TABLAS PARA LA EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS DESALADORAS DE AGUA DE MAR DE ÓSMOSIS INVERSA

Autor: Manuel Hernández Suárez
Fundación Centro Canario del Agua

Programa de Divulgación de Acuamed

INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS DESALADORAS DE AGUA DE MAR DE ÓSMOSIS INVERSA

ÍNDICE

1. Introducción

2. Objetivo

3. Tipos de indicadores

4. Etapas de tratamiento de las plantas de ósmosis inversa

5. Tomas de agua de mar

- **5.1 Tomas a través de pozos costeros**
- **5.2 Tomas abiertas superficiales**
- **5.3 Tomas abiertas intermedias**
- **5.4 Tomas abiertas profundas**
- **5.5 Tomas con drenes horizontales**

6. Pretratamientos

7. Membranas de OI y configuraciones

- **7.1 Reposición de membranas**
- **7.2 Limpiezas**
- **7.3 Reactivos**

8. Postratamiento

8.1 Lechos de calcita

8.2 Lechada de cal

9. Energía

10. Técnicas para la supervisión y los GMAO

11. Seguimiento analítico de la planta

11.1 Tabla de referencia para el control analítico de la calidad del agua una IDAM-OI según etapas

11.2 Tabla de parámetros de referencia para la valoración de las aguas de aporte a las IDAM-OI

11.3 Valores de referencia para el control analítico de la calidad del agua antes de las membranas

12. Normalización del funcionamiento de una planta de membranas de ómosis inversa

12.1 Tabla de datos recomendados para la evaluación del funcionamiento de las membranas

13. Evaluacion del funcionamiento del postratamiento

13.1 Tabla de datos para la evaluación del funcionamiento del postratamiento

14. Supervisión del programa de mantenimiento (nº. de actividades preventivas y correctivas)

14.1 Tabla de datos para la supervisión del programa de mantenimiento (nº. de act. prev. y correctivas)

15. Evaluación de anomalías e incidencias no programadas en las plantas desaladoras

15.1 Tabla de datos para la evaluación de anomalías e incidencias no programadas y que hayan dado lugar, o no, a actividades correctivas

16. Tabla de datos para la supervisión mensual del funcionamiento integral del proceso

17. Referencias

18.1 Osmosis inversa y postratamiento

18.2 Calidad del agua de aporte

18.3 Tipo de tomas de agua de mar

18.4 Operación y mantenimiento

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a Acuamed la oportunidad de poder realizar esta publicación.

Mi agradecimiento especial también a Gonzalo Fernández y José Ruíz (Desaladora Alicante II) por explicarme la información sobre los GMAO y su dedicación en las distintas revisiones del documento.

A César González (Desaladora de Carboneras, Almería), Carlos Miguel (Desaladora de El Prat, Barcelona), Nicolás Urgoiti (Desaladora de El Atabal, Málaga) y Jorge Motas (Desaladora de Santa Cruz de Tenerife), por sus ideas iniciales y su apoyo en la revisión de la documentación.

A César Castañeyra (Desaladora de Puerto del Rosario, Fuerteventura) por transmitirme sus experiencias en la gestión de plantas desaladoras.

A Guadalupe Daza (Desaladora de Ceuta) por su atenta revisión de las tablas de referencia.

Por último agradecerle a Fermín López, Jaime de Miguel y Miguel García de la Dirección de Explotación de Acuamed su apoyo durante la realización de este trabajo

Manuel Hernández Suárez
Ph.D., M.Sc., Dipl. Ing.
23 de Septiembre 2011

INDICADORES PARA LA SUPERVISION DE LAS PLANTAS DESALADORAS DE AGUA DE MAR DE ÓSMOSIS INVERSA

1. Introducción

Los propietarios y responsables de la explotación de las instalaciones desaladoras de agua de mar por ósmosis inversa (IDAM-OI) necesitan realizar un continuo seguimiento de su funcionamiento con el fin de conocer los aspectos más relevantes de la operación y mantenimiento de las instalaciones.

Sin embargo, en algunas ocasiones los informes de supervisión no responden a criterios uniformes por lo que la supervisión de varias plantas resulta a veces complicado. Esto dificulta el análisis rápido de los informes y la comparación de los datos.

Por tanto, se hace necesario estudiar la posibilidad de obtener indicadores comunes que ayuden a evaluar si la planta está funcionando dentro del rango que permiten los medios y las tecnologías disponibles, y si el estado de conservación de la planta responderá a las expectativas de alcanzar su vida útil.

Este informe se refiere siempre a plantas desaladoras de OI para agua de mar aunque mucha de la información presentada puede también ser útil para plantas de agua salobre o plantas de nanofiltración (NF), u otro tipo de instalaciones de tratamiento de agua con una sencilla adaptación.

2. Objetivo

El objetivo de este informe es definir indicadores comunes para las IDAM-OI que ayuden a supervisar la calidad del proceso y el estado de conservación de la planta.

3. Tipos de indicadores

Se pueden diferenciar dos tipos de indicadores.

En primer lugar, los que permiten conocer y evaluar el funcionamiento de las distintas etapas del proceso de desalación y, en segundo lugar, los que permiten conocer y evaluar el estado de la maquinaria e infraestructuras y el grado de cumplimiento del plan de mantenimiento.

El número de indicadores que se necesitan para alcanzar ambos objetivos varía según la complejidad de la planta y las necesidades de control del propietario.

También pueden influir las características del contrato de explotación, así como, evidentemente, el interés del propietario en recibir cierta información específica.

Este informe presenta en primer lugar un resumen de las distintas etapas del proceso de desalación y a continuación una serie tablas de evaluación que deberán servir de orientación y guía para la redacción de los informes mensuales y anuales de la planta.

El alcance propuesto es el de las instalaciones más complicadas pudiéndose reducir el número de indicadores en caso de instalaciones más sencillas.

4. Etapas de tratamiento de las plantas de ósmosis inversa

Existe una considerable cantidad de literatura sobre las etapas de tratamiento de las plantas de OI. Está, por tanto, fuera del alcance de este informe volver a exponer en detalle esta información. El lector interesado puede consultar el amplio listado de referencias específicas que se incluye en el último capítulo de este informe si desea profundizar sobre los distintos aspectos de la desalación.

El trabajo utiliza una serie de esquemas básicos de los sistemas de desalación por OI para facilitar la compresión del texto y de las tablas adjuntas. Así, la Figura 1 incluye, a título de ejemplo, el diagrama general de una IDAM-OI con las distintas etapas principales. Este diagrama es sólo a título de ejemplo ya que reactivos como el cloro o el bisulfito sódico se eliminan en muchos casos.

Cada una de estas etapas se divide a su vez en varias subetapas dependiendo de la complejidad de la instalación. A continuación se describen de forma somera las características principales de cada una de las etapas con el fin de facilitar la compresión de los indicadores de control propuestos.

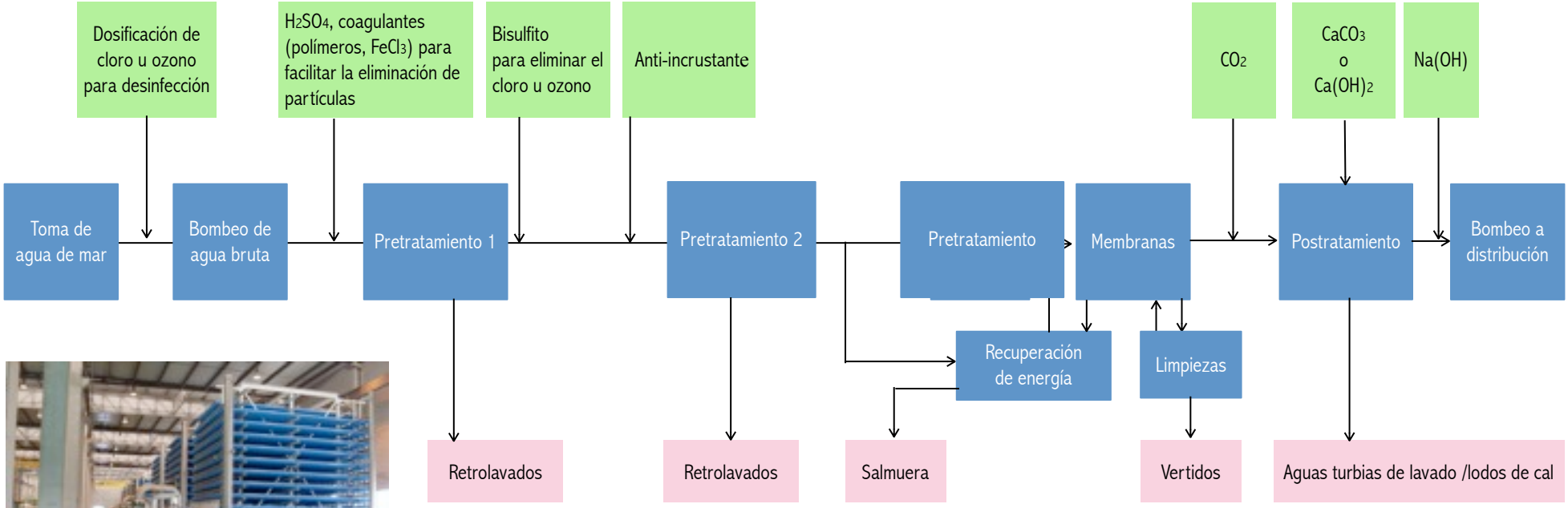


Figura 1: DIagrama de bloques de una IDAM-OI

Bombas de alta presión y bastidores de OI

5. Tomas de agua de mar

El diseño de tomas de aguas de mar de las primeras plantas desaladoras de vapor de los años setenta se basaban en la experiencia adquirida en las centrales térmicas donde el agua de mar se usa para las torres de refrigeración.

Dado que los requerimentos de pureza de las plantas de vapor no eran muy exigentes, estos diseños funcionaron relativamente bien hasta que empezaron a ser utilizadas para alimentar las plantas de membranas.

Las plantas de vapor pueden funcionar con partículas de hasta 0,5 mm de diámetro en el agua de aporte, mientras que las plantas de OI requieren tamaños de partículas entre 5 - 20 µm y sobre todo un SDI<5 y preferiblemente SDI<3,5. [1,2,3] El SDI o "silt density index" es el criterio básico para predecir el atascamiento de las membranas. También se usa el MFI o "modified fouling index". En este caso se recomienda un MFI<1.

Por tanto, y con el fin de minimizar los costes del pretratamiento, las tomas de agua de mar de las IDAM-OI buscan eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes, sobre todo los sólidos en suspensión y la materia orgánica: peces, larvas, plancton, etc; y también los hidrocarburos.

