

## **Anexo 1**

### **Manual para el análisis y diseño en plantas de ósmosis inversa**

#### **1. Introducción:**

En este apartado se realizará un análisis de cada una de las variables más importantes en una operación de osmosis inversa. Se verán sobre todo aspectos relacionados con el diseño de la planta y diversos factores, que afectarán a la calidad del agua osmotizada, y al gasto económico generado al tratar el agua de extracción.

Es fundamental disponer de este análisis para realizar las simulaciones, sobre todo para ver que parámetros y disposiciones de la planta, así como otras variables, hay que modificar para optimizar el proceso, y por supuesto para una mejor comprensión de la operación de osmosis inversa y de la planta en cuestión.

#### **2. Análisis del agua**

##### **2.1. Introducción:**

Las características del agua que se van a tratar son fundamentales para el diseño y sería conveniente analizar cada uno de los compuestos mayoritarios en agua salobre para poder plantear un sistema adecuado para su tratamiento, así como en las precauciones que se tienen que tomar a la hora de trabajar con ella, para tener un funcionamiento continuo y sin grandes alteraciones en la planta.

Desde el punto de vista químico son cuatro las características que describen un agua:

- Conductividad eléctrica (salinidad)
- Dureza
- pH
- Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) libre

En relación a la salinidad del agua es conveniente centrarse sobre qué tipo de agua se está hablando; no es lo mismo un agua de mar que un agua salobre incluso dentro de las aguas salobres existen grandes variaciones en el contenido de sales según la zona de extracción.

La salinidad se mide como residuo seco a 105°C o TDS y se mide normalmente en mg /l o ppm.

La salinidad también está relacionada con la conductividad eléctrica, que es la facilidad con la que el agua transporta la corriente eléctrica debido a la presencia de determinadas sustancias conductoras. Se mide en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Cuando se empieza a operar con una instalación lo aconsejable es tomar mediciones de cada parámetro.

## **2.2. Composición química del agua:**

Dado su importante efecto a la hora del diseño de la planta y de los equipos que puedan ser afectados por los compuestos que contiene el agua, véase membranas, filtros, etc y por supuesto para los efectos en el usuario final del producto, es conveniente analizar de forma somera cada uno de los compuestos mayoritarios y minoritarios pero que en poca medida pueden ser perjudiciales para el usuario.

- Sodio

Es el metal alcalino más frecuente en la composición de las aguas y además el único presente en cantidades significativas en las aguas naturales. Todos los compuestos sódicos son solubles, por lo que el sodio lavado de rocas y suelos permanece siempre en solución. Estos significan que los compuestos de sodio no precipitan en las membranas.

Es uno de los compuestos más abundantes en aguas salobres y se encuentra en forma de cloruro, carbonato y bicarbonato sódico. Las aguas subterráneas con alto contenido en sodio les confieren un carácter fuertemente alcalino. El contenido de sodio para el consumo reglado es de 150 mg/l.

- Potasio

El potasio es un elemento muy abundante y es el séptimo entre todos los elementos de la corteza terrestre; el 2.59% de ella corresponde a potasio en forma combinada. El agua de mar contiene 380 ppm, lo cual significa que el potasio es el sexto más abundante en solución. Es más reactivo aún que el sodio y reacciona vigorosamente con el oxígeno del aire para formar el monóxido,  $\text{K}_2\text{O}$ , y el peróxido,  $\text{K}_2\text{O}_2$ . En presencia de un exceso de oxígeno, produce fácilmente el superóxido,  $\text{KO}_2$ .

- Calcio y Magnesio

Se encuentran en todas las aguas y son especialmente abundantes en aguas subterráneas. Su influencia depende del tipo de sales en el que estén presentes.

Establecen junto a los carbonatos, sulfatos, cloruros, bicarbonatos y nitratos la dureza del agua.

Son los causantes de las incrustaciones cuando se produce una variación de la temperatura, presión o el pH.

Las precipitaciones se forman cuando se rebasan los límites de solubilidad de las citadas sales, rompiéndose el equilibrio de la solución y dando lugar a la formación de los carbonatos insolubles de estos metales y en ocasiones de sulfatos. Los iones bicarbonatos se encuentran en el agua subterránea como resultado del dióxido de carbono disuelto, que ayuda a la disolución de la cal y dolomita.

