISI 316 L, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Datos:

$$v = 3 \text{ m/s}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 54,947bar \approx 55bar$$

La presión del fluido se encuentra entorno a los 55 bares, pero se va a utilizar como presión máxima del fluido 61 bares, un 10% más para asegurar que la tubería podrá trabajar adecuadamente.

$$\sigma_e (\text{Límite elástico acero AISI 316 L}) = 230MPa = 2300bar$$

- Cálculo del espesor de pared:

Calculamos el diámetro interno mediante la expresión del caudal volumétrico, ecuación

[A.6.1]:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,135}{3 \cdot \Pi}} = 0,240m = 239,756mm = 9,439inch$$

A continuación, calculamos σ_θ :

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{2300bar}{1,5} = 1533,333bar$$

Siendo k el coeficiente de seguridad que tiene un valor de 1,5 según bibliografía.

Despejando de la ecuación [A.6.5], obtenemos un espesor de pared de:

$$e = \frac{61 \cdot 239,756}{2 \cdot 1533,333} = 4,769 mm$$

Comprobamos que la tubería cumple con la hipótesis de tubería de pared delgada (ecuación [A.6.7]):

$$\frac{R_i}{e} = \frac{239,756}{2 \cdot 4,769} = 25,137 > 4$$

Estos son los valores mínimos de diámetro interno (D_i) y espesor de pared que debe tener la tubería.

Calculamos el Schedule de la tubería de acero para saber cual elegir:

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{\sigma_e} = \frac{1000 \cdot 61}{2300} = 26,522$$

Esto exige que nuestra tubería sea de un Schedule estandarizado mínimo de 40.

Consultando las correspondientes tablas de dimensiones normalizadas para tuberías de acero, la más apropiada es:

TUBERÍA DE ACERO AISI 316 L DE SCH 40S

DN (mm)	D (inch)	Espesor (mm)	Espesor (inch)	Peso por metro (Kg/m)	D _i (inch)
273,1	10	9,27	0,365	60,31	9,439

Tabla A.6.1-29: Dimensiones tubería línea AP-273,1-sch40-SS-29.0.

Fuente: ACINESGON,S.A. (www.acinesgon.com).

Con los datos de la tabla anterior se llevan a cabo las siguientes comprobaciones para saber si la tubería es válida.

$$D_i = 9,439 \text{ inch} = 0,240 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,240^2}{4} = 0,045 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,135}{0,045} = 3 \text{ m/s}$$

$$\frac{9,439}{2 \cdot 0,365} = 12,932 > 4$$

Queda comprobado que la velocidad de flujo es correcta y que se cumple la hipótesis de pared delgada, por lo que la tubería es válida.

Los cálculos serán análogos para el resto de líneas de la instalación

30. Colectores verticales para acometida de agua a tubos de presión (3).

Denominación de la línea: AP-168,28-sch40-SS-30.0.

Cada línea tendrá tres colectores verticales para acometida de agua a los tubos de presión. El caudal que transporta cada colector es:

$$Q_{\text{Colector vertical}} = \frac{Q_{\text{BAP-BIFURC.}}}{N^{\circ} \text{ colectores}} = \frac{487,589 \text{ m}^3/\text{h}}{3} = 162,530 \text{ m}^3/\text{h} = 0,045 \text{ m}^3/\text{s}$$

Suponiendo una velocidad de fluido de 3 m/s y conocidos la presión máxima que puede soportar la conducción y el límite elástico del acero inoxidable AISI 316 L, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Datos:

$$v = 3 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{máx}} = 54,947 \text{ bar} \approx 55 \text{ bar}$$

La presión del fluido se encuentra entorno a los 55 bares, pero se va a utilizar como presión máxima del fluido 61 bares, un 10% más para asegurar que la tubería podrá trabajar adecuadamente.

$$\sigma_e (\text{Límite elástico acero AISI 316 L}) = 230\text{MPa} = 2300\text{bar}$$

- Cálculo del espesor de pared:

Calculamos el diámetro interno mediante la expresión del caudal volumétrico (ecuación [A.6.1]):

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,045}{3 \cdot \Pi}} = 0,138\text{m} = 138,423\text{mm} = 5,45\text{inch}$$

A continuación, calculamos σ_θ :

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{2300\text{bar}}{1,5} = 1533,333\text{bar}$$

Siendo k el coeficiente de seguridad que tiene un valor de 1,5 según bibliografía.

Por tanto, el espesor de pared, calculado mediante la ecuación [A.6.5], tendrá un valor de:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \sigma_\theta} = \frac{61 \cdot 138,423}{2 \cdot 1533,333} = 2,753\text{mm}$$

Comprobamos que la tubería cumple con la hipótesis de tubería de pared delgada, ecuación [A.6.7]:

$$\frac{R_i}{e} = \frac{138,423}{2 \cdot 2,753} = 25,137 > 4$$

Estos son los valores mínimos de diámetro interno (D_i) y espesor de pared que debe tener la tubería.

Calculamos el Schedule de la tubería de acero para saber cual elegir:

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{\sigma_e} = \frac{1000 \cdot 61}{2300} = 26,522$$

Esto exige que nuestra tubería sea de un Schedule estandarizado mínimo de 40.

Consultando las correspondientes tablas de dimensiones normalizadas para tuberías de acero, la más apropiada es:

TUBERÍA DE ACERO AISI 316 L DE SCH 40S

DN (mm)	D (inch)	Espesor (mm)	Espesor (inch)	Peso por metro (Kg/m)	D_i (inch)
168,28	6	7,11	0,280	28,69	5,450

Tabla A.6.1-30: Dimensiones tubería línea : AP-168,28-sch40-SS-30.0.

Fuente: ACINESGON, S.A. (www.acinesgon.com).

Con los datos de la tabla anterior se llevan a cabo las siguientes comprobaciones para saber si la tubería es válida.

$$D_i = 5,450 \text{inch} = 0,138 \text{m}$$

$$A = \frac{\Pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 0,138}{4} = 0,015 \text{m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,045}{0,015} = 3 \text{m/s}$$

$$\frac{R_i}{e} = \frac{D_i}{2 \cdot e} = \frac{5,450}{2 \cdot 0,280} = 9,734 > 4$$

Queda comprobado que la velocidad de flujo es correcta y que se cumple la hipótesis de pared delgada, por lo que la tubería es válida.

Los cálculos serán análogos para el resto de líneas de la instalación.

31. Tubos acometida a tubos de presión (47).

Denominación de la línea: AP-48,26-sch40-SS-31.

El caudal que llevan los tubos de acometida a tubos de presión es:

$$Q_{\text{Tubos acometida}} = \frac{Q_{\text{BAP-BIFURC.}}}{N^{\circ} \text{Tubos de P}} = \frac{487,589 \text{m}^3/\text{h}}{47} = 10,374 \text{m}^3/\text{h} = 0,003 \text{m}^3/\text{s}$$

Suponiendo una velocidad de fluido de 3 m/s y conocidos la presión máxima que puede soportar la conducción y el límite elástico del acero inoxidable AISI 316 L, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Datos:

$$v = 3 \text{m/s}$$

$$P_{\text{máx}} = 54,947 \text{bar} \approx 55 \text{bar}$$

La presión del fluido se encuentra entorno a los 55 bares, pero se va a utilizar como presión máxima del fluido 61 bares, un 10% más para asegurar que la tubería podrá trabajar adecuadamente.

$$\sigma_e (\text{Límite elástico acero AISI 316 L}) = 230 \text{MPa} = 2300 \text{bar}$$

- Cálculo del espesor de pared:

Calculamos el diámetro interno mediante la expresión del caudal volumétrico, ecuación [A.6.1]:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003}{3 \cdot \Pi}} = 0,035 \text{m} = 34,972 \text{mm} = 1,377 \text{inch}$$

A continuación, calculamos σ_{θ} :

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{2300bar}{1,5} = 1533,333bar$$

Siendo k el coeficiente de seguridad que tiene un valor de 1,5 según bibliografía.

Por tanto, según la ecuación [A.6.5], el espesor de pared tendrá el siguiente valor:

$$e = \frac{61 \cdot 34,972}{2 \cdot 1533,333} = 0,696mm$$

Con la ecuación [A.6.7], comprobamos que la tubería cumple con la hipótesis de pared delgada:

$$\frac{R_i}{e} = \frac{34,972}{2 \cdot 0,696} \Rightarrow 4$$

Estos son los valores mínimos de diámetro interno (D_i) y espesor de pared que debe tener la tubería.

Calculamos el Schedule de la tubería de acero para saber cual elegir:

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{\sigma_e} = \frac{1000 \cdot 61}{2300} = 26,522$$

Esto exige que nuestra tubería sea de un Schedule estandarizado mínimo de 40.

Consultando las correspondientes tablas de dimensiones normalizadas para tuberías de acero, la más apropiada es:

TUBERÍA DE ACERO AISI 316 L DE SCH 40S

DN (mm)	D (inch)	Espesor (mm)	Espesor (inch)	Peso por metro (Kg/m)	D_i (inch)
48,26	1 ½ "	3,68	0,145	4,11	1,377

Tabla A.6.1-31: Dimensiones tubería línea AP-48,26-sch40-SS-31.

Fuente: ACINESGON, S.A. (www.acinesgon.com).

Con los datos de la tabla anterior se llevan a cabo las siguientes comprobaciones para saber si la tubería es válida.

$$D_i = 1,377inch = 0,035m$$

$$A = \frac{\Pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 0,035^2}{4} = 0,001m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,003}{0,001} = 3m/s$$

$$\frac{R_i}{e} = \frac{D_i}{2 \cdot e} = \frac{1,377}{2 \cdot 0,145} = 4,752 > 4$$

Queda comprobado que la velocidad de flujo es correcta y que se cumple la hipótesis de pared delgada, por lo que la tubería es válida.

Los cálculos serán análogos para el resto de líneas de la instalación.

32. Colector de salmuera a grupo de alta presión (Recuperación).

Denominación de la línea: AP-219,08-sch40-SS-32.

El caudal que lleva el colector de salmuera al grupo de alta presión (recuperación) es:

$$Q_{\text{salmuera}} = 258,422 \frac{m^3}{h} = 0,072 \frac{m^3}{s}$$

Suponiendo una velocidad de fluido de 3 m/s y conocidos la presión máxima que puede soportar la conducción y el límite elástico del acero inoxidable AISI 316 L, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Datos:

$$v = 3 \frac{m}{s}$$

$$P_{\text{máx}} = 53,520 \text{bar} \approx 54 \text{bar}$$

La presión del fluido se encuentra entorno a los 54 bares, pero se va a utilizar como presión máxima del fluido 60 bares para poder asegurar que la tubería podrá trabajar adecuadamente.

$$\sigma_e (\text{Límite elástico acero AISI 316 L}) = 230 \text{MPa} = 2300 \text{bar}$$

- Cálculo del espesor de pared:

Con la ecuación [A.6.1], calculamos el diámetro de la conducción:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,072}{3 \cdot \Pi}} = 0,175 \text{m} = 174,545 \text{mm} = 6,872 \text{inch}$$

A continuación, calculamos σ_θ :

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{2300 \text{bar}}{1,5} = 1533,333 \text{bar}$$

Siendo k el coeficiente de seguridad que tiene un valor de 1,5 según bibliografía.

Por tanto, el espesor de pared, calculado a partir de la ecuación [A.6.5] tendrá el siguiente valor:

$$e = \frac{60 \cdot 174,545}{2 \cdot 1533,333} = 3,415 \text{mm}$$

Comprobamos que la tubería cumple con la hipótesis de tubería de pared delgada (ecuación [A.6.7]):

$$\frac{R_i}{e} = \frac{174,545}{2 \cdot 3,415} = 25,556 > 4$$

Estos son los valores mínimos de diámetro interno (D_i) y espesor de pared que debe tener la tubería.

Calculamos el Schedule de la tubería de acero para saber cual elegir:

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{\sigma_e} = \frac{1000 \cdot 60}{2300} = 26,090$$

Esto exige que nuestra tubería sea de un Schedule estandarizado mínimo de 40.

Consultando las correspondientes tablas de dimensiones normalizadas para tuberías de acero, la más apropiada es:

TUBERÍA DE ACERO AISI 316 L DE SCH 40S

DN (mm)	D (inch)	Espesor (mm)	Espesor (inch)	Peso por metro (Kg/m)	D_i (inch)
219,08	8	8,18	0,322	43,13	6,872

Tabla A.6.1-32: Dimensiones tubería línea AP-219,08-sch40-SS-32.

Fuente: ACINESGON, S.A. (www.acinesgon.com).

Con los datos de la tabla anterior se llevan a cabo las siguientes comprobaciones para saber si la tubería es válida.

$$D_i = 6,872inch = 0,175m$$

$$A = \frac{\Pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 0,175^2}{4} = 0,024m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,072}{0,024} = 3m/s$$

$$\frac{R_i}{e} = \frac{D_i}{2 \cdot e} = \frac{6,872}{2 \cdot 0,322} = 10,669 > 4$$

Queda comprobado que la velocidad de flujo es correcta y que se cumple la hipótesis de pared delgada, por lo que la tubería es válida.

Los cálculos serán análogos para el resto de líneas de la instalación.

33. Colector horizontal de salmuera salida bastidor ósmosis.

Denominación de la línea: AP-219,08-sch40-SS-33.0.

El caudal que lleva el colector horizontal de salmuera a la salida del bastidor de ósmosis inversa es:

$$Q_{colector\ horizontal} = 258,422 \frac{m^3}{h} = 0,072 \frac{m^3}{s}$$

Suponiendo una velocidad de fluido de 3 m/s y conocidos la presión máxima que puede soportar la conducción y el límite elástico del acero inoxidable AISI 316 L, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Datos:

$$v = 3 \frac{m}{s}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 53,520bar \approx 54bar$$

La presión del fluido se encuentra entorno a los 54 bares, pero se va a utilizar como presión máxima del fluido 60 bares para asegurar que la tubería podrá trabajar adecuadamente.

$$\sigma_e (\text{Límite elástico acero AISI 316 L}) = 230MPa = 2300bar$$

- Cálculo del espesor de pared:

Calculamos el diámetro interno mediante la expresión del caudal volumétrico, ecuación [A.6.1]:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,072}{3 \cdot \Pi}} = 0,175m = 174,545mm = 6,872inch$$

A continuación, calculamos σ_θ :

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{2300bar}{1,5} = 1533,333bar$$

Siendo k el coeficiente de seguridad que tiene un valor de 1,5 según bibliografía.

Por tanto, el espesor de pared, calculado a partir de la ecuación [A.6.5], tendrá un valor de:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \sigma_\theta} = \frac{60 \cdot 174,545}{2 \cdot 1533,333} = 3,415mm$$

Comprobamos que la tubería cumple con la hipótesis de tubería de pared delgada, ecuación [A.6.7]:

$$\frac{R_i}{e} = \frac{174,545}{2 \cdot 3,415} = 25,556 > 4$$

Estos son los valores mínimos de diámetro interno (D_i) y espesor de pared que debe tener la tubería.

Calculamos el Schedule de la tubería de acero para saber cual elegir:

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{\sigma_e} = \frac{1000 \cdot 60}{2300} = 26,090$$

Esto exige que nuestra tubería sea de un Schedule estandarizado mínimo de 40.

Consultando las correspondientes tablas de dimensiones normalizadas para tuberías de acero, la más apropiada es:

TUBERÍA DE ACERO AISI 316 L DE SCH 40S

DN (mm)	D (inch)	Espesor (mm)	Espesor (inch)	Peso por metro (Kg/m)	D _i (inch)
219,08	8	8,18	0,322	43,13	6,872

Tabla A.6.1-33: Dimensiones tubería línea AP-219,08-sch40-SS-33.0.

Fuente: ACINESGON, S.A. (www.acinesgon.com).

Con los datos de la tabla anterior se llevan a cabo las siguientes comprobaciones para saber si la tubería es válida.

$$D_i = 1,377inch = 0,035m$$

$$A = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,035^2}{4} = 0,001m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,003}{0,001} = 3m/s$$

$$\frac{R_i}{e} = \frac{D_i}{2 \cdot e} = \frac{1,377}{2 \cdot 0,145} = 4,752 > 4$$

Queda comprobado que la velocidad de flujo es correcta y que se cumple la hipótesis de pared delgada, por lo que la tubería es válida.

Los cálculos serán análogos para el resto de líneas de la instalación.

34. Colectores verticales salida salmuera tubos de presión (3)

Denominación de la línea: AP-114,3-sch40-SS-34.0.

El caudal que lleva cada colector vertical de salmuera a la salida de cada tubo de presión es el siguiente:

$$Q_{colector\ horizontal} = \frac{258,422}{3} = 86,141m^3/h = 0,024m^3/s$$

Suponiendo una velocidad de fluido de 3 m/s y conocidos la presión máxima que puede soportar la conducción y el límite elástico del acero inoxidable AISI 316 L, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Datos:

$$v = 3m/s$$

$$P_{m\acute{a}x} = 53,520bar \approx 54bar$$

La presión del fluido se encuentra entorno a los 54 bares, pero se va a utilizar como presión máxima del fluido 60 bares para asegurar que la tubería podrá trabajar adecuadamente.

$$\sigma_e (\text{Límite elástico acero AISI 316 L}) = 230\text{MPa} = 2300\text{bar}$$

- Cálculo del espesor de pared:

Calculamos el diámetro interno mediante la expresión del caudal volumétrico, ecuación [A.6.1]:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,024}{3 \cdot \Pi}} = 0,101\text{m} = 100,774\text{mm} = 3,967\text{inch}$$

A continuación, calculamos σ_θ :

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{2300\text{bar}}{1,5} = 1533,333\text{bar}$$

Siendo k el coeficiente de seguridad que tiene un valor de 1,5 según bibliografía.

Por tanto, el espesor de pared, calculado a partir de la ecuación [A.6.5], tendrá un valor de:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \sigma_\theta} = \frac{60 \cdot 100,74}{2 \cdot 1533,333} = 1,972\text{mm}$$

Comprobamos que la tubería cumple con la hipótesis de tubería de pared delgada, ecuación [A.6.7]:

$$\frac{R_i}{e} = \frac{174,545}{2 \cdot 1,072} = 25,556 > 4$$

Estos son los valores mínimos de diámetro interno (D_i) y espesor de pared que debe tener la tubería.

Calculamos el Schedule de la tubería de acero para saber cual elegir:

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{\sigma_e} = \frac{1000 \cdot 60}{2300} = 26,090$$

Esto exige que nuestra tubería sea de un Schedule estandarizado mínimo de 40.

Consultando las correspondientes tablas de dimensiones normalizadas para tuberías de acero, la más apropiada es:

TUBERÍA DE ACERO AISI 316 L DE SCH 40S

DN (mm)	D (inch)	Espesor (mm)	Espesor (inch)	Peso por metro (Kg/m)	D _i (inch)
114,3	4	6,02	0,237	16,32	3,967

Tabla A.6.1-34: Dimensiones tubería línea AP-114,3-sch40-SS-34.0.

Fuente: ACINESGON, S.A. (www.acinesgon.com).

Con los datos de la tabla anterior se llevan a cabo las siguientes comprobaciones para saber si la tubería es válida.

$$D_i = 3,967 \text{ inch} = 0,101 \text{ m}$$

$$A = \frac{\Pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 0,101^2}{4} = 0,008 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,024}{0,008} = 3 \text{ m/s}$$

$$\frac{R_i}{e} = \frac{D_i}{2 \cdot e} = \frac{3,967}{2 \cdot 0,237} = 8,369 > 4$$

Queda comprobado que la velocidad de flujo es correcta y que se cumple la hipótesis de pared delgada, por lo que la tubería es válida.

Los cálculos serán análogos para el resto de líneas de la instalación.

35. Tubería de salida de salmuera de los tubos de presión (47).

Denominación de la línea: AP-26,67-sch40-SS-35.0

El caudal que lleva cada tubería de salida de salmuera de los tubos de presión, será el caudal del colector horizontal de salmuera dividido entre el número de tubos de presión (47). Nos queda:

$$Q_{\text{salmueraTP}} = \frac{258,422}{47} = 5,498 \text{ m}^3/\text{h} = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$$

Suponiendo una velocidad de fluido de 3 m/s y conocidos la presión máxima que puede soportar la conducción y el límite elástico del acero inoxidable AISI 316 L, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Datos:

$$v = 3 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{máx}} = 53,520 \text{ bar} \approx 54 \text{ bar}$$

La presión del fluido se encuentra entorno a los 54 bares, pero se va a utilizar como presión máxima del fluido 60 bares para asegurar que la tubería podrá trabajar adecuadamente.

σ_e (Límite elástico acero AISI 316 L) = 230MPa = 2300bar

- Cálculo del espesor de pared:

Calculamos el diámetro interno mediante la expresión del caudal volumétrico, ecuación [A.6.1]:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,002}{3 \cdot \Pi}} = 0,025m = 25,460mm = 1,002inch$$

A continuación, calculamos σ_θ :

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{2300bar}{1,5} = 1533,333bar$$

Siendo k el coeficiente de seguridad que tiene un valor de 1,5 según bibliografía.

Por tanto, el espesor de pared, calculado a partir de la ecuación [A.6.5], tendrá un valor de:

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \sigma_\theta} = \frac{60 \cdot 25,460}{2 \cdot 1533,333} = 0,540mm$$

Comprobamos que la tubería cumple con la hipótesis de tubería de pared delgada, ecuación [A.6.7]:

$$\frac{R_i}{e} = \frac{25,460}{2 \cdot 0,540} = 23,590 > 4$$

Estos son los valores mínimos de diámetro interno (D_i) y espesor de pared que debe tener la tubería.

Calculamos el Schedule de la tubería de acero para saber cual elegir:

$$Sch = \frac{1000 \cdot P}{\sigma_e} = \frac{1000 \cdot 60}{2300} = 26,090$$

Esto exige que nuestra tubería sea de un Schedule estandarizado mínimo de 40.

Consultando las correspondientes tablas de dimensiones normalizadas para tuberías de acero, la más apropiada es:

TUBERÍA DE ACERO AISI 316 L DE SCH 40S

DN (mm)	D (inch)	Espesor (mm)	Espesor (inch)	Peso por metro (Kg/m)	D_i (inch)
26,67	3/4	2,87	0,113	1,71	1,002

Tabla A.6.1-35: Dimensiones tubería línea AP-26,67-sch40-SS-35.0.

Fuente: ACINESGON, S.A. (www.acinesgon.com).

Con los datos de la tabla anterior se llevan a cabo las siguientes comprobaciones para saber si la tubería es válida.

$$D_i = 1,002inch = 0,025m$$

$$A = \frac{\Pi \cdot D_i^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 0,025^2}{4} = 0,001m^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,002}{0,001} = 3m/s$$

$$\frac{R_i}{e} = \frac{D_i}{2 \cdot e} = \frac{1,002}{2 \cdot 0,113} = 4,434 > 4 \text{ AP-273, 1-sch40-SS-29.0.}$$

Queda comprobado que la velocidad de flujo es correcta y que se cumple la hipótesis de pared delgada, por lo que la tubería es válida.

Los cálculos serán análogos para el resto de líneas de la instalación.

La nomenclatura utilizada para la designación de las líneas de la zona de alta presión se define a continuación:

- AP-273,10-sch40-SS-29.0: Tubería de salida de las bombas de alta presión hasta bifurcaciones.
- AP-168,28-sch40-SS-30.0: Colectores verticales para acometida de agua a tubos de presión (3).
- AP-48,26-sch40-SS-31.0: Tubos acometida a tubos de presión (47).
- AP-219,08-sch40-SS-32.0: Colector de salmuera a grupo de alta presión (Recuperación).
- AP-219,08-sch40-SS-33.0: Colector horizontal de salmuera salida bastidor ósmosis inversa.
- AP-114,3-sch40-SS-34: Colectores verticales salida salmuera de tubos de presión (3).
- AP-26,67-sch40-SS-35.0: Tubería de salida de salmuera de tubos de presión (47).

Donde:

- AP: Agua de alta presión.

En la **Tabla [A.6.R.2]**, se muestran los resultados a modo de resumen de una de las líneas de la instalación de alta presión:

TRAMO (LÍNEAS DEALTA PRESIÓN)	Q _{TUBERÍA} (m ³ /d)	Q _{TUBERÍA} (m ³ /s)	V _{FLUIDO} (m/s)	DN (mm)	D _i (mm)	Longitud (m)	Espesor (mm)
AP-273,10-sch40-SS-29.0	11.702,128	0,135	3,000	273,1	239,756	3	9,27
AP-168,28-sch40-SS-30.0	3900,709	0,045	3,000	168,28	138,423	3,5	7,11
AP-48,26-sch40-SS-31.0	248,981	0,003	3,000	48,26	34,972	0,5	3,68
AP-219,08-sch40-SS-32.0	6202,128	0,072	3,000	219,08	174,545	10	8,18
AP-219,08-sch40-SS-33.0	6202,128	0,072	3,000	219,08	174,545	2,2	8,18
AP-114,3-sch40-SS-34.0	2067,376	0,024	3,000	114,3	100,774	3,0	6,02
AP-26,67-sch40-SS-35.0	131,960	0,002	3,000	26,67	25,460	0,5	2,87

Tabla [A.6.R.2]: Cálculos hidráulicos para las líneas de alta presión.

A.6.2. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Para seleccionar las bombas será necesario saber el caudal y la carga necesaria que debe aportar. El caudal de la mayor parte de las bombas lo conocemos, ya que ha sido calculado en el apartado de dimensionado de tuberías del proyecto. Sin embargo, la carga o altura útil en algunas bombas no se conoce y será necesario hallarla a través de la ecuación de Bernoulli:

$$W = \left(H + \frac{P_B - P_A}{\rho} + z_B - z_A + \frac{v_B^2 - v_A^2}{2 \cdot g} \right) \quad [A.6.8]$$

Donde:

W = carga (m)

ρ = densidad del agua a 20°C en Kg/m³.

g = 9,81 m/s²

P_A y P_B = presión del agua en A y B en Kg/m².

z_A y z_B = altura geométrica, diferencia de cotas entre los puntos A y B, en metros.

v_A y v_B = velocidades medias del líquido en las secciones de las conducciones en los puntos A y B en m/s.

H = pérdidas de carga en la conducción.

Para el cálculo de la carga de cada una de las bombas de la instalación, necesitamos conocer el valor de las pérdidas de carga de las conducciones, así como las presiones, alturas geométricas y velocidades en cotas A y B.

Empezaremos calculando las pérdidas de carga que se producen en cada línea de nuestra instalación.

A.6.2.1. PÉRDIDAS DE CARGA

Las pérdidas de carga que se producen al circular el agua por las conducciones se dividen en dos tipos: lineales y singulares.

▪ **Pérdidas lineales:**

Para calcular el valor de la pérdida de carga lineal que se produce en un conducto de sección circular, se emplea la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$(h_f)_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad [A.6.9]$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga (m).

f : Factor de fricción de fanning.

L : Longitud equivalente de la tubería (m)

D : Diámetro interno de la tubería (m).

V : Velocidad del fluido (m/s)

g : Aceleración de la gravedad = $9,81 \text{ m/s}^2$

La ecuación de Darcy-Weisbach es válida para fluidos viscosos e incompresibles en régimen estacionario y completamente desarrollado, laminar o turbulento.

El factor de fricción de Fanning es función de la rugosidad de la tubería (ϵ/D) y del número de Reynolds (Re). La rugosidad (ϵ) depende únicamente del material con la que se fabrica el material, y tiene un valor de 0,01 m para el PRFV y 0,014 m para el acero.

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa se calcula el factor de fricción para cada tramo de tubería. Este factor se obtiene a través de ecuaciones de ajuste no lineal o por medio de la gráfica de Moody.

Calcularemos la densidad y viscosidad del agua en función de la temperatura:

$$\rho = 1028,6 - 0,2 \cdot T(^{\circ}C) = 1028,6 - 0,2 \cdot 20 = 1024,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,00166 - 0,00003 \cdot T(^{\circ}C) = 0,00166 - 0,00003 \cdot 20 = 0,001 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

A continuación, calcularemos los valores de los números de Reynolds y factores de fricción para cada tramo de tubería. Con estos valores y los conocidos de longitud, diámetro, velocidad y aceleración de la gravedad, obtendremos las pérdidas de carga lineales.

Para el cálculo del número de números de Reynolds y factores de fricción utilizaremos las siguientes expresiones:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot D_i}{\mu} \quad [A.6.10]$$

$$f = 0,0055 \cdot \left(1 + \left(20.000 \cdot \frac{\epsilon}{D} + \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{1/3} \right) \quad [A.6.11]$$

La expresión [A.6.11], hace referencia a la ecuación de Moody.

Por ejemplo, para el tramo de tubería que va desde la toma de agua hasta la bomba de captación, línea AM-200-10-PRFV-1.1 , el valor de Re, según la ecuación [A.6.10] y de ε/D son:

$$Re = \frac{1024,6 \cdot 1,998 \cdot 0,210}{0,001} = 4,298 \cdot 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,01}{209,9} = 4,764 \cdot 10^{-5}$$

Sustituyendo en la ecuación [A.6.11], obtenemos un factor de fricción (f) de:

$$f = 0,0055 \cdot \left(1 + \left(20.000 \cdot 4,764 \cdot 10^{-5} + \frac{10^6}{4,298 \cdot 10^5} \right)^{1/3} \right) = 0,015$$

Por tanto, el valor de la pérdida de carga lineal para este tramo de tubería, sustituyendo en la ecuación [A.6.9] de Darcy-Weisbach es:

$$(h_f)_L = 0,015 \cdot \frac{6}{0,210} \cdot \frac{1,998^2}{2 \cdot 9,81} = 0,067m$$

Los cálculos para el resto de líneas de la planta se realizan de forma análoga, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	V _{fluido} (m/s)	D _i (m)	ε/D	Re	f	L(m)	h _f (L)(m)
AM-200-10-PRFV-1.1	1,998	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,298 \cdot 10^5$	0,012	6	0,067
AM-200-10-PRFV-1.2	1,998	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,298 \cdot 10^5$	0,012	6	0,067
AM-200-10-PRFV-1.3	1,998	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,298 \cdot 10^5$	0,012	6	0,067
AM-200-10-PRFV-2.1	1,998	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,298 \cdot 10^5$	0,012	2	0,022
AM-200-10-PRFV-2.2	1,998	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,298 \cdot 10^5$	0,012	2	0,022
AM-200-10-PRFV-2.3	1,998	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,298 \cdot 10^5$	0,012	2	0,022
AM-300-10-PRFV-3	2,708	0,312	$3,202 \cdot 10^{-5}$	$8,665 \cdot 10^5$	0,009	150	1,578
AM-150-10-PRFV-4.1	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	1	0,026
AM-150-10-PRFV-4.2	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	1	0,026
AM-150-10-PRFV-4.3	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	1	0,026
AM-150-10-PRFV-4.4	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	1	0,026
AM-150-10-PRFV-5.1	1,688	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$2,764 \cdot 10^5$	0,014	1	0,013
AM-150-10-PRFV-5.2	1,688	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$2,764 \cdot 10^5$	0,014	1	0,013
AM-150-10-PRFV-5.3	1,688	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$2,764 \cdot 10^5$	0,014	1	0,013
AM-150-10-PRFV-5.4	1,688	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$2,764 \cdot 10^5$	0,014	1	0,013
AL-200-10-PRFV-6	2,081	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,475 \cdot 10^5$	0,011	0,5	0,006
AF-150-10-PRFV-7.1	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,014	8	0,105
AF-150-10-PRFV-7.2	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,014	8	0,105
AF-150-10-PRFV-7.3	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,014	8	0,105
AF-150-10-PRFV-7.4	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,014	8	0,105
AL-200-10-PRFV-8.1	2,081	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,475 \cdot 10^5$	0,011	0,5	0,006

AL-200-10-PRFV-8.2	2,081	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,475 \cdot 10^5$	0,011	0,5	0,006
AL-200-10-PRFV-8.3	2,081	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,475 \cdot 10^5$	0,011	0,5	0,006
AL-200-10-PRFV-8.4	2,081	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,475 \cdot 10^5$	0,011	0,5	0,006
AF-150-10-PRFV-9.1	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	0,5	0,013
AF-150-10-PRFV-9.2	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	0,5	0,013
AF-150-10-PRFV-9.3	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	0,5	0,013
AF-150-10-PRFV-9.4	2,586	0,160	$6,258 \cdot 10^{-5}$	$4,234 \cdot 10^5$	0,012	0,5	0,013
AM-250-10-PRFV-10.0	2,565	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$6,814 \cdot 10^5$	0,010	8,5	0,106
AF-250-10-PRFV-11.0	2,565	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$6,814 \cdot 10^5$	0,010	29,5	0,366
AF-200-10-PRFV-12.1	1,957	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,209 \cdot 10^5$	0,012	0,5	0,005
AF-200-10-PRFV-12.2	1,957	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,209 \cdot 10^5$	0,012	0,5	0,005
AF-200-10-PRFV-13.1	1,957	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,209 \cdot 10^5$	0,012	0,6	0,006
AF-200-10-PRFV-13.2	1,957	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$4,209 \cdot 10^5$	0,012	0,6	0,006
AF-250-10-PRFV-14.0	2,565	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$6,814 \cdot 10^5$	0,010	1,5	0,019
AF-250-10-PRFV-15.0	2,565	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$6,814 \cdot 10^5$	0,010	22,5	0,279
AT-200-10-PRFV-16.0	1,840	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$3,956 \cdot 10^5$	0,012	4	0,039
AT-350-10-PRFV-17.0	2,471	0,362	$2,761 \cdot 10^{-5}$	$9,171 \cdot 10^5$	0,009	20,0	0,146
ATLQ-250-10-PRFV-18.0	2,225	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$5,911 \cdot 10^5$	0,010	6	0,058
ALQ-250-10-PRFV-19.0	2,225	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$5,911 \cdot 10^5$	0,010	0,5	0,005
ALQ-250-10-PRFV-20.0	2,225	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$5,911 \cdot 10^5$	0,010	1,5	0,015
ALQ-250-10-PRFV-21.0	2,225	0,259	$3,857 \cdot 10^{-5}$	$5,911 \cdot 10^5$	0,010	6	0,058
AT-350-10-PRFV-22.0	2,471	0,362	$2,761 \cdot 10^{-5}$	$9,171 \cdot 10^5$	0,009	10	0,073
AT-350-10-PRFV-23.0	2,471	0,362	$2,761 \cdot 10^{-5}$	$9,171 \cdot 10^5$	0,009	1,5	0,073
AT-200-10-PRFV-24.0	1,840	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$3,956 \cdot 10^5$	0,012	2	0,020
AT-200-10-PRFV-25.0	1,840	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$3,956 \cdot 10^5$	0,012	1,5	0,015
AT-350-10-PRFV-26.0	2,471	0,362	$2,761 \cdot 10^{-5}$	$9,171 \cdot 10^5$	0,009	5	0,037
AT-200-PRFV-27.1	1,840	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$3,956 \cdot 10^5$	0,012	1.500	14,647
AT-200-PRFV-27.2	1,840	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$3,956 \cdot 10^5$	0,012	1.500	14,647
AT-200-PRFV-27.3	1,840	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$3,956 \cdot 10^5$	0,012	1.500	14,647
AT-200-PRFV-27.4	1,840	0,210	$4,764 \cdot 10^{-5}$	$3,956 \cdot 10^5$	0,012	1.500	14,647
AT-75-PVC-28.0	0,003	0,060	$1,669 \cdot 10^{-4}$	$2,950 \cdot 10^4$	0,074	0,5	0,007
AP-273,10-sch40-SS-29.0	3,000	0,240	$5,839 \cdot 10^{-5}$	$7,370 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^{-2}$	3	0,058
AP-168,28-sch40-SS-30.0	3,000	0,138	$1,011 \cdot 10^{-4}$	$4,255 \cdot 10^5$	$1,352 \cdot 10^{-2}$	3,5	0,157
AP-48,26-sch40-SS-31.0	3,000	0,035	$4,003 \cdot 10^{-4}$	$1,075 \cdot 10^5$	$3,723 \cdot 10^{-2}$	0,5	0,244
AP-219,08-sch40-SS-32.0	3,000	0,175	$8,021 \cdot 10^{-5}$	$5,365 \cdot 10^5$	$1,186 \cdot 10^{-2}$	10	0,312
AP-219,08-sch40-SS-33.0	3,000	0,175	$8,021 \cdot 10^{-5}$	$5,365 \cdot 10^5$	$1,186 \cdot 10^{-2}$	2,2	0,068
AP-114,3-sch40-SS-34.0	3,000	0,101	$1,389 \cdot 10^{-4}$	$3,091 \cdot 10^5$	$1,653 \cdot 10^{-2}$	3	0,224
AP-26,67-sch40-SS-35.0	3,000	0,025	$5,499 \cdot 10^{-4}$	$7,826 \cdot 10^5$	$4,909 \cdot 10^{-2}$	0,5	0,442

Tabla [A.6.R.3]: Pérdidas de carga lineales de la instalación

▪ **Pérdidas singulares:**

Las pérdidas de carga singulares son las que se producen en los accesorio (codos, válvulas, té, ...). Se deben a que el flujo en el interior de los mismos es tridimensional y complejo, produciéndose una gran disipación de energía.

Se determinan mediante el método de las cargas de velocidad, que consiste en asignar a cada accesorio un valor "k", que al multiplicarlo por la carga de velocidad que lo atraviesa, sea igual al valor de la pérdida de carga que produce.

La pérdida de carga de los accesorios viene dada por la siguiente expresión:

$$(h_f)_s = \Sigma K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad [A.6.12]$$

Siendo K una constante que depende del tipo de accesorio.

Donde:

$(h_f)_s$: Pérdida de carga sin gular(m).

K : Constante que depende del tipo de accesorio

V : Velocidad del fluido(m/ s)

g : Aceleración de la gravedad = $9,81 \frac{m}{s^2}$

La siguiente tabla muestra el valor de la constante “k” de los distintos accesorios para cada tramo de tubería de la instalación:

TRAMOS	CONSTANTE “k” PARA ACCESORIOS									
	Codo 90° radio largo	Té	Té angular	Válvula de retención a visagra	Válvula bola	Válvula mariposa	Válvula compuerta	Brida aspiración	Brida retención	ΣK
AM-200-10-PRFV-1.1	0,850	-	-	3,675	-	-	-	-	-	4,525
AM-200-10-PRFV-1.2	0,850	-	-	3,675	-	-	-	-	-	4,525
AM-200-10-PRFV-1.3	0,850	-	-	3,675	-	-	-	-	-	4,525
AM-200-10-PRFV-2.1	-	2 (2)	-	3,675	10	0,04	-	-	-	17,715
AM-200-10-PRFV-2.2	-	2 (2)	-	3,675	10	0,04	-	-	-	17,715
AM-200-10-PRFV-2.3	-	2 (2)	-	3,675	10	0,04	-	-	-	17,715
AM-300-10-PRFV-3.0	0,49(8)	0,2(4)	-	2,800	-	0,04(2)	-	-	-	7,600
AM-150-10-PRFV-4.1	0,75(4)	0,9(3)	-	0,5	-	0,04(2)	-	-	-	6,280
AM-150-10-PRFV-4.2	0,75(4)	0,9(3)	-	0,5	-	0,04(2)	-	-	-	6,280
AM-150-10-PRFV-4.3	0,75(4)	0,9(3)	-	0,5	-	0,04	-	-	-	6,280
AM-150-10-PRFV-4.4	0,75(4)	0,9(3)	-	0,5	-	0,04	-	-	-	6,240
AM-150-10-PRFV-5.1	0,75	0,4	-	-	-	0,04	-	-	-	1,190
AM-150-10-PRFV-5.2	0,75	0,4	-	-	-	0,04	-	-	-	1,190
AM-150-10-PRFV-5.3	0,75	0,4	-	-	-	0,04	-	-	-	1,190
AM-150-10-PRFV-5.4	0,75	0,4	-	-	-	0,04	-	-	-	1,190
AL-200-10-PRFV-6.0	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,04
AF-150-10-PRFV-7.1	0,75	0,4	-	0,5	-	-	-	-	-	1,650
AF-150-10-PRFV-7.2	0,75	0,4	-	0,5	-	-	-	-	-	1,650
AF-150-10-PRFV-7.3	0,75	0,4	-	0,5	-	-	-	-	-	1,650
AF-150-10-PRFV-7.4	0,75	0,4	-	0,5	-	-	-	-	-	1,650

Diseño de una Planta Desaladora por Ósmosis Inversa en la Isla de Fuerteventura

AL-200-10-PRFV-8.1	0,5	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,540
AL-200-10-PRFV-8.2	0,5	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,540
AL-200-10-PRFV-8.3	0,5	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,540
AL-200-10-PRFV-8.4	0,5	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,540
AF-150-10-PRFV-9.1	0,75	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,790
AF-150-10-PRFV-9.2	0,75	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,790
AF-150-10-PRFV-9.3	0,75	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,790
AF-150-10-PRFV-9.4	0,75	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,790
AM-250-10-PRFV-10.0	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,04
AF-250-10-PRFV-11.0	0,6(2)	2,0(8) D=259,3 mm 2,1(8) D=159,8 mm	-	-	-	-	-	-	-	34
AF-200-10-PRFV-12.1	-	2,7	-	-	-	0,04	-	-	-	2,740
AF-200-10-PRFV-12.2	-	2,7	-	-	-	0,04	-	-	-	2,740
AF-200-10-PRFV-13.1	-	2,7(2)	-	-	-	0,04	-	-	-	5,440
AF-200-10-PRFV-13.2	-	2,7(2)	-	-	-	0,04	-	-	-	5,440
AF-250-10-PRFV-14.0	-	1,75	-	-	-	0,04	-	0	-	1,790
AF-250-10-PRFV-15.0	-	2,0	-	-	-	0,04	-	-	-	2,040
AT-200-10-PRFV-16.0	0,25	-	-	2,0	-	0,04	-	-	-	2,290
AT-350-10-PRFV-17.0	-	0,08(2)	-	-	-	0,04	-	-	-	0,200
ATLQ-250-10-PRFV-18.0	0,25	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,290
ALQ-250-10-PRFV-19.0	0,09	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,130
ALQ-250-10-PRFV-20.0	0,25	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,290
ALQ-250-10-PRFV-21.0	0,25	-	-	2,0	-	0,04	-	-	-	2,290
AT-350-10-PRFV-22.0	0,25(4)	0,08	-	-	-	0,04	-	-	-	1,120
AT-350-10-PRFV-23.0	0,25	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,290
AT-200-10-PRFV-24.0	0,25(2)	-	-	2,0	-	0,04	-	-	-	2,540
AT-200-10-PRFV-25.0	0,25	-	-	2,0	-	0,04	-	-	-	2,290
AT-350-10-PRFV-26.0	-	0,08	-	0,25	-	-	-	-	-	0,330
AT-350-10-PRFV-27.0	0,25(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000
AT-63,5-PVC-28.0	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,400
AP-273,10-sch40-SS-29.0	-	-	0,5	-	-	-	0,06	-	2,0	2,560
AP-168,28-sch40-SS-30.0	0,4	0,9(6)	-	-	-	-	-	-	-	5,800

AP-48,26-sch40-SS-31.0	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
AP-219,08-sch40-SS-32.0	0,3	0,6(4)	-	-	-	-	-	-	-	2,7
AP-219,08-sch40-SS-33.0	-	0,3(3)	-	-	-	-	-	-	-	0,9
AP-114,3-sch40-SS-34.0	0,3	0,2(8)	-	-	-	-	-	-	-	1,9
AP-26,67-sch40-SS-35.0	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4

Tabla [A.6.R.4]: Constante “K” para accesorios.