Según el caudal de la planta y las zonas disponibles para ubicar la captación se plantean diferentes tipos de tomas de agua de mar. Así podemos distinguir entre:

- Pozos costeros
- Tomas abiertas superficiales (< 6 m)
- Tomas abiertas intermedias (entre 6 y 35 m)
- Tomas abiertas profundas (> 35 m)
- Drenes horizontales

Detalles sobre cada uno de los tipos de tomas pueden consultarse en la literatura específica donde aparece amplia información sobre su diseño y características.

En este informe se incluyen solo los aspectos fundamentales que afectan al seguimiento y control de las tomas.

5.1 Tomas a través de pozos costeros

Siempre que sea posible es preferible utilizar pozos costeros ya que permiten una filtración natural del agua eliminando así la mayor parte de la contaminación, especialmente la de tipo orgánico. Sin embargo, el caudal máximo de un pozo costero, aunque varía según las características geológicas de la zona, no suele superar los 200 m^3/h.

Por tanto, esta solución es especialmente interesante para plantas de hasta 2.500 m3/h ya que en caso contrario el número de pozos resulta ser demasiado elevado, y puede haber problemas de mantenimiento de los caudales a futuro.

Los pozos costeros tienen a veces la problemática de la presencia de agua salobre. Esto se procura evitar ya que las oscilaciones de calidad del agua de aporte crea dificultades en el funcionamiento de las plantas de ósmosis inversa.

Los ensayos geológicos, incluyendo sondeos de prueba, son fundamentales para garantizar el buen funcionamiento de estas tomas y evitar una posible intrusión marina, no deseada generalmente.

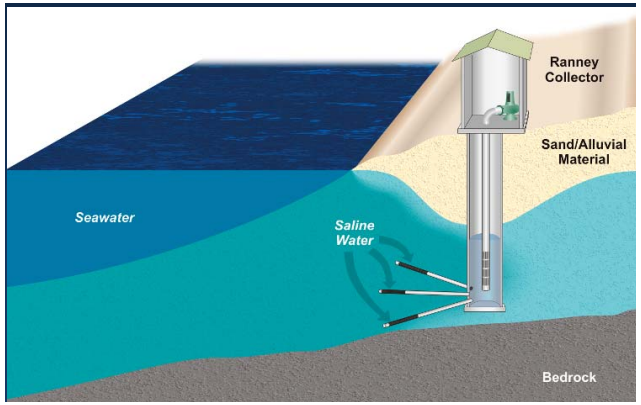


Figura 2: Los pozos costeros requieren capas de arena gruesa con buena permeabilidad.[28]

5.2 Tomas abiertas superficiales

Las tomas superficiales (< 6 m) se ven afectadas por las oscilaciones estacionales y los problemas de fitoplancton o materiales en suspensión creados por el oleaje. También existe el riesgo de contaminación por hidrocarburos.

Las tomas superficiales suelen tener, un desbaste bruto de 15 x 60 cm y uno o varios tamices de hasta 2-3 mm de luz de paso y que funcionan a menos de 0,15 m/s. A esta velocidad se reducen significativamente los riesgos de succión o arrastre de los peces y larvas que se encuentren nadando alrededor del filtro. Las Figuras 3 y 4 ilustran este diseño.

Figura 3: Los tamices, tanto verticales como en forma cilíndrica, con una luz de paso de hasta 2-3 mm y bajas velocidades (< 0,15 m/s) para evitar el arrastre de organismos marinos. [28]

Los tamices de las tomas superficlales se conectan por gravedad a una cántara o piscina donde se sitúan las bombas de elevación.

A veces los tamices de los filtros se encuentra a pocos centímetros del fondo por lo que tiene un diseño que evita el arrastre de los lodos del fondo.

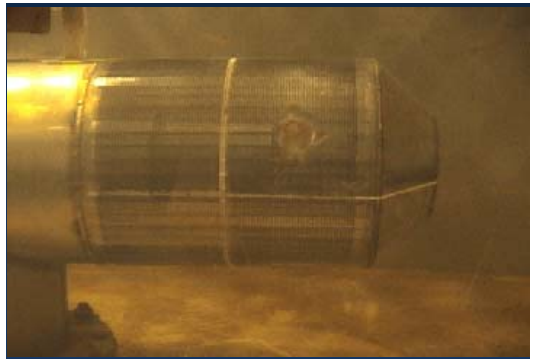
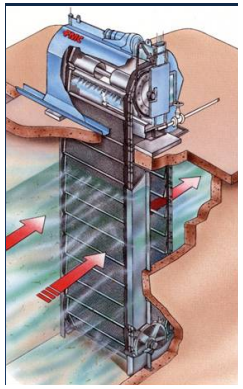
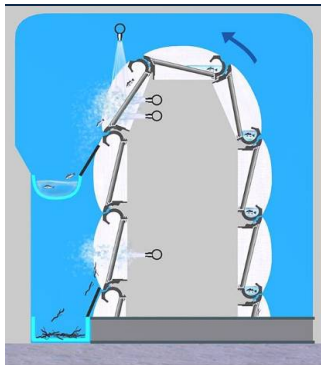


Figura 4: Filtro cilíndrico de 2 mm de luz de paso. Con una velocidad de toma de 0,15 m/s y ubicado en una zona de corriente de 0,15 m/s. En estas condiciones los organismos no se ven afectados. [28]

La limpieza de los tamices de los filtros se hace periódicamente inyectando aire a contrapresión. El diseño de los filtros debe ser tenido en cuenta ya que el aire no siempre es capaz de limpiar todo el filtro, sino que sale por las zonas más próximas a la entrada de aire y sólo por la parte superior del filtro.

La configuración de los filtros de las tomas y de la cántara de las bombas siguen siendo objeto de estudio por distintos fabricantes buscando la optimización del consumo energético y el rendimiento y una buena limpieza con aire. [21]





En muchos casos se sustituyen los filtros en el punto de toma por una serie de rejillas en un canal abierto a la entrada de la cántara donde se encuentran las bombas de elevación. (Figura 5)

Figura 5: Los tipos de rejilla varían según el diseño de la toma. El objetivo incluye, a veces, la captura de los peces y su retorno al mar. [28]

La limpieza de las rejillas se hace manualmente o de forma semiautomática.

Para el caso de riesgo de contaminación con hidrocarburos se recomienda un equipo analizador en línea a la entrada de la planta que protege toda la instalación. Lo más seguro en estos casos es generalmente parar la planta, dado que las cámaras de separación de aceites y grasas o los sistemas de flotación con aire disuelto, pueden no ser suficientes para controlar la contaminación.[19]

5.3 Tomas abiertas intermedias

Las tomas intermedias al igual que las superficiales se ven afectadas por las oscilaciones estacionales y los problemas de fitoplancton o materiales en suspensión creados por el oleaje. Sin embargo, por su profundidad, el mantenimiento es bastante más complicado.

Su ubicación requiere de estudios cuidadosos del entorno ya que en caso de problemas, los costes de mantenimiento pueden ser prohibitivos.

Así se ha visto que en algunas tomas abiertas intermedias situadas en zonas ricas en plancton la eliminación de la dosificación de hipoclorito en la boca de la toma, sumado a un funcionamiento a caudales muy bajos, ha permitido una colonización por macro-organismos de las paredes de la conducción. Esto puede llegar a reducir el diámetro de la conducción hasta tal extremo que aumenta la pérdida de carga a lo largo de la conducción. De forma que durante la marea baja el caudal de aporte a la arqueta de bombeo puede verse afectado.

La colocación de registros de inspección en la conducción de la toma resultan en estos casos de gran utilidad.

5.4 Tomas abiertas profundas

La tomas profundas buscan la zona estable y de aguas más limpias situadas por debajo de la termoclina superficial del final del verano que suele situarse a unos 35 m de profundidad. Cabe señalar, sin embargo, que aunque una mayor profundidad supone una mejor calidad del agua, también implica menor temperatura y, por tanto, mayor presión necesaria de alimentación a membranas.

Por debajo de la termoclina, la contaminación orgánica es mucho menor así como las oscilaciones de temperatura a lo largo del año. Esta solución es la preferida para las grandes plantas donde las tomas abierta generalmente se sitúan a cierta distancia de la costa (300 - 4.000 m).

Las termoclinas de verano son el criterio de diseño más frecuente, sin embargo, a veces se tienen también en cuenta factores extraordinario de avenidas en zonas próximas a la desembocaduras de ríos, ya que en estos casos puede descender el nivel de la termoclina temporalmente, afectando con ello la calidad del agua que reciben las tomas.

Las tomas de agua abierta tienen forma de torre de gran diámetro con una tapa en la parte superior y rejillas laterales. El diámetro garantiza que la velocidad a 3 m de la toma no supera los 0,03 m/s hacia la toma y que en el punto de entrada a la toma no supera los 0,09 m/s. (Figura 6)

De esta forma se facilita que los organismos marinos puedan nadar con facilidad cerca de las tomas, e incluso dentro y no se sientan succionados hacia la misma.

Las tomas tienen que tener aperturas laterales y una losa o tapa en su parte superior. Esta losa o tapa es conocida como “velocity cup” y evita que entren el 80-90% de los peces frente al 50-62% de las tomas tradicionales abiertas por arriba. [29]

La velocidad en la conducción desde la torre hasta la cántara de las bombas suele ser de 0,15 m/s.

Las conducciones desde la toma hasta la cántara de las bombas suelen ser de polietileno de alta densidad.

El mantenimiento de las grandes tomas requiere el trabajo de buzos especializados.

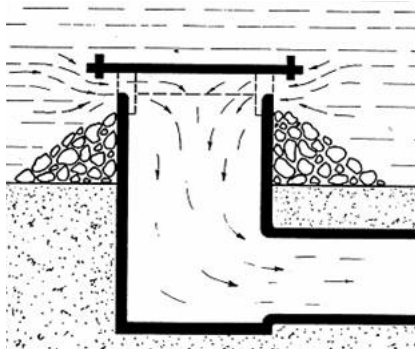


Figura 6: Las torres de las tomas abiertas están dimensionadas para facilitar una entrada de agua a bajo caudal (<0,15 m/s). En la foto adjunta se observa una torre para una desaladora de 200.000 m³/d antes de su instalación.

5.5 Tomas con drenes horizontales

Los drenes horizontales son una alternativa para plantas de tamaño medio (15.000 - 30.000 m3/d) situadas en zonas costeras que no permiten la instalación de tomas profundas o superficiales. (Figura 7)

La limpieza de los drenes horizontales no siempre es viable por lo que los estudios hidrogeológicos para garantizar una alta permeabilidad del terreno son fundamentales.