La precipitación de estos compuestos tiene lugar cuando al estar unido el dióxido de carbono al ion bicarbonato aumentando la temperatura, se pierde el dióxido de carbono evaporándose, precipitando los carbonatos con el calcio y el magnesio.

El magnesio está delimitado en 50 mg/l para el consumo humano y el calcio no tiene un límite en el código Técnico Sanitario.

- Cloro

Su origen es complicado de explicar, aunque algunas teorías sostiene que procede del ácido clorhídrico o de sales volátiles de cloro procedentes de las erupciones volcánicas, geiseres o aguas termales, así como de aguas magmáticas.

En las aguas subterráneas el contenido suele estar en torno a las 5 ppm.

Contenidos de 150 ppm suelen ser adecuados para la mayoría de usos, pero existe una delimitación según el reglamento Técnico Sanitario y no debe ser superior a 250 ppm.

- Sulfatos

Proceden del yeso siendo los más importantes los del sulfato sódico y el magnésico. Contribuyen a la salinidad del agua y a veces alcanzan concentraciones tan elevadas como 2000 mg/l.

Desde el punto de vista sanitario su contenido no debe sobrepasar los 250 mg/l. Los contenidos elevados pueden provocar problemas intestinales. En cuanto a usos agrícolas, concentraciones superiores a 1,2 g/l se consideran negativas. El principal problema de los sulfatos en cuanto a la desalación por osmosis inversa es, como ya se ha dicho, es su posibilidad de formar ciertos precipitados de calcio y magnesio sobre las membranas cuando rebasan ciertos niveles, por lo que debe vigilarse.

- Carbonatos y Bicarbonatos

Se encuentran muy presentes en todas las aguas y su contenido depende fundamentalmente del pH.

Como las membranas de osmosis inversa tienen un gran rechazo de estos iones se concentran en el rechazo y precipitan.

Incluso en el caso de membranas de acetato de celulosa, la elevada concentración de bicarbonatos en las proximidades de la superficie de estas puede elevar el pH hasta cerca de 10, favoreciendo la hidrólisis de las citadas membranas.

Al tener una fuerte dependencia del pH también lo será de la temperatura aumentando la producción de iones carbonato e hidroxilos y la consiguiente precipitación del calcio y el magnesio en hidróxidos al aumentar la temperatura.

Para prevenir esto se trata el agua con ácido para mantener estable la reacción y eliminar los bicarbonatos. La formación de sulfato cálcico se tiene que controlar pues no es afectado por la acidificación del agua.

Si en la solución se encuentran sales en alta concentración y una sal cambia de solubilidad al no tener ningún ion común con las sales en alta concentración produciéndose el efecto del ion común.

Este efecto se emplea para ablandar aguas añadiendo hidróxidos en exceso.

- Nitratos

La variación de nitratos en aguas subterráneas es grande y no tienen ninguna relación con las formaciones geológicas.

La procedencia de los nitratos en aguas es bastante variada, pudiendo ser esta desde plantas leguminosas, residuos de plantas o animales, fertilizantes añadidos al suelo o de las propias aguas residuales.

Generalmente el contenido de nitratos en las aguas subterráneas tiene una gran relación con las aguas contaminadas superficiales que por percolación contaminan el acuífero.

Un contenido alto en nitratos puede significar que el agua contienen bacterias y debe ser tratada.

- Hierro

El hierro está presente en todas las aguas en mayor o menor medida, pudiéndose ser peligrosos para determinados usos domésticos e industriales.

Un contenido entre 0,1-0,5 ppm son los establecidos para el hierro siendo muy restrictivo en algunas aplicaciones industriales.

En aguas subterráneas el contenido de iones ferroso y férrico esta en torno a 1-5 ppm y por tratamientos de aireación se consigue reducir hasta 0,1 ppm.

Las aguas con un alto contenido en hierro son propensas a formar bacterias del hierro como la crenothrix.

El hierro insoluble (férrico) y los carbonatos pueden formar precipitados sobre la membrana reduciendo su eficiencia aunque se elimina fácilmente.

- Manganeseo

Tiene un comportamiento similar al del hierro y se presenta en las mismas condiciones que éste. Aparece como bicarbonato manganoso soluble que cambia a hidróxido de manganeso insoluble cuando reacciona con el oxígeno del aire.