Por ejemplo, para el tramo AM-200-10-PRFV-1.1, el valor de las pérdidas de carga singulares serán:

Datos:

$$V = 1,998 \text{ m/s}$$

$$\Sigma K = 4,525$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Sustituyendo en la ecuación [A.6.12], obtenemos las pérdidas singulares para el tramo de tubería de aspiración de agua de mar:

$$(h_f)_s = \Sigma K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 4,525 \cdot \frac{1,998^2}{2 \cdot 9,81} = 0,850 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga singulares para el resto de tuberías de la instalación se obtienen de forma similar. En la siguiente tabla se muestran las pérdidas lineales, singulares y totales de cada línea de la instalación.

TRAMOS	V _{fluido} (m/s)	ΣK	(h _f) _s (m)	(h _f) _L (m)	(h _f) _T (m)
AM-200-10-PRFV-1.1	1,998	4,525	0,850	0,067	0,917
AM-200-10-PRFV-1.2	1,998	4,525	0,850	0,067	0,917
AM-200-10-PRFV-1.3	1,998	4,525	0,850	0,067	0,917
AM-200-10-PRFV-2.1	1,998	17,715	3,605	0,022	3,627
AM-200-10-PRFV-2.2	1,998	17,715	3,605	0,022	3,627
AM-200-10-PRFV-2.3	1,998	17,715	3,605	0,022	3,627
AM-300-10-PRFV-3.0	2,708	7,600	2,841	1,578	4,419
AM-150-10-PRFV-4.1	2,586	6,280	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-4.2	2,586	6,280	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-4.3	2,586	6,280	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-4.4	2,586	6,280	2,140	0,026	2,166
AM-150-10-PRFV-5.1	1,688	1,190	0,173	0,013	0,186
AM-150-10-PRFV-5.2	1,688	1,190	0,173	0,013	0,186
AM-150-10-PRFV-5.3	1,688	1,190	0,173	0,013	0,186
AM-150-10-PRFV-5.4	1,688	1,190	0,173	0,013	0,186
AL-200-10-PRFV-6.0	2,081	0,04	0,009	0,056	0,065
AF-150-10-PRFV-7.1	2,586	1,650	0,240	0,105	0,345

Diseño de una Planta Desaladora por Ósmosis Inversa en la Isla de Fuerteventura

AF-150-10-PRFV-7.2	2,586	1,650	0,240	0,105	0,345
AF-150-10-PRFV-7.3	2,586	1,650	0,240	0,105	0,345
AF-150-10-PRFV-7.4	2,586	1,650	0,240	0,105	0,345
AL-200-10-PRFV-8.1	2,081	0,540	0,119	0,006	0,125
AL-200-10-PRFV-8.2	2,081	0,540	0,119	0,006	0,125
AL-200-10-PRFV-8.3	2,081	0,540	0,119	0,006	0,125
AL-200-10-PRFV-8.4	2,081	0,540	0,119	0,006	0,125
AF-150-10-PRFV-9.1	2,586	0,790	0,269	0,013	0,282
AF-150-10-PRFV-9.2	2,586	0,790	0,269	0,013	0,282
AF-150-10-PRFV-9.3	2,586	0,790	0,269	0,013	0,282
AF-150-10-PRFV-9.4	2,586	0,790	0,269	0,013	0,282
AM-250-10-PRFV-10.0	2,565	0,04	0,013	0,106	0,119
AF-250-10-PRFV-11.0	2,565	34	11,400	0,366	11,766
AF-200-10-PRFV-12.1	1,957	2,740	0,535	0,005	0,540
AF-200-10-PRFV-12.2	1,957	2,740	0,535	0,005	0,540
AF-200-10-PRFV-13.1	1,957	5,440	1,062	0,006	1,068
AF-200-10-PRFV-13.2	1,957	5,440	1,062	0,006	1,068
AF-250-10-PRFV-14.0	2,565	1,790	0,600	0,019	0,619
AF-250-10-PRFV-15.0	2,565	2,040	0,684	0,279	0,963
AT-200-10-PRFV-16.0	1,840	2,290	0,395	0,039	0,434
AT-350-10-PRFV-17.0	2,471	0,200	0,062	0,146	0,208
ATLQ-250-10-PRFV-18.0	2,225	0,290	0,073	0,058	0,131
ALQ-250-10-PRFV-19.0	2,225	0,130	0,033	0,005	0,038
ALQ-250-10-PRFV-20.0	2,225	0,290	0,073	0,073	0,146
ALQ-250-10-PRFV-21.0	2,225	2,290	0,578	0,058	0,636
AT-350-10-PRFV-22.0	2,471	1,120	0,349	0,073	0,422
AT-350-10-PRFV-23.0	2,471	0,290	0,090	0,073	0,163
AT-200-10-PRFV-24.0	1,840	2,540	0,438	0,020	0,458
AT-200-10-PRFV-25.0	1,840	2,290	0,395	0,015	0,410
AT-350-10-PRFV-26.0	2,471	0,330	0,103	0,037	0,140
AT-200-10-PRFV-27.1	1,840	1,000	0,172	14,647	14,819
AT-200-10-PRFV-27.2	1,840	1,000	0,172	14,647	14,819
AT-200-10-PRFV-27.3	1,840	1,000	0,172	14,647	14,819
AT-200-10-PRFV-27.4	1,840	1,000	0,172	14,647	14,819
AT-63,5-PVC-28.0	0,003	0,400	0,005	0,007	0,012
AP-273,10-sch40-SS-29.0	3,000	2,560	1,174	0,058	1,232
AP-168,28-sch40-SS-30.0	3,000	5,800	2,661	0,157	2,818
AP-48,26-sch40-SS-31.0	3,000	0,400	0,183	0,244	0,427
AP-219,08-sch40-SS-32.0	3,000	2,700	1,239	0,312	1,551
AP-219,08-sch40-SS-33.0	3,000	0,900	0,409	0,068	0,477
AP-114,3-sch40-SS-34.0	3,000	1,900	0,864	0,224	1,088
AP-26,67-sch40-SS-35.0	3,000	0,400	0,183	0,442	0,605

Tabla [A.6.R.5]: Pérdidas de carga singulares y totales de la instalación.

A.6.2.2. CARGA O ALTURA ÚTIL Y SELECCIÓN DE LAS BOMBAS

▪ BOMBA DE CAPTACIÓN

La bomba de captación se encarga de impulsar el agua desde la zona de captación de agua de mar hasta el depósito intermedio de agua bruta, a través de los tramos AM-200-10-PRFV-1.1,1.2,1.3 , AM-200-10-PRFV-2.1,2.2,2.3 y AM-300-10-PRFV.3.0.

Para su elección, necesitamos conocer el caudal y la carga que deberá desarrollar. Para ello se resuelve el Balance de Energía Mecánica para un flujo no viscoso, incompresible unidimensional, teniendo en cuenta las pérdidas de carga, definidas en el **ANEXO A.6.2.1** de los cálculos hidráulicos. Resolviendo dicho balance (Ecuación A.6.8], obtenemos la carga que debe desarrollar dicha bomba.

$$W = \left(H + \frac{P_B - P_A}{\rho} + z_B - z_A + \frac{v_B^2 - v_A^2}{2 \cdot g} \right) \quad [A.6.8]$$

El caudal que debe aportar cada bomba es de 248,930 m³/h. La carga que debe realizar dicha bomba a partir de la ecuación de Bernoulli, donde el punto A se encuentra en la boca de la tubería sumergida 12 metros y el punto B en la salida de la conducción al depósito intermedio de agua bruta.

La velocidad en el punto A es la de la superficie y por tanto se considera igual a cero, y en el punto B será la que lleve el fluido en la conducción.

La altura geométrica que mide la pérdida de carga debido a la diferencia de cotas entre la captación en los pozos y el vaciado a depósito y tomando como cota cero la boca del pozo. Esta toma un valor de 32 metros.

La presión en B será igual a la atmosférica y en A vendrá dada por la siguiente expresión:

$$P_A = \rho \cdot h + P_{atm} = 1.024,6 \cdot 12 + 10.332,3 = 22.627,5 \frac{Kg}{m^2} = 22,627m$$

Las pérdidas de carga desde la aspiración de la bomba de captación hasta el depósito intermedio, calculadas en el apartado 6.2.1, se resumen en la siguiente tabla:

TRAMOS	H (m)
AM-200-10-PRFV-1.1	0,917
AM-200-10-PRFV-1.2	0,917
AM-200-10-PRFV-1.3	0,917
AM-200-10-PRFV-2.1	3,627
AM-200-10-PRFV-2.2	3,627
AM-200-10-PRFV-2.3	3,627
AM-300-10-PRFV-3.0	4,419
H_T(m)	18,051

Tabla [A.6.R.6]: Pérdidas de carga debidas a la conducción.

Por tanto, resumiendo tenemos los siguientes datos:

- **Punto A:** Boca de tubería sumergida.

$$v_A = 0 \text{ m/s}$$

$$z_A = -12 \text{ m}$$

$$P_A = 22.627,5 \text{ Kg/m}^2 = 22,627 \text{ m}$$

- **Punto B:** Salida de la conducción al depósito intermedio.

$$v_B = 1,998 \text{ m/s}$$

$$z_B = +20 \text{ m}$$

$$P_B = 10.332,3 \text{ Kg/m}^2 = 10,332 \text{ m}$$

Sustituyendo en el Balance de Energía Mecánica, ecuación [A.6.8], obtenemos:

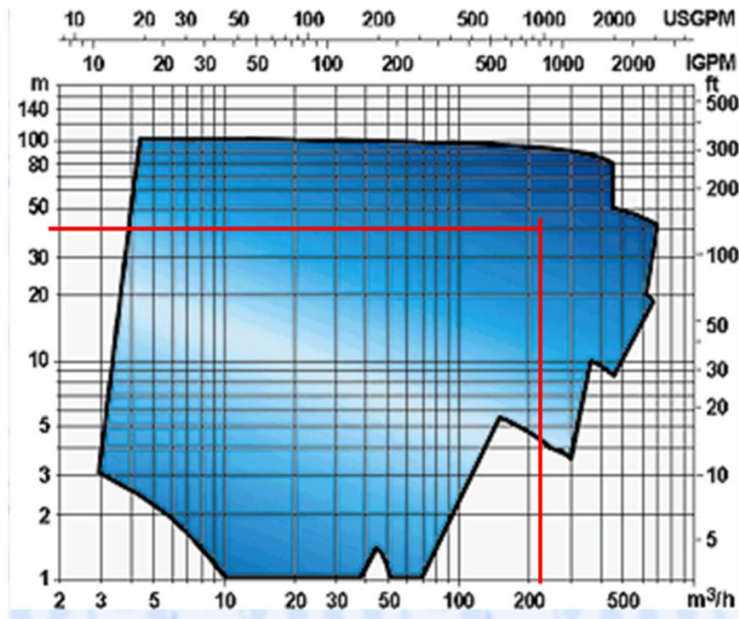
$$W = \left(18,051 + \frac{10.332,3 - 22.627,5}{1.024,6} + (20 - (-12)) + \frac{1,998^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 38,254 \text{ m}$$

La bomba debe impulsar un caudal de 248,930 m³/h y realizar una carga mínima de 38,254 m.

La bomba seleccionada es suministrada por la empresa BOMBAS ITUR, S.A., modelo INP. Se tratan de bombas centrífugas. Permite impulsor cerrado o semiabierto, permite inductor para mejorar el NPSH_r. Se puede utilizar con fluidos limpios o agresivos, a bajas concentraciones de partículas sólidas. Presenta un diseño de proceso que permite retirar el impulsor sin soltar las tuberías ni el motor. El material de construcción es ACERO AISI 316. Las prestaciones máximas son:

- Caudal = 1.500 m³/h
- Altura = 100 m
- Presión = 10 bar
- Temperatura = -5+120 °C
- Revoluciones = 3.000 min⁻¹

La curva de operación de esta bomba es la que se muestra a continuación:



Gráfica A.6.2.2-a: Curva de operación bomba de captación ITUR, modelo RW.

Fuente: www.itur.es

▪ BOMBAS DE TRASVASE

Bomba impulsión agua de alimentación

Su objetivo es llevar el agua bruta desde el tanque intermedio hasta las bombas de alta presión. Resolveremos el Balance de Energía Mecánica, ecuación [A.6.8] para este tramo, donde el punto A estará situado en la superficie del depósito intermedio y el punto B en la aspiración de la bomba de alta presión.

El punto A estará situado en la boca de la conducción sumergida a 3 metros, la velocidad se considerará cero y la superficie del depósito se tomará como cota de referencia. En el punto B la presión será igual a la atmosférica. La velocidad de B será la del fluido en el conducto de aspiración de la bomba de alta presión y la altura de B será -1,5 metros, suponiendo que el tanque está lleno.

El caudal aportado debe ser el perteneciente a una única línea, 487,589 m³/h, ya que se instalará una bomba de transvase por línea.

Las pérdidas de carga desde el depósito intermedio hasta la bomba de alta presión se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	H (m)
AM-150-10-PRFV-4.1	2,166
AM-150-10-PRFV-4.2	2,166
AM-150-10-PRFV-4.3	2,166
AM-150-10-PRFV-4.4	2,166
AM-150-10-PRFV-5.1	0,186
AM-150-10-PRFV-5.2	0,186
AM-150-10-PRFV-5.3	0,186
AM-150-10-PRFV-5.4	0,186
AL-200-10-PRFV-6.0	0,065
AF-150-10-PRFV-7.1	0,345
AF-150-10-PRFV-7.2	0,345
AF-150-10-PRFV-7.3	0,345
AF-150-10-PRFV-7.4	0,345
AL-200-10-PRFV-8.1	0,125
AL-200-10-PRFV-8.2	0,125
AL-200-10-PRFV-8.3	0,125
AL-200-10-PRFV-8.4	0,125
AF-150-10-PRFV-9.1	0,282
AF-150-10-PRFV-9.2	0,282
AF-150-10-PRFV-9.3	0,282
AF-150-10-PRFV-9.4	0,282
AM-250-10-PRFV-10.0	0,119
AF-250-10-PRFV-11.0	11,766
AF-250-10-PRFV-12.1	0,540
AF-250-10-PRFV-12.2	0,540
AF-250-10-PRFV-13.1	1,068
AF-250-10-PRFV-13.2	1,068
AF-250-10-PRFV-14.0	0,615
AF-250-10-PRFV-15.0	0,963
Unidad filtros de arena	0,00586
Unidad filtros de cartucho	10
H_T (m)	39,166

Tabla [A.6.R.7]: Pérdidas de carga debidas a la conducción y a equipos de filtración.

Por tanto, resumiendo tenemos los siguientes datos:

- **Punto A:** Boca de la conducción sumergida.

$$v_A = 0 \text{ m/s}$$

$$z_A = -3 \text{ m}$$

$$P_A = 1024,6 \cdot 3 + 10.332,3 = 13.406,1 \text{ Kg/m}^2 = 13,406 \text{ m}$$

- **Punto B:** Aspiración bomba de alta presión.

$$v_B = 2,565 \text{ m/s}$$

$$z_B = -1,5 \text{ m}$$

$$P_B = 10.332,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 10,332 \text{ m}$$

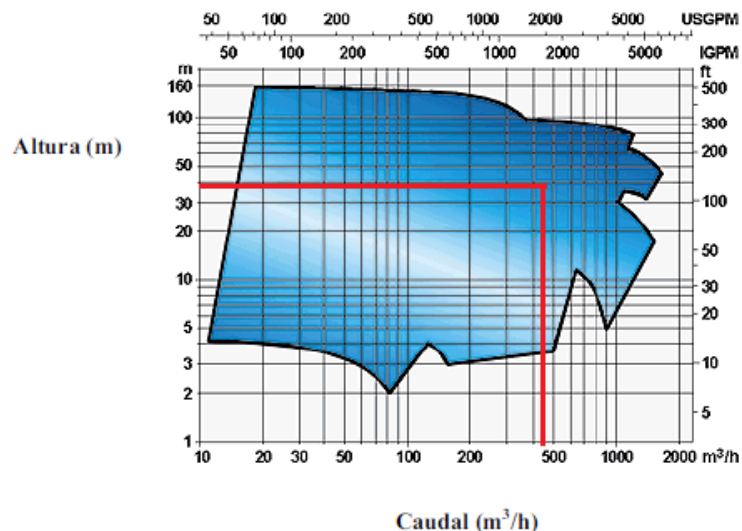
Sustituyendo en el Balance de Energía Mecánica, ecuación [A.6.8], obtenemos:

$$W = \left(39,166 + \frac{10.332,3 - 13.406,1}{1.024,6} + (-1,5 - (-3)) + \frac{2,565^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 38,001 \text{ m}$$

La bomba debe impulsar un caudal de 487,589 m³/h y realizar una carga mínima de 38,001 m. La bomba seleccionada es suministrada por la empresa BOMBAS ITUR, S.A., modelo INP. Se trata de bombas centrífugas. Permite impulsor cerrado o semiabierto, permite inductor para mejorar el NPSH_r. Las prestaciones máximas son:

- Caudal = 1.500 m³/h
- Altura = 100 m
- Presión = 10 bar
- Temperatura = -5+120 °C
- Revoluciones = 3.000 min⁻¹

La curva de operación de esta bomba es la que se muestra a continuación:



Gráfica A.6.2.2-b: Curva de operación bomba de transvase ITUR, modelo INP.

Fuente: www.itur.es

Bomba impulsión permeado.

El objetivo esta bomba es transportar el permeado obtenido en los bastidores de ósmosis inversa hasta el depósito de agua producto. Necesitamos resolver el Balance de Energía Mecánica en este tramo y obtener el valor de carga de la bomba. El punto A estará situado en la salida de los bastidores de ósmosis inversa y el punto B en la superficie del agua en el depósito de agua producto. Tomaremos como cota cero la superficie superior de la unidad de ósmosis inversa.

En el punto A la presión será la de salida de permeado de los tubos de presión, que tiene un valor de 0,5 bar (5,1 kg/m²), la velocidad será la que lleva la conducción que recoge el permeado (1,840 m/s).

En el punto B la presión será la atmosférica y la velocidad la de la conducción de entrada al tanque de agua producto (2,471 m/s). La altura, suponiendo el tanque lleno, será de 18,640 m.

El caudal aportado es el caudal total de permeado, 916,667 m³/h.

Las pérdidas de carga desde la salida de permeado de los bastidores de ósmosis inversa hasta el depósito de agua producto se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	H (m)
AT-200-10-PRFV-16.0	0,434
AT-350-10-PRFV-17.0	0,208
AT-350-10-PRFV-22.0	0,422
AT-350-10-PRFV-23.0	0,163
AT-200-10-PRFV-24.0	4 x 0,458 = 1,832
AT-200-10-PRFV-25.0	4 x 0,410 = 1,640
AT-350-10-PRFV-26.0	0,141
AT-63,5-PVC-28.0	0,012
H_T (m)	4,852

Tabla [A.6.R.8]: Pérdidas de carga debidas a la conducción.

Por tanto, resumiendo tenemos los siguientes datos:

- **Punto A:** Salida de los bastidores de ósmosis inversa.

$$v_A = 1,840 \frac{m}{s}$$

$$z_A = 1m$$

$$P_A = 1.024,6 \cdot 5,1 + 10.332,3 = 15.557,76 \frac{Kg}{m^2} = 15,56m$$

- **Punto B:** Superficie depósito agua producto.

$$v_B = 2,471 \frac{m}{s}$$

$$z_B = 18,640m$$

$$P_B = 10.332,3 \frac{Kg}{m^2} = 10,332m$$

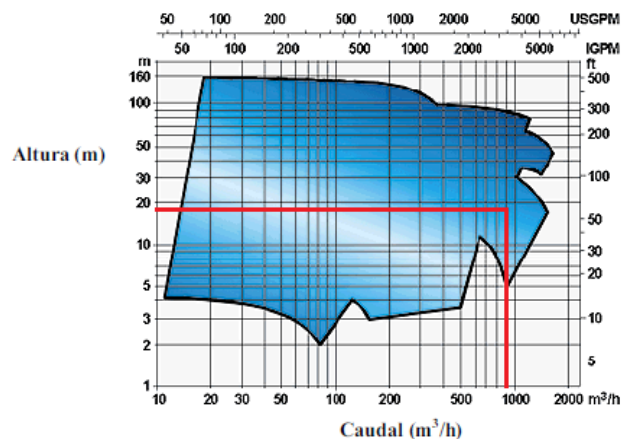
Sustituyendo en Bernoulli, ecuación [A.6.8], obtenemos:

$$W = \left(4,852 + \frac{10.332,3 - 15.557,76}{1.024,6} + (18,640 - 1,0) + \frac{2,471^2 - 1,840^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 17,531m$$

La bomba debe impulsar un caudal de 916,667 m³/h y realizar un trabajo mínimo de 17,531 m. La bomba seleccionada es suministrada por la empresa BOMBAS ITUR, S.A., modelo INP. Se trata de bombas centrífugas. Permite impulsor cerrado o semiabierto, permite inductor para mejorar el NPSH_r. Se puede utilizar con fluidos limpios, o agresivos, o bajas concentraciones de partículas sólidas. Presenta un diseño de proceso que permite retirar el impulsor sin soltar las tuberías ni el motor. El material de construcción es acero AISI-316. Las prestaciones máximas son:

- Caudal = 1.500 m³/h
- Altura = 100 m
- Presión = 10 bar
- Temperatura = -5+120 °C
- Revoluciones = 3.000 min⁻¹

La curva de operación de esta bomba es la que se muestra a continuación:



Gráfica A.6.2.2-c: Curva de operación bomba de transvase ITUR, modelo INP.

Fuente: www.itur.es

Bomba impulsión agua producto.

El objetivo de esta bomba es impulsar el agua producto desde su depósito de almacenamiento hasta la acometida de abastecimiento urbano, situados a una distancia de 1.500 m.

El punto A estará situado a la salida del depósito de agua producto y el punto B en la terminación de la conducción desde donde cae a los depósitos urbanos de abastecimiento.

La presión en el punto A será la de salida del agua producto y la de B la atmosférica.

La velocidad en el punto A se considerará 0 y en el punto B la que lleva el flujo por el tramo de conducción desde el depósito de agua producto hasta la acometida de abastecimiento urbano (tramo AT-350-10-PRFV-27.0), que tiene un valor de 1,840 m/s.

La cota de referencia estará situada en la salida del depósito de agua producto y el punto B se situará 45 m por encima de éste.

El caudal aportado debe ser el total, dividido entre cuatro, que es el número de líneas (229,167 m³/h).

Sustituyendo en la ecuación de Bernouilli ,[A.6.8], obtenemos el valor de la carga que deberá realizar dicha bomba.

Antes de resolver el Balance de Energía Mecánica, necesitamos conocer el valor de la pérdida de carga en el tramo que va desde el depósito de agua producto hasta la acometida de abastecimiento urbano. Dichas pérdidas se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	H (m)
AT-200-10-PRFV-27.1	14,819
H_T (m)	14,819

Tabla [A.6.R.8]: Pérdidas de carga debidas a la conducción de permeado desde depósito de agua producto hasta acometida de abastecimiento urbano.

Por tanto, resumiendo tenemos los siguientes datos:

- **Punto A:** Salida depósito de agua producto.

$$v_A = 0 \text{ m/s}$$

$$z_A = 0 \text{ m}$$

$$P_A = 1.024,6 \cdot 18,640 + 10.332,3 = 29.430,844 \text{ Kg/m}^2 = 29,430 \text{ m}$$

- **Punto B:** Terminación de la conducción a depósito de abastecimiento urbano.

$$v_B = 1,840 \frac{m}{s}$$

$$z_B = 45m$$

$$P_B = 10.332,3 \frac{Kg}{m^2} = 10,332m$$

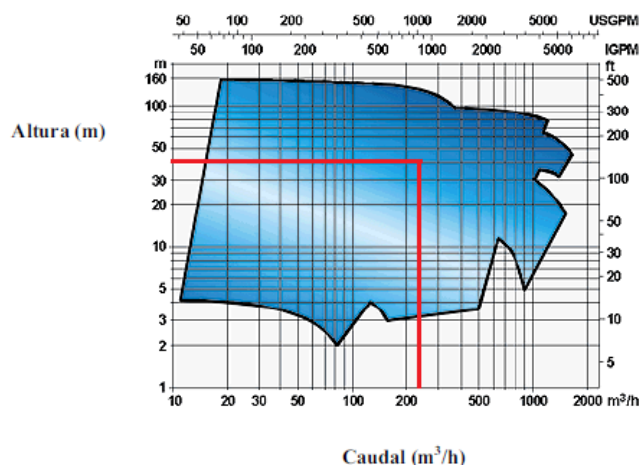
Sustituyendo en Bernouilli, ecuación [A.6.8], obtenemos:

$$W = \left(14,819 + \frac{10.332,3 - 29.430,844}{1.024,6} + 45 + \frac{1,840^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 41,352m$$

La bomba debe impulsar un caudal de 229,167 m³/h y realizar una carga mínima de 41,352 m. La bomba seleccionada es suministrada por la empresa BOMBAS ITUR,S.A., modelo INP. Se trata de bombas centrífugas. Permite impulsor cerrado o semiabierto, permite inductor para mejorar el NPSH_r. Se puede utilizar con fluidos limpios, o agresivos, o bajas concentraciones de partículas sólidas. Presenta un diseño de proceso que permite retirar el impulsor sin soltar las tuberías ni el motor. El material de construcción es acero AISI-316. Las prestaciones máximas son:

- Caudal = 1.500 m³/h
- Altura = 100 m
- Presión = 10 bar
- Temperatura = -5+120 °C
- Revoluciones = 3.000 min⁻¹

La curva de operación de esta bomba es la que se muestra a continuación:



Gráfica A.6.2.2-d: Curva de operación bomba de transvase ITUR, modelo INP.

Fuente: www.itur.es.

▪ **BOMBA DE LAVADO QUÍMICO DE LA MEMBRANA**

Como se detalló en el **ANEXO 7 (dimensionado de depósitos)** de este proyecto, los fabricantes de membrana aconsejan un caudal de trabajo entre 6 y 9 m³/h por cada tubo de presión. Se seleccionó 9 m³/h por ser el más restrictivo y así conseguir el efecto de barrido deseado, lo que se mostró que se necesitará un caudal de lavado de membranas de 423 m³/h.

En dicho anexo se hace además referencia a las presiones de lavado, las cuales se encuentran habitualmente entre 3 y 5 kg/cm², según fabricantes de membranas. La presión de lavado seleccionada en nuestro caso será de 4 Kg./cm².

El punto A estará situado a la salida del depósito de lavado de las membranas y el punto B en la entrada a los bastidores de ósmosis inversa.

La presión en el punto A será la presión atmosférica y en el punto B la recomendada por fabricantes de membrana, que en nuestro caso tomaremos un valor de 4 Kg./cm².

La velocidad en el punto A será 0 m/s y en el punto B será la que lleva la conducción de lavado de membranas, que tendrá un valor de 2,225 m/s.

La cota de referencia estará situada en la entrada a los bastidores de membrana (punto B) y z_A tendrá un valor de 2,882 m.

Antes de resolver el Balance de Energía Mecánica, necesitamos conocer el valor de la pérdida de carga en el tramo que va desde el depósito de lavado químico de las membranas hasta la entrada a los bastidores ósmosis inversa. Dichas pérdidas se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	H (m)
ALQ-250-10-PRFV-20.0	0,146
ALQ-250-10-PRFV-21.0	0,636
Unidad filtros de cartucho	5,0
H_T(m)	5,782

Tabla [A.6.R.9]: Pérdidas de carga debidas a la conducción y a equipos de filtración.

Por tanto, resumiendo tenemos los siguientes datos:

- **Punto A:** Salida depósito lavado membranas.

$$v_A = 0 \text{ m/s}$$

$$z_A = 2,882 \text{ m}$$

$$P_A = 1.024,6 \cdot 2,882 + 10.332,3 = 13.285,197 \text{ Kg/m}^2 = 13,285 \text{ m}$$

- **Punto B:** Entrada bastidores ósmosis inversa.

$$v_B = 2,225 \text{ m/s}$$

$$z_B = 0m$$

$$P_B = 4,0 \frac{Kg}{cm^2} = 40.000 \frac{Kg}{m^2}$$

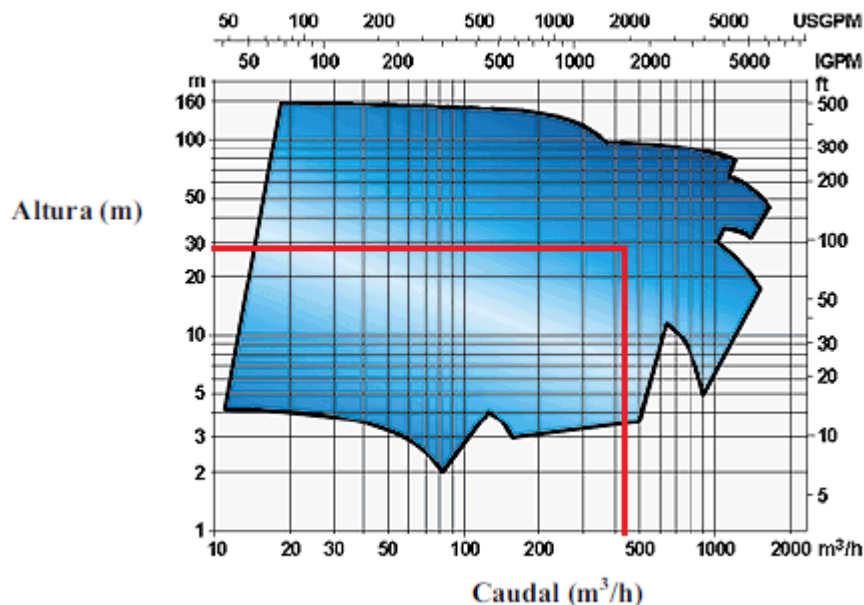
Sustituyendo en Bernouilli, ecuación [A.6.8], obtenemos:

$$W = \left(5,782 + \frac{40.000 - 13.285,197}{1.024,6} - 2,882 + \frac{2,225^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 29,226m$$

La bomba debe impulsar un caudal de 423 m³/h y realizar una carga mínima de 29,226 m. La bomba seleccionada es suministrada por la empresa BOMBAS ITUR,S.A., modelo INP. Se trata de bombas centrífugas. Permite impulsor cerrado o semiabierto, permite inductor para mejorar el NPSH_r. Se puede utilizar con fluidos limpios, o agresivos, o bajas concentraciones de partículas sólidas. Presenta un diseño de proceso que permite retirar el impulsor sin soltar las tuberías ni el motor. El material de construcción es acero AISI-316. Las prestaciones máximas son:

- Caudal = 1.500 m³/h
- Altura = 100 m
- Presión = 10 bar
- Temperatura = -5+120 °C
- Revoluciones = 3.000 min⁻¹

La curva de operación de esta bomba es la que se muestra a continuación:



Gráfica A.6.2.2-e: Curva de operación bomba de transvase ITUR, modelo INP.

Fuente: www.itur.es.

▪ **BOMBAS DOSIFICADORAS DE PRODUCTOS QUÍMICOS**

Como se expuso en el **ANEXO 2: PRETRATAMIENTOS** y en el **ANEXO 5: DIMENSIONADO DEL LECHO DE CALCITA**, los reactivos dosificados son: ácido policarboxílico neutralizado (Genesys SW) como antiincrustante, bisulfito sódico como reductor, hipoclorito sódico (NaClO) como desinfectante.

Dichos reactivos serán inyectados en línea a través de bombas dosificadoras. En la siguiente tabla se muestran los caudales que serán dosificados de cada producto químico usado en la planta:

REACTIVO QUÍMICO	CAUDAL	
Ácido policarboxílico neutralizado (GENESYS SW)	1,458 L/h	0,024 L/min
Bisulfito sódico	2,708 L/h	0,045 L/min
Hipoclorito sódico (NaClO)	8,750 L/h	0,146 L/min

Tabla [A.6.R.10]: Caudal de dosificación de productos químicos.

Las bombas dosificadoras seleccionadas son suministradas por la empresa DOSAPRO MILTRON ROY, serie GA. Estas bombas pueden operar en continuo durante 24 horas diarias. El cárter está fabricado de un material compuesto reforzado con fibra de vidrio, lo que le confiere gran resistencia a la corrosión. Las prestaciones máximas de esta bomba son:

- Caudal hasta 170 L/h.
- Presión hasta 12 bares.
- Membrana de accionamiento mecánico.
- Regulación del caudal por excéntrica variable.

▪ **BOMBA DE ALTA PRESIÓN**

El objetivo de la bomba de alta presión será suministrar el caudal de alimentación a los bastidores de ósmosis inversa. El diseño del proceso de ósmosis inversa se ha descrito en cuatro líneas, con una etapa cada línea.

El caudal a suministrar por dicha bomba lo hará a través de los siguientes tramos de tubería: AP-273,1-sch40-SS-29.0, AP-168,28-sch40-SS-30.0 y AP-48,26-sch40-SS-31.0.

Para la elección de la bomba de alta presión necesitamos conocer el caudal y la carga que deberá desarrollar dicha bomba. Para ello aplicamos la ecuación de Bernouilli (ecuación [A.6.8]).

El caudal que debe aportar es de 487,589 m³/h. La carga a partir de Bernouilli, donde el punto A se localiza en la boca de impulsión de la bomba y el punto B en la entrada de los bastidores.

La diferencia de presión entre el punto B y el punto A deberá ser la estipulada como necesaria para realizar la ósmosis inversa. Dicha presión se calculó en el **ANEXO 3 (DIMENSIONADO UNIDAD ÓSMOSIS INVERSA)** y toma un valor aproximado de 55 bares.

La velocidad en ambos puntos, A y B, será la misma, no se considerará en los cálculos de la altura útil o trabajo de la bomba. La altura geométrica del punto A se consirará como cota cero, lo que nos proporciona una cota de 1,0 m para el punto B.

Las pérdidas de carga en los tramos de tubería mencionada anteriormente se muestran en la siguiente tabla:

TRAMOS	H (m)
AP-273,1-sch40-SS-29.0	1,232
AP-168,28-sch40-SS-30.0	2,818
AP-48,26-sch40-SS-31.0	0,427
H_T(m)	4,477

Tabla [A.6.R.11]: Pérdida de carga debida a la conducción.

Por tanto, resumiendo tenemos los siguientes datos:

- **Punto A:** Boca de impulsión de la boca de la bomba de alta presión.

$$v_A = v_B$$

$$z_A = 0m$$

$$\frac{P_A - P_B}{\rho} = 55bar = 560,86m$$

- **Punto B:** Entrada de los bastidores.

$$v_B = v_A \frac{m}{s}$$

$$z_B = 1,0m$$

Sustituyendo en Bernouilli, ecuación [A.6.8], obtenemos:

$$W = (4,477 + 560,86 + 1,0) = 566,77m$$

La bomba debe impulsar un caudal de 487,589 m³/h y realizar un carga mínima de 566,770 m. La bomba seleccionada es suministrada por la empresa HIDROTECAR BOMBAS, S.A., modelo LE. Estas bombas son las denominadas “bombas de alta presión”. Se trata de bombas centrífugas horizontales multicelulares, con los rodets de palas helicoidales de aspiración simple. Así mismo, estas bombas constan de un dispositivo de compensación del empuje axial con plato de compensación. La carcasa está compuesta por los cuerpos de

aspiración e impulsión y los cuerpos intermedios. El rotor de la bomba se sustenta sobre dos cojinetes de deslizamiento, lubricados por aceite y puede girar a derechaso a izquierdas. Las prestaciones máximas para esta bomba son:

- Caudal = $700 \text{ m}^3/\text{h}$
- Altura = 600 m
- Presión = 98,07 bar
- Temperatura = $160 \text{ }^\circ\text{C}$
- Revoluciones = 1.500 min^{-1}

ANEXO 7: DIMENSIONADO DE DEPÓSITOS

A.7.1. DEPÓSITO INTERMEDIO

Para asegurar el aporte continuo y sin fluctuaciones de agua a la planta se realiza la construcción de un depósito de hormigón armado a la entrada de la instalación.

El volumen del depósito debe ser lo suficientemente grande para garantizar como mínimo 2 horas el caudal de abastecimiento de las bombas de captación.

Para su dimensionado hay que tener en cuenta el caudal total de agua bruta a suministrar a la planta, es decir, hay que tener en cuenta el caudal de agua bruta de alimentación y el caudal de limpieza de los filtros de arena. Además debe tener una capacidad mínima para almacenar agua durante 2 horas.

Luego:

$$V_{\text{dep}} = V_F + V_{LF} \quad [\text{A.7.1}]$$

Dónde:

V_F es el volumen de agua bruta suministrado por las bombas de captación.

V_{LF} es el volumen necesario para el lavado de los filtros de arena.

Cómo:

$$Q_F = 46.808,512 \text{ m}^3/\text{d} = 1950,355 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{LF} = 6220,8 \text{ m}^3/\text{d} = 259,200 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por tanto, aplicando la expresión [A.7.1], obtenemos que el volumen mínimo del depósito debe ser:

$$V_{\text{dep}} = (1950,355 + 259,200) \cdot 2 = 4419,110 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dep}} = 4.419.110 \text{ L}$$

Para facilitar la limpieza de estos depósitos se les da un desnivel. Por ello las dimensiones del depósito serán las que se indican a continuación en la **Figura A.7-a**:

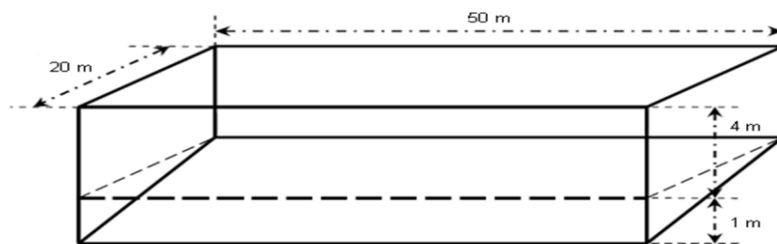


Figura A.7-a: Dimensiones depósito agua de alimentación

Estas dimensiones proporcionan una capacidad al depósito intermedio de:

$$V_{\text{dep}} = (50 \cdot 4 \cdot 20) + \frac{50 \cdot 1 \cdot 20}{2}$$

$$V_{\text{dep}} = 4.500.000\text{L}$$

A.7.2. DEPÓSITO DE EQUILIBRIO OSMÓTICO

Una vez que el permeado sale del bastidor de ósmosis inversa es conducido al depósito de equilibrio osmótico, y de allí, al depósito de agua producto tras su remineralización, antes de su bombeo final a las redes de distribución.