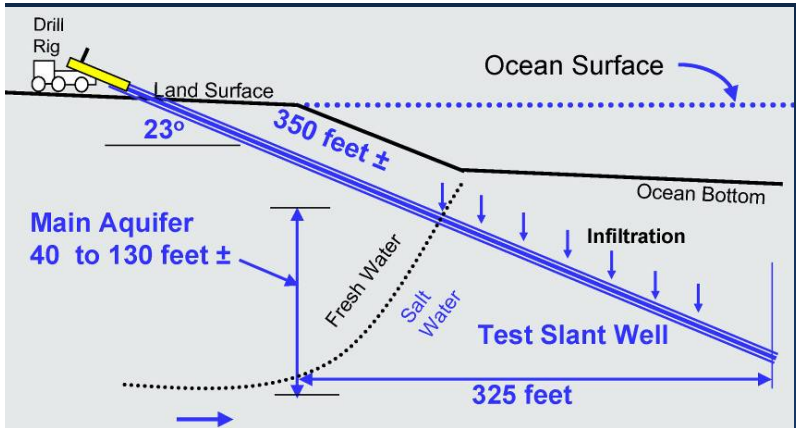


Figura 7: Los drenes horizontales son una técnica viable en franjas costeras arenosas y de poca profundidad. El funcionamiento de estos drenes requieren de arena gruesa con buenas condiciones de infiltración. [28]

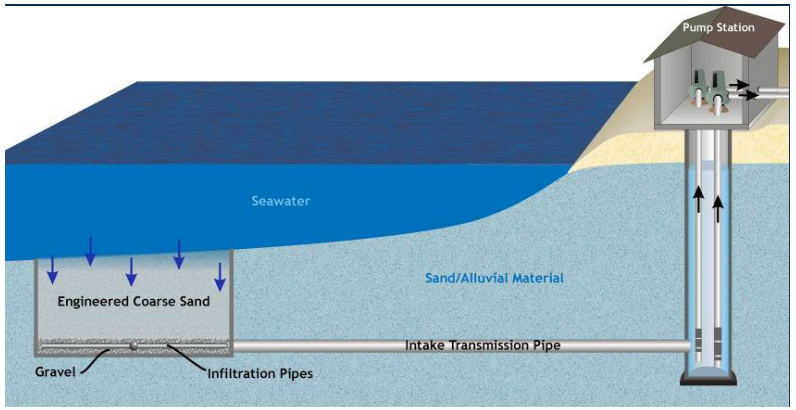


Figura 8: Las piscinas artificiales sumergidas y llenas de arena gruesa drenante se ha planteado como una solución más controlada que los drenes filtrantes en las zonas con capas superficiales de escasa permeabilidad, si bien no hay todavía mucha experiencia al respecto. [28]

En zonas donde el material de la franja costera no tiene permeabilidad suficiente se ha planteado la construcción de piscinas rellenas de arena gruesa para obtener así unas condiciones drenantes óptimas. (Figura 8)

6. Pretratamientos

Los pretratamientos de las plantas de OI tienen como objetivo conseguir que el agua que llega a las membranas esté lo más libre posible de contaminantes químicos y biológicos para evitar así su ensuciamiento o cualquier tipo de daño a la superficie de la membrana.

Los diseños de los pretratamientos varían según la calidad del agua de aporte. El tratamiento mínimo requerido implica una filtración monocapa por arena de 0,6 - 0,8 mm de diámetro, y a 7-9 m/h de velocidad superficial seguida de una filtración con filtros de cartucho de 2 a 5 micras. (Ej. Figura 9)

Los filtros de cartucho se colocan generalmente como medida de seguridad para proteger las membranas contra la entrada de partículas o materiales coloidales que puedan escaparse de los filtros. El trabajo real de filtración lo realizan, por tanto, los filtros de arena.

En algunos casos, la filtración con una sola capa es insuficiente, por lo que se usan filtros bicapa. Cuando uno o varios filtros bicapa no son suficientes para obtener los niveles de calidad deseados se añade también un tratamiento previo generalmente para la eliminación de materia orgánica. Estos tratamientos previos a los filtros suelen ser de flotación por aire disuelto. (Ej. Figura 10).

En algunos casos, se comienza ya a sustituir parte del pretratamiento con unidades de ultrafiltración adaptadas a las condiciones de agua de mar.

El consumo de reactivos varía según la calidad del agua de aporte y ha evolucionado considerablemente en los últimos años. De hecho, es cada vez más frecuente encontrar IDAM-OI con tomas de pozos o tomas profundas donde solo se añade un baja dosis de anti-incrustante (2- 4 mg/L).

En algunos casos se dosifica NaOH antes de las membranas de ósmosis para aumentar el pH y conseguir así un mayor rechazo de Boro de las membranas. Esto no es un procedimiento generalizado en todas las plantas por lo que no se ha incluido en los diagramas de bloques de las Figuras 1, 9 y 16.

Los pretratamientos con membranas de ultrafiltración (UF), aunque no son la tecnología más extendida, si es la más moderna. La eficiencia que se consigue con este tipo de pretratamiento es muy alta ya que eliminan los sólidos en suspensión. Además ocupan mucho menos espacio que los sistemas tradicionales.

Los estudios económicos que comparan los costes de implantación y la explotación de los sistemas tradicionales con los sistemas de UF apuntan a valores similares. La decisión dependerá así de cada caso en concreto.[44,45]

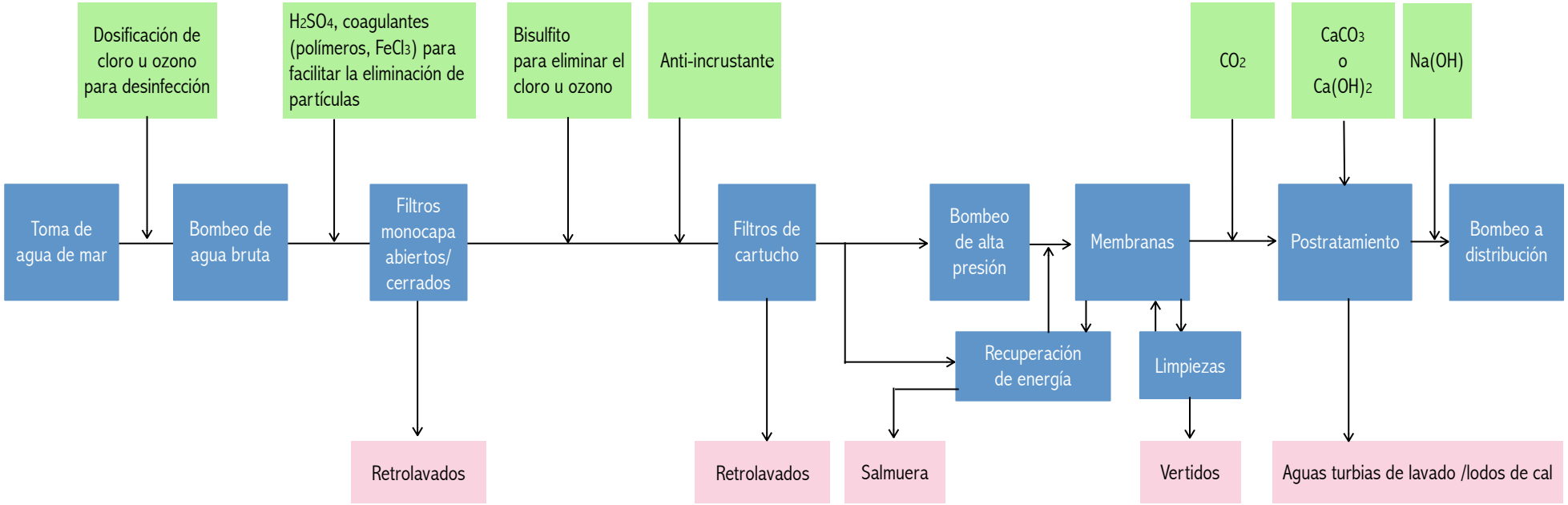


Figura 9: El diseño de los pretratamientos básicos incluye filtros de arena y de cartucho. En algunos casos se utiliza la desinfección con cloro y la adición de polímeros y coagulante para facilitar la eliminacion de sólidos en suspensión aunque no siempre es necesario y basta sólo con el anti-incrustante.

7. Membranas de OI y configuraciones

Existen diversas opciones en configuraciones de las membranas de ósmosis inversa,[1] aunque en este informe se presentan solo las tres más frecuentes: (a) de una etapa; (b) de dos etapas y (c) de doble paso. Los diagramas de las Figuras 11, 12 y 13 ilustran las diferencias.

La selección de la configuración de las membranas depende de la calidad del agua bruta disponible y la calidad requerida del agua osmotizada. La configuración del sistema de recuperación de energía, por su parte, se adapta a la configuración seleccionada.

Las plantas de una etapa (Figura 11) incluyen sistemas de recuperación de energía de la salmuera. Anteriormente se empleaban turbinas tipo Pelton, pero desde hace casi una década los sistema de recuperación de energía a base de cámaras isobáricas se están imponiendo. Así, el consumo específico del sistema de alta presión de las plantas ha descendido por debajo de los 3 kWh/m^3.

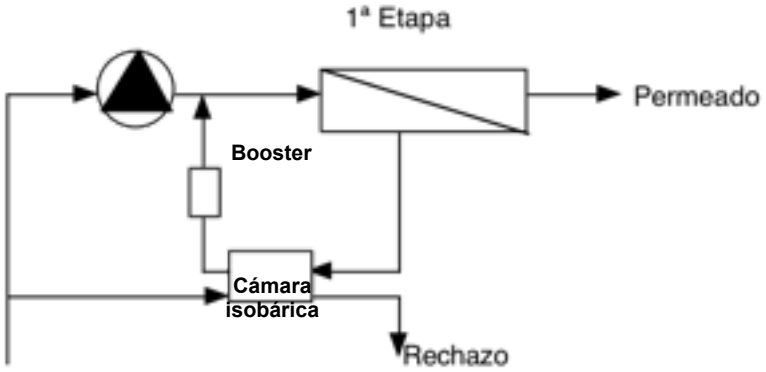


Figura 11: Configuración de una planta de ósmosis inversa en 1 etapa.

Las plantas de dos etapas (Figura 12) utilizan el rechazo de la primera etapa para volverlo a pasar por un nuevo grupo de membranas. La recuperación de energía se hace aprovechando el rechazo de la segunda etapa para aumentar la presión del rechazo de la primera etapa, que es a su vez la alimentación de la segunda.

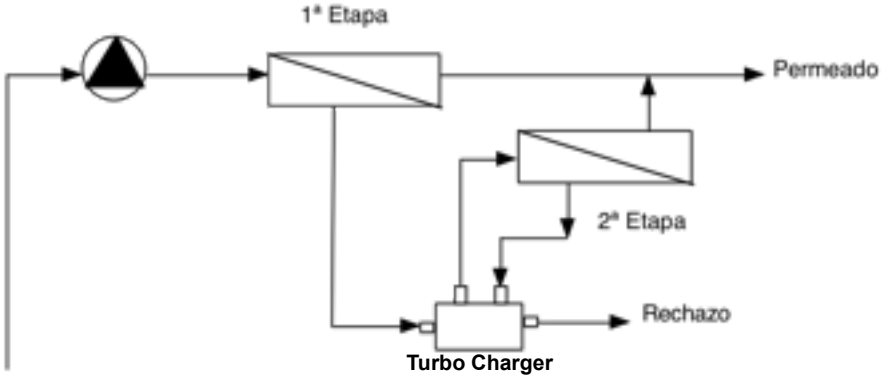


Figura 12: Configuración de una planta de ósmosis inversa en 2 etapas.