El mejor pretratamiento para ambos elementos consiste en evitar su oxidación utilizando bombas sumergibles, que impulsen directamente el agua a tratar, desde el punto de la captación hasta la aspiración de la bomba de alta presión, sin exponerla al aire.

La utilización de antiincrustantes es fundamental para evitar la catalización del hierro en el manganeso. Cuando se producen precipitados de hierro o manganeso en las membranas ese consiguen buenos resultados en su limpieza bajando el pH por debajo de 3. Los ácidos cítrico y acético junto con el nítrico resultan muy útiles en estos casos.

- Sílice

La sílice que es la combinación del oxígeno y el silicio se puede encontrar en algunas aguas subterráneas en concentraciones de 100-20 ppm. No contribuyen a la dureza del agua pero es importante en las incrustaciones formadas por muchas aguas.

La solubilidad está bastante relacionada con la temperatura y como es rechazada en un 99% por las membranas se concentra en el rechazo.

Si se superasen concentraciones de 110-125 mg/l se podrían dar precipitaciones por insolubilidad que no son fácilmente disueltas por los ácidos. No se debe superar concentraciones de 150 mg/l en el rechazo.

- Flúor

Aparece en pequeñas cantidades en las aguas subterráneas y suele proceder de la fluorita.

Es uno de los componentes más problemáticos en aguas con procesos de desalación ya que su rechazo por las membranas es elevado y la solubilidad de sus sales que se concentran en la salmuera muy baja siendo los riesgos por precipitación muy elevados. Contenidos de 5-7 ppm pueden resultar peligrosos.

En el agua solo se permite 1500 µg/l según el Reglamento Técnico Sanitario.

- Otros compuestos

Los compuestos como el Aluminio, Bario y Estroncio son poco abundantes en las aguas subterráneas y su eliminación se realiza con la adición de ácidos que hagan que precipite como es el hexametáfosfato sódico actúa como inhibidor y antiincrustante en el Ba y Sr y para el aluminio depende de si el agua subterránea ha sido contaminada o no su concentración puede variar notablemente pero su eliminación se lleva a cabo acidificación y posteriormente el hidróxido de aluminio se elimina por filtración.

### **2.3. Gases disueltos**

La presencia de gases disueltos está muy ligada a la temperatura y a la presión de esta y pueden producir problemas de corrosión y de precipitación.

Los gases que se van a analizar son el oxígeno, sulfhídrico, dióxido de carbono.

- Oxígeno disuelto

Su contenido en aguas profundas es generalmente bajo. En aguas superficiales, por el contrario tienen un gran contenido de oxígeno disuelto, varía de forma inversa con la temperatura.

El oxígeno disuelto acelera el ataque corrosivo sobre el hierro, acero y otros metales. Si la temperatura aumenta lo hace la corrosión, pero la cantidad de oxígeno disminuye, a menos que el agua calentada este a presión.

Al estar el pH bajo corroe más rápidamente los elementos metálicos pero si se está hablando de aguas con una conductividad elevada el ataque seguirá siendo agresivo incluso a pH de 8.

Además la presencia de O<sub>2</sub> disuelto favorece la proliferación de bacterias aerobias y por consiguiente la contaminación de las membranas.

- Sulfhídrico

En cantidades muy pequeñas de 0,5 ppm concede al agua un carácter ácido. Es frecuente en aguas subterráneas y su contacto con el aire provoca pequeños precipitados que son perjudiciales para las membranas y dificultan su eliminación. Para evitarlos se debe aislar y si pasa el gas a través de las membranas se puede eliminar por cloración o por torres de desgasificación.

- Dióxido de Carbono

El contenido de CO<sub>2</sub> depende de los contenidos de materia orgánica, de forma que si existe una importante actividad biológica en un suelo, el agua que esté en contacto tendrá un alto contenido en dióxido de carbono y un bajo contenido en oxígeno.

Pero además es un gas que se libera en las aguas carbonatadas como consecuencia de la regulación del pH que se realiza en el pretratamiento de ósmosis inversa.

La liberación de dióxido de carbono, ocasiona un descenso del pH del agua y la hace más corrosiva. Como el gas atraviesa las membranas de osmosis inversa y por tanto aparece en el agua producto, a las que confiere agresividad y por tanto la exigencia de un tratamiento posterior para evitar daños a la red de acondicionamiento o distribución posterior.