Como bien se detalla en el **CAPÍTULO 10** de la memoria descriptiva este depósito permite el desplazamiento de la salmuera de los tubos de presión ante paradas fortuitas de la instalación así como el empape de las membranas en agua producto.

La capacidad del depósito debe asegurar el total desplazamiento de la salmuera de los tubos de presión de los bastidores.

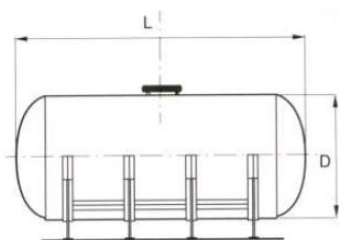
Conocidos:

- Número de tubos de presión por bastidor = 47
- Número de bastidores = 4
- Volumen útil del tubo de presión = 230 L

Por tanto la capacidad mínima que debe tener el depósito de equilibrio osmótico es:

$$V = 47 \cdot 4 \cdot 230 = 43.240 \text{ L}$$

El depósito elegido es de la empresa Auxiliar de Instalaciones Químicas S.A (AIQSA). Es un depósito horizontal del tipo H. Sus dimensiones se detallan a continuación en la **Tabla A.7-b**:



VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
45.000	3.000	6.826

Tabla A.7-b: Dimensiones del depósito de equilibrio osmótico

Fuente: Catálogo AIQSA

A.7.3. DEPÓSITO DE AGUA PRODUCTO

Este depósito es un depósito de almacenamiento del agua producto. Debe tener capacidad suficiente como para albergar la producción de un día durante 2 horas.

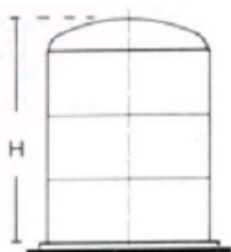
Por tanto, teniendo en cuenta que el caudal de agua producto es de 22.000 m³/d, el volumen mínimo que debe tener el depósito es:

$$V_{\text{dep}} = \frac{22.000 \cdot 2}{24} = 1833333 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dep}} = 1.833.333 \text{ L}$$

El depósito seleccionado debe tener unas características que no estropee las propiedades del agua producto. Por ello, el depósito elegido es de la empresa Auxiliar de Instalaciones Químicas S.A (AIQSA). Es del tipo BIG-TANK fabricado en poliéster reforzado de fibra de vidrio.

A continuación, en la **Tabla A.7-c** se muestra las características del depósito elegido:



VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
2.000.000	1200	18640

Tabla A.7-c: Dimensiones del depósito de agua producto

Fuente: Catálogo AIQSA

A.7.4. DEPÓSITO DE LAVADO QUÍMICO DE LAS MEMBRANAS

Para el cálculo de las dimensiones del depósito, se usará la expresión siguiente:

$$V_{\text{dep}} = V_{\text{bastidor}} + V_{\text{tuberías}}$$

Dónde, cómo se detalla en el **ANEXO 8** del presente proyecto:

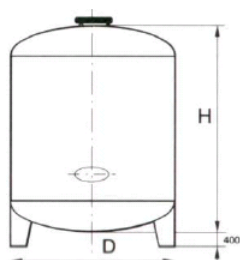
V_{bastidor} es el volumen de agua necesario para la limpieza del bastidor y es 10.810 L

$V_{\text{tuberías}}$ es el volumen de agua necesario para el circuito hidráulico y es 3.058 L

Luego:

$$V_{\text{dep}} = 10.810 + 3058 = 13.868 \text{ L}$$

El depósito elegido es de la empresa Auxiliar de Instalaciones Químicas S.A (AIQSA). El depósito es del tipo D. Sus dimensiones se detallan a continuación en la **Tabla A.7-c**:



VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
14.000	2.000	4.729
	2.250	3.909

Tabla A.7-b: Dimensiones del depósito de limpieza química

Fuente: Catálogo AIQSA

Como se puede ver en la **Tabla A.7-c**, para esta capacidad de 14.000 L tenemos la posibilidad de elegir la altura y el diámetro entre dos opciones. Como criterio de selección se impondrá la superficie de la planta. Por tanto, las dimensiones del depósito seleccionado serán:

VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
14.000	2.000	4.729

A.7.5. DEPÓSITOS DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Los depósitos de productos químicos serán únicos y abastecerán a todas las líneas de producción. Además deberán de poseer una capacidad mínima de abastecimiento de 20 días.

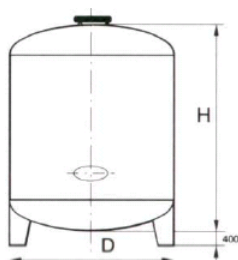
- **Depósito dosificación del antiincrustante**

El antiincrustante elegido es un ácido policarboxílico neutralizado. En el **ANEXO 2** del presente proyecto se ha determinado que el caudal necesario por línea de producción a aplicar es 0,035 m³/d. Por tanto, teniendo en cuenta que tenemos 4 líneas de producción en la planta, el caudal total necesario de antiincrustante a dosificar es 0,140 m³/d.

Luego, considerando los 20 días de retención, la capacidad mínima del depósito es:

$$V = 0,140 \cdot 20 = 2.8 \text{ m}^3 = 2800 \text{ L}$$

El depósito elegido es de la empresa Auxiliar de Instalaciones Químicas S.A (AIQSA). El tipo que mejor se ajusta a nuestras necesidades son los depósitos tipo D. Sus dimensiones se detallan a continuación en la **Tabla A.7-d**:



VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
3.000	1.200	2.855

Tabla A.7-d: Dimensiones del depósito del antiincrustante

Fuente: Catálogo AIQSA

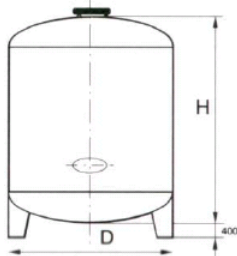
- **Depósito dosificación del reductor**

El reductor seleccionado es el bisulfito sódico. De la misma forma que con el antiincrustante, en el **ANEXO 2** se ha determinado que el caudal necesario por línea de producción a aplicar es 0,065 m³/d. Por tanto, teniendo en cuenta que tenemos 4 líneas de producción en la planta, el caudal total necesario de antiincrustante a dosificar es 0,260 m³/d.

Luego, considerando los 20 días de retención, la capacidad mínima del depósito es:

$$V = 0,260 \cdot 20 = 5.2 \text{ m}^3 = 5200 \text{ L}$$

El depósito elegido es de la empresa Auxiliar de Instalaciones Químicas S.A (AIQSA). El depósito elegido es tipo D. Sus dimensiones se detallan a continuación en la **tabla A.7-e**:



VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
6.000	1.400	4.171

Tabla A.7-e: Dimensiones del depósito del reductor

Fuente: Catálogo AIQSA

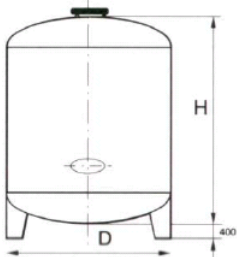
▪ **Depósito dosificación del hipoclorito sódico**

El agente desinfectante seleccionado es el hipoclorito sódico (NaClO). En el anexo 5 del presente proyecto se determina que el caudal necesario a aplicar es 0,210 m³/d.

Por tanto, considerando los 20 días de retención, la capacidad mínima del depósito es:

$$V = 0,210 \cdot 20 = 4.2 \text{ m}^3 = 4200 \text{ L}$$

El depósito elegido es de la empresa Auxiliar de Instalaciones Químicas S.A (AIQSA). El depósito seleccionado es tipo D. Sus dimensiones se detallan a continuación en la **Tabla A.7-f**:



VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
6.000	1.400	4.171

Tabla A.7-f: Dimensiones del depósito del hipoclorito sódico

Fuente: Catálogo AIQSA

ANEXO 8: SISTEMA DE LIMPIEZA QUÍMICA DE LAS MEMBRANAS

A.8.1 INTRODUCCIÓN

Cuando el rendimiento de una planta de ósmosis inversa desciende por debajo de unos determinados límites, es necesario proceder a la limpieza de las membranas para restaurar, si es posible, sus características iniciales de funcionamiento.

Es importante destacar que la limpieza de las membranas no puede considerarse como un procedimiento alternativo a un inadecuado pretratamiento, pues se necesitaría una limpieza química de las mismas constantes reduciendo consecuentemente su vida media de funcionamiento.

Tal y como se detalla en el **CAPÍTULO 10** de la memoria descriptiva, el sistema de lavado constará de un depósito químico, una bomba de lavado químico y 3 filtros de cartucho. Debido al tipo de incrustaciones que se tienen, se hará un lavado ácido con Genesol 37 (producto suministrado por la empresa Genesys).

A continuación se pueden ver los cálculos justificativos del dimensionado del sistema de lavado químico de las membranas.

A.8.2 DEPÓSITO DE LIMPIEZA QUÍMICA

Para el diseño del depósito de limpieza química deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Debe tener capacidad para almacenar al menos el volumen de agua necesario para llenar los tubos de presión, las membranas, todo el circuito hidráulico (tuberías de retorno e impulsión de reactivos) y el volumen de agua producto necesario para disolver los productos empleados para el lavado.
- Se deben aplicar caudales entre 6 y 9 m³/h por cada tubo de presión de 8'' para conseguir el efecto barrido deseado.
- Las presiones a utilizar durante el lavado deben estar entre 3 y 5 kg/cm².
- La velocidad en las tuberías debe estar entre 1 y 2 m/s.

Por tanto, según lo expuesto en los párrafos anteriores, para el cálculo de las dimensiones del depósito se usará la siguiente expresión:

$$V_{\text{dep}} = V_{\text{bastidor}} + V_{\text{tuberías}} \quad [\text{A.8.1}]$$

Dónde:

V_{bastidor} es el volumen de agua necesario para la limpieza del bastidor

$V_{\text{tuberías}}$ es el volumen de agua necesario para el circuito hidráulico

A continuación se van a determinar ambos volúmenes:

▪ **Volumen de agua necesario para la limpieza del bastidor**

Las dimensiones de la membrana son 40" de longitud y 8" de diámetro. Como tenemos 7 elementos de membrana por tubo de presión, las dimensiones del tubo son:

- Longitud = $7 \cdot 40" = 280" = 7,112 \text{ m}$
- Diámetro = $8" = 0,203 \text{ m}$

Por tanto el volumen útil por tubo de presión es:

$$V_{\text{tubo de presión}} = L \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad [\text{A.8.2}]$$

$$V_{\text{tubo de presión}} = 7,112 \cdot \frac{\pi \cdot 0,203^2}{4} = 0,230 \text{ m}^3 = 230\text{L}$$

Teniendo en cuenta que tenemos 47 tubos de presión:

$$V_{\text{bastidor}} = V_{\text{tubo de presión}} \cdot 47 \quad [\text{A.8.3}]$$

Sustituyendo en la expresión anterior obtenemos que el volumen de agua necesario para la limpieza del bastidor es de:

$$V_{\text{bastidor}} = 230 \cdot 47 = 10.810\text{L}$$

▪ **Volumen de agua necesario para el circuito hidráulico de lavado**

El volumen del sistema hidráulico se va a determinar aplicando la expresión [A.7.3] a cada una de las líneas que lo componen. Del **ANEXO 6** se tienen la longitud y el diámetro de cada tubería.

A continuación, en la **Tabla A.8-a** se resumen las líneas que componen el sistema hidráulico:

LÍNEA	DENOMINACIÓN
ATLQ-250-10-PRFV.18.0	Permeado para lavado químico
ALQ-250-10-PRFV.19.0	Salida depósito LQ a by-pass bombas LQ
ALQ-250-10-PRFV.20.0	By-pass a aspiración bomba LQ
ALQ-250-10-PRFV.21.0	Impulsión de la bomba de LQ

Tabla A.8-a: Líneas que componen el sistema hidráulico de lavado.

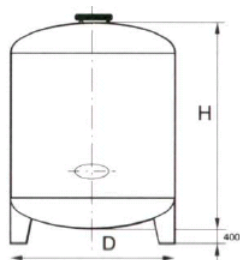
Del **ANEXO 6** del presente proyecto se tiene que el volumen total del sistema hidráulico del lavado de membranas es el siguiente:

$$V_{\text{tuberías}} = 3.058\text{L}$$

Finalmente aplicando la **expresión [A.8.1]** se determina que la capacidad mínima que debe tener el depósito de limpieza química de las membranas es:

$$V_{\text{dep}} = 10.810 + 3058 = 13.868\text{L}$$

El depósito elegido es de la empresa Auxiliar de Instalaciones Químicas S.A (AIQSA). El depósito es del tipo D. Sus dimensiones se detallan a continuación en la **Tabla A.8-b**:



VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
14.000	2.000	4.729
	2.250	3.909

Tabla A.7-b: Dimensiones del depósito de limpieza química

Fuente: Catálogo AIQSA

Como se puede ver en la **Tabla A.8-b**, para esta capacidad de 14.000 L tenemos la posibilidad de elegir la altura y el diámetro entre dos opciones. Como criterio de selección se impondrá la superficie de la planta. Por tanto, las dimensiones del depósito seleccionado serán:

VOLUMEN (L)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)
14.000	2.000	4.729

A.8.3 DOSIS DEL LIMPIADOR ÁCIDO

El fabricante de Genesol 37 recomienda preparar una disolución del 1-2%. Tomando un valor medio, 1,5%, se tiene que el volumen necesario de Genesol 37 para preparar los 14 m³ de disolución es 0,210 m³.

Conocido la densidad del Genesol 37:

- $\rho = 1.320 \text{ kg/m}^3$

Y por aplicación de la definición de densidad se tiene que los kg de producto a añadir para realizar la disolución es:

$$\text{kg Genesol 37} = 0,210 \cdot 1.320 = 277,2 \text{ kg}$$

A.8.4 BOMBA DE LAVADO QUÍMICO

El dimensionado de esta bomba puede verse en el **ANEXO 6** correspondiente al cálculo de la instalación hidráulica.

En la planta se instalará una Bomba centrífuga (más una de reserva) del fabricante ITUR, modelos INP.

A.8.5 FILTROS DE CARTUCHO

Tras la bomba de lavado químico y antes de la entrada al bastidor de ósmosis se colocan los filtros de cartucho. El objetivo de esta filtración es recoger las partículas que han sido arrancadas de las membranas con la solución ácida, de forma que durante la recirculación no vuelvan a entrar en la unidad.

Los filtros elegidos son los mismos que los que se tienen en el sistema de pretratamiento. Luego, conocido el caudal de lavado químico, 423 m³/h, y asumiendo caudales normales de operación de 0,7 m³/h por cartucho elemental de 250 mm, para unidades de 1250 mm tendremos que el caudal de operación es de 3,5 m³/h. A continuación se determina el número de filtros de cartuchos necesario por línea de operación:

$$n_{FC} = \frac{Q_F}{Q_{FC}} \quad [A.8.4]$$

Dónde:

- n_{FC} es el número de filtros de cartucho a instalar.
- Q_F es el caudal de lavado químico, 423 m³/h
- Q_{FC} es el caudal de operación del filtro de cartucho, 3,5 m³/h

Sustituyendo en la expresión [A.8.4] anterior se obtiene:

$$n_{FC} = \frac{Q_F}{Q_{FC}} = \frac{423}{3,5} = 120,857 = 121 \text{ unidades}$$

Sin embargo, según el fabricante, para el diseño es necesario tomar que cada portafiltro de cartucho va a tratar entre el 60-80% del caudal total. Tomando un valor medio, 70%, se obtiene que en cada portafiltro hay 70 filtros de cartucho de 1250 mm. Luego el número de portafiltros a instalar por línea es de:

$$n_{PF} = \frac{n_{uds}}{n_{udsdis}} \quad [A.8.5]$$

$$n_{PF} = \frac{121}{70} = 1,7 \approx 2$$

Por tanto el sistema de lavado químico constará de 2 unidades de filtración de cartucho.

ANEXO 9: CATÁLOGOS, GRÁFICAS Y TABLAS

A.9.1 INTRODUCCIÓN

En este anexo se adjuntan todas las fichas técnicas de los equipos utilizados en diseño de la instalación objeto.

Además se adjuntan las tablas y gráficas que han sido necesarias durante la elaboración del diseño de la instalación.

A.9.2 FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

En este apartado se adjunta las especificaciones técnica de todos los equipos instalados en la planta proyectada.

FILTRO HORIZONTAL CALPLAS Ø 1440 - 2800



Características de diseño

Modelo HORIZONTAL: Filtración

Diametro	Ø1440 – 2800mm	Presión de diseño	2.5 kg/cm ²	Temperatura de diseño	40° C
Longitud cilíndrica	Segun modelo	Presión de prueba	3.75 kg/cm ²		

Otros datos

2 Bocas de hombre elípticas	Difusores de poliéster	Boca de vaciado
-----------------------------	------------------------	-----------------



Materiales

Cuerpo (cilindro + fondos + Apoyos): Poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	Distribuidor superior: Difusores de poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
Entrada/Salida: Bridas en poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	Distribuidor inferior: Polipropileno y PVC
Tapa boca de hombre elíptica: Poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	Boca de vaciado: Acero plastificado con tapón de PVC

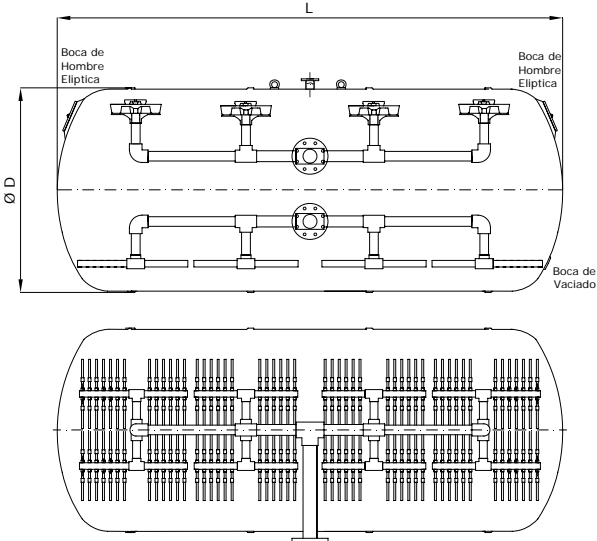
Fabricación y código de diseño

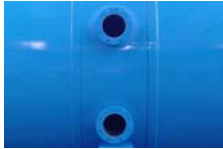
Poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio con orientación de la fibra según las tensiones de trabajo

Código de diseño: AD MERKBLATTER & BRITISH STANDARD.





2 Bocas de hombre elípticas






Conexiones: Bridas en PRFV



Distribución inferior de brazos



Difusores de PRFV

La distribución de colectores se adecua a cada modelo. Varía según las dimensiones.

DIAMETRO Ø	1440					1640					1840					2040					2340					2550					2800				
Longitud Total L (mm)	2900	3700	4500	5300	6100	3120	3920	4720	5500	6320	3100	3900	4700	5500	6300	3360	4160	4960	5660	6460	3520	4300	5100	5800	6600	3450	4350	5150	6000	6850	3680	4530	5360	6260	7040
Superficie Filtrante (m ²)	3,9	5	6.2	7.35	8.5	4.65	6	7.2	8.5	9.8	5,22	6,64	8,11	9,55	11,11	6,5	8	9,5	11	12,7	7,4	9,3	11,2	13	15	8	10	12,3	14,4	16,5	9,3	11,6	14,5	16,4	18,5

HARMSCO® FILTER CARTRIDGES

801 Series



Certified to
ANSI/NSF-61

Highly efficient filter cartridges made of pleated Polyester-Plus™ filter media for low pressure drop, high flow capability, increased contaminant removal, long filter runs, reusability and the lowest cost per gallon filtered.

Features:

- Pleated design with up to 50% more surface area than competitive filters resulting in superior performance & increased contaminant removal
- Longer filtration runs for fewer change-outs and less maintenance
- Low pressure drop
- Thermally bonded for longer usable life
- FDA approved materials - NSF 61 certified
- Engineered media for superior performance



Specifications:

Seven micron ratings and color coded end caps for easy identification.

Micron Rating (nominal) - Removal efficiencies are shown at right based on tests conducted by the Microtrac Division of Leeds & Northrup Co.

Micron Ratings	Percentage Removal
0.35 μ	99.9%
1 μ	99.9%
5 μ	99.9%
10 μ	99.5%
20 μ	98.5%

Filter media: Polyester-Plus™
End caps: Plastisol or Urethane (pliable)
Center tubes: ABS, PP, OR, PVC
Temperature: 140°F (standard cartridges)
 200°F (high temp. cartridges)

Flow rate: 3-6 GPM
pH: 3 to 11
Surface area: 801-Series: 6 sq. ft. per 9-3/4" length (approx.)
Dimensions: 2-3/4" O.D.; 1-1/16" I.D.
Shrink wrap: Single length cartridges are available shrink wrapped



Harmsco® Filtration Products

P.O. Box 14066, North Palm Beach, FL 33408
 (561) 848-9628 • Toll Free: (800) 327-3248
 Fax: (561) 845-2474 • e-mail: sales@harmsco.com



260

©Royce B.
McClure

020 4/07

Product Codes and Cartridge Selection



Top-of-the-Line Harmsco® "801-Series" cartridges with approximately six sq. ft. of media per 9-3/4" length

801 Series Cartridges

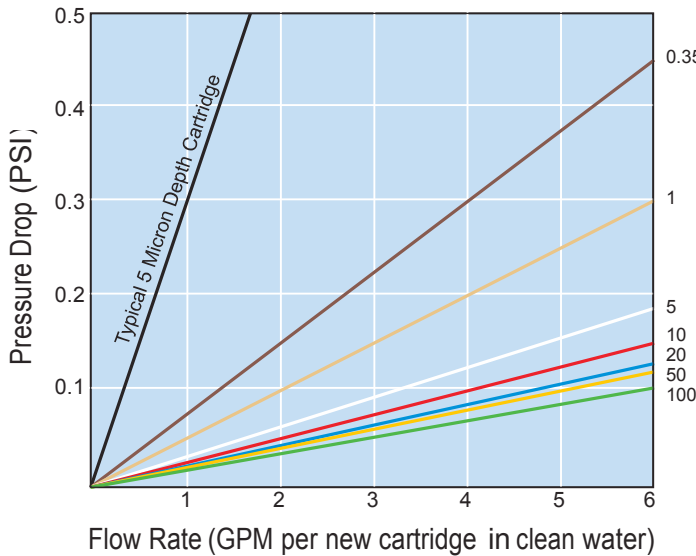


Nominal Micron	Product Code								End Cap	Cartridges per Case
	Single/Regular	Single/High Temp.	Double	Triple	10"	20"	30"	40"		
0.35	801-0.35		921-0.35	931-0.35	801-0.35/10	801-0.35/20	801-0.35/30	801-0.35/40	Brown	24
1	801-1	801-1-HT	921-1	931-1	801-1/10	801-1/20	801-1/30	801-1/40	Tan	24
5	801-5	801-5-HT	921-5	931-5	801-5/10	801-5/20	801-5/30	801-5/40	White	24
10	801-10		921-10	931-10					Red	24
20	801-20	801-20-HT	921-20	931-20	801-20/10	801-20/20	801-20/30	801-20/40	Blue	24
50	801-50	801-50-HT	921-50	931-50	801-50/10	801-50/20	801-50/30	801-50/40	Yellow	24
100	801-100								Green	24

Note: Single length 801-Series cartridges available shrink wrapped designated by "W" following product code.

* For competitive filter housings requiring true 10", 20", 30" and 40" length cartridges.

High temp cartridges rated up to 200°F.



Low Pressure Drop with Harmsco® Cartridges

Pressure drops are exceptionally low with Harmsco 801 Series cartridges due to high surface area and Polyester-Plus™ engineered media. The data shown to left is per 9-3/4" cartridge in clean water.



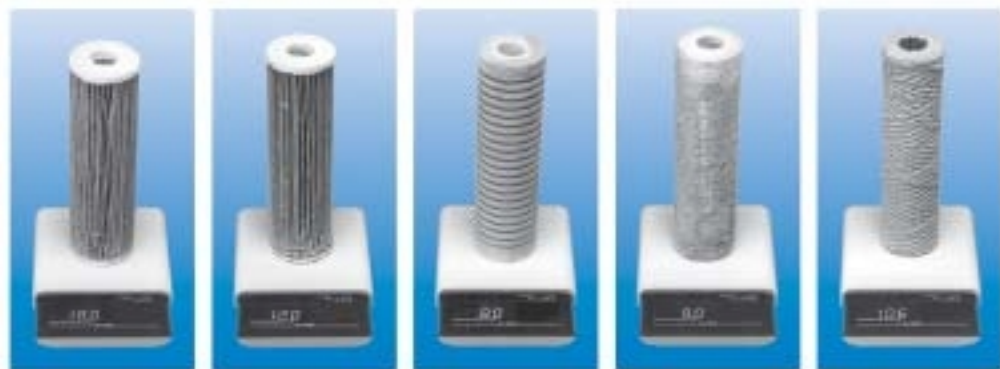
Note: rules in graph at left correspond with color codes used to identify each filter cartridge's nominal micron rating.

Five commonly used filter cartridge types were evaluated in our test facility to determine filter life and dirt holding capacity. All cartridges tested are rated five micron nominal by their manufacturer. A mixture of water and coarse test dust was used to determine relative performance. Each cartridge was weighed prior to the tests, thoroughly dried and weighed after the tests to determine solids removal. Gallons filtered were recorded until each cartridge reached its capacity at 30 psid. The results are shown below.

Pleated cartridges

Depth cartridges

To dramatically demonstrate relative performance between the five 5 micron cartridge types tested, a highly concentrated mixture of water and coarse test dust, representing 3% solids by weight, was used. Filtration capacity was terminated when each cartridge reached 30 psi (2 bar) differential.



	Harmsco 801	WaterBetter	Resin Bonded	Spun Polypropylene	String Wound
Solids removed:	12.0 oz. (340 grams)	7.0 oz. (199 grams)	3.3 oz. (94 grams)	2.5 oz. (71 grams)	2.1 oz. (60 grams)
Quantity filtered:	50.4 gals. (189 liters)	33.2 gals. (124 liters)	8.4 gals. (32 liters)	5.9 gals. (22 liters)	4.0 gals. (15 liters)



Harmsco® Filtration Products

P.O. Box 14066, North Palm Beach, FL 33408
 (561) 848-9628 • Toll Free: (800) 327-3248 • Fax: (561) 845-2474
 -mail: sales@harmasco.com

HARMSCO® UP-FLOW FILTERS

Up-Flow -

A design so superior it's patented!

Harmsco® Up-Flow Cartridge Filters outperform conventional filter designs!

Venting valves are not necessary and filtration efficiency is improved.

Fail safe wing nuts

Wing nuts are used so no tools are required. Finger tight is generally sufficient. Hex nuts are recommended with 75 inch lbs. of torque above 100 psi.



HIF 7

HIF 24

HIF 200FL

Features:

- Rugged 304 stainless steel construction (316 optional)
- Electro-polished for increased resistance to corrosion
- Extensive choice of cartridge micron ratings and media including carbon
- Flow rates to 800 GPM
- Pressure rated to 150 psi and hydrostatically tested
- Individual studs for safe, secure lid closure
- Easy cartridge installation, removal and service
- Optional high temperature ratings
- Chemical resistant coating optional

Specifications:

Filter vessel & metal components
Holding rods, lifting rods & standpipes
Pipe caps
Rim gaskets
O-Rings
Bottom seals
Wing nuts
Temperature

Pressure
Flow

304 stainless steel, electropolished for increased resistance to corrosion.
CPVC, standard models; 304 stainless steel, All-Stainless models
CPVC, standard models; 304 stainless steel, All-Stainless models.
EPDM, standard. Buna-N and Viton available.
Buna-N, standard. EPDM and Viton available.
Natural gum rubber, standard. EPDM and Buna-N available.
Brass. (Brass hex nuts and stainless steel flat washers available.)
Rated to 140° F (60° C) with CPVC rods, pipe caps, standpipes and standard Harmsco cartridges.
To 200° F (93° C) for all stainless models with stainless steel rods, pipe caps and standpipes and Harmsco High-Temp cartridges. Temperature limits vary and depend on pressure and time under load.
Rated for pressures to 150 psi (10 bar) maximum.
Up to 800 GPM (Typical flow rates are 4-6 GPM per single length (9-3/4") Harmsco cartridge.
Published data is for guidelines only. Please consult pressure drop charts.)



Harmsco® Filtration Products

P.O. Box 14066, North Palm Beach, FL 33408
(561) 848-9628 • Toll Free: (800) 327-3248
Fax: (561) 845-2474 • e-mail: sales@harmasco.com



©Royce B. McClure

Harmsco® Up-Flow Filters

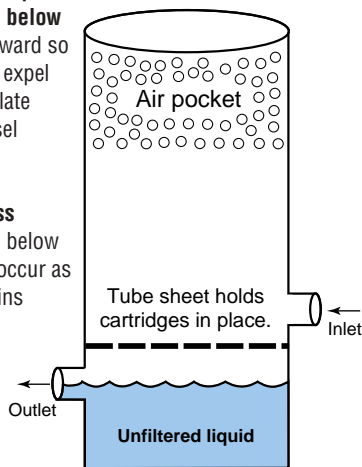


Filter Model	HIF 7	HIF 14	HIF 16	HIF 21	HIF 24	HIF 42	HIF 75	HIF 100	HIF 150FL	HIF 200FL
Flow rate(U.S. GPM)	Up to 30	Up to 60	Up to 75	Up to 90	Up to 100	Up to 175	Up to 300	Up to 400	Up to 600	Up to 800
Flow rate (LPM)	Up to 113	Up to 226	Up to 284	Up to 340	Up to 397	Up to 662	Up to 1,135	Up to 1,514	Up to 2,271	Up to 3,028
Flow rate (M3HR)	Up to 7	Up to 14	Up to 16	Up to 21	Up to 24	Up to 42	Up to 75	Up to 100	Up to 150	Up to 200
Cartridges	7RD 9-3/4 7 Singles	7RD 19-1/2 7 Doubles	8RD 19-1/2 8 Doubles	7RD 29-1/4 7 Triples	8RD 29-1/4 8 Triples	14RD 29-1/4 14 Triples	25RD 29-1/4 25 Triples	50RD 19-1/2 50 Doubles	50RD 29-1/4 50 Triples	100RD 19-1/2 100 Doubles

Typical Competitive Multi-Cartridge Filters

Potential for air entrapment.

With outlets located **below** inlets, air travels upward so vents are needed to expel air that can accumulate within the filter vessel during operation.



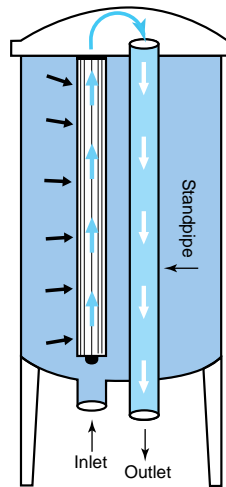
Potential for by-pass

With outlets located below inlets, by-pass can occur as unfiltered liquid drains downward to the sump while the cartridges are removed. This may result in by-pass when the filter is put back into service.

Harmsco® HIF Up-Flow Filters

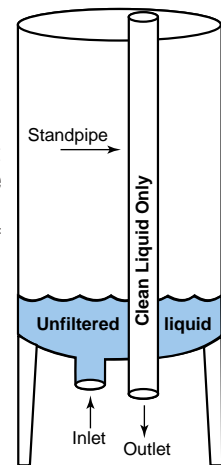
No air entrapment

Air is self purged from Harmasco® Up-Flow filters because outlets (top of standpipes) are at the high point of the filters.



No by-pass during service

No liquid can by-pass Harmasco® filters during servicing because outlet standpipes are always on the "clean side" of the filter.



Harmsco® All Stainless Filter Housing

Filters come with stainless steel holding rods, bottom plate and standpipes for high temperatures 200°F, (93°C) and aggressive chemicals. O-rings are Buna-N; rim gaskets are EPDM; other options, including viton available.

Note:

Optional 222 by flat end configuration accepts seven cartridges and is available for HIF 7SS through HIF 24SS.



Model	A	B	C	D	Service Ht. Clear	Inlet/Outlet	Drain
HIF 7	19-1/2"	13"	13"	3-1/2"	35"	1-1/2" NPT	1" NPT
HIF 14	28"	13"	13"	3-1/2"	48"	1-1/2" NPT	1" NPT
HIF 16	28"	13"	13"	4"	48"	2" NPT	1" NPT
HIF 21	37"	13"	13"	3-1/2"	68"	1-1/2" NPT	1" NPT
HIF 24	37"	13"	13"	4"	68"	2" NPT	1" NPT
HIF 42	40"	18"	18"	5-3/8"	68"	2" NPT	1" NPT
HIF 75	42"	20"	20"	6-3/8"	70"	3" NPT	1-1/2" NPT
HIF 100	52"	20"	20"	5-7/8"	87"	3" NPT	1-1/2" NPT
HIF 150FL	48"	28"	28"	5-3/16"***	76"	4" flange	1-1/2" NPT
HIF 200FL	58"	28"	28"	5-3/16"***	93"	4" flange	1-1/2" NPT

*** To center of flange fittings



Harmsco® Filtration Products

P.O. Box 14066, North Palm Beach, FL 33408
 (561) 848-9628 • Toll Free: (800) 327-3248 • Fax: (561) 845-2474
 e-mail: sales@harmasco.com



Membrane Element

SWC4 MAX

Performance:	Permeate Flow:	7,200 gpd (27.3 m ³ /d)
	Salt Rejection:	99.8 % (99.7 % minimum)
	Boron Rejection (Typical):	93.0% [†]

Type	Configuration:	Spiral Wound
	Membrane Polymer:	Composite Polyamide
	Membrane Active Area:	440 ft ² (40.8m ²)

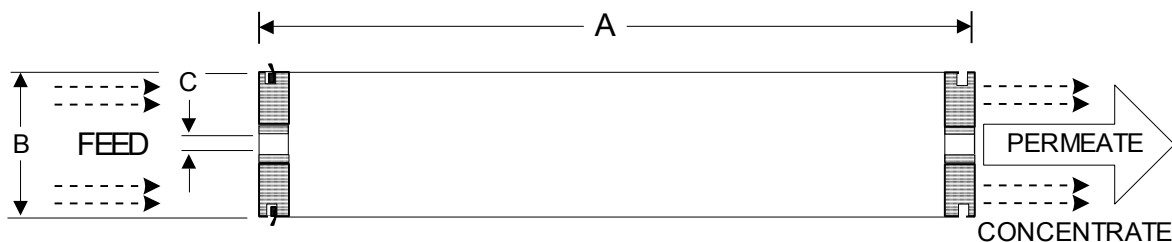
Application Data*	Maximum Applied Pressure:	1200 psig (8.27 MPa)
	Maximum Chlorine Concentration:	< 0.1 PPM
	Maximum Operating Temperature:	113 °F (45 °C)
	pH Range, Continuous (Cleaning):	2-11 (1-13)*
	Maximum Feedwater Turbidity:	1.0 NTU
	Maximum Feedwater SDI (15 mins):	5.0
	Maximum Feed Flow:	75 GPM (17.0 m ³ /h)
	Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any Element:	5:1
	Maximum Pressure Drop for Each Element:	10 psi

* The 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 Bulletins for more detail 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:

32,000 ppm NaCl
 800 psi (5.5 MPa) Applied Pressure
 77 °F (25 °C) Operating Temperature
 10% Permeate Recovery
 6.5 - 7.0 pH Range

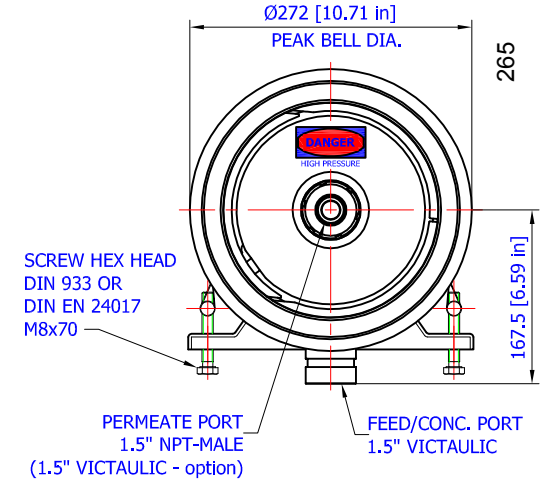
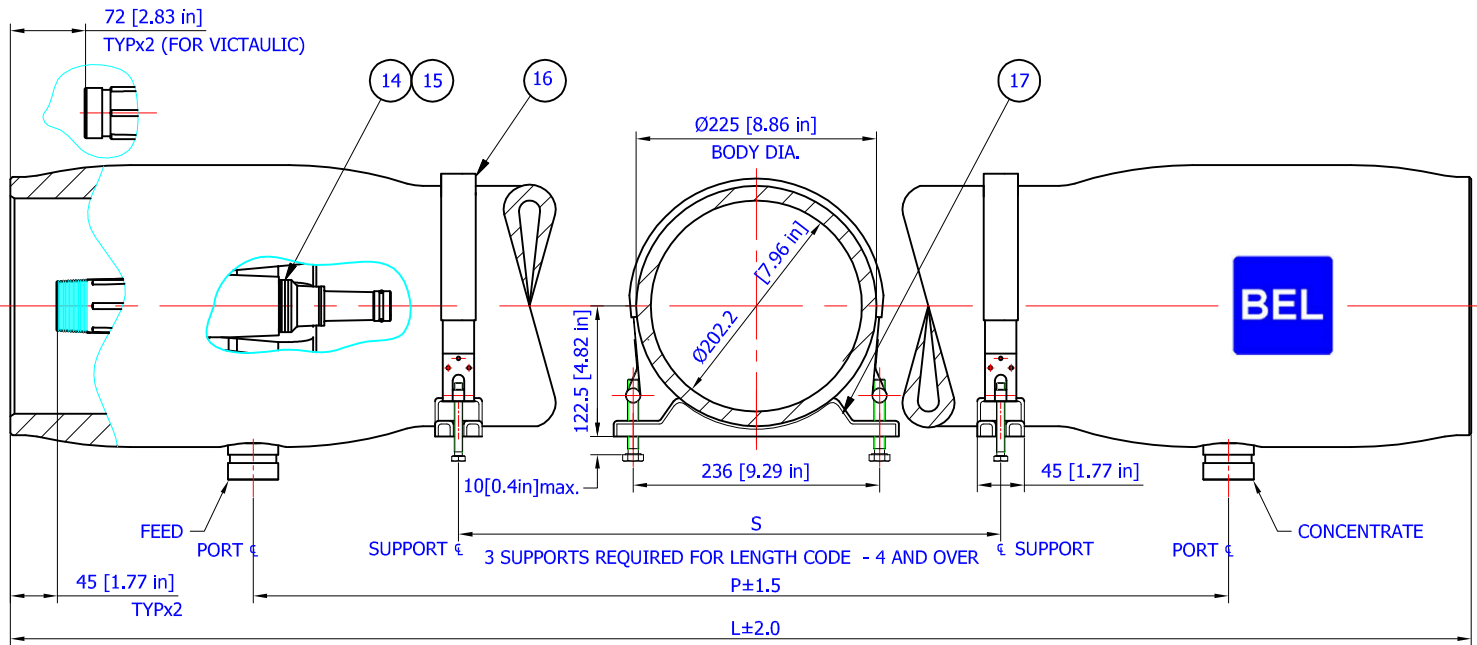


A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)	36 (16.4)

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

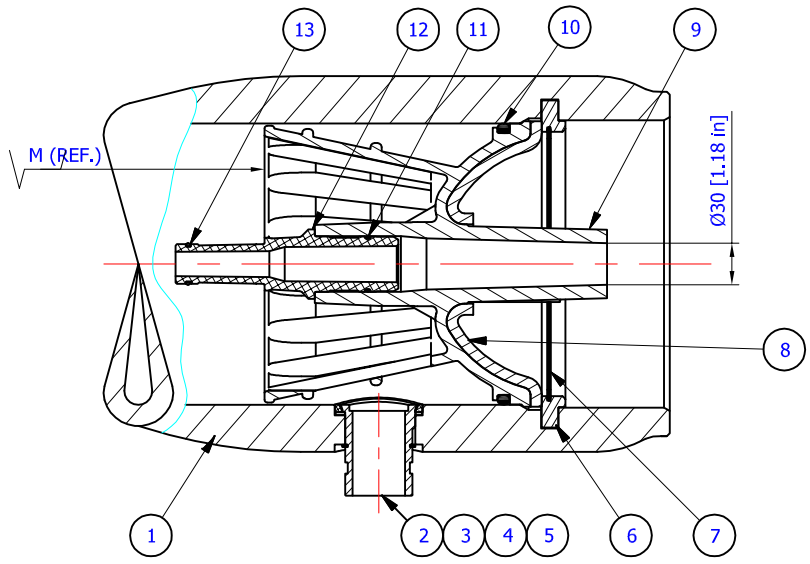
[†]When tested at standard test conditions with 5.0ppm Boron in feed solution.