Las plantas de dos pasos (Figura 13) utilizan parte o todo el caudal del permeado del primer paso para pasarlo el segundo paso. El rechazo del segundo paso se aprovecha para bajar la conductividad de la alimentación y la recuperación de energía se hace con el rechazo del primer paso.

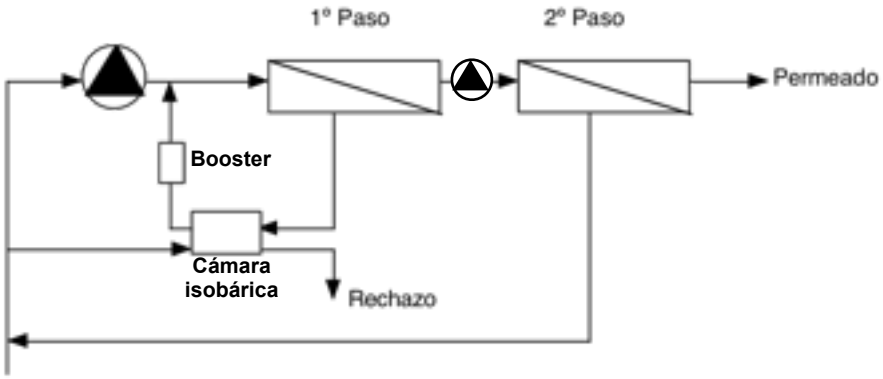


Figura 13: Configuración de una planta de ósmosis inversa de doble paso.

7.1 Reposición de membranas

Durante los primeros años de vida de una desaladora de OI el grado de reposición es bajo. A medida que va aumentando la edad media de las membranas se va incrementando su grado de deterioro y por tanto, las necesidades de reposición.[1,2,5]

En la práctica, las necesidades de reposición de las membranas cuando se trabaja con agua de pozo es del orden del 5%-8% anual. Por el contrario cuando se trabaja con agua de mar superficial este porcentaje aumenta al 10%-18% anual. Dependiendo de la calidad del agua que llega a las membranas la vida media de las membranas suele estar entre 5 y 8 años, aunque hay casos extremos en ambos sentidos. Valores por debajo de 5 años sugiere la necesidad de intensificar el pretratamiento.

7.2 Limpiezas

El número de limpiezas de las membranas varía con la calidad del agua. A mayor número de limpiezas anuales, más corta es la vida media de las membranas.

En caso de pozos con agua de muy buena calidad el número de limpiezas es de 1-2 anuales. En el caso de aguas superficiales de peor calidad el número de limpiezas es de 3 o más.

Las limpiezas se deben configurar siguiendo los criterios normalizados de membranas que aparecen en la Tabla 16 para: Presión, paso de sales y caudal de permeado.

7.3 Reactivos

Los diversos reactivos que se utilizan en las plantas desaladoras deben estar incluidas dentro de la lista de sustancias admitidas en la legislación para ser empleadas en el tratamiento de aguas potables. En algunos caso, el agua tratada cuando va directamente a abastecimiento, deberá cumplir también con la legislación de aguas potables.

8. Postratamiento

Las dos técnicas más empleadas para la remineralización de las aguas desaladas son los lechos de calcita ($CaCO_3$) y la lechada cal ($Ca(OH)_2$). En ambos casos se suele añadir CO_2.

El objetivo es aumentar la dureza cálcica y la alcalinidad del agua desalada hasta valores que permitan alcanzar un LSI próximo a cero (LSI ± 0,5 rango del RD 140/2003) y que sea estable en contacto con la atmósfera.[6]

El incremento de alcalinidad producido por la remineralización se puede valorar por el aumento de la conductividad eléctrica. Con un incremento de conductividad de 90-100 µS/cm y con un pH de salida del orden de 8,24 se considera que la remineralización se ha realizado correctamente.[6]

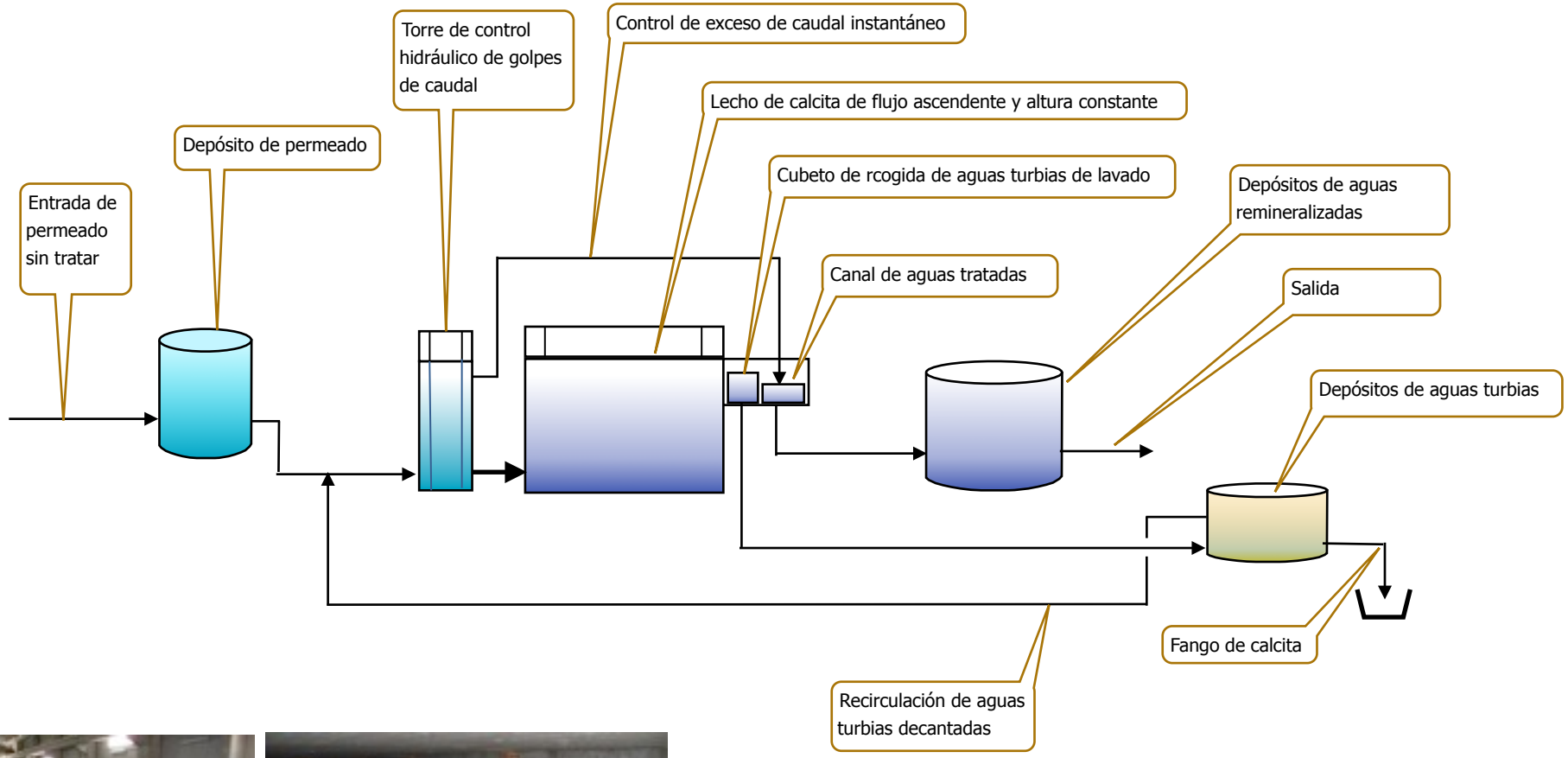
8.1 Lechos de calcita

Los lechos filtrantes se colocan dentro de filtros abiertos o cerrados y a presión.

El material filtrante que usualmente se emplea es la calcita granulada de pureza alrededor del 98% - 99%. La granulometría recomendada suele estar alrededor de 1-4 mm.

Los dos sentidos de filtración son posibles: ascendentes o descendentes. Existe una variante de los lechos ascendentes que son los de alimentación en continuo o altura constante.[17]

Un esquema de una planta de postratamiento con lechos de calcita de flujo ascendente y altura constante con recuperación de aguas turbias de lavado se presenta en la Figura 14.