## **2.4. Temperatura**

La temperatura del agua varia bastante no solo en función de la zona donde se encuentre si no de la época del año o si son aguas superficiales o subterráneas.

En las latitudes donde se encuentra el agua de extracción que se presenta en el documento se encuentra en torno a 18-24 °C entre el invierno y el verano. La influencia de la temperatura en el funcionamiento de las membranas es fundamental desde tres puntos de vista:

- La solubilidad de determinadas sales aumenta con la temperatura y por lo tanto a temperaturas más elevadas se reduce el riesgo de precipitación.
- La temperatura influye en la viscosidad del agua y en la dilatación de los materiales que constituyen las membranas, por lo que debe tenerse en cuenta la hora del diseño.
- A temperaturas elevadas se favorece el desarrollo bacteriano que ocasionan el ensuciamiento de las membranas.

## **2.5. Otros parámetros característicos del agua**

### **2.5.1. pH**

De él depende la concentración de iones hidrogeno en solución y es consecuencia de las sales que lleva en solución.

Desde el punto de vista de la desalación por membranas:

- Influye en la solubilidad de los carbonatos y regula por tanto su precipitación.

- Limita el empleo de membranas de acetato de celulosa que a valores inferiores a 5 o superiores a 5, pueden experimentar hidrólisis.

### **2.5.2. Alcalinidad**

Es la capacidad de un agua para neutralizar un ácido. Un agua con un pH ligeramente inferior a 7 puede tener al mismo tiempo algunas sales que neutralizan el ácido y manifestar por tanto una alcalinidad que se puede medir.

Los iones carbonatos y bicarbonatos contribuyen a la alcalinidad, pero los iones cloruro, sulfato y nitrato no.

### **2.5.3. Dureza**

La dureza puede ser de dos formas:

- Carbonatada, causada por los carbonatos, que incluye la porción de Ca y Mg que se combina con el bicarbonato y las pequeñas cantidades de carbonato libre.
- Permanente o no carbonatada la provocada por los nitratos, sulfatos y cloruros de Ca y Mg.

## **3. Tipos de membranas**

Las membranas que realizan la separación es una lámina delgada que por sí sola no soportaría los esfuerzos a que hay que someterla en el proceso de separación.

Además, por su reducido caudal unitario, precisaría enormes desarrollos para poder tratar volúmenes importantes.

Por estos motivos es necesario que se incluya en una estructura metálica para que pueda soportar estos esfuerzos y que ocupe el menor espacio posible.

### **3.1. Clasificación**

- Membranas de tipo plano:

Estas membranas son las más básicas y están constituidas por una lámina que se coloca dentro de un marco circular o rectangular, que actúa como soporte para la membrana y le confiere rigidez y resistencia. La superficie filtrante es pequeña. Por lo que para aumentar la producción se colocan unas en cima de otras formando unas pilas o columnas de membranas.

El principal inconveniente que tienen estas membranas es su baja capacidad de producción. Debido a esto la superficie que se requiere para utilizarlas es muy elevada.

La ventaja que presentan es en su separación entre un elemento y otro que hace que sea fácil su limpieza y que no se colmaten y se ensucien tan a menudo como en otros tipos de configuraciones.

- Membranas tubulares:

Van alojadas dentro de un tubo de PVC y se intenta que la superficie sea menor pero sin sacrificar capacidad productiva y conservando las propiedades de limpieza y dificultad de ensuciamiento que presentaban las membranas anteriores.

Se colocan varios tubos en paralelo dejando una entrada y salida para el agua tratada.

- Membranas de fibra hueca:

Están constituidas por un haz de millones de tubos capilares huecos (Figura 1). Eran de acetato de celulosa y producían un caudal muy pequeño. Sin embargo, se consideró que podían ser útiles para desalación debido a que eran muy baratas de fabricar y muy delgadas.

También se comprobó que al reducir el tamaño se podía conseguir una pared extremadamente delgada y con esto un flujo mayor de producto y una reducción considerable del espacio (Figura 2).

En la actualidad solo dos fabricantes se están dedicando a su utilización Dupont y Toyobo.