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. 7/29/10



This drawing is an integral part of the general statement of use and Technical Manual

Shell length code	L (l.o.a.) mm. inch	P, port to port mm. inch	S# (span) mm. inch	M, mm/in length for membranes elements	W weight kg. lb.	Article number
1	1612	1194	710	1032	65.6	811000-1
	63.5	47	28	40.6	144.6	
2	2628	2210	1550	2048	83.4	811000-2
	103.5	87	61	80.6	184	
3	3644	3226	2550	3064	101.3	811000-3
	143.5	127	100	120.6	223.3	
4	4660	4242	3250	4080	119.1	811000-4
	183.5	167	128	160.6	262.6	
5	5676	5258	4250	5096	137	811000-5
	223.5	207	167	200.6	302	
6	6692	6274	5250	6112	154.8	811000-6
	263.5	247	207	240.6	341.3	
7	7708	7290	6250	7128	172.6	811000-7
	303.5	287	246	280.6	380.7	
8	8724	8306	7250	8144	190.5	811000-8
	343.5	327	285	320.6	420	



Warning.

1. Never pressurize a pressure vessel that was not loaded with membrane elements.
2. Wrong manifolding may effect an excessive load on port what can lead to leaks.
3. Max. allowable working pressure not to exceed 1000 psi. (69 bar).
4. Permeate internal pressure not to exceed 125 psi. (8.6 bar).
5. Operating temperature not to exceed 49°C (120°F).

Notes:

1. All dimensions are for reference only, not for construction unless certified.
2. Item 14 & 15 should be located on feed side.
3. Drawing unit: mm. (inches)
4. Saddles can be shimmed if required.
5. Do not scale drawing, may be reprinted on any paper size or copied.
6. Length between ports (P) can be changed to adapt old dimension - with customer's special request.
7. The vessel is supplied with two strap assembly.

Item	Part number	Q-ty	Title	Material
1	811000-0	1	Body of Pressure Vessel	Glass/Epoxy
2	285213153	2	F/C Port 1.5"	Super Duplex Stainless Steel
3	23080120	2	Disk for side port	Metal plate
4	55410470	2	Seal for side port	EPDM
5	55412335	2	Retaining ring for side port	Stainless steel
6	005-861-1200	2	Support ring	Aluminum
7	285779002	2	Retaining ring	Stainless steel
8	019-607-1000	2	Metal cap	Metal plate
9	285779010/v	2	End cap	Engineering plastic
10	007-080-0092	2	Seal for End cap	EPDM
11	55412352	2	Seal for Adapter	EPDM
12	As required	2	Adapter	Engineering plastic
13	As required	2	Membrane seal	EPDM
14	285779231	0-3	Disk spacer - 1 mm.	Engineering plastic
15	285779233	0-7	Disk spacer - 3 mm.	Engineering plastic
16	55410310	2	Strap Assy.	Stainless steel
17	55410351	2-3	Saddle	Engineering plastic

	TITLE BEL 8-S-1000 psi. RO PRESSURE VESSEL		DESIGN	Irit G.	06/09/2009	
			CHECK	Yuri V.	06/09/2009	
	DRAWING No.	8s15-1000	CATALOG No.	8s15-1000	APPR.	Ari A.	06/09/2009
THIS DRAWING IS PROPERTY OF BEL GROUP LIMITED IT IS STRICTLY FORBIDDEN TO USE, COPY, REPRODUCE OR DISCLOSE ANY PART OF IT TO THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN AUTHORIZATION.						
					REV.: 5	



PX-260

PX Pressure Exchanger® Energy Recovery Device

PX-260

PX Pressure Exchanger® Energy Recovery Device



The PX-260 is ERI®'s next generation energy recovery device that's enhanced to provide higher flows, efficiencies and overall performance. The PX-260 device handles brine flow rates of 50–59 m³/hr (220 to 260 gpm), corresponding to permeate flow rates of 41 to 48 m³/day (181 to 211 gpm) when operating at 45% recovery. Similar to all other ERI PX® units, PX-260 devices may be manifolded together to achieve capacity ranges in multiples of single device capacity.

PREMIUM QUALITY AND ADVANCED TECHNOLOGY OVER ANY OTHER ERD

Based on a rotary positive displacement pump principle, the PX Pressure Exchanger (PX®) technology greatly reduces water production costs by up to 60%. Industry experts have designed and tested PX Pressure Exchanger devices in seawater and brine environments. The PX-260 units are encased in industry standard 8" diameter housings proven to provide extended field service life in SWRO applications.

Since its introduction in 1997, PX technology has emerged as the industry standard solution for SWRO desalination. PX devices installed for several years have proven the endurance of the ceramic construction by requiring no routine maintenance when operated for tens of thousands of hours in tough seawater environments. With over 120 combined years of industry experience, ERI has assembled a technical services and sup-

port team with exceptional knowledge of RO systems. Our team members have consulted with numerous SWRO operators, aiding in design review, on-site training and support.

HIGH CONSTANT EFFICIENCY

The ERI PX device achieves real energy transfer efficiencies up to 98%, making it the most efficient ERD technology available today. The positive displacement mechanism employed by the PX device provides constant ultra high efficiencies over a broad range of flows and pressures. ERI guarantees PX device efficiency to be greater than 95% for most SWRO applications regardless of salinity, temperature or recovery rate variations. This characteristic *differs* from centrifugal devices whose performance declines as flows and pressures shift away from device best efficiency points. High and constant efficiency are significant operating cost advantages over other energy recovery devices on the market.

CERAMIC COMPONENTS

At the core of the PX device is a cartridge made of tough, engineered corundum (aluminum oxide). This ceramic material is unaffected by chemicals and will not corrode. Its properties are similar to that of sapphire and its hardness exceeds that of many stainless steels by a factor of three. In fact, most PX units taken apart for inspection after years of service exhibit no evidence of wear or deterioration whatsoever.

FAIL-SAFE ARRAYS

By operating multiple PX units in parallel, there is no limitation to the SWRO train size with PX technology. 65-Series PX technology has been specified for SWRO plants with permeate production capacities up to 240,000 m³/day (63 MGD) and is well suited for even larger plants. Up to 40 PX rotors have been successfully arrayed in a single train and 10 to 16 rotors in parallel are common. In the unlikely event that one or more rotors in an array stop turning, flow safely passes through the stuck rotor allowing a plant operator to wait for a convenient time to service the unit. PX devices in an array can be easily and quickly removed or added, providing flexible capacity.

QUALITY DESIGN & CONSTRUCTION

Due to harsh conditions and continuous service requirements in SWRO plants, material specification, fabrication and assembly are





YuHuan SWRO Plant – YuHuan, China
Capacity: 36,000 m³/day



Inima – Los Cabos, Mexico
Capacity: 21,000 m³/day



Cobra - Tedagua – Mazarron, Spain
Capacity: 36,000 m³/day



Tedagua - Escombreras – Cartagena, Spain
Capacity: 63,000 m³/day



FEWA | Federal Electricity & Water Authority I/II
United Arab Emirates | Capacity: 27,000 m³/day

critical to ensuring ERI's products perform consistently and reliably. Precise machining, inspection and performance testing are conducted. ERI's Engineering and Manufacturing departments work closely to maintain tight control and quality assurance. With proven reliability and maintenance-free performance, ERI's PX technology is one of the few rotating devices in the world that is backed by a free **five-year** warranty.

PROVEN RELIABILITY AND EXPERIENCE

PX technology has emerged as the industry standard for projects of all sizes; primarily due to the PX device's consistent delivery of energy and maintenance savings – with no excuses about changes in original design envelopes. Over 80 OEMs worldwide have standardized on PX technology with installations from small to medium (in practically every part of the world), to the world's largest desalination plants in Algeria, Australia, China, India, Mexico, Spain, along the Mediterranean Sea and the Middle East.

LOWEST LIFECYCLE COSTS

ERI's global install base saves real money compared to legacy energy recovery technologies such as Pelton wheels, Francis turbines and turbo chargers.

- Savings at over \$350 Million per year
- Up to 98% efficient
- Proven SWRO power consumption as low as 1.6 kWh/m³*
- Real power savings of over 500 MW worldwide

WORLD-WIDE REFERENCES

ERI has 10 times more operating experience than the next manufacturer of isobaric energy recovery devices.

- Millions of unit hours of proven reliability
- Over 80 OEM's using PX devices with over 6,000 units sold or contracted worldwide
- More than 5,200,000 m³/day of capacity installed or under construction
- Multiple 10,000 m³/day trains operating for more than three years
- Standard 5 year warranty

SIMPLE DESIGN & EASE OF USE

PX technology offers the simplest approach to isobaric energy recovery available today; only one moving part and no scheduled maintenance. Its ease of use with no artificial intelligence or adaptive control schemes as well as fail-safe design features makes the PX device easy at startup and shutdown.

- Constant high efficiency over entire operating range
- One moving part
- Zero scheduled maintenance
- Smallest installed footprint when compared to other isobaric ERDs
- No pulsation, valves, pistons or timers

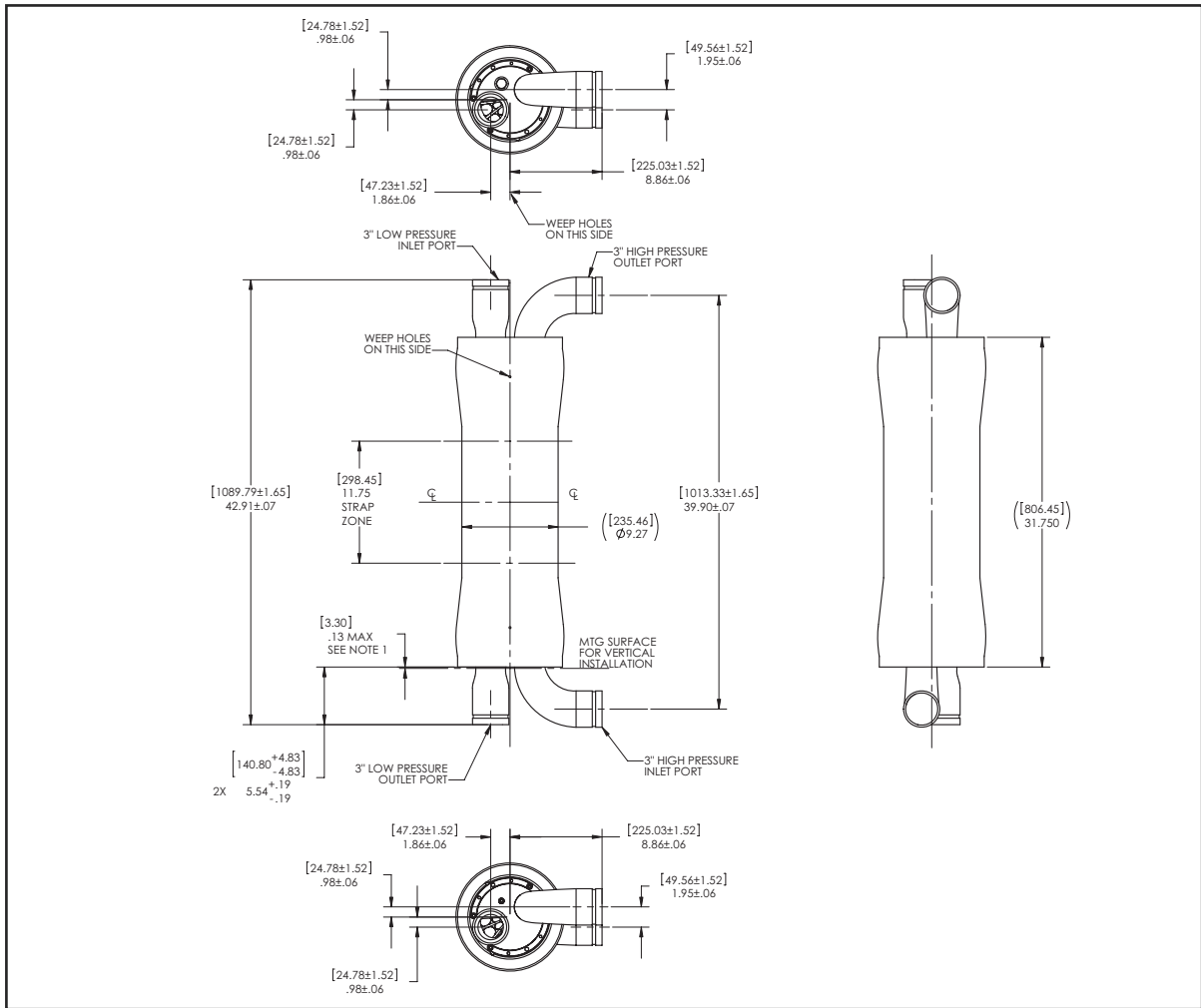
MATERIALS

- Alumina Ceramic
- Fiberglass Reinforced Polymer (FRP) internal components
- Industry Standard FRP housing
- AL-6XN® Superaustenitic Stainless Steel or equivalent wetted metal components
- Flexible coupling connections for easy installation

*ADC

AL-6XN® is a registered trademark of Allegheny Ludlum Corp.

External Dimensions and Piping Details



Model	Capacity m ³ /hr (gpm)	Connections (4X) inches	Shipping Dimensions mm (inches)	Shipping Weight kg (lbs)
PX-260	50 – 59 (220 – 260)	3	1219 x 1016 x 483 (48 x 40 x 19)	109 (240)

See ERI® Document Number 400018 current revision for assembly dimensions and component bill of materials.

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL

THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWINGS IS THE SOLE PROPERTY OF ENERGY RECOVERY, INC.
 ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT WRITTEN PERMISSION OF ENERGY RECOVERY, INC. IS PROHIBITED
 ©2009, ENERGY RECOVERY, INC.

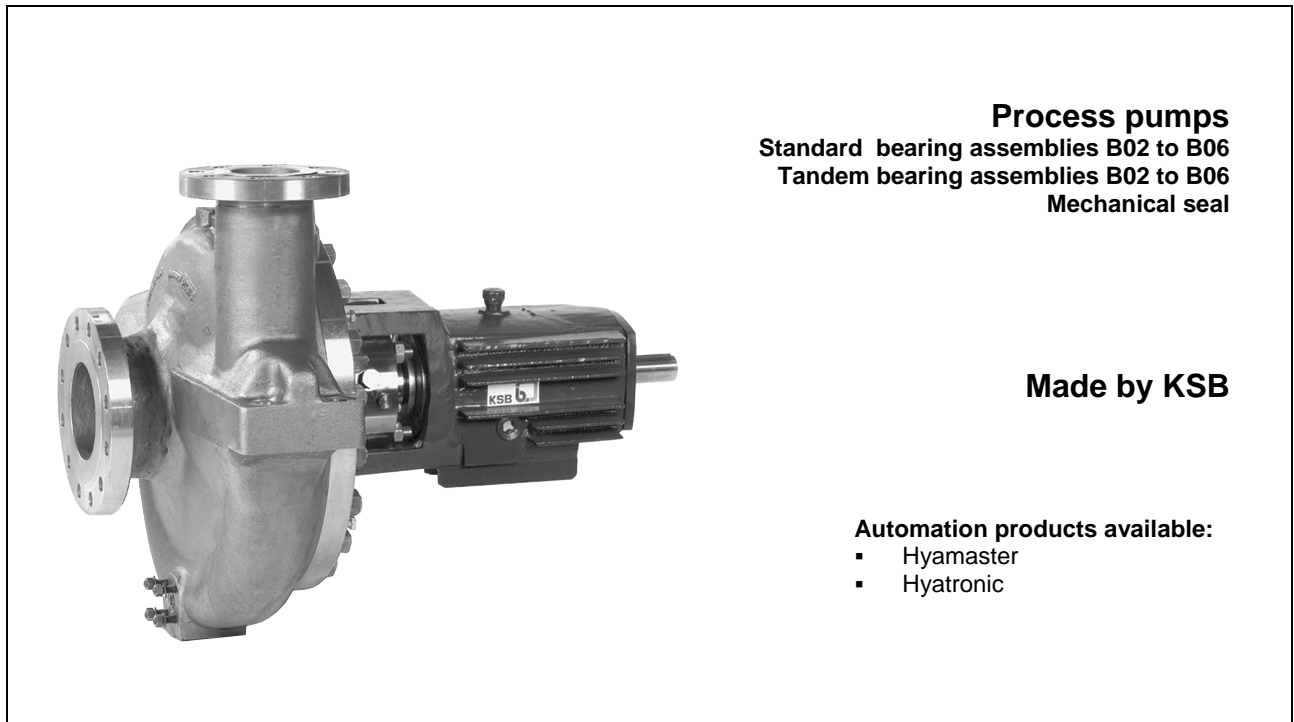


Energy Recovery, Inc.
 1908 Doolittle Drive
 San Leandro, CA 94577
 TEL +1 (510) 483-7370
 FAX +1 (510) 483-7371
 EMAIL info@energyrecovery.com
 WEB www.energyrecovery.com



Making Desalination Affordable®





Process pumps
Standard bearing assemblies B02 to B06
Tandem bearing assemblies B02 to B06
Mechanical seal

Made by KSB

Automation products available:

- Hyamaster
- Hyatronic

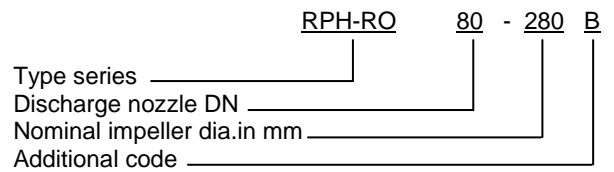
Application

Desalinization plants.

Design

Horizontal radially split volute casing pumps in duplex material (super duplex, optional) in back pull-out design, to ISO 13709 (heavy duty), with radial impeller, single-flow, single-stage, centreline pump feet. Pump model with inducer available on request.

Designation



Additional codes:

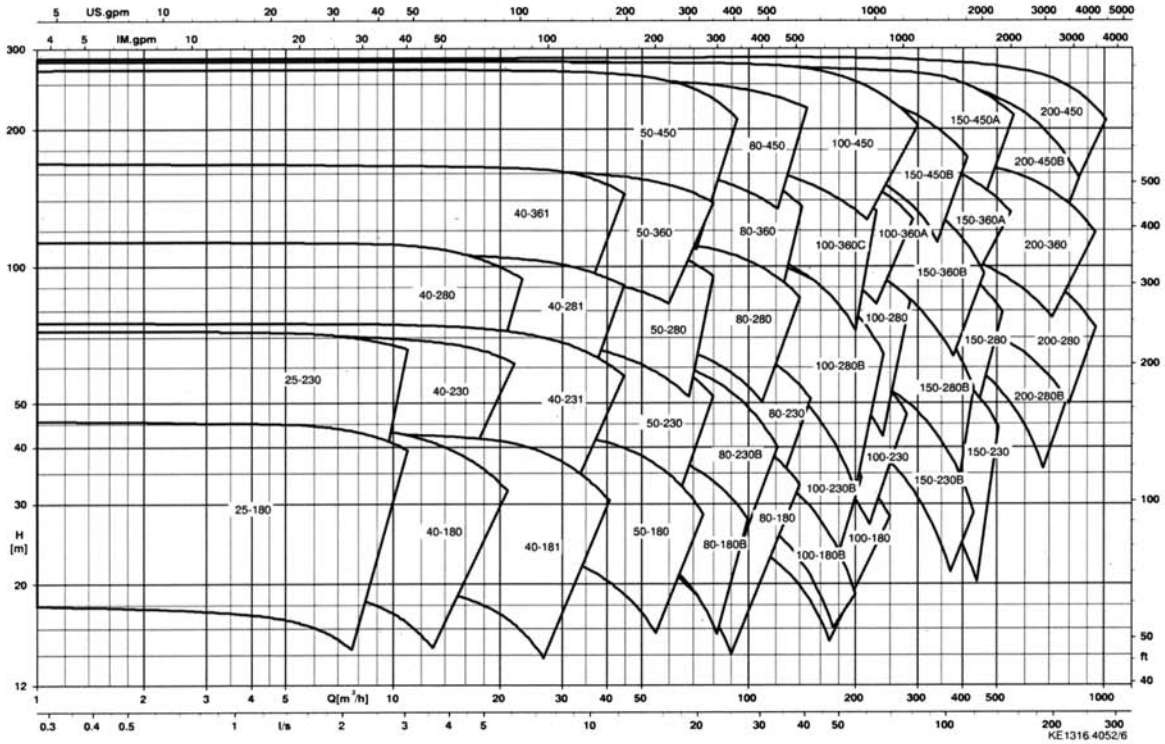
B = for additional hydraulics

Operating Data

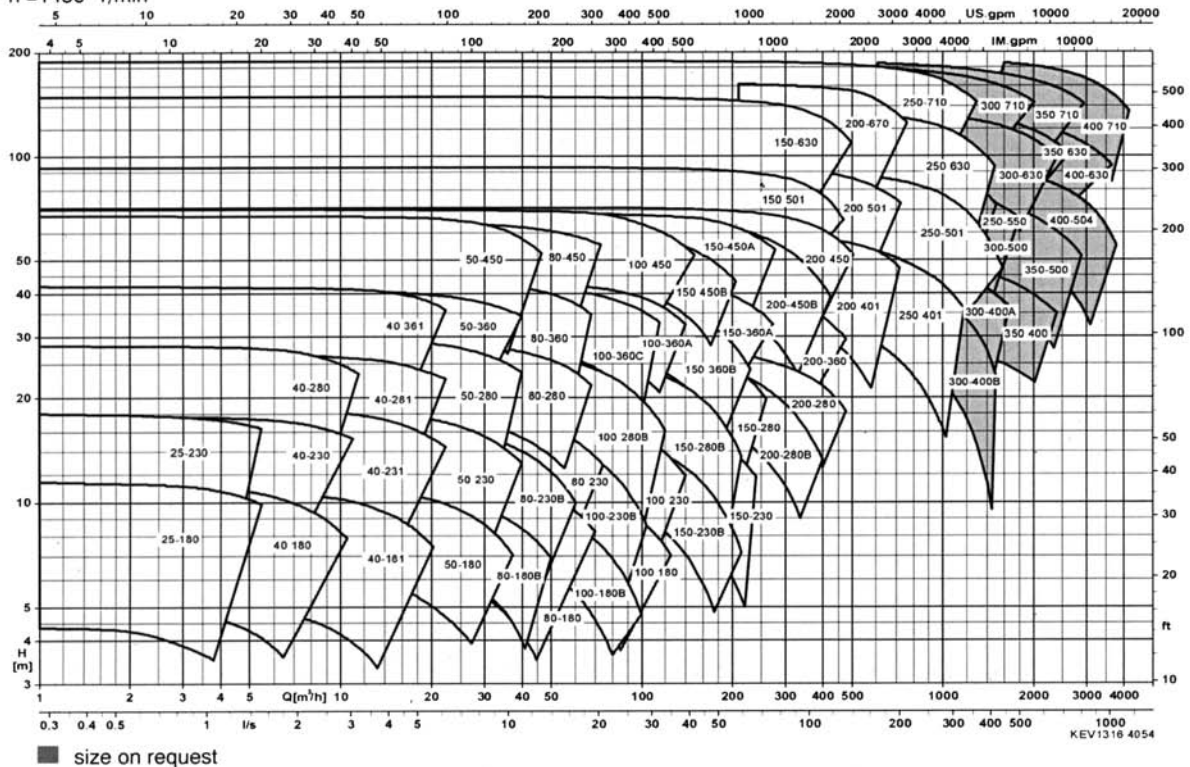
Pump sizes	DN 25 to 400
Capacities	Q up to 4.150 m ³ /h
Heads	H up to 270m
Operating pressures	p up to 104 bar (ASME B16.5 class 600) for A995CD4MCuN Higher pressures and flange pressure ratings on request
Suction pressure	up to 70 bar
Operating temperatures	t -40 to + 300°C

Selection chart

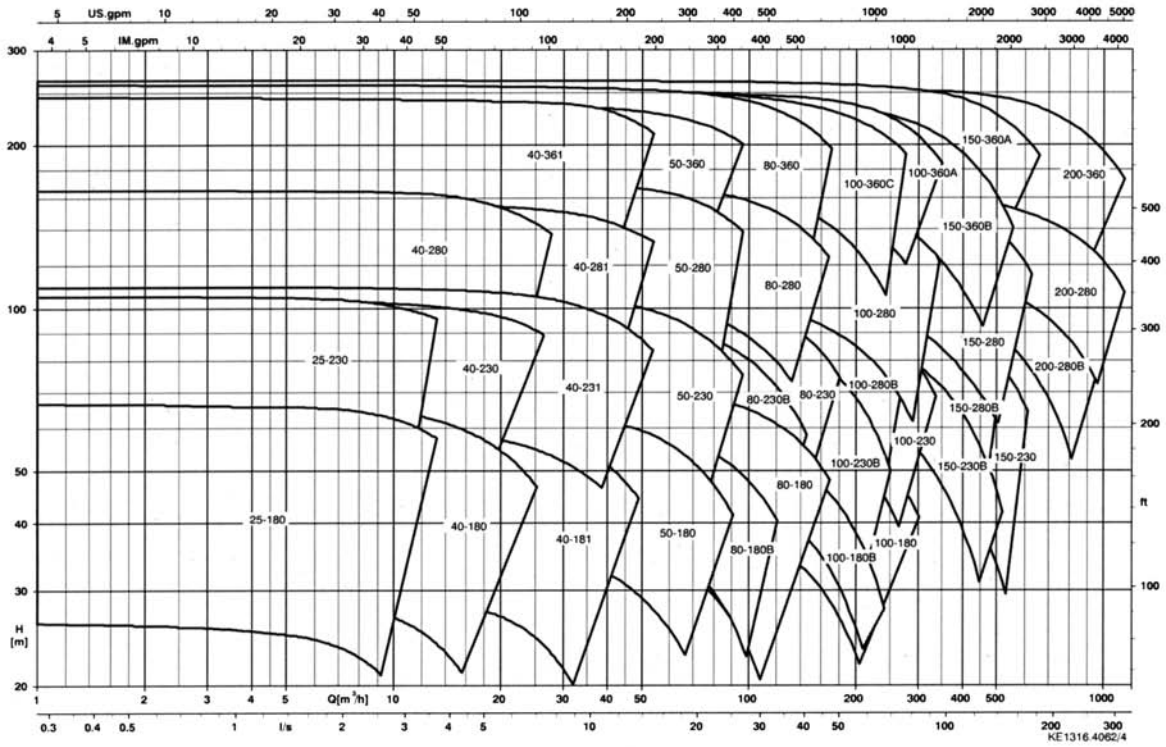
Selection chart 50 Hz
n = 2900 1/min



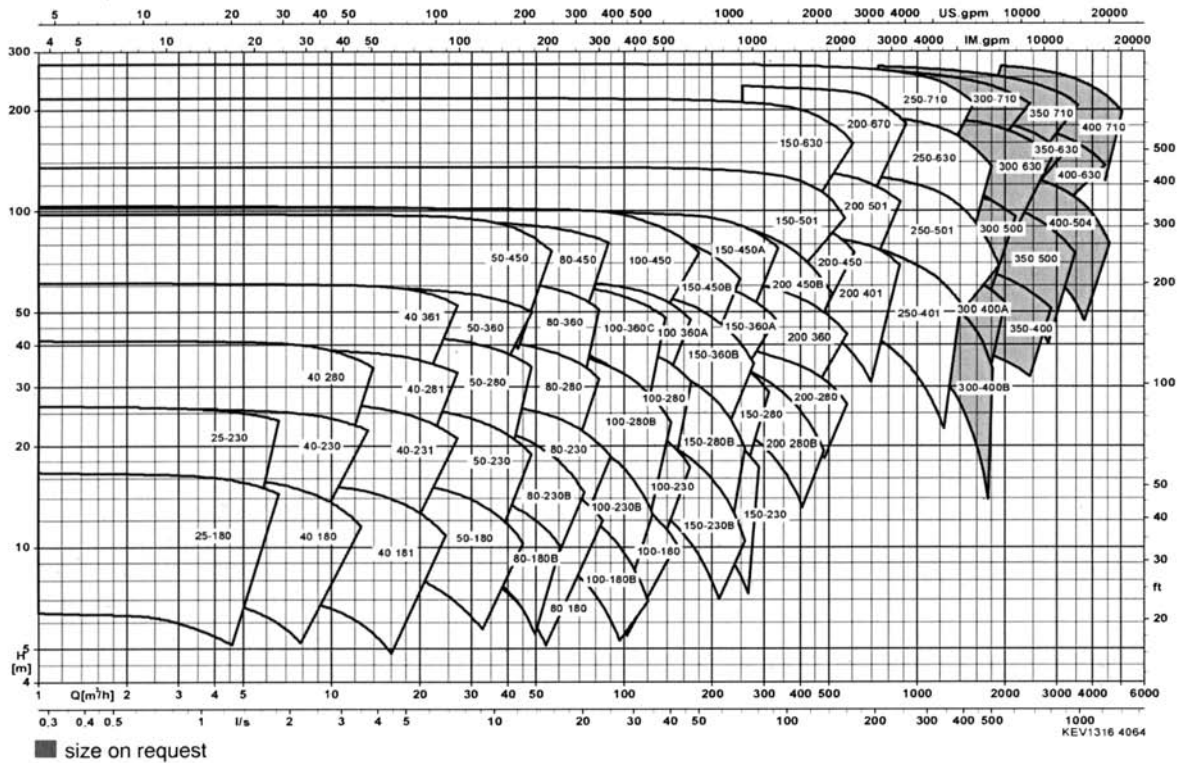
Selection chart 50 Hz
n = 1450 1/min



Selection chart 60 Hz
n = 3500 1/min

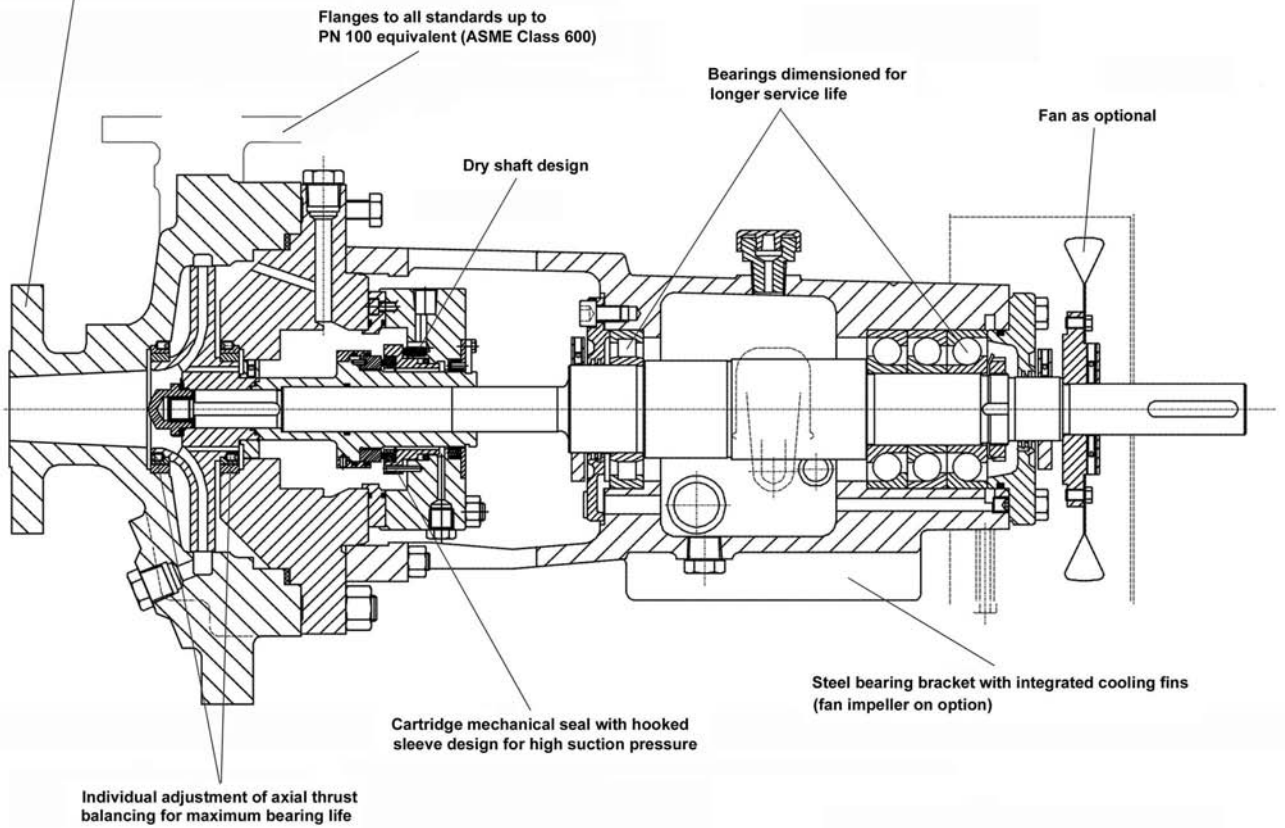


Selection chart 60 Hz
n = 1750 1/min



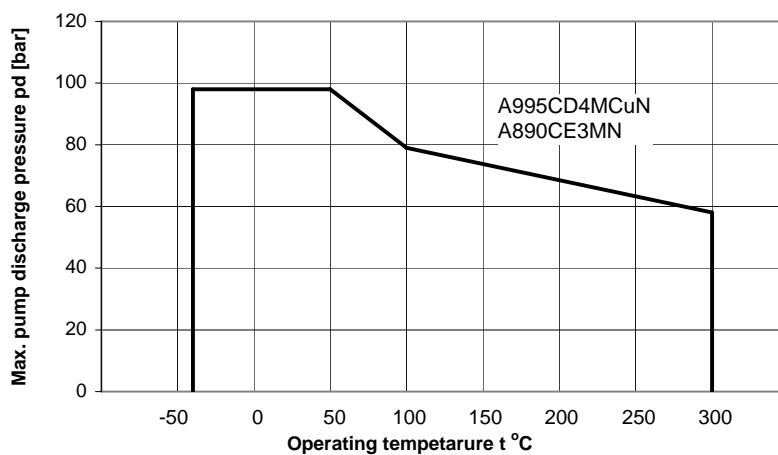
Product Features / Benefits

Double volute from DN 80 (3 in.)
 - low radial load and less shaft deflection
 = longer service life of bearings and mechanical seal



Pressure and Temperature limits

Pressure and temperature limits for pressure-retaining components
 (Bearing brackets B02-B06)



Average values – the values of individual pump sizes may be higher or lower than the values indicated. (Contact KSB).

Mechanical seals

The application limits of mechanical seals depend on the circumferential speed, the material and the fluid handled.

Material table

Part N°	Description	Standard (duplex)	Optional (super duplex)
		ASTM	ASTM
102	Volute casing	A995CD4MCuN	A890CE3MN
161	Casing cover	A995CD4MCuN	A890CE3MN
210	Shaft	A182UNS-S31803	A276-S32760
230	Impeller	A890CD4MCu	A890CE3MN
330	Bearing bracket	A216GrWCB	A216GrWCB
411.10	Spiral wound	Spiral wound SS 316 - Graphite	
433	Mechanical seal	8BVS (John Crane) – A2.Q1.E.M2.G1 SHV (Burgmann) – A.Q1.V5.M.G1	
502.01/02	Casing wear ring	Duplex SS	A890CE3MN or 1.4501
503.01/02	Impeller wear ring	Duplex SS	A890CE3MN or 1.4501
542.02	Throttling bush	A182UNS-S31803	A890CE3MN or 1.4501
902.01/920.01	Casing bolts / hex. nut	1.6772 A2D	1.6772 A2D

Materials – table of comparison

Material type	ASTM designation	Closest DIN equivalent	Closest BS equivalent
Carbon Steel	A216GrWCB	GP240GH+N	EN10213-2
Duplex	A995CD4MCuN A182UNS-S31803 A890CD4MCu	1.4517 1.4462 Noridur 1.4593	EN10213-4 EN10088-3 EN10213-4
Super duplex	A890CE3MN A276-S32760	1.4469 1.4501	EN10213-4 EN10088-3

Pump sizes	units	B 02 S												B 02 L												B 03												B 05 S												B 05 L												B 06																																																																																																																								
		25-180	25-230	40-180	40-230	40-280	40-361	50-180	50-230	50-280	50-360	50-450	80-180	80-230	80-280	80-360	100-180	100-230	100-280	150-230	80-450	100-360	150-450	150-280	150-360	200-280	150-450	200-360	200-450	200-501	200-501	250-401	250-501	150-630	200-670	250-630	250-710																																																																																																																																																	
Bearing bracket	outlet width	6	6	6	6.2	7.8	7.7	7.5	7.7	7.9	10.9	10	9.6	9.6	10	17	14	12.5	11.5	28	22.3	17.8	35	12	15.5	14.5	28.5	22	43.1	19.5	35.5	28	23	40	32	63	43	20.9	26	38	38																																																																																																																																													
Impeller	inlet diam.	48	48	58	57	75	61	71	69	88	95	93	88	87	110	113	110	111	133	128	130	161	110	136	140	164	160	198	171	204	204	190	222	222	294	280	201.9	220	275	275																																																																																																																																														
	max. diam. ¹⁾	179	224	180	224	180	230	278	278	343	180	230	286	343	430	190	235	286	350	190	235	295	240	430	355	440	295	365	295	450	360	456	504	408	509	404	504	636	690	630	719																																																																																																																																													
	min. diam.	120	180	130	180	130	180	220	230	280	140	180	230	280	340	140	190	230	280	150	190	230	190	350	295	355	230	295	235	360	295	360	400	320	400	320	400	520	530	515	520																																																																																																																																													
Shaft	In seal chamber	29																																																																																																																																																																																				
	at bearings	39																																																																																																																																																																																				
diameter	pump-end	55																																																																																																																																																																																				
	motor-end	45																																																																																																																																																																																				
	at coupling	32																																																																																																																																																																																				
Bearings	pump-end	NU 211 C3																																																																																																																																																																																				
	motor-end	3x7309 B-MUA																																																																																																																																																																																				
Pressure limits	max. operating pressure	bar																																																																																																																																																																																				
	max. test pressure	bar																																																																																																																																																																																				
Temp limits	max. fluid tem	°C																																																																																																																																																																																				
	on request	1.5 times the operating pressure																																																																																																																																																																																				
Drive P_{in} value	n=1450 1/min	0.0226																																				0.0334																																				0.0675																																				0.2147																																				0.3259																																				0.8514
	n=1750 1/min	32.77																																				48.43																																				97.88																																				311.32																																				472.56																																				1234.53
Max. Drive rating at	n=2900 1/min	39.55																																				58.45																																				118.13																																				375.73																																				570.33																																				1489.95
	n=3500 1/min	65.54																																				96.86																																				195.76																																				622.63																																				945.11																																				1140.65 ²⁾
		79.1																																				116.9																																				236.25 ²⁾																																				751.45 2)																																				-																																				-

1) at n= 3500 1/min: 150-360 max. 350mm;
 at n= 2900 1/min: 100-450 max. 420mm;
 150-450 max. 430mm;
 200-450 max. 445mm.

2) Pump sizes 50-450, 80-450, 100-450, 150-450, 200-450 on request for speed n= 3500 1/min

Pump sizes

DN Discharge nozzle	Nominal impeller diameter														Bearing bracket
	180	181	230	231	280	281	360	361	401	450	501	630	670	710	
25	x		x												B 02 S
40	x	x	x	x	x	x		x							B 02 L
50	x		x		x		x			x					B 03
80	x		x ¹⁾		x ¹⁾		x ¹⁾			x ¹⁾					B 05 S
100	x		x ¹⁾		x ¹⁾		x ¹⁾			x ¹⁾					
150			x ¹⁾		x ¹⁾		x ¹⁾			x ¹⁾	x ^{1) 2)}	x ^{1) 2)}			B 05 L
200					x ¹⁾		x ¹⁾		x ^{1) 2)}	x ¹⁾	x ^{1) 2)}		x ^{1) 2)}		B 06
250									x ^{1) 2)}		x ^{1) 2)}	x ^{1) 2)}		x ^{1) 2)}	

¹⁾ Casing with double volute

²⁾ Complementary sizes, only 4-pole drive possible

Pump casing

Radially split, consisting of volute casing and cover. The casing cover can be heated or cooled, if required (optional). Volute casing with casing wear rings. Casing cover with casing wear rings (depending on axial thrust balancing).