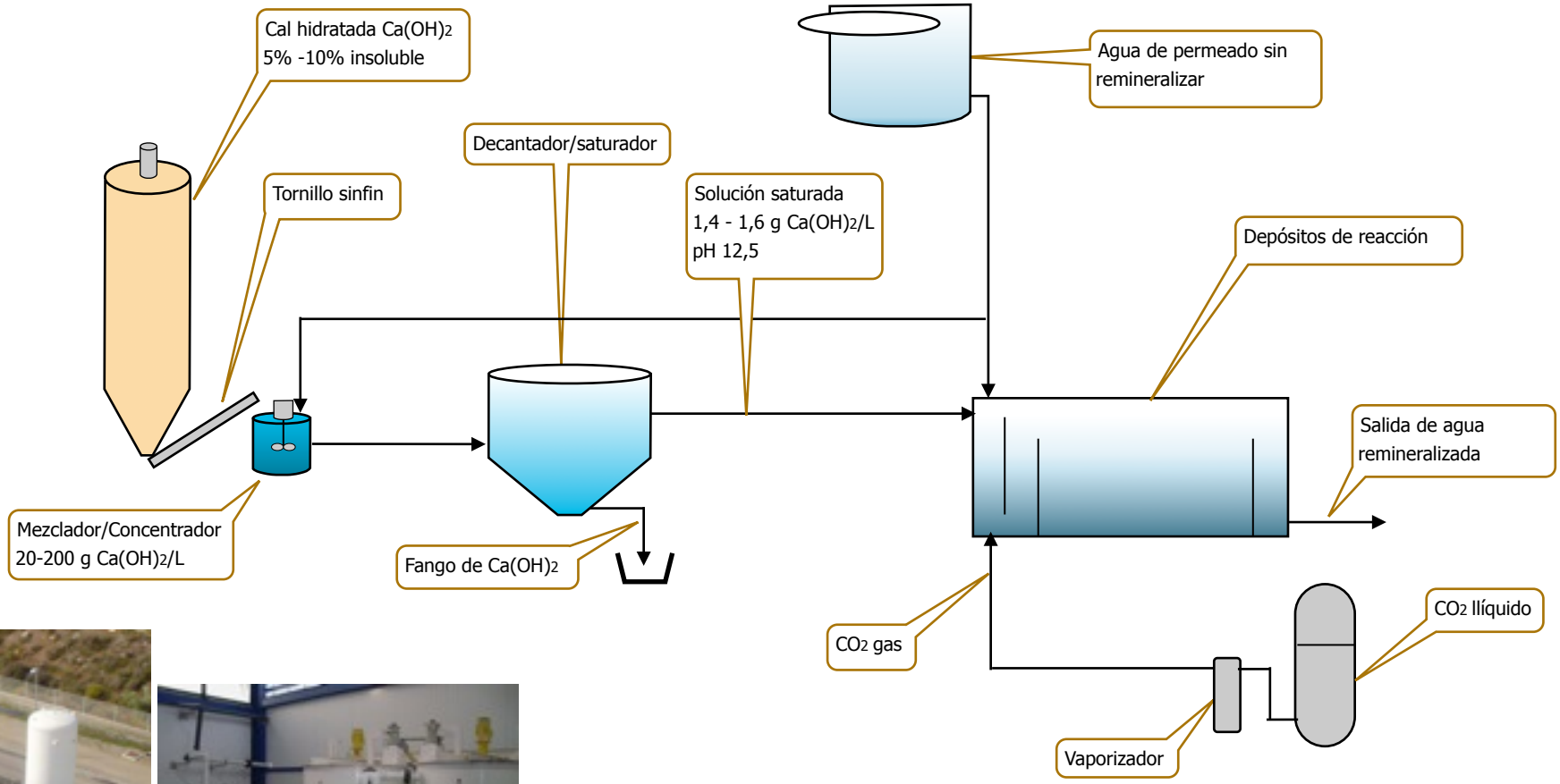
Zona de carga de los lechos de calcita

Canal de aguas remineralizadas y cubetos para recogida de aguas turbias de lavado

Figura 14: Diagrama de un postratamiento de aguas desaladas con lechos de calcita de altura constante y con recuperación de las aguas turbias de los contralavados.

8.2 Lechada de cal

La lechada se prepara en un concentrador hasta un máximo del 4% en $Ca(OH)_2$. A continuación se envía al decantador, también llamado saturador, para eliminar las impurezas. La velocidad ascencional en el decantador debe ser del orden de 1,8 m/h y la altura del mismo de, al menos, 3,5 m. La Figura 15 presenta un diagrama de flujo de una planta de cal.



Saturador de cal, silo y vaporizador de CO_2

Mezcladores de cal

Figura 15: Esquema de un sistema de tratamiento con lechada de cal y dosificación de CO_2.

9. Energía

Los consumos de energía eléctrica en una planta desaladora de agua de mar se producen por los siguientes grupos.[1]

- Bombeo de agua de mar a pretratamiento (0,3-0,6 kWh/m^3)
- Bombeo de alta presión con recuperación de energía (2,9-3,5 kWh/m^3)
- Equipos complementarios (≈0,25 kWh/m^3)

La suma del consumo de estos tres grupos se conoce como el consumo específico de energía del proceso de la planta.

El consumo energético del bombeo al exterior del agua producida depende mucho de la ubicación de la planta y del régimen de funcionamiento de la planta por lo que no se considera. En algunos casos, se utiliza la regla aproximada de para elevar 1 m^3/h a 700 m se necesita del orden de 2 kWh con un rendimiento de bomba del 85%.

Los consumos de las plantas con suministro de pozos es un 6%-7% inferior al de las plantas de toma abierta. Los consumos específicos para las IDAM-OI que producen agua con menos de 200 mg STD/L son aproximadamente un 15% superior a las que producen agua con 400 mg STD/L.

10. Técnicas para la supervisión y los GMAO

Tanto para la supervisión del funcionamiento del proceso como para verificar el estado de los equipos se combinan tres procedimientos:

- Lectura automática de instrumentación en línea y almacenamiento de datos directamente en el SCADA de control.
- Supervisión realizada por personal y reflejada en los partes de control y seguimiento.
- Controles periódicos de parámetros específicos y que complementan la información obtenida por los procedimientos anteriores.

La gestión de trabajos de supervisión y control se apoya, en algunos casos, en herramientas informáticas, más o menos complejas, para organizar los datos y facilitar la planificación y el seguimiento. En este sentido, algunas plantas utilizan los GMAO o Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador.

Un GMAO es básicamente una base de datos estructurada con más o menos detalle de todos los equipos que componen la planta.

Siguiendo las instrucciones de los fabricantes de los equipos o la propia experiencia del operador se introduce toda la información sobre los equipos, sus características y tipo de mantenimiento para cada uno de ellos.

El GMAO genera entonces un programa de mantenimiento para todos los equipos de la planta incluida la elaboración de órdenes de trabajo diarios donde se especifican las actividades preventivas, correctivas o predictivas que corresponden a cada día y a cada operario.

La actualización de las actividades realizadas ayuda al operador a mantener un control de la ejecución de todas las actividades: preventivas, correctivas o predictivas planificadas, e incluso de repuestos y almacén.

Los GMAO permiten organizar la información por equipos o por línea de proceso. En la mayoría de los casos la información histórica se puede resumir en forma de tablas o gráficos según convenga.

11. Seguimiento analítico de la planta por etapas

Los informes generales deben incluir un esquema general de la planta con los puntos de control enumerados tal cual se indica a título de ejemplo en la Figura 16.

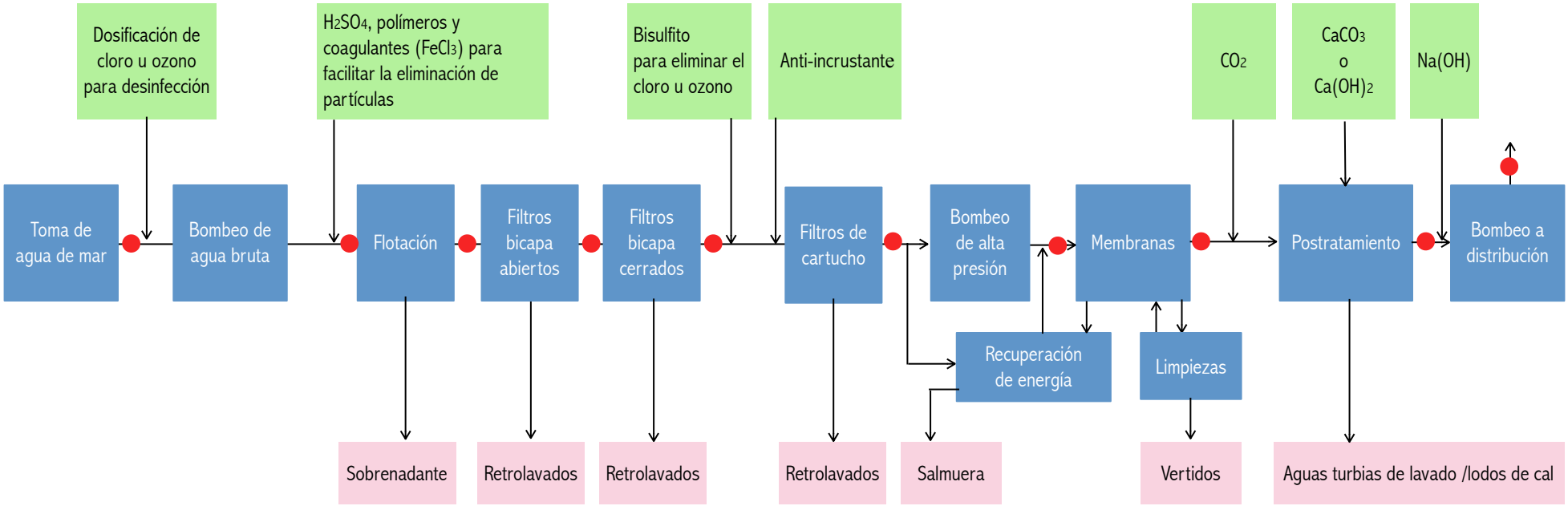


Figura 16: Puntos (●) de recogida de datos para el seguimiento de la calidad del agua de una planta IDAM-OI según etapas.

11.1 Tabla de referencia para el control analítico de la calidad del agua de una IDAM-OI según etapas

La Tabla 11.1 ilustra, a título de marco general, el alcance del control analítico correspondiente a cada punto de control del proceso de desalación según se indica en el diagrama de bloques de la Figura 16. El alcance del control analítico deberá, obviamente, ser adaptado específicamente para cada planta según sus características.

Página 1/2	Toma	Pretratamiento					Membranas			Postratamiento	
Tabla de referencia para el control analítico de una IDAM-OI según etapas	Toma	Antes de la flotación	Después de la flotación	Después de filtros abiertos	Después de filtros cerrados	Después de filtros de cartucho	Antes de las membranas	Después de las membranas	Rechazo de las membranas	Salida remi-neralización	Salida de planta(†)
Temperatura	D	periódico					D	D		periódico	D
Conductividad	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Turbidez	D	periódico	periódico	D	D		D	D	periódico	D	D
STD	D	periódico	periódico	D	D	periódico	D	D		D	D
SS	D	periódico		D	D	periódico	D		periódico	periódico	D
pH (25ºC)		D				periódico	D	periódico	periódico	D	D
SDI	periódico		periódico	periódico	periódico	periódico	D				
Parámetros microbiológicos	periódico			periódico	periódico	periódico	D				
Cloro libre							D				D
Bicarbonatos							periódico	periódico		D	D
Carbonatos							periódico			D	D
Calcio							periódico	periódico		D	D
Cloruros							periódico	periódico			
Nitratos							periódico	periódico			
Sulfatos							periódico	periódico			
Fósforo total							periódico	periódico			
Fluoruros							periódico	periódico			

Página 2/2	Toma	Pretratamiento					Membranas			Postratamiento	
Tabla de referencia para el control analítico de una IDAM-OI según etapas	Toma	Antes de la flotación	Después de la flotación	Después de filtros abiertos	Después de filtros cerrados	Después de filtros de cartucho	Antes de las membranas	Después de las membranas	Rechazo de las membranas	Salida remineralización	Salida de planta (†)
Sodio							periódico	periódico			
Potasio							periódico	periódico			
Amonio							periódico	periódico			
Magnesio							periódico	periódico			
Estroncio							periódico				
Bario							periódico				
Hierro como ion (Fe^{+2})		periódico					periódico				
Hierro total		periódico					periódico				
Manganeso							periódico				
Aluminio		periódico			periódico	periódico	periódico				
Sílice							periódico				
COT	periódico	periódico					periódico				
Boro							periódico	periódico			periódico
SiO_2 coloidal							periódico				
SiO_2 soluble							periódico				
Color	periódico						periódico				
Hidrocarburos	periódico		periódico				periódico				
COD	periódico		periódico				periódico				
SUVA (ver Tabla 11.2)	periódico		periódico				periódico				

D	Muestreo diarios
periódico	Muestreos periódicos

(†) En algunos casos, el agua de salida de planta debe cumplir con las normas de control de aguas de abastecimiento (RD 140/2003).