Figura 1: Zoom capilares de membranas de fibra hueca.

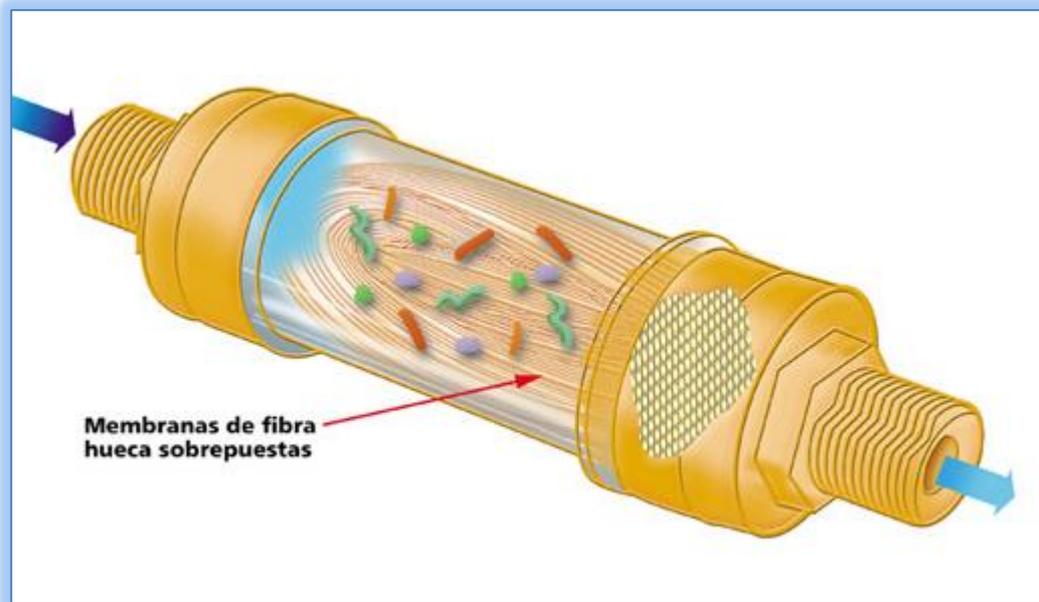


Figura 2: Membranas fibra hueca disposición en tubos de presión.

- Membranas de arrollamiento en espiral:

Es el tipo de membranas utilizadas en la instalación descrita en este documento, no obstante es importante la inclusión en este anexo de los otros tipos de membranas para aclarar posibles dudas con la utilización de este tipo de membranas.

La fabricación de este tipo de membranas consiste en varias láminas rectangulares, que constituyen las membranas propiamente dichas, enrolladas alrededor de un eje cilíndrico provisto de perforaciones que permiten recoger el agua producto (Figura 3).

Para el enrollamiento de las membranas se dispone de forma alternativa de un separador impermeable y una malla, de forma que en una membrana arrollada en espiral existen tantas láminas como separadores y mallas.

La malla plástica determina los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar y por su forma cuadrículada garantiza un régimen de funcionamiento turbulento lo que reduce la posibilidad de obstrucción por elementos extraños.

El separador impermeable permite aislar el caudal que pasa por cada una de las láminas o membranas y separarlo de la salmuera.

El conjunto de membranas, mallas y separadores se sella mediante pegamento por tres de los lados, mientras que por el cuarto lado se constituye la única salida posible para el agua que ha atravesado las membranas, se une al eje perforado.

Finalmente se cierra el conjunto con una envuelta de poliéster con fibra de vidrio, que permite lograr una gran estanqueidad.

El enrollamiento permite introducir una gran cantidad de membranas en un espacio reducido.

Con esta configuración se ha conseguido la reducción considerable del espacio ocupado por las membranas, aumentando la capacidad del módulo y reduciendo su precio.