Centreline pump feet.

To reduce the hydraulic radial forces acting on the shaft and bearings, which increase with pump size and head, the casing of pumps with DN 80 and above has a double volute (except for pump sizes 80-180 and 100-180).

Nozzle positions

Axial inlet; on complementary sizes (see above) radial discharge pointing vertically upwards, otherwise tangential discharge.

Balancing

Balancing of axial thrust by sealing gap and balancing holes (if required).

Minimum flow

Unless specified otherwise in the individual characteristic curves, the following applies:

$Q_{min} = 0,1 \cdot Q_{opt}$, for short operation

$Q_{min} = 0,3 \cdot Q_{opt}$, for continuous operation

Bearing lubrication

Bearing bracket	Oil fill in l	Bearing bracket	Oil fill in l
B 02	0,9	B 05	2,5
B 03	1,8	B 06	5,7

Lubricating oil types C 46 DIN 51 517 or SAE 20 W/20 HD shall be used.

On the standard pump design, the bearing bracket is uncooled.

The bearings are oil bath lubricated. An oil thrower can be fitted (please contact KSB). Oil mist lubrication is also possible.

NPT threads are provided for cooling liquid connection, constant-level oiler, oil drain and vent plug.

The bearings are designed for at least 40.000 operating hours.

During pump standstill the oil level can be checked against the mark next to the oil level sight glass.

Flushing liquid

Flushing liquid is to be used to lubricate the mechanical seal. For this purpose, a circulation line from the discharge side of the pump to the mechanical seal chamber is provided in standard.

Quench liquid: a connection for a quench liquid is available on the standard cartridge seals SHV and 8BVS. The connection of the quench is recommended.

Mechanical Seals Used

Mechanical seal	Maker	Type	Material
single-acting	Burgmann	SHV-X	A.Q1.V5.M.G1
single-acting	J.Crane	8BVS	A2.Q1.E.M2.G1

Coating and preservation (to AN 1865)

Treatment of un machined parts: reaction primer; wetted components without first primer coat (internal and external)

Coating – pressure-retaining parts: without finish coat
Coating – bearing bracket, baseplate: synthetic enamel RAL 5002, ultramarine blue

Preservation: rinsed with water repellent; bright parts liable to rust with protective coating

Acceptance tests / guarantees

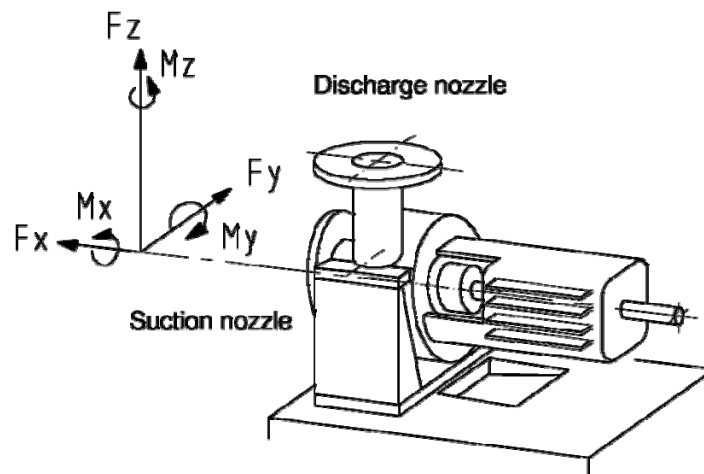
Each pump is subjected to a performance test, and its duty point is guaranteed according to ISO 9906/2.

Certificates for the following acceptance tests may be performed at extra charge:

Hydrostatic test	1,5 x (suction pressure + shut off head)
Performance test HI level A	1 duty point guaranteed
Performance test ISO 9906/1	5 measuring points
Performance test ISO 9906/2	1 duty point guaranteed
Performance test ISO 9906/2A	5 measuring points
NPSH test	1 duty point guaranteed
	5 measuring points

Warranties are given within the scope of the valid delivery conditions.

External nozzle forces and moments



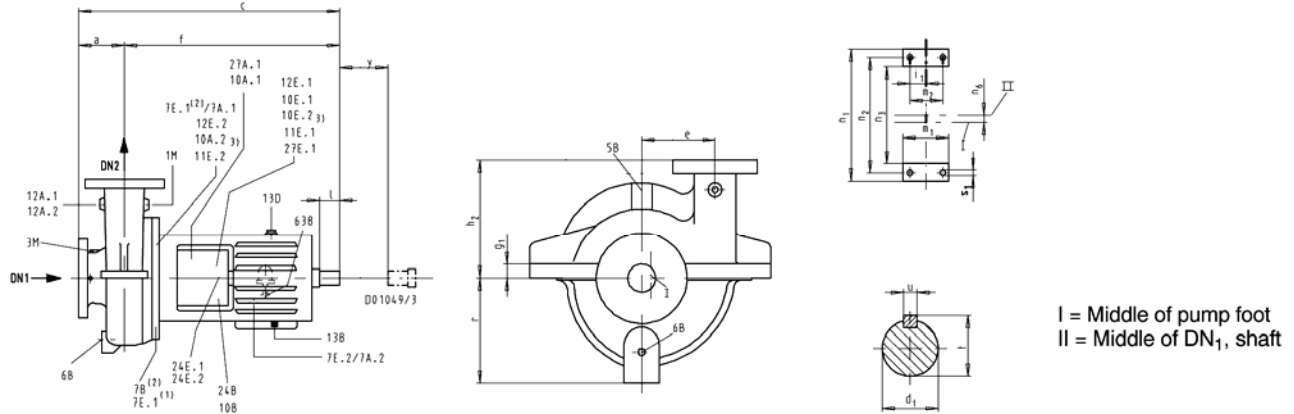
Pump sizes	Suction nozzle								Discharge nozzle							
	Forces (in N)				Moments (in Nm)				Forces (in N)				Moments (in Nm)			
	F_x	F_y	F_z	F_{res}	M_x	M_y	M_z	M_{res}	F_x	F_y	F_z	F_{res}	M_x	M_y	M_z	M_{res}
25-180 25-230	1780	1430	1160	2560	920	460	710	1250	1430	1160	1780	2560	920	460	710	1250
40-180 40-230 40-280	1780	1430	1160	2560	920	460	710	1250	1430	1160	1780	2560	920	460	710	1250
40-181 40-231 40-281 40-361	1780	1430	1160	2560	920	460	710	1250	1430	1160	1780	2560	920	460	710	1250
50-180 50-230 50-280 50-360 50-450	2670	2140	1780	3860	1900	950	1440	2570	1430	1160	1780	2560	920	460	710	1250
80-180 80-230 80-280 80-360 80-450	3560	2840	2320	5110	2660	1360	2010	3600	2140	1780	2670	3860	1900	950	1440	2570
100-180 100-230 100-280 100-360 100-450	6230	4980	4090	8960	4610	2360	3530	6270	2850	2310	3560	5110	2660	1360	2010	3600
150-230 150-280 150-360 150-450 150-501 150-630	9790	7560	6230	13850	7050	3530	5150	9420	4980	4100	6230	8970	4610	2360	3530	6270
200-280 200-360 200-401 200-450 200-501 200-670	13350	10680	8900	19270	10030	4880	7590	13490	7560	6230	9790	13850	7060	3530	5150	9420
250-401 250-501 250-630 250-710	16000	13340	10680	23410	12200	5960	9220	16412	10680	8900	13340	19267	10040	4880	7600	13505

Recommended spare parts stock for 2 Years' operation to DIN 24296

Part No.	Description	Number of pumps (including stand-by pumps)							20%
		2	3	4	5	6 and 7	8 and 9	10 and more	
Quantity of spare parts									
210	Shaft	1	1	1	2	2	2	20%	
230	Impeller	1	1	1	2	2	2	20%	
320.02	Angular contact ball bearing (set)	1	1	2	2	2	3	25%	
322.01	Cylindrical roller bearing	1	1	2	2	2	3	25%	
330	Bearing bracket	-	-	-	-	-	1	2 pcs.	
433	Mechanical seal (cartridge)	2	3	4	5	6	7	90%	
502.01/02	Casing wear ring	2	2	2	3	3	4	50%	
503.01/02	Impeller wear ring	2	2	2	3	3	4	50%	
542.02	Throttling bush	1	1	2	2	2	3	30%	
---	Other sealing elements	4	6	8	8	9	10	100%	

Note: Recommended spare parts for commissioning and start-up: 1 set of seal elements.

Dimensions Pump dimensions

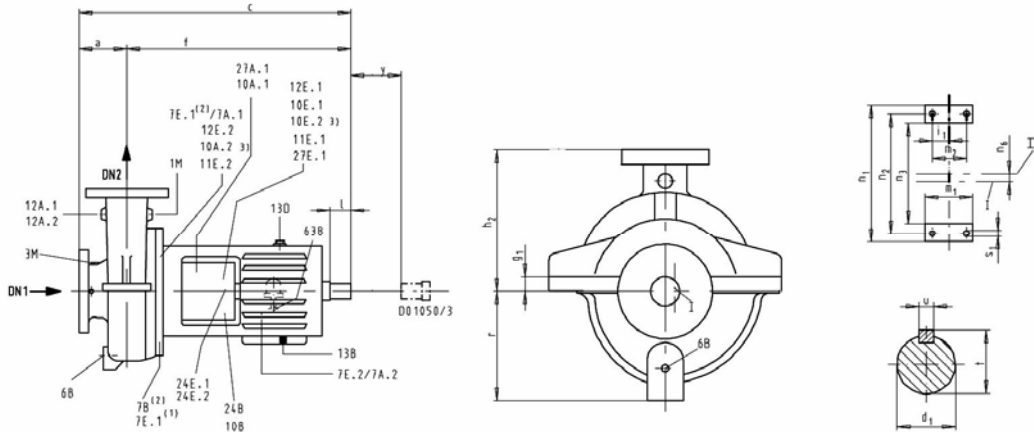


- 1) Not for bearing bracket B 06
 2) = for pressurized tandem seals
 3) = for "back-to-back" seals

Pump size	Weight kg	Bearing bracket	Pump dimensions																	Shaft end					Foot bolts			
			DN ₁	DN ₂	a	c	e	f	g ₁	h ₂	m ₁	n ₁	n ₂	n ₃	r	k _g	l	t	u	y	i ₁	m ₂	n ₂	s ₁				
25-180	116	B 02 S	40	25	120	770.5	105	652	40	230	130	420	320	0	185	32	114.5	35	10	140	30	60	380	17.5				
25-230	131	B 02 S	40	25	120	770.5	125	652	40	255	130	460	360	0	205	32	114.5	35	10	140	30	60	420	17.5				
40-180	122	B 02 S	50	40	130	780.5	105	652	40	250	130	420	320	0	188	32	114.5	35	10	140	30	60	380	17.5				
40-181	136	B 02 L	50	40	130	784.5	110	656	40	250	130	420	320	0	198	32	114.5	35	10	140	30	60	380	17.5				
40-230	138	B 02 S	50	40	130	780.5	130	652	40	265	136	460	360	0	215	32	114.5	35	10	140	30	60	420	17.5				
40-231	158	B 02 L	50	40	140	794.5	135	656	40	265	146	460	360	0	220	32	114.5	35	10	140	30	60	420	17.5				
40-280	197	B 02 L	50	40	140	794.5	160	656	40	290	146	540	440	0	238	32	114.5	35	10	140	35	70	500	17.5				
40-281	195	B 02 L	50	40	140	794.5	160	656	40	290	150	540	440	0	248	32	114.5	35	10	140	35	70	500	17.5				
40-361	249	B 02 L	50	40	150	804.5	195	656	40	305	150	340	540	0	275	32	114.5	35	10	140	35	70	600	17.5				
50-180	153	B 02 L	80	50	150	804.5	120	656	50	265	150	470	360	0	220	32	114.5	35	10	140	35	70	420	22				
50-230	240	B 03	80	50	155	915	140	755	50	265	150	510	400	0	230	42	140	45	12	140	35	70	460	22				
50-280	289	B 03	80	50	170	930	170	755	50	290	150	550	440	0	255	42	140	45	12	140	35	70	500	22				
50-360	347	B 03	80	50	170	930	200	755	50	310	150	650	540	0	285	42	140	45	12	140	45	90	600	22				
50-450	441	B 03	80	50	180	940	245	755	50	365	150	750	640	0	325	42	140	45	12	140	45	90	700	22				
80-180	242	B 03	100	80	175	950	140	770	60	290	170	510	400	0	235	42	140	45	12	140	45	90	460	22				
80-230	264	B 03	100	80	170	930	160	755	60	290	170	550	440	20	265	42	140	45	12	140	45	90	500	22				
80-280	317	B 03	100	80	180	940	180	755	60	300	170	590	480	20	290	42	140	45	12	140	45	90	540	22				
80-360	361	B 03	100	80	90	950	210	755	60	310	170	650	540	15	325	42	140	45	12	140	45	90	600	22				
80-450	547	B 05 S	100	80	200	1082	260	879.5	60	370	170	760	650	20	375	60	182	64	12	180	45	90	710	22				
100-180	289	B 03	150	100	185	960	170	770	70	325	190	590	480	25	275	42	140	45	12	140	50	100	540	26				
100-230	303	B 03	150	100	170	930	175	755	70	325	170	590	480	30	285	42	182	45	12	140	50	100	540	26				
100-280	345	B 03	150	100	170	930	200	755	70	335	190	650	540	30	315	42	182	45	12	140	50	100	600	26				
100-360	477	B 05 S	150	100	200	1082	225	879.5	70	355	190	730	590	25	340	60 ⁴⁾	182	64	18	180	55	110	670	26				
100-450	576	B 05 S	150	100	210	1092	270	879.5	70	385	190	860	720	30	395	60 ⁴⁾	182	640	18	180	55	110	800	26				
150-230	369	B 03	200	150	200	960	210	755	80	355	200	730	590	45	330	42	182	45	12	140	50	100	670	33				
150-280	461	B 05 S	200	150	200	1082	225	879.5	80	365	200	730	590	40	355	60 ⁴⁾	182	64	18	180	60	120	670	33				
150-360	533	B 05 S	200	150	230	1112	250	879.5	80	365	200	780	640	40	385	60 ⁴⁾	182	64	18	180	60	120	720	33				
150-450	659	B 05 L	200	150	230	1112	280	879.5	80	415	200	870	720	35	420	60 ⁴⁾	182	64	18	180	55	110	800	33				
200-280	575	B 05 S	250	200	230	1112	260	879.5	90	395	230	870	720	50	400	60 ⁴⁾	182	64	18	180	55	110	800	36				
200-360	683	B 05 L	250	200	230	1112	275	879.5	90	395	230	910	760	60	430	60 ⁴⁾	182	64	18	180	55	110	840	36				
200-450	804	B 05 L	250	200	250	1132	310	879.5	90	435	230	970	820	50	475	60 ⁴⁾	182	64	18	180	55	110	900	36				

⁴⁾ d₁ ∅ n₆

Complementary sizes RPH Bearing brackets B 05/B 06

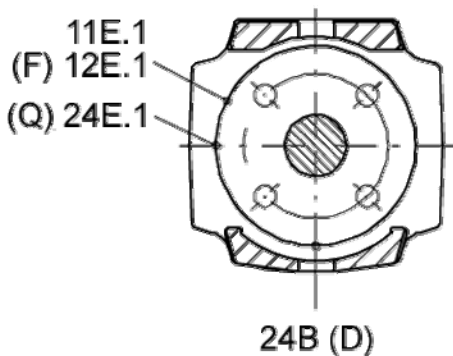


- 1) Not for bearing bracket B 06
- 2) = for pressurized tandem seals
- 3) = for "back-to-back" seals

I = Middle of pump foot
II = Middle of DN₁, shaft

Pump size	Weight kg	Bearing bracket	Pump dimensions															Shaft end					Foot bolts					Drain line		
			DN ₁	DN ₂	a	c	f	g ₁	h ₂	m ₁	n ₁	n ₂	n ₃	r	d ₁ ø	k _g	l	t	u	y	i ₁	m ₂	n ₂	s ₁	z	e1	r ₁	a ₁		
150-501	516	B 05 L	200	150	200	1082	899,5	90	517	180	960	820	0	370	60 ⁴⁾	182	64	18	180	60	120	900	33	165	0	315	63,5			
150-630	1190	B 06	200	150	250	1385	1185	90	670	310	1200	1020	60	465	95 ⁴⁾	215	100	25	250	105	210	1120	36	260	85	412,5	80			
200-401	528	B 05 L	250	200	215	1055	904,5	90	530	180	960	820	0	390	60 ⁴⁾	182	64	18	180	60	120	900	33	165	0	330	64,5			
200-501	676	B 05 L	250	200	230	1045	884,5	90	595	180	1060	920	0	420	60 ⁴⁾	182	64	180	180	60	120	1000	33	165	0	360	78,5			
200-670	1440	B 06	250	200	250	1380	1180	90	670	310	1360	1180	0	485	95 ⁴⁾	215	100	25	250	105	210	1280	36	260	0	425	73			
250-401	734	B 05 L	300	250	261	1100	899,5	90	620	210	1160	1000	0	425	60 ⁴⁾	182	64	18	180	75	150	1080	33	165	0	365	105			
250-501	926	B 05 L	300	250	221	1060	899,5	90	690	210	1200	1040	0	475	60 ⁴⁾	182	64	18	180	75	150	1120	33	165	0	412	102			
250-630	1500	B 06	300	250	300	1390	1140	90	750	310	1200	1020	70	485	95 ⁴⁾	215	100	25	250	105	210	1120	36	260	0	425	108			
250-710	1630	B 06	300	250	300	1380	1130	90	800	310	1460	1280	0	560	95 ⁴⁾	215	100	25	250	105	210	1380	36	260	0	500	122			

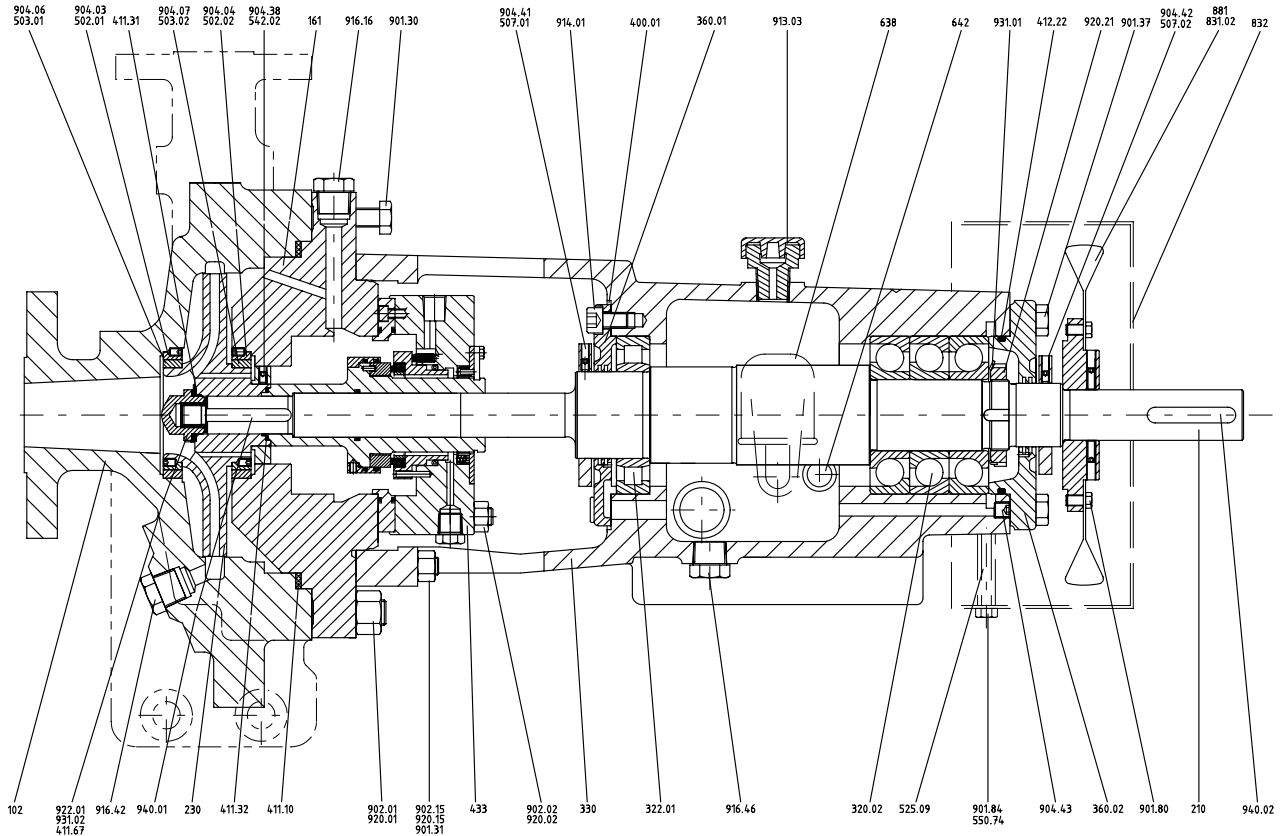
Connections



Single-acting mechanical seal with quench supply

Connection	Dimension	Description
11E.1	NPT 1/2-14	Flushing liquid inlet
12E.1	NPT 1/2-14	Circulation liquid inlet / outlet
24B	NPT 3/8-18	Quench liquid drain
24E.1	NPT 3/8-18	Quench liquid inlet / outlet

General assembly drawings Bearing brackets B02 to B05



When ordering spare parts, please always specify:

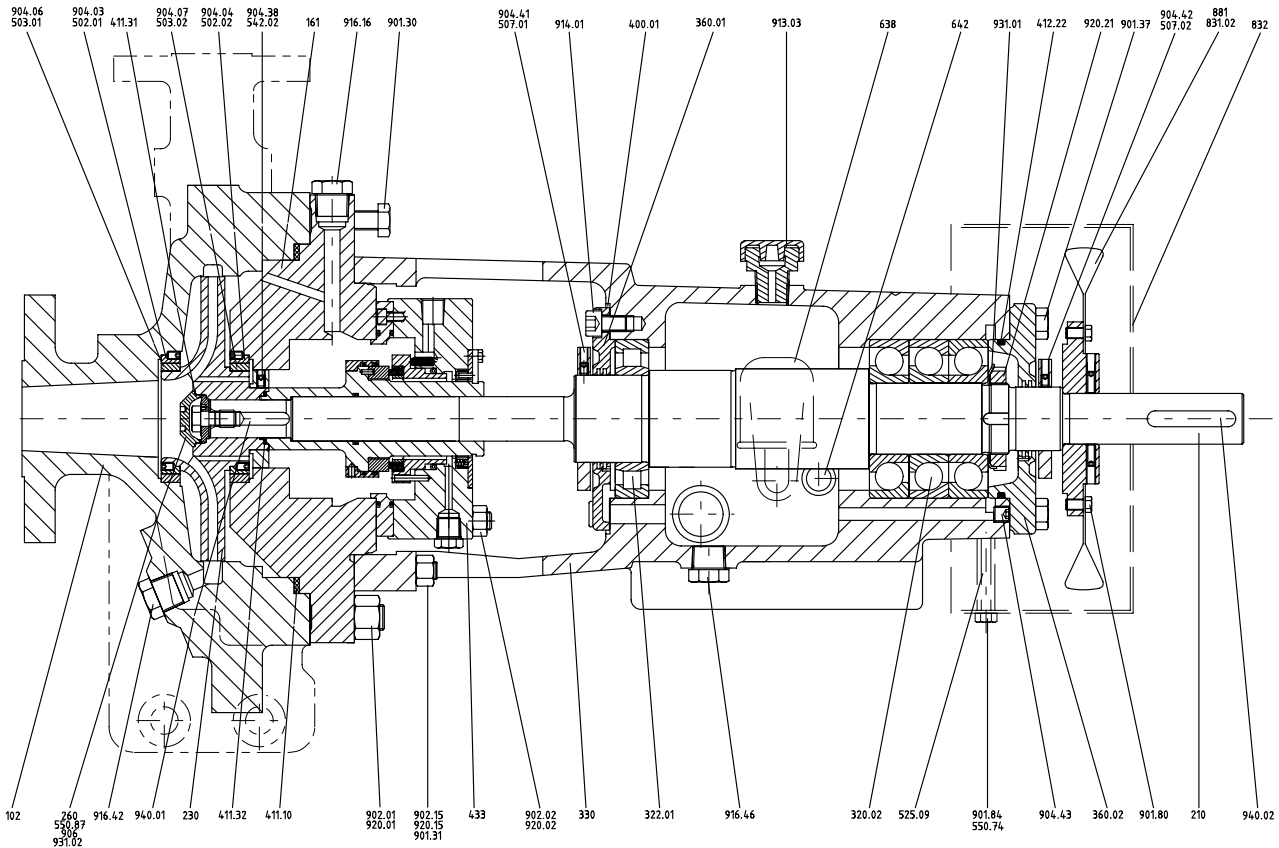
Type series, works No. (stamped on the name plate and on the suction nozzle flange), year of construction, quantity required, part No., description, material, fluid handled, general assembly drawing No. and mode of dispatch.

Part No.	Description	Scope of supply
102	Volute casing	With joint ring 411.10, casing wear ring 502.01, stud 902.01, grub screw 904.03, plug 916.42, hex. nut 920.01
161	Casing cover	With joint ring 411.10, casing wear ring 502.02 ¹⁾ , hex. head bolt 901.30, stud 902.15, grub screw 904.04 ¹⁾ , plug 916.16, hex. nut 920.15
210	Shaft	With keywayed nut 920.21, lockwasher 931.01, key 940.01/02
230	Impeller	With impeller wear ring 503.01/02, grub screw 904.06/07, joint ring 411.31/32/67 (optional), lockwasher 931.02
320.02/550 ²⁾	Angular contact ball bearing	With ring 550 (adjusting washer)
322.01	Cylindrical roller bearing	
330	Bearing bracket (compl.)	With protective cage 169.10, bearing cover 360.01/02, gasket 400.01, O-ring 412.22, constant-level oiler 638, oil level sight glass 642, pipe 710.22, hex. head bolt 901.31/37, vent plug 913.03, plug 916.46, socket head cap screw 914.01
360.01/02	Bearing cover	With gasket 400.01, O-ring 412.22, socket head cap screw 914.01
433	Mechanical seal	
502.01/02 ¹⁾	Casing wear ring	Grub screw 904.03/04 ¹⁾
503.01/02 ¹⁾	Impeller wear ring	Grub screw 904.06/07 ¹⁾
507.01/02	Thrower	Grub screw 904.41/42
542.02	Throttling bush	
638	Constant-level oiler	
831.02	Fan impeller (optional)	With fan hood 832, fan hub 881, grub screw 904.33
904.38	Grub screw	
922.01	Impeller nut	
99-9	Complete set of sealing elements (not shown)	

¹⁾ for impellers with balancing of axial thrust only

²⁾ for bearing brackets B03 and B05 only

Bearing bracket B06



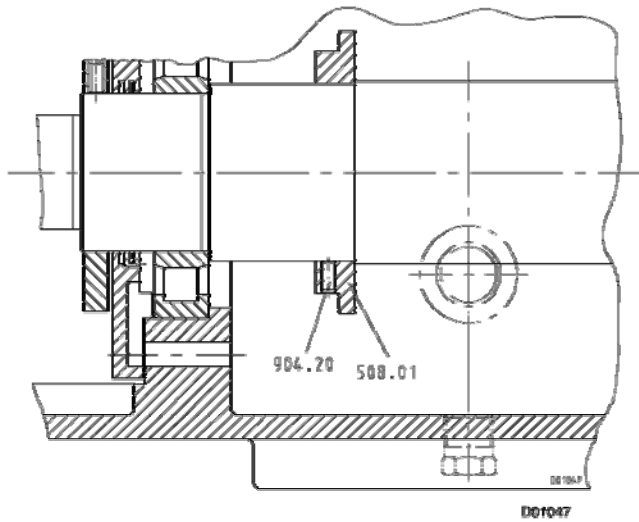
When ordering spare parts, please always specify:

Type series, works No. (stamped on the name plate and on the suction nozzle flange), year of construction, quantity required, part No., description, material, fluid handled, general assembly drawing No. and mode of dispatch.

Part No.	Description	Scope of supply
102	Volute casing	With joint ring 411.10, casing wear ring 502.01, stud 902.01, grub screw 904.03, plug 916.42, hex. nut 920.01
161	Casing cover	With joint ring 411.10, casing wear ring 502.02 ¹⁾ , hex. head bolt 901.30, stud 902.15, grub screw 904.04 ¹⁾ , plug 916.16, hex. nut 920.15
210	Shaft	With keywayed nut 920.21, lockwasher 931.01, key 940.01/.02
230	Impeller	With impeller wear ring 503.01/.02, grub screw 904.06/.07, joint ring 411.31/.32/.67 (optional), lockwasher 931.02
320.02	Angular contact ball bearing	With ring 550 (adjusting washer)
322.01	Cylindrical roller bearing	
330	Bearing bracket (compl.)	With protective cage 169.10, bearing cover 360.01/.02, gasket 400.01, O-ring 412.22, constant-level oiler 638, oil level sight glass 642, pipe 710.22, hex. head bolt 901.31/.37, vent plug 913.03, plug 916.46, socket head cap screw 914.01
360.01/.02	Bearing cover	With gasket 400.01, O-ring 412.22, socket head cap screw 914.01
433	Mechanical seal	
502.01/.02 ¹⁾	Casing wear ring	Grub screw 904.03/.04 ¹⁾
503.01/.02 ¹⁾	Impeller wear ring	Grub screw 904.06/.07 ¹⁾
507.01/.02	Thrower	Grub screw 904.41/.42
542.02	Throttling bush	
550.87	Disc	
638	Constant-level oiler	
831.02	Fan impeller (optional)	With fan hood 832, fan hub 881, grub screw 904.33
904.38	Grub screw	
906	Impeller screw	
931.02	Lockwasher	
99-9	Complete set of sealing elements (not shown)	

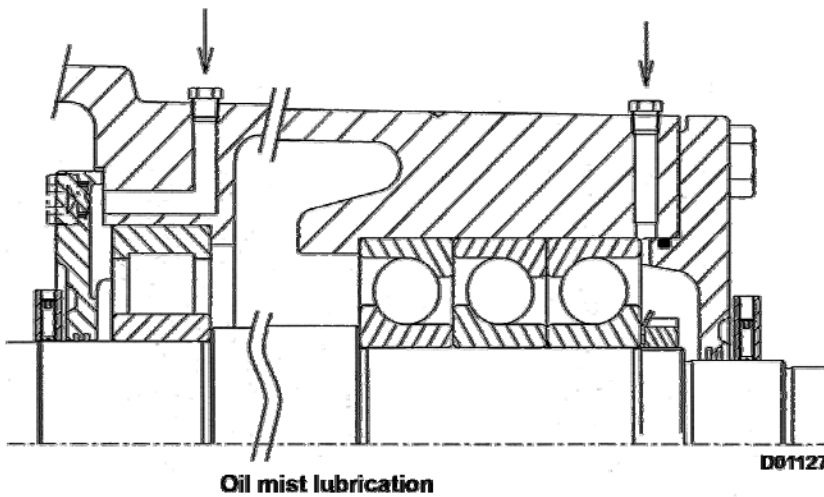
¹⁾ for impellers with balancing of axial thrust only

Design Variants



Special pump design with thrower

Part No.	Description
508.01	Oil thrower
904.20	Grub screw



Performance curves

For individual characteristic curves, refer to offer curves 1316.451 (50Hz) and 1316.461(60Hz).



KSB Bombas Hidráulicas SA
Rua José Rabello Portella, 400
Várzea Paulista SP 13220-540
Brazil <http://www.ksb.com>
Phone.: 55 11 4596 8500 Fax: 55 11 4596 8580
SAK – KSB Customer Service
e-mail: gqualidade@ksb.com.br
Fax: 55 11 4596 8656


DEPÓSITO AIQSA TIPO H

TIPO H

EQUIPO DE NORMA
Boca inspección, respiradero,
dos tubuladuras, cama soporte metálica

EQUIPO OPCIONAL
Tubuladuras adicionales
Valvulería y accesorios
Niveles, etc...

CAPACIDADES de 1000
a 234.000 lts.





Capacidad	D	L	Capacidad	D	L
1.000	900	1715	28.000	2500	6254
2.000	900	3303	29.000	2500	6460
3.000	1200	1961	30.000	2500	6666
4.000	1200	2855	35.000	2500	7695
5.000	1400	3508	40.000	3000	5396
6.000	1400	4171	45.000	3000	6111
7.000	1700	3362	50.000	3000	6826
8.000	2000	2510	55.000	3000	7541
9.000	1700	3807	60.000	3000	8255
	1700	4252	66.000	3700	6172
	2000	3144		4000	5391
	1700	4697	70.000	3700	7111
10.000	2000	3461		4000	6195
	2250	2882		4200	5926
	2000	3778	80.000	3700	8051
11.000	2250	3139		4000	6999
	2000	4095		4200	6655
	2250	3395		3700	8990
	2000	4412	90.000	4000	7803
	2250	3652		4200	7384
	2000	4729		3700	9929
	2250	3909	100.000	4000	8606
	2250	4165		4200	8113
	2000	5363		3700	10869
	2250	4422		4000	9410
	2500	3783		4200	8842
	2250	4679		3700	11808
	2500	3969	120.000	4000	10214
	2250	4935		4200	9571
	2500	4195		3700	12748
	2250	5192		4000	11018
	2500	4401		4200	10300
	2250	5449		4000	11821
	2500	4607		4200	11029
	2250	5706		4000	12625
	2500	4813		4200	11758
	2250	5962		4200	13429
	2500	5019		4200	12487
	2500	5225		4200	13216
	2500	5430		4800	10770
	2500	5636		4800	11328
	2500	5842		4800	11886
	2500	6048		4800	12444
				4800	13002
				4800	13784


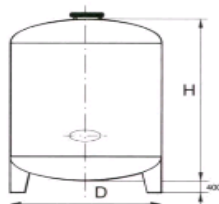
DEPÓSITO AIQSA TIPO D

TIPO D

EQUIPO DE NORMA
Boca inspección (lateral o superior),
respiradero, dos tubuladuras,
pies de pozo.

EQUIPO OPCIONAL
Tubuladuras adicionales
Valvulería y accesorios
Niveles, etc...

CAPACIDADES de 1000
a 234.000 lts.

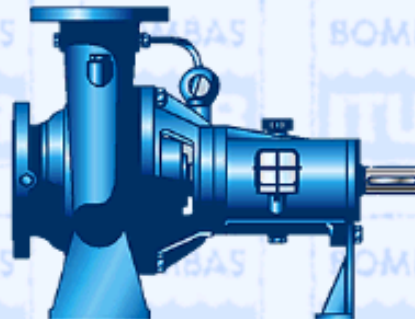
Capacidad	D	H	Capacidad	D	H
1.000	900	1715	28.000	2500	6254
2.000	900	3303	29.000	2500	6460
	1200	1961	30.000	2500	6666
3.000	1200	2855	35.000	2500	7695
4.000	1200	3749	40.000	3000	5396
5.000	1400	3508	45.000	3000	6826
6.000	1400	4171	50.000	3000	7541
7.000	1700	3362	55.000	3000	8255
	2000	2510	60.000	3700	6172
8.000	1700	3807	70.000	4000	5391
9.000	1700	4252		3700	7111
	2000	3144	4000	6195	
10.000	1700	4697	4200	5926	
	2000	3461	3700	8051	
11.000	2250	2882	4000	6999	
	2000	3778	4200	6655	
12.000	2250	3139	3700	8990	
	2000	4095	4000	7803	
13.000	2250	3395	4200	7384	
	2000	4412	3700	9929	
14.000	2250	3652	100.000	4000	8606
	2000	4729	4200	8113	
15.000	2250	3909	3700	10869	
	2250	4165	4000	9410	
16.000	2000	5363	4200	8842	
	2250	4422	3700	11808	
17.000	2500	3783	120.000	4000	10214
	2250	4679	4200	9571	
18.000	2500	3989	3700	12748	
	2250	4935	4000	11018	
19.000	2500	4195	4200	10300	
	2250	5192	4000	11821	
20.000	2500	4401	140.000	4200	11029
	2250	5449	4000	12625	
21.000	2500	4607	150.000	4200	11758
	2250	5706	4200	13429	
22.000	2500	4813	160.000	4200	12487
	2250	5962	4200	13216	
23.000	2500	5019	170.000	4200	13216
	2500	5225	180.000	4800	10770
24.000	2500	5430	190.000	4800	11328
25.000	2500	5636	200.000	4800	11886
26.000	2500	5842	210.000	4800	12444
27.000	2500	6048	220.000	4800	13002
			234.000	4800	13784

DEPÓSITO AIQSA TIPO BIG-TANK

MEDIDAS Y CAPACIDADES					
 <p>BIG-TANK</p> <p>BIG-TANK (Por elementos)</p>			<p>EQUIPO DE NORMA Boca inspección (lateral o superior) Respiradero Dos tubuladuras</p> <p>OPCIONES Tubuladuras adicionales Valvulería y accesorios Niveles, etc...</p>		
Capacidad	D	H	Capacidad	D	H
50.000	4000	4320	170.000	4.800	9.913
60.000	4000	5390		5.000	9.080
70.000	4000	5910		6.000	6.600
	5000	3960	7.000	4.970	
80.000	4000	6710	180.000	8.000	4.000
	4800	4890		4.800	10.472
90.000	5000	4470		5.000	9.590
	4000	7510	6.000	6.850	
100.000	4800	5448	7.000	5.230	
	5000	4990	8.000	4.200	
110.000	4000	8300	190.000	4.800	11.030
	4800	6006		5.000	10.110
	5000	5500		6.000	7.210
120.000	6000	4010	200.000	7.000	5.490
	4000	9100		8.000	4.400
	4800	6565		4.800	11.588
130.000	5000	6010	210.000	5.000	10.620
	6000	4360		6.000	7.560
	4000	9900		7.000	5.750
140.000	4800	7123	220.000	8.000	4.600
	5000	6520		9.000	3.830
	6000	4720		4.800	12.146
150.000	4000	10690	250.000	4.800	12.704
	4800	7681		5.000	13.170
	5000	7030		6.000	9.330
160.000	6000	5080	300.000	7.000	7.050
	4000	11490		8.000	5.600
	4800	8239		9.000	4.620
170.000	5000	7550	350.000	6.000	11.110
	6000	5430		7.000	8.360
	7000	4190		8.000	6.600
180.000	4000	12290	400.000	9.000	5.410
	4800	8797		6.000	12.880
	5000	8060		7.000	9.660
190.000	6000	5780	450.000	8.000	7.600
	7000	4450		9.000	6.200
	4000	13080		6.000	14.660
200.000	4800	9355	500.000	7.000	10.970
	5000	8570		8.000	8.600
	6000	6140		9.000	6.990
210.000	7000	4710	10.000	5.250	

BOMBA ITUR MODELO INP

productos



INP

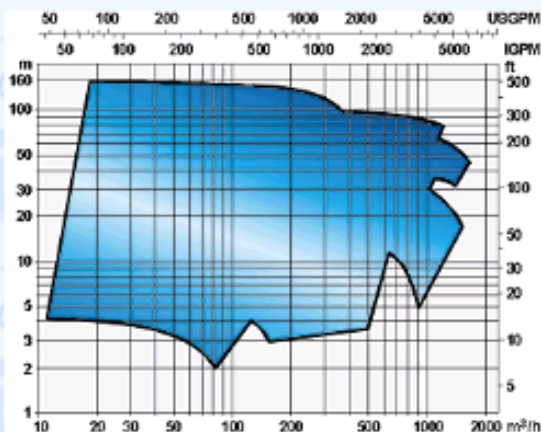
Bomba centrífuga de proceso ("medium duty"), según ISO-2858 y tamaños complementarios. Impulsor cerrado o semiabierto, permite inductor para mejorar el NPSHr. Rodamientos lubricados por aceite. Sellado por cierre mecánico o empaquetadura con diversos planes API. Fluidos limpios, o agresivos, o con partículas sólidas. Diseño de proceso que permite sacar el impulsor sin soltar las tuberías ni el motor.