11.2 Tabla de parámetros referencia para la valoración de las aguas de aporte a las IDAM-OI

Frecuentemente se hace necesario disponer de los valores de referencia para agua de mar con el fin de poder valorar la calidad del agua de aporte a la planta y las necesidades de pretratamiento. La Tabla 11.2 incluye los valores considerados normales para los parámetros más importantes y que afectan al funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa.

Parámetro	Unidades	Valores normales	Observaciones	Referencia
EC	µS/cm	56.000	54.600 - 57.400	[3]
STD	mg/L	36.000	35.000-40.800	[3]
pH		7,9-8,1		[3], [12]
Temperatura	ºC	12ºC-35ºC	Tª max depende del tipo de membrana y pH máximo de operación. (ej. pH:13 => max 25ºC; pH:12 => max 35ºC; pH: 10,5 => max 45ºC)	[3]
Na^{+}	mg/L	10.900		[3]
K^{+}	mg/L	390		[3]
Ca^{2+}	mg/L	410-451		[3], [19B]
Mg^{2+}	mg/L	1.310-1420		[3], [19B]
NH^{2+}	µg/L	0,63		[7]
Ba^{2+}	µg/L	14,00	Para evitar problemas con sulfato de bario. Ba_2^{+} debe ser <15 µg/L en agua de mar, < 5 µg/L en agua salobres y <2 µg/L en aguas salobres si se ha dosificado H_2SO_4.	[3]
Sr^{2+}	mg/L	8,00		[9]
Fe^{2+}	mg/L	<0,02		[8]
Fe(tot)	mg/L	< 0,03	0,0034 mg/L	[8]
Mn^{2+}	mg/L	0,00	Valor máximo 0,01 mg/L	[3], [8], [11]
Al^{3+}	mg/L	0,00		[8]
Si^{2-}	mg/L	2,90	0,04-8	[3], [8], [11]
Cl^{-}	mg/L	19.700,00		[3], [19B]
SO_4^{2-}	mg/L	2.740,00		[3]
F^{-}	mg/L	1,40		[3]
Br^{-}	mg/L	65,00		[3]
HCO_3^{-}	mg/L	142 - 152		[3], [12]

11.2 Tabla de parámetros de referencia para la valoración de las aguas de aporte a las iDAM-OI (continuación)

Parámetro	Unidades	Valores normales	Observaciones	Referencia
CO_2	mg/kg	80-90	40 ml CO_2/L agua de mar ó 80-90 mg CO_2/Kg agua de mar	[3]
Iodo	µg/L	50,00	25-65	[12]
NO^{3-}	mg/L	0,02	Aguas profundas no contaminadas	[7]
NO^{3-}	mg/L	< 0,7		[3]
PO_4^{2-}	µg/L	<0,31		[7]
Ptotal	mg/L	0,088		[8], [11]
S	mg/L	904,00		[11]
SiO_2 (coloidal)			Con floculación y coagulación y filtración se consigue < 1µm	[3]
SiO_2 (soluble)			Depende de la presencia de Al^{3+} y Fe^{3+}. Al^{3+} y Fe^{3+} debe ser < 0,05 mg/L puede precipitar aún con valores inferiores al Ksp	[3]
SiO_2 (soluble)			Cuando pH>7, SIO_3^{2-} reacciona con Ca, Mg, Fe, Mn o Al para formar silicatos insolubles	[3]
SiO_2 (soluble)			Si SiO_2 en el concentrado es mayor que SiO_2 corregido según pH hay problemas de incrustaciones	[3]
SiO_2 (soluble)			Solubilidad de la sílice disminuye si pH <7 y por encima de pH >7.8	[3]
SiO_2 (soluble)			La solubilidad del Si aumenta con la temperatura	[3]
B	mg/L	4,0-5,1	Aguas fósiles pueden tener hasta 7 mg B/L	[3], [19B]
COT	mg COT/L	5,00	1-8 dependiendo del origen	[19B]
Hidrocarburos	mg HL/L	< 1	Con <1 mg/L de hidrocarburos libres y < 20 mg/L de hidrocarburos totales se ha comprobado que no se deterioran las membranas	[20]
DBO		0,00	Se recomienda analizar	[3]
COD	mg C/L	<1	hasta 8 mg DOC/L en algunos casos	[19B]
BDOC		0,00	Se recomienda analizar DBOC (DBOC= Biodegradable Dissolved Organic Carbon)	[3]
Bacteria	UFC/100 ml	0,00	Riesgo de biofouling si recuento aerobio a 22ºC > 10 UFC/100ml	[3]
Microorganismos aerobios	UFC/100 ml		Riesgo de biofouling si recuento aerobio a 22ºC > 10 UFC/100ml	[3]

11.2 Tabla de parámetros de referencia para la valoración de las aguas de aporte a las iDAM-OI (continuación)				
Parámetro	Unidades	Valores normales	Observaciones	Referencia
SUVA	L/mg y m		SUVA = Absorbancia UV/Concentración de COD SUVA: <3 mayoría material hidrofílico y de bajo peso molecular. SUVA: >4 indica que la fracción NOM (Natural Organic Matter) es de material hidrofóbico y aromático y de peso molecular alto. Se recomienda SUVA < 2 L/mg y m.	[5],[17], [19]
Cloro libre	mg/L	0,00	Recomendación 0	[3]
$CaSO_4$			Si producto iónico (IPC) para CaSO4 <0,8 Ksp aceptable pero si IPC >0,8 Ksp inicio de problemas. Si IOC≥Ksp riesgo de incrustaciones	[3]
$CaCO_3$			véase LSI y SDI	[3]
Sílice			véase SiO_2	
CaF_2			>0,1 mg CaF_2/L puede crear problemas. Producto iónico (IPC) CaF_2 <0,8 Ksp es aceptable. IPC >0,8 Ksp inicio de problemas. Si IOC≥Ksp riesgo de incrustaciones	[3]
$BaSO_4$			Si producto iónico (IPC) para BaSO4 <0,8 Ksp aceptable pero si IPC >0,8 Ksp inicio de problemas. Si IOC≥Ksp riesgo de incrustaciones	[3]
$SrSO_4$			Si producto iónico (IPC) para SrSO4 <0,8 Ksp aceptable pero si IPC >0,8 Ksp inicio de problemas. Si IOC≥Ksp riesgo de incrustaciones	[3]
$Ca_3(PO_4)_2$			Importante para aguas residuales. Menos soluble a pH neutral y alcalino. Mas soluble a pH ácido	[3]
$Ca_3(PO_4)_2$			Influye también la dureza del agua para la formación de Ca3(PO4)2	[3]
$Ca_3(PO_4)_2$			Se recomienda reducir, Ca, F, Al y ortofosfatos para evitar riesgo de obstrucción por fosfatos	[3]
LSI			LSI se utiliza si STD < 10.000 mg/L y por tanto se usa sólo para aguas salobres.	[3]
S&DSI			S&DSI se utiliza si STD > 10.000 mg/L. EL S&DSI (Still & Davis Saturation Index) debe ser menor de cero en el concentrado.	[3]
Color	mg Pt/L		Es señal de algún tipo de contaminación. El valor indicativo para aguas con contaminación de material orgánico natural (NOM) debe ser < 5 mg Pt/L.	[17]
Turbidez	NTU		Recomendable <1NTU. En algunos casos se recomienda NTU <0,5 para garantizar un SDI_{15}<5.	[3]
SDI_{15}		SDI_{15}0,45 < 3	SDI_{15} 0,45 <5 es aceptable pero SDI_{15} 0,45<3 deseable. Con filtración de arena se puede conseguir un SDI_{15} 0,45 <0,5	[3], [13]
MFI		$MFI_{0,45}$ <1	Un valor de $MFI_{0,45}$ <1 equivale a un SDI_{15} de <3. Se ha propuesto el uso de membranas de UF o NF en lugar de membranas de 0,45 µm. En este caso se le conoce como MFI-UF o MFI-NF.	[3], [14], [15], [16]

11.3 Valores de referencia para el control analítico de la calidad del agua antes de las membranas

De forma específica la Tabla 11.3 resume los parámetros de control analítico y la frecuencia de muestreo para el control de la calidad del agua antes de su paso por las membranas y los valores guía para cada parámetro. Los valores guía se han extraído de la Tabla 11.2 anterior.

Página 1/2 Parámetros de referencia para el control analítico de la calidad del agua antes de las membranas de O.I.	Valores Guía
Temperatura (ºC)	12 -30
Conductividad (µS/cm)	54.600 -57.400
Turbidez (NTU)	< 0,5
STD (mg/L)	35.000 - 40.800
SS (mg/L)	10 - 70
pH (25ºC) (varía según pretratamiento)	6,5 - 9,5
SDI	< 3
Parámetro microbiológicos (bacterias) UCF/100 ml	< 10
Cloro libre (mg/L)	0,00
Bicarbonatos (mg/L)	152
Calcio (mg/L)	410
Cloruros (mg/L)	19.700
Nitratos (mg/L)	< 0,02
Sulfatos (mg/L)	2.740
Fósforo total (mg/L)	< 0,088
Fluoruros (mg/L)	< 1,4
Sodio (mg/L)	10.900
Potasio (mg/L)	390

Página 2/2 Parámetros de referencia para el control analítico de la calidad del agua antes de las membranas de O.I.	Valores Guía
Amonio (mg/L)	< 0,1
Magnesio (mg/L)	1.410
$MFI_{0,45}$	< 1
Estroncio (mg/L)	< 8
Bario (mg/L)	< 0,015
Hierro como ion (Fe^{2+}) (mg/L)	< 0,02
Hierro total (mg/L)	< 0,03
Manganeso (mg/L)	< 0,01
Aluminio (mg/L)	< 0,1
Sílice (mg/L)	< 1
COT (mg/L)	< 8
Boro (mg/L)	4 - 5
SiO coloidal (mg/L)	< 1
SiO2 soluble (mg/L)	< 8,0
Color (mg Pt/L)	< 5
Hidrocarburos (mg/L)	0,00
COD (mg/L)	< 1
SUVA (L/mg y m)	< 2

	Muestreo diarios
	Muestreos periódicos

12. Normalización del funcionamiento de una planta de membranas ósmosis inversa

El rendimiento de un sistema de OI/NF se ve influenciado por la composición del agua de alimentación, la presión de alimentación, la temperatura y el porcentaje de recuperación.

Por ejemplo, un descenso de la temperatura de alimentación de 4 °C provocará una disminución del flujo de permeado de alrededor del 10%. Esto se considera un fenómeno normal.

Ahora bien, con el fin de distinguir entre los fenómenos normales y los cambios de rendimiento debido a la suciedad u otros problemas, se tienen que normalizar las medidas de flujo de permeado y el paso de la sales corrigiendo los datos de acuerdo con las condiciones de operación.