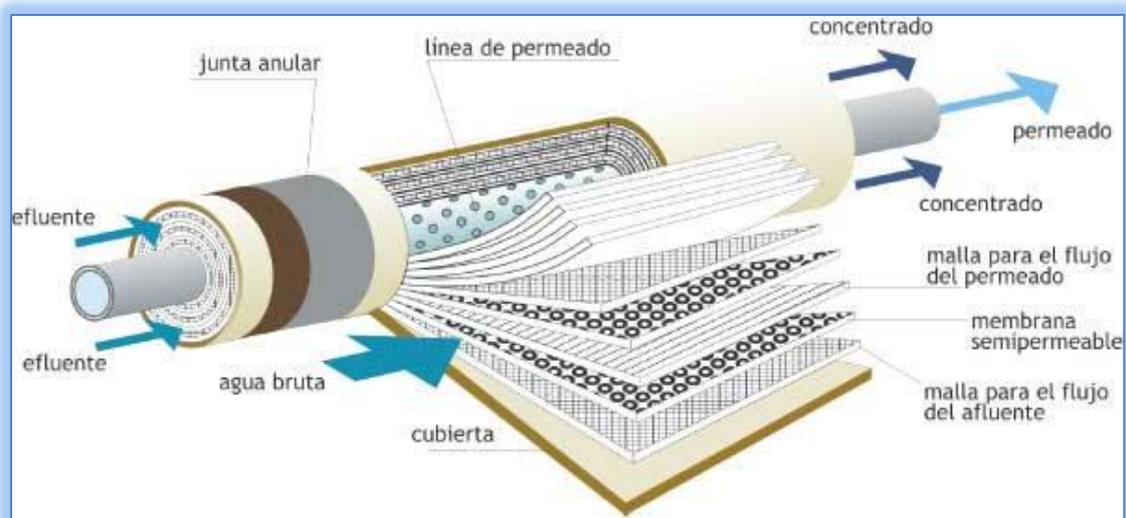


Figura 3: Esquema membranas de arrollamiento en espiral.

### Aclaraciones

Los dos primeros tipos de membranas no son usuales para desalinización de aguas salobres estando las dos últimas, las de fibra hueca y las de arrollamiento en espiral, a la cabeza de este propósito.

Generalmente cuando se habla de membranas comerciales se recogen un conjunto de medidas más o menos comunes (normalizadas) no solo con el objeto de ser comparadas entre sí para una misma utilización si no para poder sustituirlas unas por otras debido a diversas situaciones.

El diámetro exterior está normalizado en torno a 4-8”.

En cuanto a su longitud las más comunes son de 1 m. de longitud aunque las de 8" pulgadas también se fabrican en 1,5 m. Estas últimas son las que se utilizarán en la planta para aumentar el caudal, ya que se aprovecha mejor el espacio disponible.

En las pruebas que se realizan para caracterizar las membranas se tienen en cuenta:

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

### **3.2. Comparativa**

Dejando a un lado las diferencias existentes en función del material constituyente, según sean poliamida o derivados celulíticos existen características por las que se han escogido las membranas de arrollamiento en espiral en vez de las de fibra hueca.

- Caudal

Las membranas espirales son más permeables, tienen mayor caudal unitario ( $l/m^2$ ) 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 capacidad de producción, las membranas de fibra hueca son menos y por tanto ocupan menos espacio que las de en espiral. Pero para producciones medianas y debido al menor coste las membranas en espiral son bastante utilizadas en estas instalaciones.

- Presión de funcionamiento

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

Por ello la resistencia que deben soportar ambos tipos de membranas son distintas y así como las membranas de fibra hueca tienen que soportar más presión que las de arrollamiento en espiral.

La consecuencia directa de esto es un mayor gasto energético en las membranas de fibra hueca.

- Ensuciamiento

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

En cambio los canales que se determinan entre mallas para las de en espiral son bastante mayores. Las membranas de fibra son más propensas a ensuciarse que las de espiral.

El SDI permitido en las membranas en espiral en el abastecimiento es mayor en las de espiral que en las de fibra.

Índice de densidad de sedimentos de las membranas (SDI), también conocido como índice de ensuciamiento es un procedimiento sencillo para determinar el poder de ensuciamiento en forma de partículas coloidales que posee el agua.

El procedimiento mide la caída de flujo a través de una membrana de 47 mm de diámetro y con un tamaño de poro de 0.47  $\mu\text{m}$ . Este tamaño de poro es susceptible de ser obstruido por material coloidal y no por sustancias como arena o incrustantes.

La disminución del flujo de agua viene representado por un índice entre 1:100 unidades, a mayor velocidad de taponamiento tendrá un índice mayor y a menor tiempo menor índice SDI.