Prestaciones máximas

concepto		ejecución estándar	otras ejecuciones
DNs	mm	100-350	100-350
DNd	mm	80-300	80-300
Q	m ³ /h	1600	1600
H	m	150	150
p	bar	16	16
t	°C	-5 +110	-15 +200
n	min ⁻¹	3000	3600

Ejecuciones Normalizadas

00	GG-25	01	Mixta	02	Mistinox
03	Bronce	04	Nodular	05	AISI-316
06	Acero	07	CA 6NM	08	AISI-329
09	AISI-316L	10	CN7M		



BOMBA DOSAPRO MODELO GA

GTM A: Most economical

The most economical and compact pump in the series

Maximum flow rate: 170 l/h

Maximum pressure: 12 bar

Housing made from glass fibre reinforced, corrosion-resistant composite material



Typical applications:

- **Municipal water treatment at wastewater treatment or potabilisation plants:** Coagulation/flocculation (injection of ferric chloride, aluminium sulphate, WAC, etc.), slurry treatment (injection of polymers), pH regulation (injection of acids and alkalis), etc.
- **Air treatment:** Scrubber tower (injection of sodium hydroxide, sulphuric acid, bleach)
- **Animal husbandry:** Nursery or post-weaning drinking water treatment (injection of medication, vitamins, vaccines) acids, chlorine, etc.), for all animal species, drinking water treatment (injection of sodium hypochlorite, hydrogen peroxide, chlorine dioxide preparation)
- **Wine growing:** Sulphiting (dosing of liquid sulphur, potassium bisulphite or potassium metabisulphite), clarification (injection of bentonite), preparation for fermentation (injection of yeast), liquid gum arabic treatment
- **Automotive industry:** Surface treatment (injection of diluted fluoride), paint booth water curtain treatment (injection of acids/alkalis)
- **Other industries:** Reagent preparation

BOMBA HIDROTECAR MODELO LE



ISO 9001

AENOR



Empresa Registrada
ER-01321AD

PROGRAMA DE FABRICACIÓN

HIDROTECAR







PRESENTACIÓN

BOMBAS TERRESTRES

BOMBAS NAVALES

DESCARGAR ABRILAT



HIDROTECAR

Características

Q ≤ 700 m ³ /h	n ≤ 1.5000 r.p.m.	P. máx. ≤ 100 Kg/cm ²
H ≤ 600 m	t ≤ 160° C	

Aplicaciones

Manejo de líquidos limpios o ligeramente turbios, sin impurezas sólidas.
Apropiada en los siguientes campos: alimentación de calderas, evacuación en minas, centrales hidráulicas y de agua caliente.

Descripción

- Bomba centrífuga horizontal multicelular, con los rodetes de simple aspiración de palas helicoidales.
- Equilibrado del empuje axial con plato de compensación.
- La carcasa de la bomba está compuesta por los cuerpos de aspiración e impulsión y los cuerpos intermedios.
- Provista de anillos de desgaste intercambiables.
- El rotor de la bomba se sustenta sobre dos cojinetes de deslizamiento, lubricados por aceite.
- El cierre del eje puede realizarse con empaquetaduras o cierres mecánicos apropiados al medio bombeado.
- El sentido de giro podrá ser a derechas o a izquierdas.

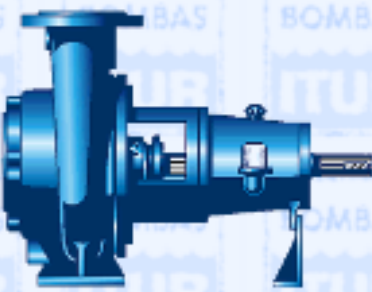
LE



Bomba centrífuga horizontal multicelular.

BOMBA ITUR MODELO RW

productos



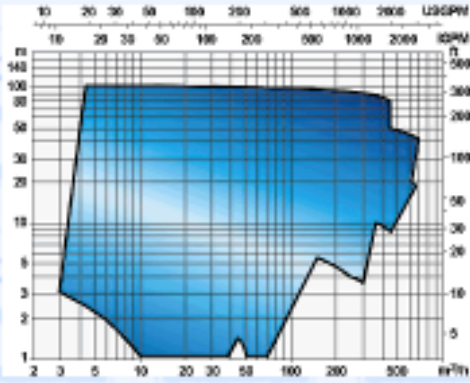
RW
 Bomba centrífuga de proceso. Permite impulsor vortex, semibloqueado o de dos o tres canales. Sellado por cierre mecánico o empaquetadura con diversos planes API. Rodamientos lubricados por aceite. Para fluidos limpios, o agresivos, o con un importante contenido de sólidos. Diseño de tipo proceso que permite sacar el impulsor sin soltar las tuberías ni el motor.

Prestaciones máximas

concepto		ejecución estándar	otras ejecuciones
DNs	mm	65-200	65-200
DNd	mm	50-200	50-200
Q	m ³ /h	700	800
H	m	100	140
p	bar	16	16
t	°C	-5 +120	-15 +250
n	min ⁻¹	3000	3600

Ejecuciones Normalizadas

00	GG-25	01	Mixta	02	Mistinox
03	Bronce	04	Nodular	05	AISI-316
07	CA6NM	08	AISI-329	09	AISI-316L
10	CN7M	12	Mistloras	21	Impbron
22	Ejenox				

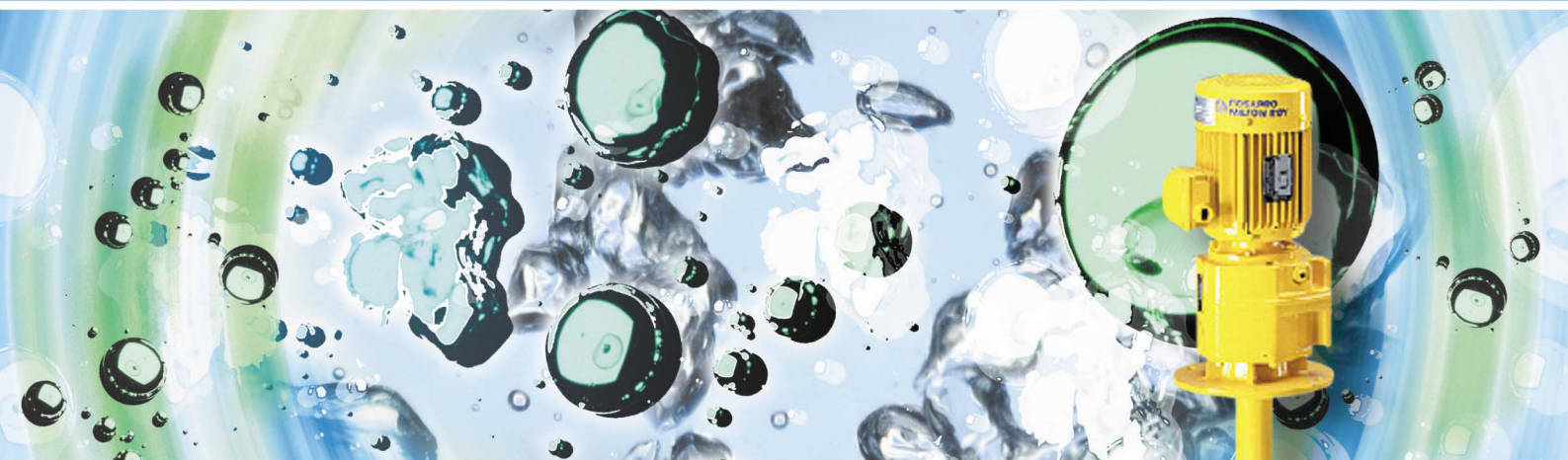


[[Inicio](#) | [Contacto](#) | [Productos](#) | [Servicios](#) | [ITUR en el mundo](#) | [Compañía](#)]

HELISEM® RANGE

VR SERIES MIXERS

Open tanks from 0,5 to 20 m³ – Atmospheric pressure – Temperature up to 90°C



TYPE VRP

General characteristics

- Agitator pulled by a gear drive motor
- Lower shaft provided with a 4 pitched blade turbine
- Rated power from 0,25 to 1,5 Kw
- Appropriate for tanks of low volume

Capacities

- From 0.5 to 20 m³ approximately

Operating conditions

- Atmospheric Pressure
- Temperature up to 90°C

Main applications

- Homogenization
- Dissolution
- Preparation of reagents
- Neutralization

Construction materials

- Stainless steel 316L
- Painting PU : RAL 1018 on the driving system (please consult us for any other material).

Electric characteristics

- 230/400 V three-phase
- 50Hz
- IP 55
(please consult us for any other voltage or frequency)

Options (depending on mixer type)

- Special motors
- Particular coating
- Second impeller

A robust construction

- Allowing a reduced maintenance
- Rotation during filling and draining allowed.

Operational limits

- Maximum viscosity of 100mPas
- Density < = 1,1
(please consult us for any other viscosity or density)



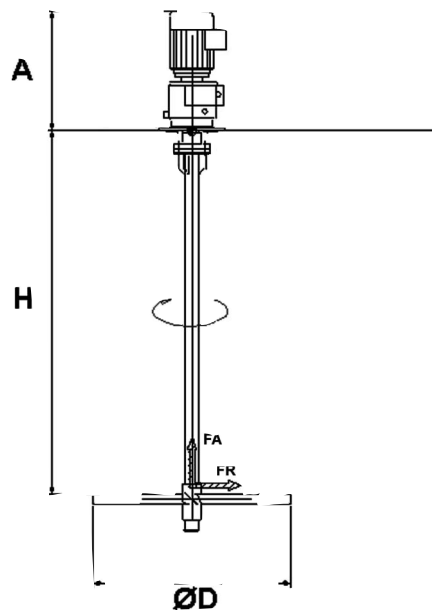
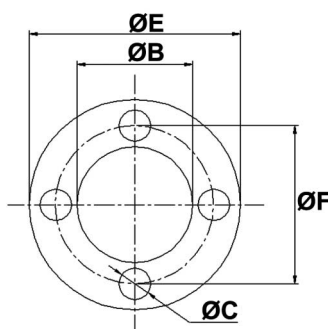
MILTON ROY
Mixing

SPECIFICATIONS

Type	Rated power (kW)	Rotation speed (rpm)	Maximum height (mm) H	Propeller diameter (mm) D	Propeller flowrate (m³/h)	Weight (Kg)	Axial load (DaN)	Torque (DaNm)
0021S	0.25	103	1300	200	46	15	28	2.3
0031S	0.37	126	1300	350	174	25	33.4	2.8
0051S	0.37	97	2000	500	545	51	10.4	3.6
1051S	0.55	100	1500	500	281	28	63.6	5.3
2061S	0.75	99	2500	600	955	56	18.5	7.2
3051S	1.1	137	1750	550	750	48	14.51	15
4071S	1.5	102	1900	700	1349	125	70.8	14
4072S	1.5	96	2500	700	1469	87	35	14.9
4081S	1.5	73	2500	800	1683	88	59	19.6
5081S	2.2	100	2000	800	1728	125	105.9	21
6081S	3	96	2000	800	2201	89	69.2	29.8

DIMENSIONS (MM)

Type	A	B	C	E	F
0021S	355	110	9	160	130
0031S	425	130	11	200	165
0051S	370	130	11	200	165
1051S	425	130	11	200	165
2061S	398	130	11	200	165
3051S	525	180	13,5	250	215
4071S	555	230	14	300	265
4072S	470	180	13,5	250	215
4081S	470	180	13,5	250	215
5081S	645	250	18	350	300
6081S	516	180	13,5	250	215



Please consult us for any other request.

DOSAPRO MILTON ROY

DOSAPRO MILTON ROY
10, Grande Rue
27360 PONT SAINT PIERRE
FRANCE
Tel : +33 (0) 2.32.68.30.00
Fax : +33 (0) 2.32.68.30.93
www.dosapro.com

UNITED KINGDOM – MILTON ROY UK, LTD
Oaklands Business Centre, Oaklands Park,
Wokingham Berkshire RG 41 2FD
Tel : +44 118 977 1066 Fax : +44 118 977 1198
www.miltonroyumps.co.uk

ESPAÑA - DOSAPRO MILTON ROY IBERICA
C/ Embajadores, 100 – 28012 Madrid
Tel : +34 (91) 517 80 00 Fax : +34 (91) 517 52 38
www.dosapro.es

MILTON ROY Mixing

MILTON ROY MIXING
10, rue du bois Gasseau BP N°94
77212 AVON Cedex
FRANCE
Tel : +33 (0) 1.60.74.95.20
Fax : +33 (0) 1.60.74.95.29
www.miltonroymixing.com

ITALIA – MILTON ROY ITALIA
Centro Direzionale Colleoni, palazzo andromeda ingresso 1,
via paracelso 16, 20041 Agrate Brianza (MI)
Tel : +39 039 605 68 91 Fax : +39 039 605 69 06
www.miltonroy.it

A.9.3 FICHAS DE SEGURIDAD DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

En este anexo se adjuntan todas las fichas de seguridad de los productos químicos utilizados durante el pretratamiento y pos-tratamiento.

- Ficha de seguridad del Génesis SW
- Ficha de seguridad metabisulfito sódico
- Ficha de seguridad del hipoclorito sódico
- Ficha de seguridad del Genesol 37

Inhibits Scale formation



Calcium Carbonate Specific



- ✓ Suitable for use in Reverse Osmosis(RO) and Nano-Filtration(NF) membranes
- ✓ Compatible with all types of polyamide membrane
- ✓ Particularly effective in high pressure systems working at 50-60% recovery
- ✓ Drinking water approval
- ✓ Replaces acid addition
- ✓ Highly cost effective alternative to SHMP
- ✓ Inhibits common scales
 - ▶ Calcium carbonate
 - ▶ Calcium phosphate
 - ▶ Calcium sulphate

Description

Genesys SW has been developed as a broad spectrum antiscalant for use in sea-water Reverse Osmosis and Nano-Filtration systems. It is highly effective at preventing the formation of inorganic scale thereby reducing the frequency of membrane cleaning and replacement.

Genesys SW allows systems to be designed and operated at their optimum rate of recovery, reducing the amount of feed water used and concentrate to be discharged. Consequently significant cost savings can be made with both capital and operational costs.

Application

Genesys SW should be dosed continuously to the feed water upstream of the cartridge filter.

Typical dosage rates are 0.8-1.5 mg/L.

The optimum dosage rate can be calculated using the Genesys Membrane Master[®] software. Genesys SW can be diluted and is fully miscible with water in all proportions.

Health and Safety

Genesys SW is an aqueous solution of neutralised carboxylic acid and has been registered for use in drinking water applications.

Genesys SW is compatible with carbon steel and all commonly used materials of construction.

A material safety data sheet is available on request.

Classification

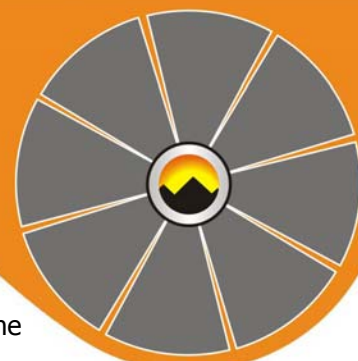
CHIP: Not Classified | UN: Non Hazardous

Typical properties

Appearance: pale yellow liquid
pH as supplied: 8.0 – 8.6
Specific gravity: 1.15 – 1.17
Freezing point: <-0°C

Packaging

Available in 25 kg kegs, 200 kg drums and 1,150 kg IBCs.
The 'shelf life' is two years under normal conditions of storage.




For more information contact:

Genesys International Ltd.
Unit 4, Ion Path, Road One, Winsford Ind. Estate,
Winsford, Cheshire, CW7 3RG, UK
Tel: + 44 1628 622 195
E-mail: info@genesysro.com
www.genesysro.com

Genesys Latin America - Chile
Genesys North America - USA
Genesys Pacific - Singapore
Genesys Membrane Products - Spain

Release 29/12/2007

 OXIDIAL Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL	Código:	MSDS -007	Fecha:	30/05/08
		Revisión:	02	Preparado por:	A.P
		Página:	1/5	Revisado por:	H.Y

Ficha Técnica de Seguridad y Uso

1.- Identificación del producto y la empresa fabricante:

Identificación del producto: **Metabisulfito de Sodio.**

Presentación: Fraccionado en bolsas de polietileno x 1 Kg.

Código del producto: MS-99.

Formula química: Na₂O₅S₂.

Numero CAS: 7681-57-4.

Uso del producto: El metabisulfito de sodio tiene como principal aplicación la eliminación del Cloro, este último es extremadamente agresivo con las membranas de osmosis y a su vez reacciona también con las Cloraminas. Es un excelente agente reductor y la dosificación correcta funciona como reemplazo de los filtros de carbón activado en la adsorción de muchos compuestos clorados.

Fraccionado y distribuido:

Oxidial SRL

Rosales 8240 - Mar del Plata

Tel. (0223) 482-7000

www.grupofg.com.ar


2.- Composición e información de componentes:

Ingrediente	Formula	Porcentaje por peso	Numero CAS
Metabisulfito de Sodio	Na ₂ O ₅ S ₂	99 %	7681-57-4
Sulfato de sodio	Na ₂ SO ₄	1 %	7757-82-6

3.- Propiedades físicas y químicas:

- Aspecto físico: Polvo, incoloro, con olor débilmente picante.
- pH ≈ 3.5 - 5.5 (50 g/l H₂O a 20° C).
- Punto de fusión ≈ 150° C (descomposición)
- Punto de ebullición: no aplicable.
- Solubilidad en agua: 650 g/l a 20° C.
- Densidad: 1.48 g/cm³ a 20° C.

4.- Identificación de peligros:

 Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL	Código:	MSDS -007	Fecha:	30/05/08
		Revisión:	02	Preparado por:	A.P
		Página:	2/5	Revisado por:	H.Y

Combustible en condiciones específicas. En contacto con ácidos libera gases tóxicos. Nocivo por inhalación o ingestión. Irritación en ojos y garganta. Evitar la dispersión del polvo. Mantener higiene estricta.

Las vías de entrada pueden ser:

- Inhalación: Irritación de nariz y garganta, dificultad para respirar, jadeo.
- Ojos: Irritación, enrojecimiento. Riesgo de lesiones oculares graves.
- Ingestión: Dificultad para respirar. Diarrea, vómitos, debilidad y dolor de cabeza.

5.- Primeros auxilios:

Recomendaciones:


- Equipo de protección personal al manipularlo (máscara con filtro para polvos, guantes y protección ocular). Los mismos deben elegirse específicamente según el puesto de trabajo en función de la concentración y cantidad de la sustancia.
- En caso de inhalación llevar a lugar fresco y bien aireado. Reposo.
- En contacto con la piel, eliminar ropa contaminada y lavar con abundante agua.
- En caso de salpicadura en los ojos, enjuagar con abundante agua manteniendo los párpados abiertos.
- En caso de ingestión, enjuague boca y suministre agua fresca. Reposo.
- En todos los casos consulte con un médico inmediatamente o traslade a la persona al hospital.

6.- Medidas para combatir incendio:

- Mantener alejado de fuentes de ignición. Incombustible.
- En caso de que el producto se viera envuelto en un incendio pueden formarse vapores de tóxicos y óxidos de azufre (irritante).
- Las partículas finamente dispersas pueden arder y desarrollar gran cantidad de calor.
- Intervenir siempre con agua desde una distancia prudencial, siendo también adecuados otros métodos de extinción como Dióxido de carbono (CO₂), espuma o polvo seco.
- Evacue a todo el personal no capacitado.
- Utilizar máscaras con sistema de respiración artificial y equipo de protección adecuado en caso de intervención. Avisar inmediatamente a los bomberos si pasara a mayores.
- Precipitar los vapores con agua, evitando la penetración del agua de extinción en acuíferos superficiales o subterráneos.

7.- Medidas en caso de fugas accidentales:

- Evitar la formación de polvo. No inhalar el polvo. Evitar el contacto con la sustancia. Ventilar el área si fuera un lugar cerrado.
- Utilizar equipo de protección adecuado (*vease sec. 5*).
- No añada productos químicos.

 Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL	Código:	MSDS -007	Fecha:	30/05/08
		Revisión:	02	Preparado por:	A.P
		Página:	3/5	Revisado por:	H.Y

- Recoger en seco y eliminar los residuos. Si fuera necesario humedecer el polvo para evitar su dispersión. Enjuagar con abundante agua el sector.
- De ninguna manera devolver el producto recuperado al envase original.
- No tirar a los desagües.

8.- Manipulación y almacenamiento:

Manipulación:

- Operar en área bien ventilada y fresca.
- La evaporación a los 20° C es despreciable; sin embargo se puede alcanzar lentamente una concentración nociva de partículas en el aire por dispersión.
- Nunca devuelva el producto no utilizado al envase original.
- Utilice protección personal adecuada para tal fin. (*vease sec.5*)

Almacenamiento:

- Conservar en área ventilada, fresca y seca alejado de fuentes de calor.
- Mantenga lejos de productos incompatibles (*vease sec. 9*)
- Mantenga cerrado con todo su empaque original o bien cerrado una vez abierto.

9.- Estabilidad y reactividad:

Estable bajo condiciones normales de uso. Mantenga estrictamente las condiciones de manipulación y almacenamiento mencionadas. Evitar el calentamiento fuerte ya que puede descomponerse produciendo humos tóxicos.

Materiales y sustancias que se deben evitar por posibles reacciones violentas:

- Oxidantes.
- Ácidos.

10.- Información toxicológica:

Toxicidad aguda:

DL50 oral rata: 1540 mg/Kg.

No cancerígeno en ensayos con animales. El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilidad en la piel. La exposición a inhalación prolongada o repetida puede originar asma. Toda persona que haya mostrado síntomas de asma, no debe entrar en contacto con esta sustancia.


11.- Información ecológica:

Biodegradabilidad: Los métodos para determinación de biodegradabilidad no son aplicables para sustancias inorgánicas.

No es de esperar una bioacumulacion. Efecto perjudicial en organismos acuáticos.

12.- Consideraciones sobre su eliminación:

No hay establecidas pautas homogéneas sobre eliminación del producto. No reutilizar los envases y embalajes.

 OXIDIAL Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL	Código:	MSDS -007	Fecha:	30/05/08
		Revisión:	02	Preparado por:	A.P
		Página:	4/5	Revisado por:	H.Y

13.- Información sobre el transporte:

- Denominación técnica: Sodio bisulfito (sodio metabisulfito) p.a.
 - No sometido a las normas de transporte.
- Bajo ninguna circunstancia alterar su embalaje original (envases primario y secundario).

14.- Información reglamentaria:

- Etiquetado:



Nocivo

Pictograma: Xn – Nocivo.

- Frases R: 22-31-41 “Nocivo en contacto con la piel y por ingestión. En contacto con ácidos libera gases tóxicos. Riesgo de lesiones oculares graves.”
- Frases S: 26-39-46 “En caso de contacto con ojos, lavase inmediatamente con abundante agua y acuda a un medico. Use protección para lo ojos/cara. En caso de ingestión, acuda inmediatamente al medico y muéstrela la etiqueta del envase”.

15.- Información complementaria:

Azul:

Peligro para la salud

- 4- Mortal
- 3- Muy peligroso
- 2- Peligroso
- 1- Poco peligroso
- 0- Normal

Rojo:

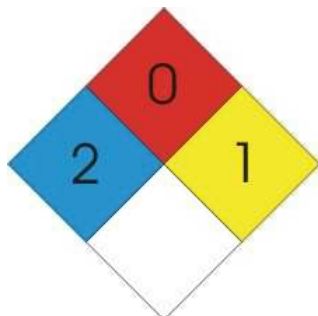
Inflamabilidad

- 4- Debajo de 25° C
- 3- Debajo de 37° C
- 2- Debajo de 93° C
- 1- Encima de 93° C
- 0- No arde

Amarillo:

Reactividad


- 4- Puede explotar
- 3- Puede explotar en caso de choque o calentamiento
- 2- Cambio químico violento
- 1- Inestable en caso de calentamiento
- 0- Estable



Blanco:

Peligro específico

- ACID – Ácido
- ALK – Alcalino
- COR – Corrosivo
- OXY – Oxidante
- Xi – Irritante


 Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL	Código:	MSDS -007	Fecha:	30/05/08
		Revisión:	02	Preparado por:	A.P
		Página:	5/5	Revisado por:	H.Y

Nota: Recomendamos que el encargado de su manipulación tenga la información sobre su aplicación y los riesgos específicos del producto. Esta hoja fue redactada por el Depto. Técnico de **Oxidial SRL** basado en conocimientos propios y de nuestro proveedor a la fecha de su emisión. La misma se refiere únicamente al producto indicado y puede no ser válida si es utilizado de forma inadecuada o en combinación con otros. En cada caso es responsabilidad del usuario determinar como esta información debería ser aplicada y la adaptabilidad a su particular finalidad.
Para mayor información ponerse en contacto al (0223) 4827000 o por mail a info@oxidial.com.ar

HISTORIA E IDENTIFICACION DE CAMBIOS

Historia e Identificación de Cambios				
Versión	Fecha	Preparado por:	Aprobado por:	Cambios Efectuados
01	17/11/06	E.R.	H.Y.	
02	30/05/08	E.R.	H.Y.	Revisión de datos.

Representante del SGC: Ing. Andrea Potansoni	Fecha de entrega: 30/05/08 Firma:
---	--------------------------------------

 Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL CLEAN 100	Código:	MSDS -011	Fecha:	21/08/2009
		Revisión:	01	Preparado por:	A.P
		Página:	1/4	Revisado por:	H.Y

Ficha Técnica de Seguridad y Uso

1.- Identificación del producto y la empresa fabricante:

Identificación del producto: Oxidial Clean-100

Presentación: Fraccionado en botellas PET 1 lts con vena visora y en bidones de 5 litros.

Código del producto: HS-CS/ 100.

Formula química: NaClO-NaCl (Hipoclorito de sodio- Cloruro de sodio)

Numero CAS: 7782-50-5

Uso del producto: Antisepsia de heridas, pequeñas quemaduras, inyecciones, cortaduras, úlceras. Antisepsia pre y pos operatoria y antisepsia de manos.

Desinfección de áreas y superficies inanimadas como pisos, paredes, ropa y, mobiliario no metálico, instrumental y equipos de laboratorio.

Fraccionado y distribuido:

Oxidial SRL

Rosales 8240 - Mar del Plata

Tel. +54-223- 482-7000


www.grupofg.com.ar

2.- Composición e información de componentes:

Ingrediente	Formula	Porcentaje por peso	Numero CAS
Hipoclorito de sodio	NaClO	1.1 %	7782-50-5
Cloruro de sodio	NaCl	18 %	7647-14-5
Agua c.s.p	H ₂ O	100 ml	

3.- Propiedades físicas y químicas:

- Apariencia: Líquido límpido incoloro o ligeramente amarillento.
- Densidad (20°C) (g/ml): 1.1
- pH a 20°C: 10
- Olor: ligero olor característico a cloro.
- Punto de Inflamación (°C); No inflamable.
- Solubilidad en agua: TOTAL
- Punto de ebullición: 100-104 °C con descomposición.
- Flash Point: 0 °C/ -12 °C.
- Punto de congelación (°C): 6.

 Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL CLEAN 100	Código:	MSDS -011	Fecha:	21/08/2009
		Revisión:	01	Preparado por:	A.P
		Página:	2/4	Revisado por:	H.Y

- Estado físico: Líquido.

4.- Identificación de peligros:

- *Ojos:* Puede causar temporariamente desconfort pero ningún perjuicio permanente.
- *Inhalación:* No causa efectos adversos. No irritante ni peligroso.
- *Ingestión:* Puede causar distensión debido a la liberación de cloro gaseoso.
- *Piel:* No causa efectos adversos. No irritante ni dañino.

5.- Primeros auxilios:

Recomendaciones:

- *Ojos:* Lave con agua abundante por 15 minutos como mínimo. Si persiste la irritación recurra al médico inmediatamente.
- *Inhalación:* Traslade a la víctima para un sitio aireado y en caso de respiración dificultosa suministre oxígeno. PROCURE ASISTENCIA MÉDICA.
- *Ingestión:* No induzca al vomito. Tomar gran cantidad de leche. Procure en caso de urgencia asistencia médica de manera inmediata. Antídoto: Tiosulfato de sodio.
- *Piel:* Lave con agua y jabón abundante por 15 minutos como mínimo.

6.- Medidas para combatir incendio:


- Mantener alejado de fuentes de ignición.
- Intervenir siempre con agua desde una distancia prudencial.
- Evacue a todo el personal no capacitado.
- Utilizar mascarar y equipo de protección adecuado en caso de intervención. Avisar inmediatamente a los bomberos si pasara a mayores.

7.- Medidas en caso de fugas accidentales:

El producto es un desinfectante y es por si solo, un método de limpieza para reducir la carga bacterial en el medio ambiente. Utilizar agua solamente para remover.

8.- Manipulación y almacenamiento:

Usar el producto de acuerdo a las instrucciones de uso. No exponer al sol y mantener el producto en un lugar fresco. Mantener el producto en el envase original. No dejar el producto al alcance de los niños. El producto puede degradarse al ponerse en contacto con sustancias orgánicas y ciertos metales.

 Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL CLEAN 100	Código:	MSDS -011	Fecha:	21/08/09
		Revisión:	01	Preparado por:	A.P
		Página:	3/4	Revisado por:	H.Y

9.- Estabilidad y reactividad:

- *Estabilidad:* (**X**) ESTABLE () INESTABLE
(Bajo condiciones normales de almacenamiento: se debe evitar la exposición a la luz solar directa o a las altas temperaturas. El envase original puede hincharse).
- *Incompatibilidad:* Evitar el contacto con Oxidantes enérgicos (Cloro, Peróxidos, etc.), ácidos, metales y productos que contengan amonio que puedan llegar a producir gases peligrosos, tales como cloro o otras especies cloradas.
- *Riesgo de descomposición:* El producto puede reaccionar con ácidos para formar cloro gaseoso.

10.- Información toxicológica:

Producto no tóxico en las concentraciones utilizadas. No irritante.

Valor de umbral límite: LD50 oral en ratas: 26 mg/Kg.

11.- Información ecológica:


No es peligroso para el medio ambiente. Completamente biodegradable.

12.- Consideraciones sobre su eliminación:

Evitar en la eliminación del producto mezclarlo con oxidantes fuertes, ácidos, metales y productos que contengan amonio.

13.- Información sobre el transporte:

Conservar el producto en su envase original, en un lugar fresco, limpio y seco, lejos de fuentes de calor y fuera de la luz solar directa.

 Soluciones químicas	Hoja de Seguridad OXIDIAL CLEAN 100	Código:	MSDS -011	Fecha:	21/08/09
		Revisión:	01	Preparado por:	A.P
		Página:	4/4	Revisado por:	H.Y

Nota: Recomendamos que el encargado de su manipulación tenga la información sobre su aplicación y los riesgos específicos del producto. Esta hoja fue redactada por el Depto. Técnico de **Oxidial SRL** basado en conocimientos propios. La misma se refiere únicamente al producto indicado y puede no ser válida si es utilizado de forma inadecuada o en combinación con otros. En cada caso es responsabilidad del usuario determinar como esta información debería ser aplicada y la adaptabilidad a su particular finalidad. Para mayor información ponerse en contacto al +54 223 4827000 o por mail a contacto@grupofg.com.ar

HISTORIA E IDENTIFICACION DE CAMBIOS

Historia e Identificación de Cambios				
Versión	Fecha	Preparado por:	Aprobado por:	Cambios Efectuados
01	21/08/2009	A.P	H.Y.	

Representante del SGC: Ing. Andrea Potansoni	Fecha de entrega: 21/08/2009 Firma:
---	--

Genesol 37

Strongly Acidic Membrane Cleaner

G E N E S Y S
I N T E R N A T I O N A L

www.genesysro.com

The Complete Solution

Removes Inorganic Scale



Removes Iron Deposits



- ✓ Compatible with Reverse Osmosis (RO) and Nano-filtration (NF) membranes
- ✓ Effective against inorganic scale and iron deposits
- ✓ Effective against proteinous deposits
- ✓ Wide application of use including the food process industry
- ✓ Liquid product, easy to use
- ✓ Low dose rate ensures cost effective treatment

Typical properties

Appearance: pale liquid
pH as supplied: <1
Specific gravity: 1.30 - 1.34
Freezing point: < - 5°C

Description

Genesol 37 has been developed as a general-purpose cleaner for inorganic scale and iron deposits found in most types of membrane system. It is also effective against certain 'difficult to clean' organic deposits.

Application

Genesol 37 is effective when used as a 1-2% solution and alternately soaked and recycled through the membrane system for 1-2 hours. Cleaning solution pH should be the minimum recommended by the membrane manufacturer. If the pH starts to rise during the cleaning process additional Genesol 37 should be added or the cleaning solution replaced.

After cleaning, Genesol 37 cleaning solutions should be slowly neutralised to pH 6-7 using an alkaline solution before discharge as the presence of acid solutions can be damaging to concrete and cement lined discharge pipes. Before returning the plant to service, the membrane system should be thoroughly flushed, until the pH of the feed and the concentrate are similar. The product water conductivity may initially be high but will return to normal after a few hours of operation.

Genesol 37 is fully miscible with water in all proportions.

Health and Safety

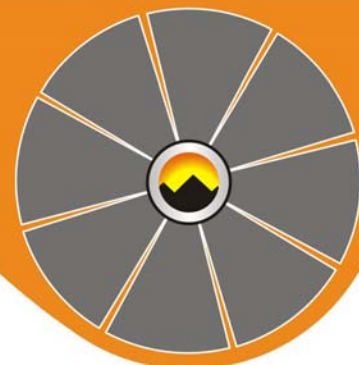
Genesol 37 is a mixture of nitric and phosphoric acids and care should be taken when handling it. Solutions of Genesol 37 are corrosive to carbon steel and many other metals materials of construction so all chemical tanks, pumps and pipe-work must be made from acid-resistant materials. A material safety data sheet is available on request.

Classification

CHIP: Corrosive | UN: Corrosive

Packaging

Available in 25 kg kegs.
The shelf life is two years under normal storage conditions.



For more information contact:

Genesys International Ltd.
Unit 4, Ion Path, Road One, Winsford Ind. Estate,
Winsford, Cheshire, CW7 3RG, UK
Tel: + 44 1628 622 195
E-mail: info@genesysro.com
www.genesysro.com

Genesys Latin America - Chile
Genesys North America - USA
Genesys Pacific - Singapore
Genesys Membrane Products - Spain

Release 19/12/2007

A.9.4 GRÁFICAS Y TABLAS

En este anexo se adjuntan todas las gráficas y tablas que se han sido necesarias durante el diseño de la instalación proyectada.

- Analítica agua de mar
- Tarifa eléctrica



Aguas de Telde

Gestión Integral del Servicio, S.A.

Nº REGISTRO : 1130/09

MUESTRA REMITIDA POR : Canaragua (Fuerteventura-Morrojable)

DOMICILIO : Zona Industrial del muelle

POBLACION : Pajara

DENOMINACION MUESTRA : Agua Alimentación

TIPO DE MUESTRA : Agua de Alimentación

FECHA TOMA : 14/04/2009

RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA : Propios Interesados

PNT : No Procede

FECHA RECEPCION : 15/04/2009

FECHA INICIO : 15/04/2009

FECHA FINALIZACION : 26/05/2009

Informe de ensayo

<u>Parámetros</u>	<u>Método</u> <u>Determinación</u>	<u>PNT</u>	<u>Resultados</u>	<u>Unidad</u> <u>de Medida</u>
Color	Espectr. Abs. Molec.	IEE-TL21	< 5,0	mg/l (Pt/Co)
Turbidez	Nefelometría	IEE-TL06	< 1,0	U.N.F.
Olor	Índice Dilución		1	Ind. de Dil.
Sabor	Índice Dilución		---	Ind. de Dil.
Benceno	GC MS-MS		< 1,0	µg/l
pH	Electrometría	IEE-TL01	7,7 ± 0,1	Ud de pH
Conductividad a 25°C	Electrometría	IEE-TL02	57700	µS/cm
Cloruros	Volumetría	IEE-TL22	19880	mg/l Cl ⁻
Sulfatos	Espectr. Abs. Molec.		2525,8	mg/l SO ₄ ²⁻
1,2 - Dicloroetano	GC MS-MS		< 1,0	µg/l
Calcio	Espectr. Abs. Atómica		587	mg/l Ca ²⁺
Sodio	Espectr. Abs. Atómica		11201,2	mg/l Na ⁺
Aluminio	Espectr. Abs. Atómica		0,06	mg/l Al ³⁺
Dibromoclorometano	GC MS-MS		< 5,00	µg/l
Nitratos	Espectr. Abs. Molec.		6,1	mg/l NO ₃ ⁻
Nitritos	Espectr. Abs. Molec.		< 0,05	mg/l NO ₂ ⁻
Oxidabilidad	Ox. Permanganato		---	mg/l O ₂
Boro	Espectr. Abs. Molec.		3,2	mg/l B
Hierro	Espectr. Abs. Atómica		< 0,1	mg/l Fe
Manganeso	Espectr. Abs. Atómica		< 0,05	mg/l Mn
Cobre	Espectr. Abs. Atómica		0,06	mg/l Cu
Cloro Residual Libre	Espectr. Abs. Molec.		< 0,10	mg/l Cl ₂
Arsénico	Espectr. Abs. Atómica.-G.H.		< 0,05	mg/l As
Cadmio	Espectr. Abs. Atómica		< 0,02	mg/l Cd
Cianuro	Espectr. Abs. Molec.		< 20	µg/l Cn
Cromo	Espectr. Abs. Atómica		< 0,05	mg/l Cr
Mercurio	Espectr. Abs. Atómica.-Vapor Frío		< 0,005	mg/l Hg
Níquel	Espectr. Abs. Atómica		< 0,05	mg/l Ni
Plomo	Espectr. Abs. Atómica		< 0,05	mg/l Pb
Antimonio	Espectr. Abs. Atómica		< 0,05	mg/l Sb
Selenio	Espectr. Abs. Atómica.-G.H.		< 0,02	mg/l Se



Aguas de Telde

Gestión Integral del Servicio, S.A.

Nº REGISTRO : 1130/09

MUESTRA REMITIDA POR : Canaragua (Fuerteventura-Morrojable)

DOMICILIO : Zona Industrial del muelle

POBLACION : Pajara

DENOMINACION MUESTRA : Agua Alimentación

TIPO DE MUESTRA : Agua de Alimentación

FECHA TOMA : 14/04/2009

RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA : Propios Interesados

PNT : No Procede

FECHA RECEPCION : 15/04/2009

FECHA INICIO : 15/04/2009

FECHA FINALIZACION : 26/05/2009

Informe de ensayo

<u>Parámetros</u>	<u>Método</u> <u>Determinación</u>	<u>PNT</u>	<u>Resultados</u>	<u>Unidad</u> <u>de Medida</u>
Amonio	Espectr. Abs. Molec.		0,5	mg/l NH ₄ ⁺
Cloro Combinado Residual	Espectr. Abs. Molec.		< 0,1	mg/l Cl ₂
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos:	Cromat. Líquida		< 0,10	µg/l
Benzo (b) Fluoranteno	Cromat. Líquida		< 0,05	µg/l
Benzo (k) Fluoranteno	Cromat. Líquida		< 0,05	µg/l
Benzo (a) Pireno	Cromat. Líquida		< 0,01	µg/l
Benzo (g,h,i) Perileno	Cromat. Líquida		< 0,05	µg/l
Indeno (1,2,3 - cd) Pireno	Cromat. Líquida		< 0,05	µg/l
Etoprophos	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Cadusafos	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Propizamida	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Linuron	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Fenamifos	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Benfuracard	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
1,3 - Dicloropropeno	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Fluoruros	Espectr. Abs. Molec.		0,74	mg/l F ⁻
* Carbono Orgánico Total (C.O.T.)	Combustión Infrarroja		< 1,00	mg/l C
Caracteres Microbiológicos				
Bacterias Coliformes	Filtración Membrana	IEE-TL11	0	UFC/100 ml
E. Coli	Filtración Membrana	IEE-TL12	0	UFC/100 ml
Enterococos	Filtración Membrana	IEE-TL15	0	UFC/100 ml
Recuento de Colonias a 22 °C	Inoculación en Masa		0	UFC/l ml
Clostridium Perfringens	Filtración Membrana		0	UFC/100 ml
Parámetros Químicos				
Trihalometanos:	GC MS-MS		< 5,00	µg/l
Bromodiclorometano	GC MS-MS		< 1,0	µg/l
Cloroformo	GC MS-MS		< 5,00	µg/l
Bromoformo	GC MS-MS		< 1,00	µg/l
Tricloroeteno + Tetracloroeteno:	GC MS-MS		< 2,0	µg/l
Tetracloroeteno	GC MS-MS		< 2,0	µg/l
Tricloroeteno	GC MS-MS		< 1,00	µg/l



Aguas de Telde

Gestión Integral del Servicio, S.A.