La normalización con respecto al valor teórico, o garantizado, de la planta es importante para verificar que realmente la planta está cumpliendo con los requisitos con los que ha sido diseñada. Sobre todo, la normalización respecto las condiciones iniciales de funcionamiento del sistema ya que permite mostrar cualquier cambio en el funcionamiento de la planta desde el día uno hasta la fecha del análisis.

La normalización del rendimiento de la planta permite una identificación temprana de problemas potenciales, como por ejemplo, las incrustaciones o la suciedad, cuando los datos normalizados se registran diariamente. Las medidas correctivas son mucho más eficaces si se toman a tiempo.

Existen pequeños programas para la normalización de los datos de funcionamiento y la representación gráfica normalizada del flujo de permeado y el paso de la sal, así como la caída de presión.[47,48]

Los valores normalizados de permeado, paso de sales y caída de presión pueden ser calculados también manualmente siguiendo fórmulas establecidas.[3,4]

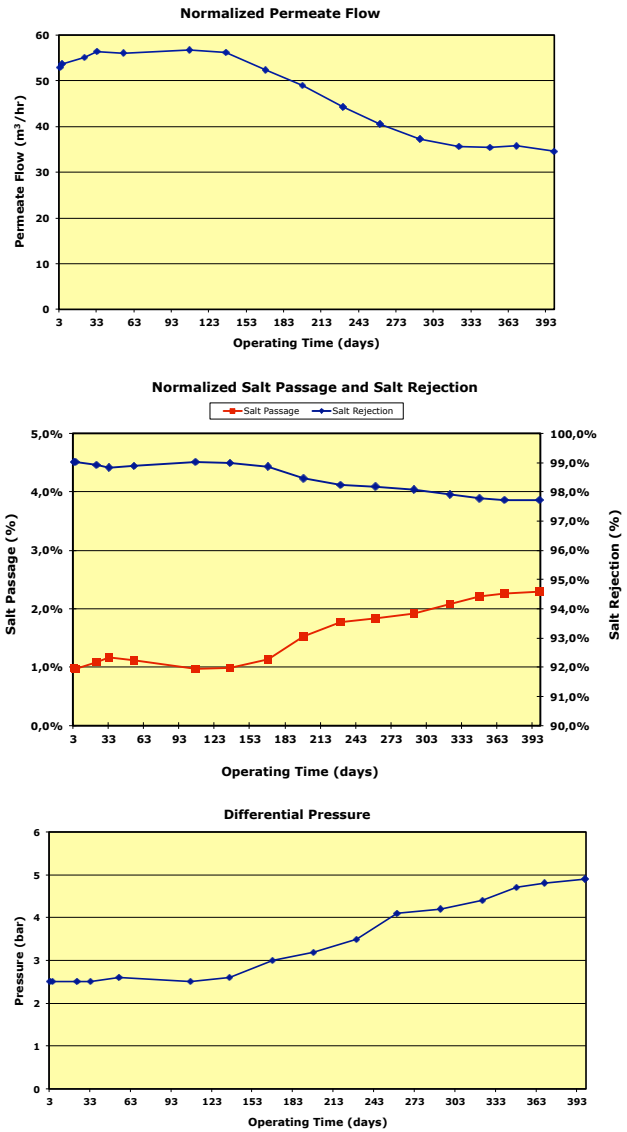


Figura 16: Ejemplo del seguimiento de los valores normalizados de permeado, paso y rechazo de sales y cambios de presion con el programa FTNORM[47]. Los datos indican el comienzo de una clara alteración en el comportamiento de las membranas a partir del día 170 aproximadamente.

12.1 Tabla de datos recomendados para la evaluación del funcionamiento de las membranas[3,4]

	En línea	Diario	Periódico
Fecha	x	x	x
Hora	x	x	x
Número de horas en operación	x	x	x
Número de tubos en funcionamiento	x	x	x
Agua de entrada - CE	x	x	
Agua de entrada - pH		x	
Agua de entrada - SDI_{15}		x	
Agua de entrada - Turbidez	x	x	
Agua de entrada - Temperatura	x	x	
Agua de entrada - Presión	x	x	
Concentración de cloro	x	x	
Concentración de anti-incrustante		x	
HSO_3 sobrante en la salmuera		x	
Iones específicos			x
CE de la salmuera			x
pH de la salmuera			x
Caudal de salmuera	x	x	
CE del permeado total	x	x	
CE del permeado cada tubo (mapa de conductividades)			x
Presión del permeado		x	
Caudal total de permeado	x	x	
Caudal de permeado por rack		x	
Iones específicos en pemeado			x
% de recuperación		x	
% recuperación por rack			x
Paso de sales normalizado*			x
Caudal de permeado normalizado*			x
Pérdida de carga normalizado*	x	x	

13. Evaluación del funcionamiento del postratamiento[6]

La remineralización produce un aumento del contenido en bicarbonatos y calcio en disolución. Esto se refleja en un aumento de la alcalinidad. El estudio de la estabilidad del agua después de la remineralización demuestran que un aumento de 90-100 µS/cm equivale a un aumento de la alcalinidad de 56 ± 3 mg $CaCO_3$/L y de 21 ± 2 mg Ca^{2+}/L.

El pH del agua antes de la remineralización debe ser lo suficientemente bajo para garantizar que el agua dispone de suficiente CO_2 libre como para realizar una remineralización adecuada.

13.1 Tabla de datos recomendados para la evaluación del funcionamiento del postratamiento

	Unidades	En línea	Diario	Periódico	Valor guía[6]
CE antes de la remineralización	µS/cm		x		< 600
CE después de la remineralización	µS/cm	x	x		< 700
ΔCE producido por la remineralización	µS/cm		x		90-100
pH antes de la remineralización				x	4,82*- 5,04†
pH después de la remineralización		x	x		8,2 ± 0,1
Turbidez antes de la remineralización	NTU			x	< 0,3
Turbidez después de la remineralización	NTU	x	x		< 1
Alc. total después de la remineralización	mg $CaCO_3$/L		x		56 ± 3
Ca total después de la remineralización	mg Ca^{2+}/L		x		21 ± 2 mg/L
LSI después de la remineralización			x		± 0,15

* valor guía para la remineralización con $Ca(OH)_2$
† valor guía para la remineralización con $CaCO_3$

14. Supervisión del programa de mantenimiento (número de actividades preventivas y correctivas)

El número de actividades preventivas y correctivas varía según el tamaño y los años de funcionamiento de la desaladora. En esta sección se incluye la Tabla 14.1 con el número aproximado de actividades de mantenimiento según el tipo de equipo y la etapa de tratamiento. En dicha Tabla 14.1, las actividades predictivas se consideran parte de las actividades preventiva.

El número de actividades anuales se reparten generalmente de forma uniforme mes por mes. Las actividades que se realizan una vez al año suelen coincidir generalmente con los meses de menor demanda. La tabla adjunta se refiere a una desaladora de 50.000 a 80.000 m^3/d con recuperadores de energía y unos 4 años de funcionamiento. En condiciones de funcionamiento esporádico con frecuentes arranques y paradas estos valores pueden aumentar ligeramente.

14.1 Tabla de datos para la supervisión del programa de mantenimiento (nº. de act. prev. y correctivas)

Desaladora	----						12 Meses	enero-diciembre		Año	----	
	Tomas		Prefiltración		Bombeo alta		Membranas*		Postratamiento		Bombeo a distribución	
Bombas	24	x	36	x	48	x			36	x	48	x
Válvulas	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x
Tuberías de acero/AISI	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x
Tuberías material plástico	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x
Filtros previos	1	x										
Rejas	365	x										
Flotación			12	x								
Filtros abiertos			12	x					1	x		
Filtros cerrados			12	x								
Filtros cartucho			12	x								
Recuperadores					12	x						
Membranas							12	x				
Instrumentación	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x
Automatismos y control	12	x	12	x	12	x			12	x	12	x

14.1 Tabla de datos para la supervisión del programa de mantenimiento (act. preventivas y correctivas)(continuación)

Desaladora	----						Meses	enero-diciembre		Año	----	
	Tomas		Prefiltración		Bombeo alta		Membranas**		Postratamiento		Bombeo a distribución	
Alta tensión (CA ≤1000 V ó CC ≤1500 V)	1	x	1	x	1	x			1	x	1	x
Alta tensión (CA >1000 V ó CC >1500 V)					1	x					1	x
Edificios	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x
Estructuras de hormigón	1	x	1	x	1	x			1	x	1	x
Estructuras metálicas	12	x	12	x	12	x		x	12	x	12	x
Depósitos de hormigón	1	x	1	x					1	x	1	x
Depósitos plástico			1	x			1	x	1	x	1	x
Depósitos metálicos			1	x			1	x	1	x	1	x
Otros equipos*	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x	12	x

o) Número de actividades preventivas y predictivas realizadas.
x) Número de actividades correctivas realizadas.
*) Incluye los sistemas de dosificación de reactivos y limpieza de membranas.
**) Se refieren a todas las etapas o pasos de la O.I.. Si se considera conveniente se debe especificar.

	Observaciones
Tomas	
Prefiltración	
Bombeo alta	
Membranas**	
Postratamiento	
Bombeo de salida	

15. Evaluación de anomalías e incidencias no programadas en las plantas desaladoras

El estado de una planta desaladora se refleja por el número de anomalías e incidencias que sufre. La comparativa entre el número de unidades en funcionamiento y el número de anomalías e incidencias no programadas puede servir de orientación sobre el estado de la planta. Sobre todo si se observan tendencias a lo largo del tiempo o se pueden comparar con valores de años anteriores.

A veces se detectan anomalías e incidencias no programadas durante las inspecciones visuales diarias que no constan en el programa oficial de inspecciones preventivas. También puede ocurrir que las anomalías o incidencias no revistan gravedad por lo que no se anotan oficialmente medidas correctivas en el registro de mantenimiento.

En cualquier caso un valor demasiado alto de anomalías e incidencias no programadas es indicativo de una planta en dificultades. En la Tabla 15.1 se presenta una posible forma de realizar un análisis comparativo entre el número de unidades en funcionamiento y el número de anomalías e incidencias no programadas.