Nº REGISTRO : 1130/09

MUESTRA REMITIDA POR : Canaragua (Fuerteventura-Morrojable)

DOMICILIO : Zona Industrial del muelle

POBLACION : Pajara

DENOMINACION MUESTRA : Agua Alimentación

TIPO DE MUESTRA : Agua de Alimentación

FECHA TOMA : 14/04/2009

RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA : Propios Interesados

PNT : No Procede

FECHA RECEPCION : 15/04/2009

FECHA INICIO : 15/04/2009

FECHA FINALIZACION : 26/05/2009

Informe de ensayo

<u>Parámetros</u>	<u>Método</u> <u>Determinación</u>	<u>PNT</u>	<u>Resultados</u>	<u>Unidad</u> <u>de Medida</u>
Parámetros Químicos				
Plaguicidas Totales	GC MS-MS		< 0,5	µg/l
Insecticidas Organoclorados				
ì-HCH	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
õ-HCH	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
ä-HCH	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Heptacloro	GC MS-MS		< 0,03	µg/l
ò-HCH	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Aldrin	GC MS-MS		< 0,03	µg/l
Heptaclor Epoxido	GC MS-MS		< 0,03	µg/l
Endosulfán I	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
4,4-DDE	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Dieldrín	GC MS-MS		< 0,03	µg/l
Endrín	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
4,4-DDD	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Endosulfán II	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
4,4-DDT	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Endrín Aldehido	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Endosulfán Sulfato	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Metoxiclor	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Endrín Cetona	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Insecticidas Organofosforados				
O,O,O- Trietilfosforothoate	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Thionazin	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Sulfotepp	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Phorate	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Dimethoate	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Disulfotón	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Metil Paration	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Etil Paration	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Famphur	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Herbicidas Triazinas				



Aguas de Telde

Gestión Integral del Servicio, S.A.

Nº REGISTRO : 1130/09

MUESTRA REMITIDA POR : Canaragua (Fuerteventura-Morrojable)

DOMICILIO : Zona Industrial del muelle

POBLACION : Pajara

DENOMINACION MUESTRA : Agua Alimentación

TIPO DE MUESTRA : Agua de Alimentación

FECHA TOMA : 14/04/2009

RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA : Propios Interesados

PNT : No Procede

FECHA RECEPCION : 15/04/2009

FECHA INICIO : 15/04/2009

FECHA FINALIZACION : 26/05/2009

Informe de ensayo

<u>Parámetros</u>	<u>Método</u> <u>Determinación</u>	<u>PNT</u>	<u>Resultados</u>	<u>Unidad</u> <u>de Medida</u>
Parámetros Químicos				
Atrazina	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Propazina	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Terbutilazina	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Ametrín	GC MS-MS		< 0,05	µg/l
Otros Parámetros				
Carbonatos	Calculado	IEE-TL27	< 5	mg/l CO ₃ ²⁻
Bicarbonatos	Calculado	IEE-TL27	152,5	mg/l CO ₃ H ⁻
Alcalinidad (T.A.)	Volumetría	IEE-TL26	< 5	mg/l CO ₃ Ca
Alcalinidad (T.A.C.)	Volumetría	IEE-TL26	125	mg/l CO ₃ Ca
Indice Langellier	Calculado		1,48	---

OBSERVACIONES : * Parámetro subcontratado a laboratorio externo.

Este informe sólo afecta a la muestra analizada. Sólo podrá reproducirse parcialmente con la autorización por escrito del laboratorio.

En Telde a 28 de mayo de 2009

Fdo : Ana Rodríguez Millán
Jefe de Laboratorio

ANEXO I

I. Relación de tarifas básicas con los precios de sus términos de potencia y energía.

TARIFAS Y ESCALONES DE TENSIÓN	TÉRMINO DE POTENCIA Tp: €/kW mes	TÉRMINO DE ENERGÍA Te: €/kWh
BAJA TENSIÓN		
1.0 Potencia hasta 770 W	0,277110	0,062287
2.0 General, potencia no superior a 15 kW (1)	1,526588	0,086726
3.0 General	1,494345	0,087479
4.0 General de larga utilización	2,386986	0,079941
B.0 Alumbrado público	0,000000	0,076656
R.0 De riegos agrícolas	0,350846	0,081422
ALTA TENSIÓN		
Tarifas generales:		
Corta utilización:		
1.1 General no superior a 36 Kv	2,080892	0,069673
1.2 General mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV.	1,967873	0,065419
1.3 General mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV.	1,901391	0,063491
1.4 Mayor de 145 kV	1,848206	0,061362
Media utilización:		
2.1 No superior a 36 kV	4,281454	0,063557
2.2 Mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	4,048766	0,059502
2.3 Mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV	3,915801	0,057773
2.4 Mayor de 145 kV	3,816077	0,055912
Larga utilización:		
3.1 No superior a 36 kV	11,368455	0,051192
3.2 Mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	10,630503	0,048199
3.3 Mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV	10,304740	0,046340
3.4 Mayor de 145 kV	9,992273	0,045075
Tarifas T. De Tracción:		
T.1 No superior a 36 kV	0,651711	0,072885
T.2 Mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	0,598510	0,068562
T.3 Mayor de 72,5 kV	0,585212	0,066435
Tarifas R. De Riegos Agrícolas:		
R.1. No superior a 36 kV	0,532010	0,072952
R.2 Mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	0,505407	0,068696
R.3 Mayor de 72,5 Kv	0,478809	0,066369
Tarifa G.4 de grandes consumidores		
	10,726640	0,011837
Tarifa venta a distribuidores (D)		
D.1: No superior a 36 kV	2,363942	0,049998
D.2: Mayor de 36 Kv, y no superior a 72,5 kV	2,231449	0,047697
D.3: Mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV	2,175662	0,046023
D.4: Mayor de 145 kV	2,105930	0,044768

- (1) 1. A esta tarifa cuando se aplique el complemento por discriminación horaria nocturna (Tipo 0) no se aplicarán los recargos o descuentos establecidos en el punto 7.4.1 (Tipo 0) del Título I del Anexo I de la Orden de 12 de enero de 1995, sino que se aplicarán directamente los siguientes precios a la energía consumida en cada uno de los periodos horarios:
- Energía consumida día (punta y llano): 0,089094 €/kWh de término de energía
 - Energía consumida noche (valle): 0,040402 €/kWh de término de energía.
2. A esta tarifa cuando no se aplique el complemento por discriminación horaria nocturna (Tipo 0) y el consumo de un bimestre sea superior a 1.300 kWh, se aplicará a la energía consumida por encima de dicha cuantía un recargo de 0,013 €/kWh en exceso consumido. Para ello la facturación debe corresponder a lecturas reales de contador.

Design Limits - Metric

Raw Water source	RO Feedwater Source Quality									
	RO Perm	Brackish Well	Brackish Surface	Brackish Surface	Sea Well	Sea Surface	Sea Surface	Waste Tertiary	Waste Tertiary	
Pretreatment type	RO	5 um CF	Conv.	MF/UF	5 um CF	MF/UF	Conv.	Conv.	MF/UF	
TOC content	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low	High	High	
Feedwater Parameters	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Recommended	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Maximum:										
SDI @15 minutes	Maximum	1	2.5	4	2	2.5	2.5	4	4	2
% of Time			95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Turbidity NTU	Typical	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
% of Time			95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
TOC ppm as C	Typical	0.5	2	3	2	2	2	2	5	5
BOD ppm as O2 (est. as TOC x 2.0)	Maximum	1	4	6	4	4	4	4	10	10
COD ppm as O2 (est. as TOC x 3.0)	Maximum	1.5	6	9	6	6	6	6	15	15
Particle Count (2um particles / ml)	Typical	20	50	100	20	20	20	100	100	100
System Average Flux (LMH)	Conservative	30.6	23.8	17	23.8	13.6	13.6	11.9	11.9	15.3
	Typical	35.7	27.2	20.4	27.2	17	17	13.6	13.6	18.7
	Aggressive	40.8	30.6	23.8	30.6	20.4	20.4	17	17	23.8
Lead Element Flux (LMH)	Conservative	49.3	35.7	25.5	30.6	32.3	32.3	28.9	17	20.4
	Typical	56.1	40.8	30.6	35.7	42.5	42.5	37.4	22.1	27.2
	Aggressive	68	45.9	35.7	40.8	52.7	52.7	42.5	27.2	32.3
% Flux Decline (per year)	Conservative	5	10	10	10	10	10	10	18	15
	Typical	3	7	7	7	7	7	7.3	15	12
	Aggressive	0	7	7	5	7	7	7	7	7
% Salt Passage Increase (per year)	Conservative	5	15	15	15	15	15	15	15	15
	Typical	3	10	10	10	10	10	10	10	10
	Aggressive	0	5	5	5	5	5	5	5	5
Beta Stand. Element	Conservative	1.30	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18

	Typical	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Aggressive	1.70	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Full Fit Element	Conservative	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Typical	2.20	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.30	1.30
	Aggressive	2.20	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.30	1.30
.
Feed m3/h (maximum per vessel)										
2.5"	Typical	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
4"	Typical	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
8"	Typical	17	17	17	17	17	17	17	17	17
8"	Conservative	17	15	15	17	15	15	14	14	17
16"	Typical	68	68	68	68	68	68	68	68	68
16"	Conservative	68	59	59	68	59	59	55	55	68
.
Reject m3/h (min per vessel)										
2.5"	Conservative	0.27	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.45	0.45
2.5"	Typical	0.18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
4"	Conservative	0.68	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	1.14	1.14
4"	Typical	0.45	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
8"	Conservative	2.7	3.6	3.6	3.2	3.2	3.2	3.6	4.1	4.1
8"	Typical	1.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
16"	Conservative	11	15	15	13	13	13	15	16	16
16"	Typical	7	11	11	11	11	11	11	11	11
Full Fit										
4"	Conservative	1.82	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
4"	Typical	1.36	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
8"	Conservative	6.81	9.08	9.08	9.08	9.08	9.08	9.08	9.08	9.08
8"	Typical	4.54	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81
.
Pressure Drop (bar) 6 M Vessel										
	Typical	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72
	Maximum	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
Element	Maximum	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
.
Feedwater pH										
CPA and ESPA	Limits	2 to 12*	2 to 12*	2 to 12*	2 to 12*	2 to 12*	2 to 12*	2 to 12*	2 to 12*	2 to 12*
LFC, SWC, ESNA	Limits	3 to 10	3 to 10	3 to 10	3 to 10	3 to 10	3 to 10	3 to 10	3 to 10	3 to 10
	*see limits in TSB									
Feedwater Temp										
(in C)	Limits	.1 to 45	.1 to 45	.1 to 45	.1 to 45	.1 to 45	.1 to 45	.1 to 45	.1 to 45	.1 to 45
(in F)	Limits	33-113	33-113	33-113	33-113	33-113	33-113	33-113	33-113	33-113
.
Saturation Limits with antiscalant										

(LSI &SDSI)	Typical	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	Aggressive	< 2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
CaSO4 (%)	Typical	230	230	230	230	230	230	230	230	230
SrSO4 (%)	Typical	800	800	800	800	800	800	800	800	800
BaSO4 (%)	Typical	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
SiO2 (%)	Typical	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Aggressive	150	150	150	150	150	150	150	150	150

DOCUMENTO 2

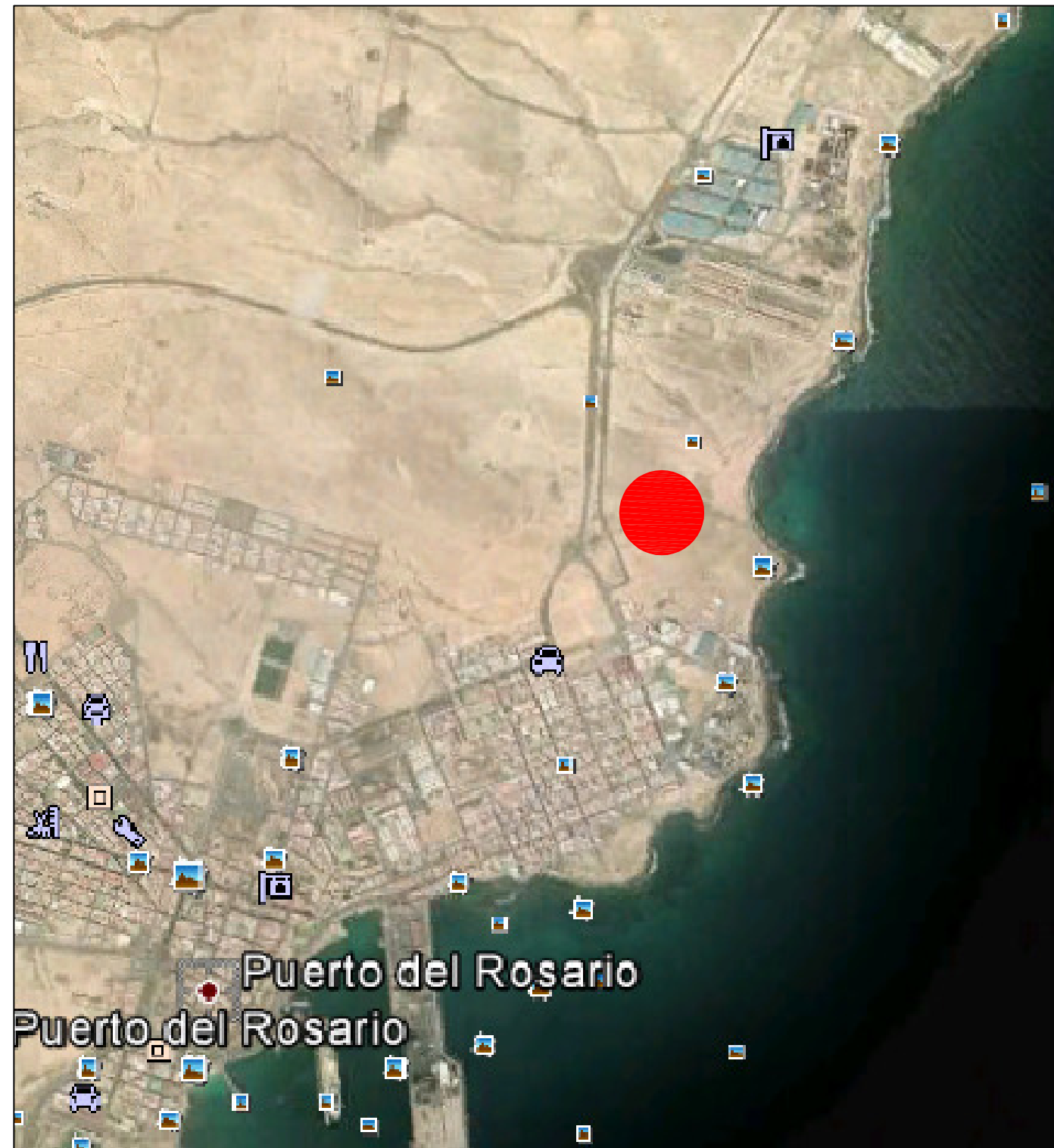
PLANOS

ÍNDICE PLANOS

PLANO Nº1.	UBICACIÓN DE LA ISLA DE FUERTEVENTURA
PLANO Nº2.	UBICACIÓN DE LA DESALADORA
PLANO Nº3.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO
PLANO Nº4.	SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA-RECUPERACIÓN DE ENERGÍA
PLANO Nº5.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA



DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA POR ÓSMOSIS INVERSA EN LA ISLA DE FUERTEVENTURA.		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERO QUÍMICO	
AUTORES: - VICTORIA RAMOS CEBERIO - MARINA NAVARRO ROMERO			
ESCALA:	UBICACIÓN ISLA FUERTEVENTURA	N° PLANO: 01	
S/E		FECHA: 07/10/2011	
		FIRMA:	



DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA POR ÓSMOSIS INVERSA
EN LA ISLA DE FUERTEVENTURA.

AUTORES: - VICTORIA RAMOS CEBERIO
- MARINA NAVARRO ROMERO

FACULTAD DE CIENCIAS
INGENIERO QUÍMICO

ESCALA:

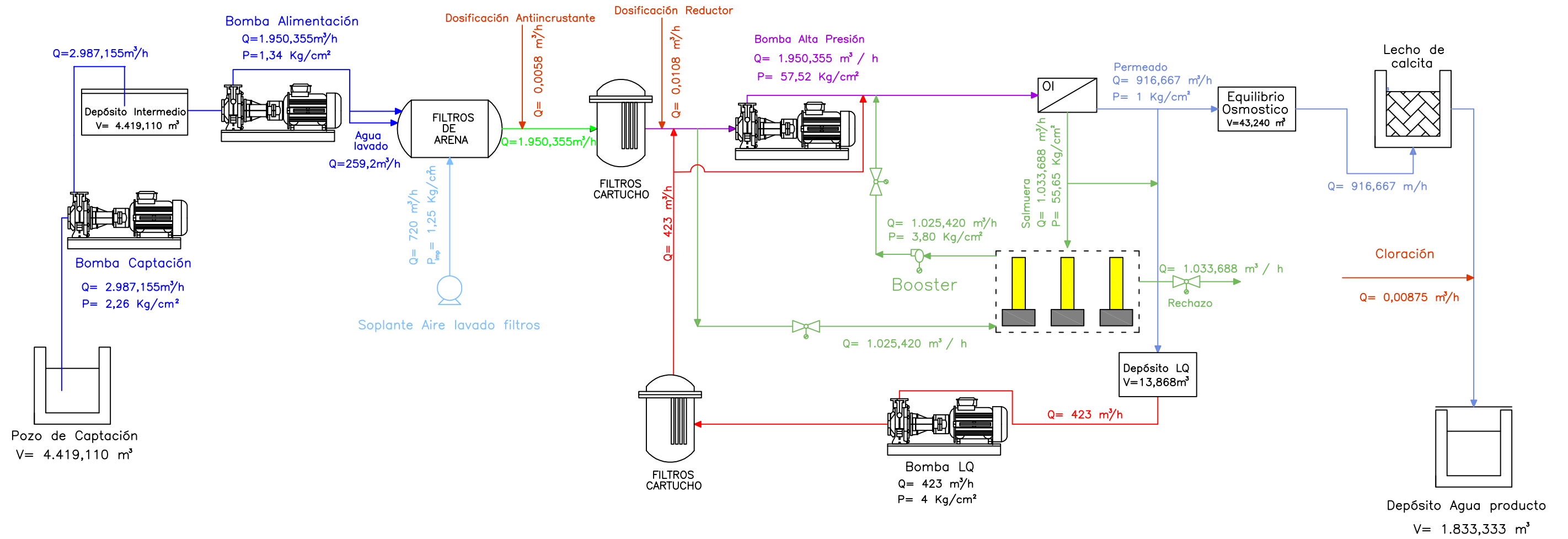
S/E

UBICACIÓN PLANTA DESALADORA

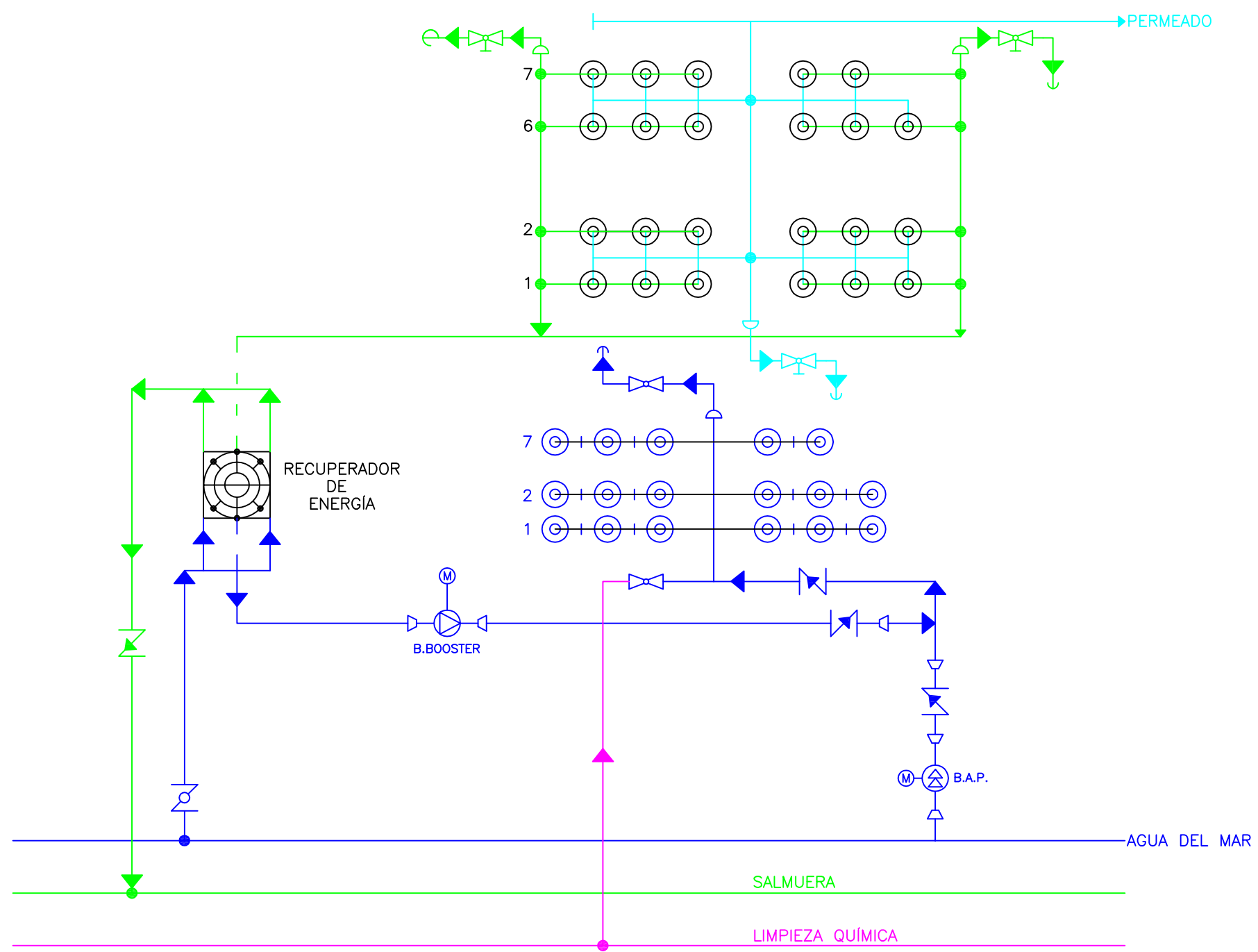
Nº PLANO: 02

FECHA: 07/10/2011

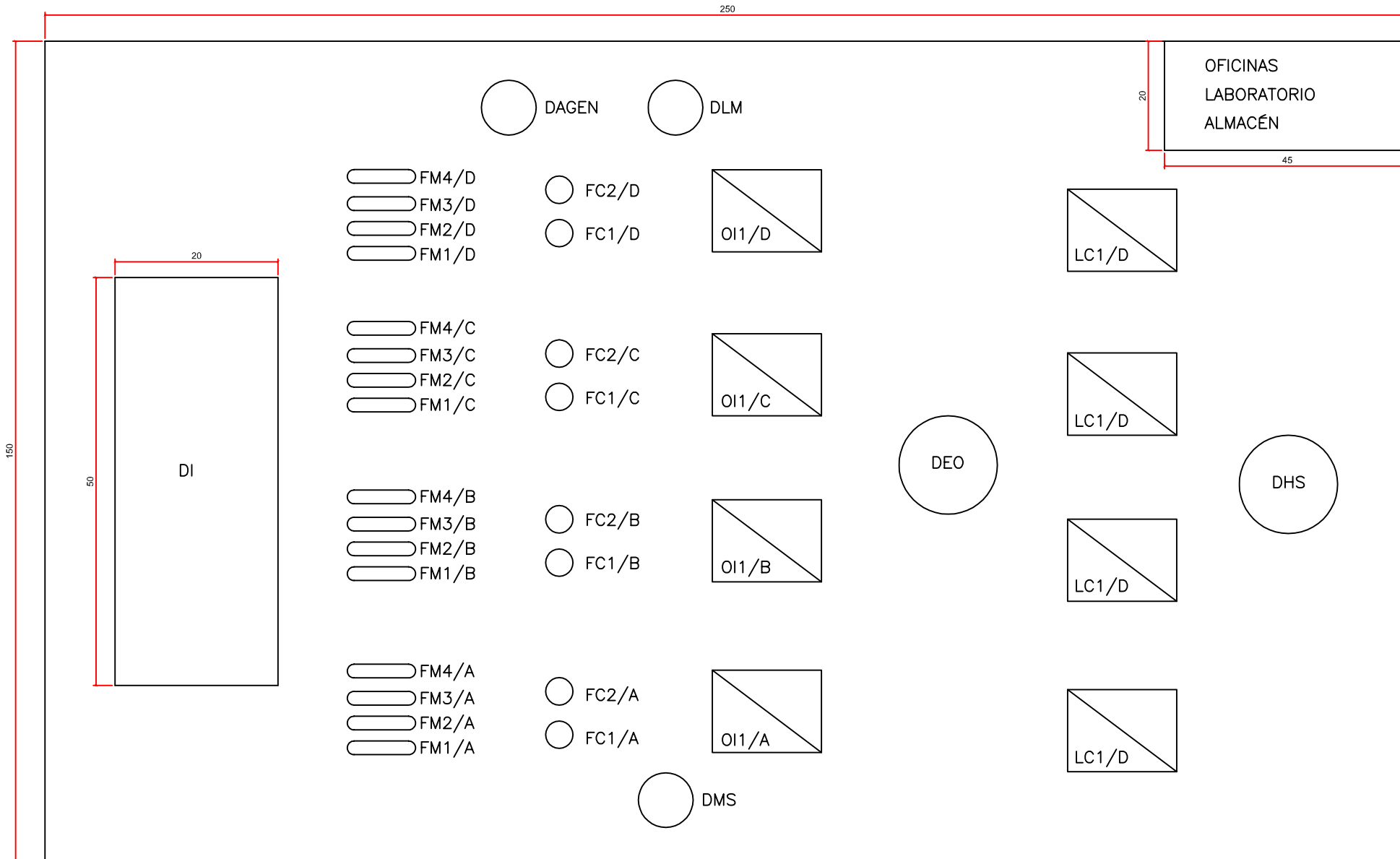
FIRMA:



DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA POR ÓSMOSIS INVERSA EN LA ISLA DE FUERTEVENTURA.		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERO QUÍMICO	
AUTORES: - VICTORIA RAMOS CEBERIO - MARINA NAVARRO ROMERO			
ESCALA:	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	N° PLANO: 03	
1/100		FECHA: 07/10/2011	
		FIRMA:	



DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA POR ÓSMOSIS INVERSA EN LA ISLA DE FUERTEVENTURA.		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERO QUÍMICO	
AUTORES: - VICTORIA RAMOS CEBERIO - MARINA NAVARRO ROMERO			
ESCALA:	SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA - ERI	N° PLANO: 04	
1/100		FECHA: 07/10/2011	
		FIRMA:	



LEYENDA:

- DI: DEPÓSITO INTERMEDIO
- FM: FILTROS DE MALLA
- FC: FILTROS DE CARTUCHO
- OI: BASTIDORES DE ÓSMOSIS INVERSA
- DAGEN: DEPÓSITO DE DOSIFICACIÓN DE ANTRIINCRUSTANTE GENESYS SW
- DLM: DEPÓSITO DE LAVADO DE MEMBRANAS
- DMS: DEPÓSITO DE DOSIFICACIÓN DE METABISULFITO SÓDICO
- DEO: DEPÓSITO DE EQUILIBRIO OSMÓTICO
- LC: LECHOS DE CALCITA
- DHS: DEPÓSITO DE DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO SÓDICO

DISEÑO DE UNA PLANTA DESALADORA POR ÓSMOSIS INVERSA EN LA ISLA DE FUERTEVENTURA.		FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERO QUÍMICO	
AUTORES: - VICTORIA RAMOS CEBERIO - MARINA NAVARRO ROMERO			
ESCALA:	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	N° PLANO: 05	
1/1000		FECHA: 07/10/2011	
		FIRMA:	

DOCUMENTO 3

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

CAPÍTULO 1. DISPOSICIONES GENERALES

- 1.1. Objeto del Pliego de Condiciones
- 1.2. Documentos del proyecto que definen la obra
- 1.3. Compatibilidad y relación entre documentos
- 1.4. Normativa general de aplicación

CAPÍTULO 2. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

- 2.1. Dirección Facultativa
- 2.2. Obligaciones y derechos generales del contratista
- 2.3. Obras y su ejecución
- 2.4. Recepción provisional
- 2.5. Plazos de garantías
- 2.6. Recepción definitiva

CAPÍTULO 3. CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

- 3.1. Percepción económica del contratista
- 3.2. Garantía de cumplimiento
- 3.3. Finanzas
- 3.4. Penalización y bonificaciones
- 3.5. Precios
- 3.6. Valoración de la obra
- 3.7. Seguros

CAPÍTULO 4. CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

- 4.1. Adjudicación
- 4.2. El contrato
- 4.3. Arbitrajes y jurisdicción

- 4.4. Responsabilidad del contratista
- 4.5. Seguros
- 4.6. Licencias, permisos e impuestos
- 4.7. Causas de rescisión del contrato

CAPÍTULO 5. CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

- 5.1. Condiciones para los materiales
- 5.2. Condiciones para la ejecución de las unidades de obra
- 5.3. Control de calidad
- 5.4. Obras o instalaciones no especificadas

CAPÍTULO 6. CONDICIONES PARTICULARES DE EQUIPOS

- 6.1. Especificaciones particulares de los equipos

CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES

1.1. OBJETIVO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

El objetivo del presente pliego es recoger las exigencias técnicas, económicas, administrativas y legales que han de regir para la ejecución del Proyecto “Diseño de una Planta Desaladora por Ósmosis Inversa en la Isla de Fuerteventura” de forma que pueda materializarse en las condiciones especificadas, evitando posibles interpretaciones diferentes de las deseadas.

1.2. DOCUMENTOS DEL PROYECTO QUE DEFINEN LAS OBRAS

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entrega al contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo. Se entiende por documentos contractuales aquellos que estén incorporados en el contrato y que sean de obligado cumplimiento, excepto modificaciones debidamente autorizadas.

El presente Proyecto consta de los siguientes documentos:

- Documento nº 1: Memoria y Anexos.
- Documento nº 2: Planos.
- Documento nº 3: Pliego de Condiciones.
- Documento nº 4: Presupuesto.

Son documentos contractuales los Planos, el Pliego de Condiciones y el Presupuesto recogido en el presente proyecto. Los datos incluidos en la Memoria y Anexos, tienen carácter meramente informativo.

1.3. COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE LOS DOCUMENTOS

En este caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último. Lo mencionado en los Planos y omitido en el Pliego de condiciones o viceversa, habrá de ser aceptado como si estuviera en ambos documentos.

1.4. NORMATIVA GENERAL DE APLICACIÓN

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Métodos y Normas de Ensayo del Laboratorio Central del M.O.P.U.
- Normas Básicas (NBE) y Tecnológicas (NTE) de la Edificación.
- Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE) para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por Decreto 842/2002 de 2 de Agosto, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de Aparatos a Presión, aprobado por Decreto 1244/1979 de 4 de Abril.

- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

CAPÍTULO 2: CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

2.1. DIRECTIVA FACULTATIVA

La dirección facultativa de las obras e instalaciones recaerá sobre un ingeniero técnico o superior nombrado por la propiedad en su presentación, sobre quién recaerán las labores de dirección, control o vigilancia de las obras del presente proyecto.

Las funciones del ingeniero director de obra serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente Pliego de Condiciones se dejen a su decisión.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconseje su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con la misma.
- Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, por lo cual, el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales establecidas.
- El director de obras no será responsable ante la propiedad de la tardanza de los organismos competentes en la tramitación del proyecto. Una vez conseguidos todos los permisos, el director de

2.2. OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONTRATISTA

2.2.1. Representación del contratista

Desde que se den principio las obras, hasta su recepción provisional, el contratista designará un jefe de obras como representante suyo autorizado que cuidará de que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe será expresamente autorizado por el contratista para recibir notificaciones escritas o verbales emitidas por la dirección

facultativa y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Así mismo, estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la dirección facultativa.

Cualquier cambio que el contratista desee realizar respecto a sus representantes y personal cualificado y, en especial, del jefe de obras, deberá comunicarse a la dirección facultativa.

2.2.2. Presencia del contratista en la obra

El contratista, por sí o por medio de los facultativos representantes o encargados, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la dirección facultativa en las visitas que hagan a la obra. Así mismo, y por sí o por medio de sus representantes, asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivos de ausencia ninguna reclamación a las órdenes cruzadas por la dirección facultativa en el transcurso de las reuniones.

2.2.3. Gastos de cuenta del contratista

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o admisión de terreno para depósito de maquinaria y materiales.
- Los gastos de protección de acopio y de la propia obra contra deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes para almacenamiento de explosivos y carburantes.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basura.
- Los gastos de suministros, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montajes, conservación y retiradas de instalaciones para el suministro de agua y la energía eléctrica necesaria para las obras.
- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.
- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

2.2.4. Oficina en la obra

El contratista habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que se pueden extender y consultar los Planos.

En la oficina de obras, tendrá siempre el contratista una copia autorizada de todos los documentos del proyecto que le hayan sido facilitados por la dirección facultativa y el "Libro de Órdenes" a que se refiere un artículo siguiente.

2.2.5 Insuficiente especificación en la documentación del proyecto

Si alguna parte de la obra no quedara suficientemente especificada en esta documentación, a juicio de la contrata o de la propiedad, no se realizará hasta que la dirección facultativa diera las indicaciones precisas y concretas para su ejecución. Este extremo se advertirá a la citada dirección por escrito, con antelación suficiente para que se pueda estudiar el problema y aportar la solución más acertada sin que ello suponga retraso en la marcha de la obra. El tiempo de antelación variará con la importancia del estudio, siendo el mínimo de una semana.

2.2.6. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de documentos del proyecto

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los Planos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al contratista, estando éste obligado a su vez a devolver, ya los originales, ya las copias, suscribiendo con su firma a enterado, que figurará así mismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la propiedad como de la dirección técnica.

2.2.7. Subcontratas

El contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de la obra a otros contratistas e industriales sin perjuicio de sus obligaciones como contratista general de la obra.

Se permitirá las subcontrataciones de los trabajos siempre y cuando la empresa subcontratada garantice los niveles de formación y seguridad para realizar los trabajos mencionados.

2.2.8. Copias de documentos

El contratista tiene derecho a sacar copias, a su costa, de los Planos, Presupuestos, Pliego de Condiciones y demás documentos del proyecto.

La dirección facultativa, si el contratista lo solicita, autorizará estas copias con su firma una vez confrontadas. En la obra, siempre se encontrará una copia completa del proyecto visada por el colegio oficial, que no se utilizará como planos de obra, sino en contados casos de comprobaciones.

2.2.9. Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa

Las reclamaciones que el contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas de la dirección facultativa, sólo podrá presentarlas a través de la misma, ante la propiedad, si ellas son de orden económico, y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la dirección facultativa, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida a la dirección facultativa, la cuál podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligado para este tipo de reclamaciones.

2.2.10. Libro de Órdenes

El contratista tendrá siempre en la oficina de la obra y a la disposición de la dirección facultativa, un “Libro de Órdenes”, con sus hojas foliadas por triplicado y visado por el colegio oficial.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho libro es tan obligatorio para el contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

2.2.11. Residencia del contratista

Desde el inicio de las obras, hasta su recepción definitiva, el contratista o un representante suyo autorizado, deberá resistir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la dirección facultativa, notificándole expresamente la persona que durante su ausencia le ha de representar en todas las funciones.

Cuando se falte a lo anterior prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados operarios de cualquier rama que, como dependiente de la contrata intervengan en las obras.

2.2.12. Despido del contratista

Se considerará causa de despido del contratista, el incumplimiento de las instrucciones dadas por el director de obra, la manifiesta incapacidad de realización de sus cometidos y la realización de actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos.

2.3. OBRAS Y SU EJECUCIÓN

2.3.1. Replanteos de las obras

Antes de dar comienzo las obras, el director de obra auxiliado por el personal subalterno necesario y por el contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. En dicho replanteo se establecerán las líneas fundamentales y puntos de nivel necesarios para definir y delimitar perfectamente el terreno donde se va a ejecutar la obra.

El replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstas para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos. Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su aparición.

Una vez finalizado el replanteo, se levantará la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El acta de comprobación de replanteo reflejará la conformidad o disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier punto que, en caso de disconformidad, pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Los datos, cotas y puntos fijados en el replanteo, se anotarán en un anexo al acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista.

Cuando el acto de comprobación de replanteo refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

2.3.2. Calendario de trabajo

En el plano que se determine en días hábiles a partir de la aprobación del acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa de trabajo incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales).
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades mediante un diagrama P.E.R.T.

Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de la obra, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

2.3.3. Comienzo de los trabajos y plazos de ejecución

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación del replanteo, debiendo quedar terminado en la fecha acordada en dicho acta.

2.3.4. Prórroga por causa de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor o independencia de la voluntad del contratista y siempre que ésta causa sea distinta de las que se especifican como la rescisión en el capítulo "Condiciones de índole legal" aquel no pudiese comenzar las obras o tuviese que suspenderlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada, para el cumplimiento de la contrata, previo informe a la dirección facultativa de la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando la prórroga que por dicha causa solicita.

2.3.5. Maquinaria

El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometan a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

2.3.6. Ensayos

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el director de obra, y se efectuará con arreglo a las normas que afectan a cada unidad de obra o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el director de obra.

El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, que no podrá superar el 1% del presupuesto de adjudicación.

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométricos en compactación, etc. Se entiende que no se comunicara a la dirección de obra que una unidad de El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometan a aportar en la licitación

El contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para dichas mediciones y ensayos.

2.3.7. Materiales

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberían cumplir las condiciones que se establecen en el Pliego de Condiciones, pudiendo ser rechazados por el director de obra. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra, deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de dirección de obra.

Cuando la procedencia de los materiales no esté fijada en el Pliego de Condiciones Particulares, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que estime oportuno.

El contratista notificará al director, con la suficiente antelación, los materiales que se proponen utilizar y sus procedencias, aportando, cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a su cantidad como a su calidad.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos, materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el director de obra.

Se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Manipulación de materiales:

Todos los materiales se manipularán con cuidado y de tal modo que se mantenga su calidad y aptitud para la obra.

- Inspección de la planta:

Si el volumen de la obra, la marcha de construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

○ Materiales defectuosos:

Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del Pliego de Condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el director de obra ordene lo contrario.

Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido sustancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

2.3.8. Acopios

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza, sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director.

Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, maquinarias, escombros o cualquier otro elemento no deseable, en las siguientes zonas:

- Áreas de procesos adyacentes o limítrofes con la zona donde se realizan trabajos.
- Desagües y zonas de trabajo en general.
- Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y puntos de situación de extintores.
- Calles y vías de circulación interior, tanto de la zona de construcción como de áreas de procesos adyacentes a ésta.
- En general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales, herramientas o utensilios pueda entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán en forma, tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá de ser comprobado en el momento de su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse de forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven, correrán por cuenta del contratista.

2.3.9. Accidentes de trabajo

El contratista está obligado a cumplir la legislación vigente en materia de seguro contra el riesgo de accidentes para su personal.

El contratista y la dirección de obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente proyecto, así como las pruebas, ensayos, inspecciones y verificaciones necesarias, que, en cualquier caso, deberán ser como mínimo, las prescritas por los reglamentos actuales vigentes.

No obstante, en aquellos casos en el que el contratista o la dirección consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo, los equipos necesarios para que éste trabaje en las condiciones de seguridad adecuadas, tales como casco, botas reforzadas, gafas de protección, etc.

Asimismo, serán responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra durante el horario establecido de trabajo, así como de los accidentes personales que pueden ocurrir.

2.3.10. Descanso en días festivos

En los trabajos concedidos a la contrata, se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, del modo que se señale en las disposiciones vigentes.

En casos excepcionales, en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá como indican las citadas disposiciones.

2.3.11. Trabajos defectuosos o no autorizados

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el contratista, y reconstruidos en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de obra, podrá ser recibida provisionalmente y, definitivamente en su caso, quedando el adjudicatario obligado a conformarse sin derecho a reclamación con la rebaja económica que el ingeniero director estime, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga con arreglo a las condiciones del contrato.

2.3.12. Señalización de las obras

El contratista queda obligado a señalizar a su costa, las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

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

2.3.13. Precauciones especiales

- Lluvia

Durante la fase de construcción, montaje e instalación de obras y equipos, estos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje. Las cunetas y demás desagües se mantendrán de modo que no produzcan daños. El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de la misma. Se protegerá el equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.

- Incendios

El contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios y a las recomendaciones u órdenes que reciba el director. En todo caso, adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de los que se requieren para la ejecución de las obras así como de los daños y perjuicios que se puedan producir. No obstante, el

contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que lo estime conveniente.

Asimismo, serán responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra durante el horario establecido de trabajo, así como de los accidentes

2.4. RECEPCIÓN PROVISIONAL

El director de la obra junto con el propietario y el contratista, realizarán un examen global de la obra, una vez terminados los trabajos.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se levantará el acta de recepción provisional de las obras, en donde constará la fecha y las condiciones de recepción de las mismas. Dicho documento será firmado por el director de obra, el propietario y en contratista. El plazo de garantía de la obra empezará a contar a partir de esta fecha.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se harán constar en el acta donde se especificarán los desperfectos encontrados y fijándose un plazo para subsanarlos, a cargo del contratista. Expirado el plazo, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder a la recepción provisional de la obra. Si en dicho reconocimiento se comprueba que los desperfectos aún no han sido subsanados, el director de obra, en nombre y representación de la propiedad, encargará a otra entidad que las solucione con cargo a la fianza depositada por el contratista.

2.5. PLAZO DE GARANTÍAS

El plazo de garantía de las obras comprendidas en el presente Proyecto, será de un año, contado a partir de la fecha de recepción provisional. Durante dicho período, las posibles de conservación, reparación y sustitución debidas a defectos y vicios ocultos, serán por cuenta del contratista, siendo éste el responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al contratista el que el director o el subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido sus materiales o hecho su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observa vicios e imperfecciones antes de efectuarse la recepción definitiva de la obra, se dispondrá que el contratista demuela, reconstruya o repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

2.6. RECEPCIÓN DEFINITIVA

Terminado el plazo de garantía, y previo a los trámites reglamentarios, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, una vez realizado el oportuno reconocimiento de las mismas y en el supuesto de que todas ellas se encuentren en las condiciones debidas. A partir de ese momento, el contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica, con excepción de los gastos derivados de la aparición de vicios ocultos, los cuales serán responsabilidad suya durante un plazo de diez años contados a partir de la fecha de recepción definitiva de las obras.

En caso de que, al proceder al reconocimiento de las obras, éstas no se encontrasen en estado de ser recibidas, se aplazará su recepción hasta que, a juicio del director de obra, y

dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinan en el presente Pliego de Condiciones.

Al proceder a la recepción definitiva de las obras, se extenderá por triplicado el acta correspondiente, en donde figurará la fecha de recepción definitiva de las obras y la firma de cada una de las partes implicadas: director de obra, propiedad y contratista.

CAPÍTULO 3. CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

3.1. PERCEPCIÓN ECONÓMICA DEL CONTRATISTA

El contratista debe percibir el importe de los trabajos realizados, siempre que éstos se hayan ejecutado con arreglo y sujeción al Proyecto.

3.2. GARANTÍA DE CUMPLIMIENTO

El director de obra podrá exigir al contratista, la presentación de referencias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato. Dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el contratista antes de la firma del contrato.

3.3. FIANZAS

El contratista deberá abonar una fianza del 5% del presupuesto de las obras adjudicadas, con vistas a responder del cumplimiento de lo contratado. La fianza podrá ser depositada mediante cheque o aval bancario.

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para terminar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra en nombre y presentación de la propiedad, los ordenará ejecutar a un tercero, abonando su importe con la fianza depositada por el contratista, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario.

La fianza depositada, o lo que quede de ella, será devuelta al contratista una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra en un plazo que no excederá de treinta días.

Siempre que el contratista haya acreditado por medio de un certificado del Alcalde del municipio en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deuda de los jornales o materiales, ni por indemnización derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

3.4. PENALIZACIONES Y BONIFICACIONES

El contratista, director de obra y propiedad, firmarán un documento donde se especifique la cuantía y las condiciones de penalización económicas a cargo del contratista, debidas a retrasos en la ejecución de las obras. Del mismo modo, se especificará la cuantía y las condiciones de bonificación en beneficio del contratista, debidas a adelantos en la ejecución de la obra.

No se considerarán causa de penalización, los retrasos en la ejecución de las obras debido a:

- Incendios causados por electricidad atmosférica.
- Daños producidos por terremotos y maremotos.
- Daños producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de río superiores a la que sean de preveer en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que el contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios.

- Destrozos causados violentamente a mano armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.
- El contratista deberá abonar una fianza del 5% del presupuesto de las obras adjudicadas, con vistas a responder del cumplimiento.

3.5. PRECIOS

3.5.1. Composición de los precios unitarios

Una vez adjudicadas las obras, el contratista ha de presentar dentro de los quince días siguientes, los precios descompuestos de las unidades solicitadas. La no presentación indica que acepta en su día los precios descompuestos preparados por la Dirección.

La descomposición estará perfectamente detallada en cada unidad de obra, como a continuación se indica:

- a) Materiales, expresando las cantidades que en cada unidad de obra se precisen de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo de origen.
- b) Mano de obra por categorías dentro de cada oficio, expresando el número de horas invertidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.
- c) Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de la obra, expresando el precio del transporte de unidades.
- d) Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad sobre la suma de conceptos anteriores en la unidades de obra que se precisen.
- e) Tanto por ciento de seguros sociales y cargas vigentes sobre el costo de la mano de obra, especificando en documento aparte, la cuantía de cada concepto del seguro o carga.
- f) Tanto por ciento de beneficio industrial del contratista, aplicando a la suma total de los conceptos anteriores.

Se denominará Precio de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos, a excepción del beneficio industrial.

La suma de todas las cantidades que importan los siete capítulos, se entiende que es el precio unitario contratado (Precio de Ejecución por Contrata).

3.5.2 Precios no contratados

Los precios de las unidades de obra, de los materiales, así como de la mano de obra, que no figuren entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre la dirección facultativa y el contratista.

El contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad de obra. Por su parte, el director de obra fijará el precio que, a su juicio, debe aplicarse a dicha unidad. Si ambos son coincidentes, se formulará por parte del director de obra el Acta de Avenencia, quedando así formalizado el precio contradictorio. Si no

fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el director de obra propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente.

3.5.3. Variaciones en los precios unitarios

En el caso de altas o bajas oficiales en el precio de los materiales, mano de obra o de cualquier otro concepto que modifique los precios unitarios base, el contratista tiene obligación de comunicar en la fecha de dicha variación, por duplicado, al director de obra y al propietario dichas valoraciones, así como una valoración exacta hasta el día citado de la obra ejecutada con su importe.

El contratista sólo tendrá derecho a las alzas oficiales de mano de obra del personal que intervenga directamente en la obra o instalación, no afectando a la mano de obra de preparación de materia prima o detalles.

3.6. VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS

3.6.1. Valoración de la obra

La medición de la obra se hará por el tipo de unidad fijada en el correspondiente presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra el precio que tuviese asignado en el presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que corresponda al beneficio industrial.

Las valoraciones se realizarán mensualmente. Las llevará a cabo el director de obra, en presencia del contratista. De dicho acto, se levantará un acto por duplicado, que se firmará por ambas partes.

3.6.2. Valoración de obras incompletas

Cuando a consecuencia de rescisión u otras causas, fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

3.6.3. Abono de unidades de obra ejecutadas

El contratista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del proyecto, a las condiciones de la contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito entregue la dirección facultativa, siempre dentro de las cifras a que ascienden los presupuestos aprobados.

3.6.4. Liquidaciones parciales

Mensualmente, el contratista tendrá derecho a percibir una cantidad proporcional a la obra ejecutada en aquel período.

3.6.5. Liquidación general

Terminadas las obras, se procederá a hacer la liquidación general, que constará de las mediciones y valoraciones de todas las unidades que constituyen la obra.

3.6.6. Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final. Dichas certificaciones, no suponen tampoco la aprobación ni recepción de las obras que comprenden. La propiedad se reserva en todo momento y, especialmente, al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho a comprobar que el contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, a cuyo efecto deberá presentar los comprobantes que se exijan.

3.6.7. Pagos

Los pagos se efectuarán por el propietario al contratista en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra expedidas por el director de obra, en virtud de las cuales se verifican aquéllos.

3.6.8. Suspensión por retraso de pagos

En ningún caso podrá el contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo que el que les corresponda, con arreglo al plazo en que deban terminarse. Cuando el contratista proceda de dicha forma, el propietario podrá rescindir la contrata.

3.7. SEGUROS

El contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

La cuantía del seguro coincidirá, en todo momento, con el valor que tenga por contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la sociedad aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a cuenta a nombre de la propiedad, para que a cargo de ella se abone la obra que se construya y, a medida que ésta se vaya realizando.

El reintegro de dicha cantidad al contratista, se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo por conformidad expresa del contratista, hecha en documento público, el propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada.

Del mismo modo, el contratista deberá tener contratado a un seguro de responsabilidad civil que cubra las indemnizaciones causadas por accidentes o perjuicios derivados de las obras, quedando la propiedad eximida de dicha responsabilidad.

CAPÍTULO 4: CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

4.1. ADJUDICACIÓN

La adjudicación de las obras se realizará mediante concurso. Las ofertas presentadas a dicho concurso, deberán incluir como mínimo, una estimación del precio de ejecución de las obras, el tiempo de ejecución y las calidades empleadas en las mismas.

4.2. EL CONTRATO

El contrato se formalizará mediante documento privado o público según convengan las partes, promotor y contratista, y en él se especificarán las particularidades que convengan a ambos.

El contratista y el promotor, firmarán previamente el presente pliego, obligándose a su cumplimiento, siendo nulas las cláusulas que se opongan o anulen disposiciones del mismo.

La ejecución de las obras se contratará por unidades de obra, ejecutadas con arreglo a los documentos del proyecto. Se admitirán subcontratas con firmas especializadas, siempre que estén dentro de los precios que fije el presupuesto del proyecto.

4.3. ARBITRAJES Y JURISDICCIÓN

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrado uno de ellos por el propietario, otro por el contratista y tres ingenieros del colegio oficial correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el director de obra.

En caso de no haber llegado a un acuerdo por el anterior procedimiento, ambas partes quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones que puedan surgir como derivadas de su contrato, a las autoridades y tribunales administrativos, con arreglo a la legislación vigente.

4.4. RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA

El contratista será responsable de la ejecución de la obra en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el proyecto. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la dirección técnica haya examinado y reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonada en liquidaciones parciales.

Será responsabilidad del contratista, el cumplimiento de todas las ordenanzas y disposiciones municipales que estén vigentes en la localidad donde la obra esté emplazada.

El contratista será responsable de todos los accidentes o perjuicios de todo género que, por inexperiencia, descuido o incumplimiento de la legislación vigente en materia de seguridad, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas, ya que se consideran que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar dichas disposiciones legales. El contratista deberá tener contratado un seguro que cubra las indemnizaciones a quienes correspondan y cuando a ello hubiera lugar, los perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras, quedando la propiedad eximida de dicha responsabilidad.

Será de cargo y cuenta del contratista, el vallado y la política del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindero y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiere, u otras personas ajenas a las obras, no se realicen durante la obra actos que mermen o modifiquen a la misma.

4.5. SEGURIDAD

El contratista estará obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúen para evitar, en lo posible accidentes a los obreros o viandantes, no sólo en los andamios sino, en todos los lugares peligrosos de la obra, así como los accidentes en zonas ajenas a la misma, derivados de dichas obras.

4.6. LICENCIAS, PERMISOS E IMPUESTOS

El contratista deberá tramitar todas las licencias, permisos e impuestos necesarios para la normal ejecución de las obras, con excepción de las correspondientes a las expropiaciones, servidumbres y servicios definidos en el Contrato, corriendo el pago de los mismos por cuenta del propietario.

4.7. CAUSAS DE RESCISIÓN DEL CONTRATO

Las causas de rescisión del contrato son las que se enumeran a continuación:

- El incumplimiento por parte del contratista, de las condiciones fijadas en el presente Pliego de Condiciones, tanto por negligencias como por cualquier otra causa.
- Las modificaciones del proyecto en tal forma que presenten alteraciones fundamentales del mismo a juicio del director de obra y en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente como mínimo, el 25% del importe.
- Las modificaciones de unidades de obra, siempre que éstas modificaciones, presenten variaciones como mínimo del 40% de las unidades del proyecto modificadas.
- Cuando se llevara en el desarrollo de la obra una lentitud perjudicial para la buena marcha y terminación de las mismas.
- El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plano señalado en las condiciones del proyecto.
- La suspensión de la obra comenzada y, en todo caso, siempre que por razones ajenas a la contrata, no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de 3 meses, a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
- La suspensión de la obra comenzada sin causa justificada.
- La no terminación de la obra en los plazos establecidos en el presente Pliego de Condiciones.
- Cuando sea aprobado por el director de obra que el contratista hubiera procedido de mala fe o ignorancia con el suministro de materiales o en la ejecución de las obras.
- Cuando el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas. En este caso, el director de obra, en

nombre y representación del propietario, ordenará ejecutarlas a un tercero, con cargo a la fianza depositada.

- El incumplimiento de las instrucciones dadas por el director de obra al contratista.
- La muerte o incapacidad del contratista.
- La quiebra del contratista.
- En los dos casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran llevar a cabo las obras, bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tenga aquéllos derechos a indemnización alguna.

CAPÍTULO 5: CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

5.1. CONDICIONES PARA LOS MATERIALES

Los materiales a emplear para cada equipo, serán los expresados en el Capítulo 6 de este Pliego de Condiciones. De forma general, estos materiales estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que pueda dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso, pudiendo la dirección técnica desechar aquellos que a su juicio no reúnan las características requeridas.

Los materiales no podrán ser en ningún caso distintos en sus características a los tipos proyectados. Si hubiese que variar la clase de algunos inicialmente aprobados, los nuevos no podrán ser instalados sin la previa autorización de la dirección de obra, la cual podrá someterlos a cuantas pruebas estimen oportunas.

5.1.1. Materiales no especificados

Cualquier material que no haya sido especificado ni descrito en el presente Proyecto y fuese necesario utilizar, reunirá las condiciones que se requieran para su función, siendo fijados por el contratista las fuentes de suministro que estime oportunas. En cualquier caso, el contratista notificará al director de obra, con la suficiente antelación, los materiales que se proponen utilizar y su procedencia, aportando cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a cantidad como a su calidad, siendo el criterio de la dirección facultativa totalmente inapelable.

5.1.2. Ensayos

Antes de proceder al empleo de los materiales serán examinados y aceptados por el director de obra, quien podrá disponer si así lo considera oportuno, de todas las pruebas, análisis, ensayos, etc., hasta su definitiva aprobación. Los ensayos de materiales deberán hacerse en Laboratorio Homologado por el M.O.P.U.

5.2. CONDICIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

5.2.1. Movimiento de tierras

Se refiere el presente artículo a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación, a la excavación a cielo abierto realizada con medios manuales y/o mecánicos y a la excavación de zanjas y pozos.

Se adoptan las condiciones generales de seguridad en el trabajo, así como las condiciones relativas a los materiales, control de la ejecución, valoración y mantenimiento que especifican las normas tecnológicas de edificación (NTE) de acondicionamiento del terreno que corresponda (vaciado, zanjas y pozos, etc).

5.2.2. Cimentaciones

Las secciones y cotas de profundidad serán las que el ingeniero director señale. No se rellenarán los cimientos hasta que éste lo ordene.

El ingeniero director queda facultado para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que juzgue oportuno en función de las características particulares que presente el terreno.

Se adoptan las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en las normas tecnológicas de edificación (NTE) de cimentaciones que corresponda.

5.2.3. Estructuras de hormigón

Se refiere el presente artículo a las condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial, relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado fabricados en obra o prefabricados, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento.

Regirá lo prescrito en la Instrucción EHE para las obras de hormigón en masa o armado. Así mismo, se adopta lo establecido en las normas NTE-EH "Estructuras de hormigón" y NTE_EME "Estructuras de madera. Encofrados".

5.3. CONTROL DE CALIDAD

Previamente al inicio de las obras, el contratista deberá presentar al Director facultativo para su aprobación, el Plan de Control de Calidad y el de puntos de Inspección y Control de la obra, que será de aplicación tanto a la obra civil como a los equipos eléctricos y mecánicos a instalar.

Para la ejecución de todas las unidades de obra, éstas se someterán a los controles establecidos por la normativa legal vigente de aplicación, o los que por cualquier motivo considere necesario la Dirección Facultativa.

En los mencionados planes, se recogerá de forma clara, la identificación de cada unidad de obra, el tipo de ensayo a realizar y la normativa de aplicación, la frecuencia de realización de cada tipo de ensayo, y las condiciones de aceptación o rechazo. Para materiales y equipos definirá los certificados de origen, pruebas y garantías que deberá aportar el proveedor de los mismos, así como las pruebas y ensayos a realizar en obra, la frecuencia de los mismos y las condiciones de aceptación o rechazo.

5.4. OBRAS O INSTALACIONES NO ESPECÍFICAS

Si el transcurso de los trabajo fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba del ingeniero director quien, a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

CAPÍTULO 6: CONDICIONES PARTICULARES DE EQUIPOS

6.1. ESPECIFICACIONES PARTICULARES DE LOS EQUIPOS

El objeto del presente capítulo, es concretar las especificaciones técnicas que deben satisfacer los distintos equipos, diseñados o de adquisición directa por compra, para que sean aceptados en la instalación que se proyecta.

Los equipos deben entregarse con las pruebas hidráulicas que correspondan, realizadas de forma satisfactoria.

La instalación sólo será recepcionada cuando se demuestre que todos los equipos de la planta y dispositivos de control funcionan perfectamente.

6.2. FILTROS DE ARENA

DESCRIPCIÓN	FILTROS DE ARENA
DESIGNACIÓN	De presión, CALPLAS, serie H
POSICIÓN	Horizontal
MATERIAL	Cuerpo (cilindro+fondo+apoyos): Poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
	Entrada/Salida: Bridas en poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
	Tapa boca de hombre elíptica: Poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
	Distribuidor superior: Difusores de poliéster laminado reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
	Distribuidor inferior: Polipropileno y PVC.
	Boca de vaciado: Acero plastificado con tapón de PVC.
DIÁMETRO	2,25 m
LONGITUD	6,5 m
SUPERFICIE FILTRANTE	14,4 m ²

Tabla 6.2-a: Datos de diseño de la unidad de filtración de arena

6.3. FILTROS DE CARTUCHO

DESCRIPCIÓN	FILTROS DE CARTUCHO
DESIGNACIÓN	HARMSCO, HIF 200 FL
POSICIÓN	Vertical
MATERIAL	<p>Medio filtrante: Poliéster .</p> <p>Tapa : Uretano.</p> <p>Tubos centrales: ABS, PP o PVC.</p>
CAUDAL MÁXIMO	200 m ³ /h
CARTUCHOS INSTALADOS	60
LONGITUD CARTUCHOS	1.250 mm
GRADO DE FILTRACIÓN NOMINAL	5 micras

Tabla 6.3-a: Datos de diseño de la unidad filtros de cartucho.

6.4. UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA

DESCRIPCIÓN	MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA
DESIGNACIÓN	HIDRANAUTICS, SWC4 MAX
MATERIAL	Poliamida aromática
CONFIGURACIÓN	Arrollamiento en espiral
CAUDAL MÁXIMO	17,0 m ³ /d
Nº DE MEMBRANAS	329
DIÁMETRO	8"
LONGITUD	40"

DESCRIPCIÓN	TUBOS DE PRESIÓN
DESIGNACIÓN	BELL, albergan 7 elementos de membrana
Nº DE TUBOS DE PRESIÓN	47
DIÁMETRO	8"
LONGITUD	40"

Tabla 6.4-a: Datos de diseño de la unidad de ósmosis inversa

6.5. UNIDAD DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

DESCRIPCIÓN	RECUPERADOR DE ENERGÍA
DESIGNACIÓN	Intercambiadores de presión de cámara rotativa, ERI, modelo PX-260
MATERIAL	Material cerámico
CAUDAL	50-59 m ³ /h
PRESIÓN	20,7-82,7
Nº DE UNIDADES	4
RENDIMIENTO	98%

DESCRIPCIÓN	BOMBA BOOSTER
DESIGNACIÓN	KSB, modelo PPH-RO
CAUDAL MÁXIMO	280 m ³ /h
PRESIÓN MÁXIMA	104 bar
RENDIMIENTO	75%

Tabla 6.5-a: Datos de diseño de la unidad de recuperación de energía

6.6. AGITADORES

DESCRIPCIÓN	AGITADORES
DESIGNACIÓN	Electroagitador eléctrico de turbina, DOSAPRO MILTON ROY, modelo 0021S
CAUDAL	46 m ³ /h
Nº DE UNIDADES	6

DESCRIPCIÓN	AGITADORES
DESIGNACIÓN	Electroagitador eléctrico de turbina, DOSAPRO MILTON ROY, modelo 0031S
CAUDAL	174 m ³ /h
Nº DE UNIDADES	2

Tabla 6.6-a: Datos de diseño de los agitadores

6.7. DEPÓSITOS

DESCRIPCIÓN	DEPÓSITOS
DEPÓSITO INTERMEDIO	<ul style="list-style-type: none"> - Material: Hormigón Armado - Volumen: 4.500 m³
DEPÓSITO DE EQUILIBRIO OSMÓTICO	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: AIQSA, TIPO H - Material: PRFV - Volumen: 45 m³ - Diámetro: 3 m - Altura: 6,826 m
DEPÓSITO DE AGUA PRODUCTO	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: AIQSA, TIPO BIG TANK - Material: PRFV - Volumen: 2.000 m³
DEPÓSITO DE LAVADO QUÍMICO DE LAS MEMBRANAS	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: AIQSA, TIPO D - Material: PRFV - Volumen: 14 m³ - Diámetro: 2 m - Altura: 4,729 m
DEPÓSITO DOSIFICACIÓN ANTIINCRUSTANTE	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: AIQSA, TIPO D - Material: PRFV - Volumen: 3 m³ - Diámetro: 1,2 m - Altura: 2,855 m
DEPÓSITO DOSIFICACIÓN DESINFECTANTE	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: AIQSA, TIPO D - Material: PRFV - Volumen: 6 m³ - Diámetro: 1,4 m - Altura: 4,171 m

Tabla 6.7-a: Datos de diseño de los depósitos

6.8. BOMBAS

DESCRIPCIÓN	BOMBAS
BOMBA DE CAPATACIÓN CENTRÍFUGA	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: ITUR, modelo RW - Caudal: 700 m³/h - Presión: 16 bar - N° instaladas: 4
BOMBAS DE IMPULSIÓN AGUA DE ALIMENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m³/h - Presión: 10 bar - N° instaladas: 4
BOMBA DE ALTA PRESIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: HIDROTECAR, LE - Caudal: 700 m³/h - Presión: 98,07 - N° instaladas: 4
BOMBAS DE IMPULSIÓN AGUA DE PERMEADO	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m³/h - Presión: 10 bar - N° instaladas: 1
BOMBAS DE IMPULSIÓN AGUA PRODUCTO	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m³/h - Presión: 10 bar - N° instaladas: 1
BOMBA DE LAVADO QUÍMICO	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m³/h - Presión: 10 bar - N° instaladas: 1
BOMBAS DOSIFICADORAS	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante: DOSAPRO MILTROY ROY, GA - Caudal: 170 L/h - Presión: 98,07 bar - N° instaladas: 8

Tabla 6.8-a: Datos de diseño de los depósitos

DOCUMENTO 4

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 2. PRESUPUESTO

- 2.1. Presupuesto parcial
- 2.2. Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M)
- 2.3. Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C)
- 2.4. Presupuesto general por Contrata

CAPÍTULO 3. GASTOS ANUALES

- 3.1. Productos químicos
- 3.2. Reposición de membranas
- 3.3. Electricidad
- 3.4. Mantenimiento
- 3.5. Gasto neto anual

CAPÍTULO 4. ESTUDIO ECONÓMICO

- 4.1. Ingreso anual neto
- 4.2. Beneficio bruto anual
- 4.3. Beneficio neto anual
- 4.4. Rentabilidad

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Este documento tiene como objetivo la estimación del presupuesto general de ejecución del proyecto “Diseño de una Planta Desaladora por Ósmosis Inversa en la Isla de Fuerteventura”. Para ello, se tendrá en cuenta el coste que supondrá el inmovilizado (equipos, conducciones y accesorios) y la mano de obra para la construcción y montaje de los equipos en la instalación proyectada.

En primer lugar se calculará el Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M) referente al precio de los equipos. A continuación, se incluirá el Beneficio Industrial y los Gastos Generales obteniéndose el Presupuesto de Ejecución por contrata (P.E.C). Por último, para obtener el presupuesto total, se le añadirá el IVA, que supone un 18% del P.E.C.

En segundo lugar, se llevará a cabo un análisis detallado del gasto anual que supondrá la planta una vez puesta en marcha, en lo referente a materias primas y servicios auxiliares.

Por último para comprobar la viabilidad económica de la planta diseñada, en el capítulo 4 se realizará un estudio económico, que incluirá tanto beneficios como rentabilidad.

CAPÍTULO 2: PRESUPUESTO

2.1 PRESUPUESTO PARCIAL

A continuación se detallarán los precios unitarios de cada uno de los elementos que componen la instalación proyectada.

El presupuesto se agrupa en las siguientes partidas:

▪ **UNIDAD: FILTROS DE ARENA**

UNIDADES	DESCRPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL (€)
17	FILTROS DE ARENA horizontal y de presión de características: - Fabricante: CALPLAS, serie H - Diámetro: 2,55 m - Longitud: 6,5 m - Superficie filtrante: 14,4 m ²	1.153,25	19.605,25
1	GRUPO MOTOSOPLANTE para el lavado de los filtros de arena de características: - Fabricante: MAPNER - Caudal máx : 825 m ³ /h - Motor: 9,2 kW, 3.000 rpm	5.000	5.000
PRESUPUESTO PARTIDA FILTROS DE ARENA			24.605,25

▪ **UNIDAD: FILTROS DE CARTUCHO**

UNIDADES	DESCRPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL (€)
11	FILTROS DE CARTUCHO de características: - Fabricantes: HARMSCO, HIF 200 FL - Caudal máx: 200 m ³ /h - Cartuchos instalados: 60 - Longitud cartuchos: 1250 mm - Grado filtración nominal: 5 micras	8.765	96.415
PRESUPUESTO PARTIDA FILTROS CARTUCHO			96.415

▪ **UNIDAD: ÓSMOSIS INVERSA**

UNIDADES	DESCRPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL (€)
329	MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA de características: - Fabricante: HYDRANAUTICS, SWC4 MAX - Tipo: Poliamida aromática - Configuración: Arrollamiento Espiral - Diámetro: 8'' - Longitud: 40''	940	309.260
47	TUBOS DE PRESIÓN para albergar 7 elementos de membrana de características: - Fabricante: BELL - Diámetro: 8'' - Longitud: 40''	1.243,15	58.428,05
PRESUPUESTO PARTIDA ÓSMOSIS INVERSA			367.688,05

▪ **UNIDAD: RECUPERADOR DE ENERGÍA**

UNIDADES	DESCRPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL (€)
4	SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA con intercambiadores de presión de cámara rotativa de características: - Fabricante: ERI - Modelo: PX-260 - Caudal: 50-59 m ³ /h - Presión: 20,7-82,7 - Rendimiento: 98%	80.000	320.000
4	BOMBA BOOSTER instalada en el sistema de recuperación de energía de características: - Fabricante: KSB - Modelo: RPH-RO - Caudal máx: 280 m ³ /h - Presión máx: 104 bar - Rendimiento: 75%	27.580	110.320
PRESUPUESTO PARTIDA RECUPERADOR DE ENERGÍA			430.320

▪ **AGITADORES**

UNIDADES	DESCRPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL (€)
6	ELECTROAGITADOR ELÉCTRICO DE TURBINA de características: - Fabricante: DOSAPRO MILTON ROY - Modelo: 0021S - Caudal: 46 m ³ /h	420	2.520
2	ELECTROAGITADOR ELÉCTRICO DE TURBINA de características: - Fabricante: DOSAPRO MILTON ROY - Modelo: 0031S - Caudal: 174 m ³ /h	535,45	1.070,90
PRESUPUESTO PARTIDA AGITADORES			3.590,9

▪ **TUBERÍAS**

METROS	DESCRPCIÓN	PRECIO METRO (€)	TOTAL (€)
6.340,7	TUBERÍA DE PRFV	56,74	359.771,32
22,7	TUBERÍA ACERO INOXIDABLE AISI 316	226	5.130,2
PRESUPUESTO PARTIDA TUBERÍAS			364.901.52

▪ **BOMBAS**

UNIDADES	DESCRPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL (€)
4	BOMBA DE CAPATACIÓN centrífuga para captación de Agua de Mar de características: - Fabricante: ITUR, modelo RW - Caudal: 700 m ³ /h - Presión:16 bar	10.890,50	43.562
4	BOMBAS DE IMPULSIÓN AGUA DE ALIMENTACIÓN desde el depósito intermedio hasta el pretratamiento de características: - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m ³ /h - Presión:10 bar	12.348,69	49.394,76
4	BOMBA DE ALTA PRESIÓN de características: - Fabricante: HIDROTECAR, LE - Caudal: 700 m ³ /h - Presión: 98,07	58.764,13	235.056,52
1	BOMBAS DE IMPULSIÓN AGUA DE PERMEADO desde el colector de permeado hasta el depósito agua producto de características: - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m ³ /h - Presión:10 bar	12.348,69	12.348,69
1	BOMBAS DE IMPULSIÓN AGUA PRODUCTO desde el depósito de agua producto hasta la línea de abastecimiento de características: - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m ³ /h - Presión:10 bar	12.348,69	12.348,69
1	BOMBA DE LAVADO QUÍMICO de las membranas de características: - Fabricante: ITUR, modelo INP - Caudal: 1500 m ³ /h - Presión:10 bar	12.348,69	12.348,69
8	BOMBAS DOSIFICADORAS de productos químicos de características: - Fabricante: DOSAPRO MILTROY ROY, GA - Caudal: 170 L/h - Presión: 98,07 bar	437,70	3.501,60
PRESUPUESTO PARTIDA BOMBAS			368.560,95

▪ **DEPÓSITOS**

UNIDADES	DESCRPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	TOTAL (€)
1	DEPÓSITO INTERMEDIO de características: - Material: Hormigón Armado - Volumen: 4.500 m ³	6.520,30	6.520,30
1	DEPÓSITO DE EQUILIBRIO OSMÓTICO de características: - Fabricante: AIQSA, TIPO H - Material: PRFV - Volumen: 45 m ³ - Diámetro: 3 m - Altura: 6,826 m	11.270,25	11.270,25
1	DEPÓSITO DE AGUA PRODUCTO de características: - Fabricante: AIQSA, TIPO BIG TANK - Material: PRFV - Volumen: 2.000 m ³	15.550	15.550
1	DEPÓSITO DE LAVADO QUÍMICO DE LAS MEMBRANAS de características: - Fabricante: AIQSA, TIPO D - Material: PRFV - Volumen: 14 m ³ - Diámetro: 2 m - Altura: 4,729 m	6.000	6.000
1	DEPÓSITO DOSIFICACIÓN ANTIINCRUSTANTE de características: - Fabricante: AIQSA, TIPO D - Material: PRFV - Volumen: 3 m ³ - Diámetro: 1,2 m - Altura: 2,855 m	2.300	2.300
1	DEPÓSITO DOSIFICACIÓN REDUCTOR de características: - Fabricante: AIQSA, TIPO D - Material: PRFV - Volumen: 6 m ³ - Diámetro: 1,4 m - Altura: 4,171 m	2.800	2.800
1	DEPÓSITO DOSIFICACIÓN DESINFECTANTE de características: - Fabricante: AIQSA, TIPO D - Material: PRFV - Volumen: 6 m ³ - Diámetro: 1,4 m - Altura: 4,171 m	2.800	2.800
PRESUPUESTO PARTIDA DEPÓSITOS			47.240,55

2.2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (P.E.M)

PARTIDAS	COSTE (€)
Filtros de Arena	24.605,25
Filtros de Cartucho	96.415
Ósmosis Inversa	367.688,05
Recuperación de Energía	430.320
Agitadores	3.590,90
Tuberías	364.901,52
Bombas	368.560,95
Depósitos	47.240,55
P.E.M	1.703.322,22

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL de la Planta Desaladora por Ósmosis inversa en la Isla de Fuerteventura asciende a la cantidad de “UN MILLÓN SETECIENTOS TRES MIL TRESCIENTOS VEINTIDOS CON VEINTIDOS CÉNTIMOS”

Puerto Real, Octubre 2011

Fdo: Marina Navarro Romero

Fdo: Victoria Ramos Ceberio

2.3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (P.E.C)

CONCEPTO	COSTE (€)
P.E.M	1.703.322,22
Gastos generales (20%)	340.664,44
Beneficio industrial (6%)	102.199,33
Mano de obra (3%)	51.099,66
P.E.C	2.197.285,65

EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA de la Planta Desaladora por Ósmosis inversa en la Isla de Fuerteventura asciende a la cantidad de “ DOS MILLONES CIENTO NOVENTA Y SIETE MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y CINCO CON SESENTA Y CINCO CÉNTIMOS”

Puerto Real, Octubre 2011

Fdo: Marina Navarro Romero

Fdo: Victoria Ramos Ceberio

2.4. PRESUPUESTO GENERAL POR CONTRATA

CONCEPTO	COSTE (€)
P.E.C	2.197.285,65
I.V.A (18%)	395.511,42
PRESUPUESTO GENERAL POR CONTRATA	2.592.797,07

EL PRESUPUESTO GENERAL POR CONTRATA de la Planta Desaladora por Ósmosis inversa en la Isla de Fuerteventura asciende a la cantidad de “DOS MILLONES QUINIENTOS NOVENTA Y DOS MIL SETECIENTOS NOVENTA Y SIETE CON SIETE CÉNTIMOS”

Puerto Real, Octubre 2011

Fdo: Marina Navarro Romero

Fdo: Victoria Ramos Ceberio

CAPÍTULO 3: GASTOS ANUALES

3.1 PRODUCTOS QUÍMICOS

El precio de los productos químicos utilizados en la instalación se ha estimado en base a datos proporcionados por los fabricantes:

Producto	Consumo anual (kg)	Coste unitario (€/kg)	Coste anual (€/año)
Genesys SW	59.199,895	3,65	216.079,62
Metabisulfito sódico	128.138,30	0,33	38.441,49
Hipoclorito sódico	80.300	0,21	16.863
Genesol 37	5.544	1,63	9.036,72

3.2 REPOSICIÓN DE MEMBRANAS

La experiencia ha demostrado que durante los primeros años de vida de los módulos de membrana de ósmosis inversa, el grado de reposición es muy bajo. Actualmente los fabricantes de membranas garantizan los cinco primeros años de uso en sus módulos.

El período de vida útil esperado para los módulos elementales seleccionados en este proyecto es de doce años, tras los cuáles se debe proceder a su reposición total. Esto supone que a partir del doceavo año habrá que considerar el coste de membranas nuevas. Sin embargo este coste de las nuevas membranas se repartirá en los doce años de vida esperados.

Por tanto suponiendo un incremento del 3% en el precio de los módulos elementales de membrana y un período de amortización de doce años se obtiene que la cuota anual por reposición de membranas a partir del doceavo año es 26.544,81 €.

Coste anual reposición de membranas (€/año)
26.544,81

3.3 ELECTRICIDAD

El punto de máximo consumo de energía de la instalación es la bomba de alta presión. Tras consultar con expertos en desalación (Instituto Tecnológico Canario), afirman que aproximadamente el consumo del resto de equipos de la instalación es 15% del sistema Ósmosis Inversa-Recuperación de energía.

Luego del **ANEXO 4** de la memoria descriptiva se tiene que la potencia total consumida por el sistema Ósmosis Inversa-Recuperador de Energía es 560,002 kW.

La Tarifa a aplicar será la de alta tensión y larga duración. Y según la relación de tarifas básicas adjunta en el ANEXO 9 del presente proyecto, se tiene que el precio es de 0,051192 €/kWh.

Por tanto, teniendo en cuenta que en la planta existen cuatro sistemas Ósmosis Inversa-Recuperador de Energía, y que la planta funcionará 24 horas durante 365 días al año, el coste anual de la potencia consumida es 301.611,26 €.

EQUIPOS	POTENCIA CONSUMIDA (Kw)	COSTE ENERGÍA (€/kWh)	COSTE ANUAL TOTAL (€/año)
Sistema Ósmosis- R.Energía	2240,008	0,051192	1.004.513,48
Resto de Equipos	336,001	0,051192	150.677,02

3.4 MANTENIMIENTO

En este apartado se incluyen los materiales de mantenimiento (repuestos, lubricantes, etc), materiales para el control preventivo de la instalación y reparaciones para la conservación de las instalaciones, así como algunos consumibles y el trabajo de mantenimiento.

Para estimar este coste, se toma como cifra razonable un 3% anual del valor de los equipos a excepción de las membranas. Luego el coste total anual por mantenimiento es 40.069,03 €.

Coste anual por mantenimiento (€/año)
40.069,03

3.5 GASTO NETO ANUAL

CONCEPTO	COSTE ANUAL (€/año)
Productos Químicos	280.420,83
Reposición de membranas	26.544,81
Electricidad	1.155.191,51
Mantenimiento	40.069,03
TOTAL	1.502.226,18

CAPÍTULO 4: ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 INGRESO ANUAL NETO

Los beneficios que se obtendrán en la planta diseñada provendrán de la venta del agua producto.

La generación de agua en la planta proyectada asciende a 20.000 m³/día, lo que supone una producción anual de:

$$20.000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 365 \frac{\text{d}}{\text{año}} = 7.300.000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Actualmente el precio de venta del agua producida en las instalaciones desaladoras es 0,50 €/m³ (Instituto Tecnológico de Canarias), luego el beneficio anual será de:

$$7.300.000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \cdot 0,50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 3.650.000 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Luego el ingreso anual neto que reporta la actividad productiva de la planta es:

Ingreso anual neto (€/año)
3.650.000

4.2 BENEFICIO BRUTO ANUAL (R)

Conocidos el gasto anual neto y el ingreso anual neto, es posible hallar el beneficio bruto anual, mediante la expresión:

$$R = \text{Ingreso neto anual} - \text{Gasto neto anual} \quad [4.2.1]$$

$$R = 2.920.000 - 1.502.226,18 = 2.147.773,82 \text{ €/año}$$

4.3 BENEFICIO NETO ANUAL (P)

A partir del beneficio bruto anual es posible hallar el beneficio neto anual, después de deducir la amortización y los impuestos, según la siguiente expresión:

$$P = R - e \cdot I_f - (R - d \cdot I_f) \cdot t \quad [4.3.1]$$

Donde:

- P: beneficio neto anual
- R: beneficio bruto anual
- e: factor anual de amortización (calculado para recuperar la inversión en inmovilizado en €/€ año)

- I_f : valor del capital inmovilizado
- d : factor anual de pérdida de valor del inmovilizado (€/€ año)
- t : impuestos (€/€ año)

A continuación se determinarán los parámetros no conocidos:

Factor anual de amortización, e

Se considerará una amortización no lineal definida por la expresión:

$$e = \frac{i}{\exp(i \cdot n) - 1} \quad [4.3.2]$$

Donde:

- i : rentabilidad promedio, y en este caso se considerará 0,11 €/año
- n : vida esperada para el proyecto desde el punto de vista de la amortización, en este caso 4 años

Sustituyendo en la **expresión [4.3.2]**:

$$e = \frac{0,11}{\exp(0,11 \cdot 4) - 1} = 0,20$$

$$e = 0,20$$

Valor del capital inmovilizado, I_f

El valor del capital inmovilizado se determinó en el capítulo 2 del presente Presupuesto y asciende a 2.592.797,07 €.

Factor anual de pérdida de valor de inmovilizado, d

Este factor se estimará en un 10% por año según bibliografía (Rudd y Watson, 1976). Es decir, 0,10 €/€ año.

Impuestos, t

Se considerarán 0,35 €/€ recibido según bibliografía (Perry, 2001)

Sustituyendo en la **ecuación [4.3.1]**, se obtiene el beneficio neto anual de:

$$P = 968.241,47 \text{ €/año}$$

Este valor del beneficio neto se corresponde con el período de amortización de la planta, es decir, para los cuatro primeros años. A partir de ahí, al no tener amortización el beneficio será mayor.

4.4 RENTABILIDAD

Para hallar la rentabilidad o tasa de retorno se recurrirá a la siguiente expresión:

$$i = \frac{\text{Beneficio neto obtenido}}{\text{Capital fijo invertido promedio}} \cdot 100 \quad [4.4.1]$$

En este caso:

$$i = \frac{968.241,47}{2.592.279,07} \cdot 100$$

$$i = 37,3 \%$$

Esta rentabilidad corresponde al período de amortización. Transcurrido dicho periodo, el beneficio será mayor tal y como ya se ha comentado, y por tanto también lo será la rentabilidad.

La rentabilidad mínima que se debe exigir a una planta industrial es del 15%, luego se puede afirmar que la planta proyectada es rentable.

En conclusión, mediante este estudio económico queda demostrada la viabilidad económica de la planta.