15.1 Tabla de datos para la evaluación de anomalías e incidencias no programadas y que hayan dado lugar, o no, a actividades correctivas

Desaladora		Mes		Año	

	Tomas		Prefiltración		Bombeo alta		Membranas*		Postratamiento		Bombeo a distribución	
Bombas	o	x	o	x	o	x			o	x	o	x
Válvulas	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x
Tuberías	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x
Filtros	o	x										
Rejas	o	x										
Flotación			o	x								
Filtros abiertos			o	x					o	x	o	x
Filtros cerrados			o	x								
Filtros cartucho			o	x								
Recuperadores					o	x						

15.1 Tabla de datos para la evaluación de anomalías o incidencias no programadas y que hayan dado lugar, o no, a actividades correctivas (continuación)

	Tomas		Prefiltración		Bombeo alta		Membranas**		Postratamiento		Bombeo a distribución	
Membranas							o	x				
Instrumentación	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x
Automatismos y control		x		x		x				x	o	x
Alta tensión (CA ≤1000 V ó CC≤1500 V)		x		x		x				x		
Alta tensión (CA >1000 V ó CC>1500 V)					o	x					o	x
Edificios		x		x		x		x		x		x
Depósitos de hormigón		x		x						x		x
Estructuras de hormigón		x		x		x				x		x
Depósitos plástico				x			o	x		x		x
Depósitos metálicos				x			o	x		x		x
Estructuras metálicas		x		x		x		x		x		x
Otros equipos*		x		x		x	o	x		x		x

o) Número de unidades en servicio.
x) Número de anomalías entendiendo como tales la detección de anomalías con o sin actividad correctiva
*) Incluye los sistemas de dosificación de reactivos y limpieza de membranas

	Observaciones
Tomas	
Prefiltración	
Bombeo alta	
Membrana	
Postratamiento	
Bombeo de salida	

16. Tabla de datos para la supervisión mensual del funcionamiento integral del proceso

Los informes de supervisión mensual de las plantas desaladoras de O.I. son una herramienta de gestión fundamental. En ella se resumen los aspectos más relevantes del funcionamiento de la planta. En la Tabla 16 adjunta un modelo que resumen en una sola página los parámetros más importantes relativos al funcionamiento de la planta. Se divide en tres área: Producción y energía; funcionamiento de las membranas y calidad del agua producida.

Esta hoja de control deberá acompañarse de gráficos diarios de algunos parámetros tal y como se señala. El objetivo es detectar tendencias o eventos extraordinarios que pasaría desapercibidos si se presentaran sólo los valores medios mensuales.

Desaladora				
Mes			Año	
Producción y energía	Caudal programado	m^3		
	Caudal producido	m^3		
	% caudal producido respecto al programado	%		
	Número de paradas programadas	nº		
	Numero de paradas no programadas	nº		
	Consumo de energía	kWh		
	Consumo específico de energía global de la planta	kWh/m^3		
Funcionamiento de membranas	Paso de sales normalizado del bastidor de tubos de presión*	%	debe ser menos del 5% al10%	
	Caudal de permeado normalizado del bastidor de tubos de presión*	m^3/h	no debe bajar del 5%	
	Pérdida de carga normalizado del bastidor de tubos de presión*	bar	no debe ser mayor del 10% al 15%	
Calidad del agua producida	LSI (media)*		± 0,15 o según legislación (R.D.140/2010: ±0,5)	
	ΔCE después de la remineralización (media)*	µS/cm	> 90 µS/cm	
	pH después de la remineralización (media)*	unidades de pH	Entre 8,15 y 8,35	
	NTU después de la remineralización (media)*	NTU	< 1 NTU	
*) Se deberá acompañar a esta tabla el gráfico con los valores diarios.				

17. REFERENCIAS

17.1 Osmosis inversa y postratamiento

[1] Fariñas Iglesias, Manuel; Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill. España 1999.

[2] La desalación en España, Cuadernos sectoriales 2009, Ciclo del Agua. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. En www.spainbusiness.com

[3] Dow Water & Process Solutions Filmtec™ Reverse Osmosis Membranes, Technical Manual en http://es.scribd.com/doc/24498057/Filmtec-RO-Membranes-Technical-Manual

[4] Toray Membranes Europe. Operation, Maintenance and Handling Manual for membrane elements.

[5] AWWA Manual 46, Reverse osmosis and nanofiltration. 2ed. 2009.

[6] Hernández Suárez, Manuel. Guía para la remineralización de las aguas desaladas. Ed. Acuamed-FCCA, 2010.

17.2 Calidad del agua de aporte

[7] Dinabandhu Sahoo and Masao Ohno, Culture of Kappaphycus alvarezii in Deep Seawatr and Nitrogen enriched medium, Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ. No. 22, pp.89-96, 2003

[8] Turekian, Karl K, Océanos. 1968. Prentice-Hall en http://www.fcca.es/apartado-documentos/Composicionaguamar[1].pdf

[9] http://www.lenntech.com/periodic/water/strontium/strontium-and-water.htm

[10] Russel et al. Effects of seawater carbonate ion concentration and temperature on shell U, Mg, and Sr in cultured planktonic foraminifera, GCA Vol, 68, Nº 21 2004

[11] J. Floor Anthoni (2000, 2006), The chemical composition of seawater en http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm

[12] http://www.cambridge.org/resources/0521538432/1488_218437.pdf

[13] http://www.membranes.com/docs/papers/04_ro_water_chemistry.pdf

[14] Khirani et al., Improving the measurement of the Modified Fouling Indez using nanofiltration membranes (NF-MFI). Int. Cong. on Membrane Process (ICOM), Seoul, Korea, 21-26 August 2005.

[15] J.C. Shippers and J. Verdouw, Desalination 32 (1980)

[16] Boerlage et al. Applications of the MFI-UF to measure and predict particulate fouling in RO systems. J. Membrane Sci. 220 (2003)

[17] Alexander Keucken, NOM Characterization and removal by wáter treatment processes for drinking wáter and ultrapure process wáter.
En http://www.nwri-usa.org/documents/A6Keucken2011NOM.pdf, el 19/09/2011.

[18] Penru, Y. Et al. Characterization of natural organic matter from Mediterranean coastal seawater. 2011 IWA Specialty Conference on Natural Organic Matter, Costa Mesa, CA, USA, July 27-29, 2011, www.nwri-usa.org\nom2011.htm

[19] Rich Franks et al. RO Membrane Performance when Reclaiming Produced Water from the Oil Extraction Process, IDA World Congress, Dubai, 2009

[19B] Guadalupe Guaza, Desaladora de Ceuta, España, Comunicación personal.

17.3 Tomas de agua de mar

[20] Sidney Water Report 7. Assessment of Seawater Intake and Concentrate Outlet Project Components. En http://www.planning.nsw.gov.au/asp/pdf/chapter7.pdf el 19/09/2011

[21] Detlef Gille, Seawater intakes for desalination plants, Desalination 156 (2003) 249-256

[22] Sidney Water Report 8. Assessment of Delivery Infrastructure Project Components Sidney Water Report, en http://www.planning.nsw.gov.au/asp/pdf/chapter8.pdf el 19/09/2011.

[23] Faragallah, H.M. et al. Physico-chemical characteristics of the open Mediterranean sea water far about 60 Km from Damietta harbor, Egypt, Journal of Ecology and The Natural Environment Vol. 1(5), pp. 106-119, August, 2009

[24] Oscar Alvarado Intake Systems in Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) Desalination Plants, Water in mining industry. Santiago de Chile, July 2008 en http://downloads.gecamin.cl/cierre_eventos/wim2008/prsntcns/00110_00552_pr.pdf el 19/09/2011.

[25] Bonnélye, V. et al. UF/MF as RO pre-treatment: the real benefit. Desalination 222 (2008) 59–65

[26] Uwe Dortmund, Desalination and seawater intake, II Seminario International de Desalación en Antofagasta en http://www.desalchile.cl/documentos/34.KSB.pdf, el 19/09/2011.

[27] Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream- vol2. En http://www.fao.org/docrep/008/y6018e/y6018e03.htm el 19/09/2011.

[28] Reynolds, T. And Maley M., Desalination Intake Approaches. Open Ocean Intake vs. Subsurface. Monterrey Bay WWA. En http://www.scwd2desal.org/documents/Presentations/MBWWA%20Intake%20Presentation%2010-16-08-web2.pdf , el 19/09/2011.

[29] Tom Pankratz An Overview of Seawater Intake Facilities for Seawater Desalination, The future of desalination in Texas, en http://www.twdb.state.tx.us/innovativewater/desal/doc/The_Future_of_Desalination_in_Texas-Volume_2/documents/C3.pdf el 19/09/2011.

[30] Seawater intake systems. The offshore Type: Self Operating, Self Maintaining Gravity Flow Passive Intake System en http://www.amecosys.com/elmosa/index.html el 19/09/2011.

[31] Saeed, M.O. et al. Filtration and fouling problemas in a SWRO plant on the gulf coast. Research and Development Center, Saline Water Converson Corporation. 2007.

[32] Peters, T. And Pintó, D. Seawater intake and pre-treatment/brine discharge — environmental issues, Desalination 221 (2008) 576–584

[33] Velocity cap effectiveness study. Scattergood Generating Station. Los Angeles Department of Water and Power, June 28 2007

[34] Bonnélye, V. et al. Reverse osmosis in open intake seawater: pre-treatment strategy. Desalination Vol 167, August 2004, 191-200.

[35] Alexander Keucken, NOM Characterization and removal by wáter treatment processes for drinking wáter and ultrapure process wáter. En http://www.nwri-usa.org/documents/A6Keucken2011NOM.pdf, el 19/09/2011.

17.4 Operación y mantenimiento

[36] AWWA Manual 46, Reverse osmosis and nanofiltration. 2ed. Chapter 4. Operations and Maintenance. 2009.

[37] Higgins, L. R and Mobley, R. K. Maintenance and Engineering Handbook, 6th Ed. MacGrall-Hill. 2002

[38] Prof. Dr.-Ing. F.-K. Benra; Practical course Turbomachinery; Measurement of the characteristics of a centrifugal pump; University Duisburg-Essen Faculty of Engineering Sciences Department of Mechanical Engineering Turbomachinery

[39] Antonio Ordóñez Guerrero; Mantenimiento predictivo de bombas. Universidad de Sevilla – Escuela Universitaria Politécnica, Sevilla, España

[40] Integra valve predictive maintenance suggestions. Suggested Guidelines for Maintaining, Replacing and Rebuilding Integra® Valves en http://www.entegrisfluidhandling.com/Documents/ValveMaintenanceSuggestionsFeb06.pdf el 19/09/2011

[41] John Mitchel, Introduction to machinery analysis and monitoring. Penwell. Pub. ISBN: 0-87814-401-3

[42] Ray S. Beebe. Predictive maintenance of pumps using condition monitoring. ELSEVIER ISBN: 1856174085

[43] Fernandes Cabañas et. al. Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas rotativas. Marcobo ISBN:84-267-1166-9

[44] ASTM D4194 - 03(2008) Standard Test Methods for Operating Characteristics of Reverse Osmosis and Nanofiltration Devices.

[45] ASTM D4472 - 08 Standard Guide for Recordkeeping for Reverse Osmosis and Nanofiltration Systems.

[45] P. Glueckstern and M. Priel Comparative cost of UF vs. Conventional Pretreatment for RO. en http://www.ildesal.org.il/pdf/57.pdf

[46] Pearce, G.K. The case for UF/MF pretreatment to RO in seawater applications. Desalination 203 (2007) 286–295

[47] Normalization of Membrane Systems (“FTNORM”) en http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/ftnorm.htm

[48] Normalization of Membrane System (“RODATA”) en http://www.membranes.com/index.php?pagename=rodata

o0o