La medida estándar es realizar una toma de medida para un taponamiento del 100% y dividir este número en el tiempo transcurrido hasta que ocurre dicho taponamiento dando el índice de SDI correspondiente al agua en cuestión:

$$\text{SDI} = \frac{\% \text{ taponamiento}}{\text{Tiempo de operación}}$$

La medida tiene que realizarse justo después de los pretratamientos físicos y químicos para ver si se está haciendo una correcta corrección a los valores de SDI del agua de entrada.

La medida que representa el SDI es la capacidad de ensuciamiento que posee el agua para colapsar las membranas de osmosis inversa. Normalmente unos niveles de SDI en torno 5 o inferior se consideran aceptables para cualquier membrana de ósmosis inversa.

Un alto nivel de partículas en el agua a tratar puede desencadenar en los siguientes problemas:

- Rápida disminución en el flujo de productos ya que las membranas están sucias y obstruyen el flujo.
- Aumento de la presión en la entrada y una disminución en flujo de rechazo ya que los canales se restringirán y se reduce la acción de barrido de las membranas.
- Disminución de la capacidad de purificación de las membranas y retención menor de las sales debido al ensuciamiento excesivo.

La forma para reducir el SDI de un agua concreta es mediante procedimientos de filtración previa en la que se elimina la mayoría de los compuestos coloidales que puedan obstruir las membranas.

- Rechazo de sales

Las membranas de fibra hueca suelen tener rechazos inferiores a las de arrollamiento en espiral. Así como en estas últimas valores de 99,5% son normales y algún fabricante ha dado el dato de 99,8%, los de fibra hueca no superan los 99,4%.

Aunque debido a la mayor superficie útil de las membranas de fibra tienen una mayor recuperación por elemento filtrante en torno al 35-50% frente al 10-15% de las de espiral.

En las membranas de arrollamiento en espiral, como se colocan 6 o más en un tubo, el permeado que sale de la primera membrana 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.

- Pérdida de propiedades

Las membranas van perdiendo propiedades conforme se van utilizando, esto es debido a la colmatación de las membranas como consecuencia de las presiones de operación y a la deposición continuada de elementos que lleva el agua a tratar en la superficie de las membranas.

Las membranas en espiral tienen un proceso de limpieza empleando productos químicos, en cambio las de fibra hueca a parte de la limpieza con químicos se tiene que recubrir la membrana con una capa química que es la responsable de la eliminación de las sales.

Esta capa química encarece la utilización de estas membranas, sobre todo en procesos que requieran una limpieza frecuente.

### **3.3. Colocación de las membranas y disposición.**

Las membranas tanto en espiral como las de fibra hueca deben colocarse en una estructura metálica que soporte todos y cada uno de los tubos y que las mantenga inmóviles estos elementos se llaman bastidores.

Las membranas tienen una superficie limitada y también una producción determinada. Como por otra parte el porcentaje de recuperación por elemento es muy bajo, en torno al 10-15%, las membranas se colocarían en serie para que el rechazo de una sea la alimentación de la siguiente.

Los tubos de presión tienen una capacidad para 6-7 membranas pero su capacidad sigue siendo limitada.

Para que tenga una producción aceptable se deben disponer los módulos en paralelo. De aquí surgen los distintos tipos de estructura de producción que se irán variando a lo largo del diseño hasta cumplir las expectativas de producción.

Cada una de las unidades de producción que son alimentadas desde una fuente única (bomba de presión). Es decir, un conjunto de tubos de presión y alimentadas por una bomba, constituye una etapa.

Si para aumentar la eficiencia de la instalación, el rechazo de los tubos de presión o permeados, que sale a una determinada presión, se introduce en otro tubo de presión, estos tubos constituyen otra etapa. Al ir aumentando el número de etapas se aumenta el caudal recuperado como producto.

Esto también hace que al ir pasando el agua de una membrana a otra va incrementando su salinidad y el rechazo de sales de la membrana no varía, aumenta el flujo de sales y por tanto empeora la calidad.

Al aumentar el número de etapas se empeora la calidad del agua producto. Por lo tanto habrá que llegar a un consenso entre el número de etapas y la calidad del agua producto.

Si el caudal de agua producto o de rechazo de una instalación de osmosis es rebombado mediante otra bomba que eleva su anterior presión, para alimentar otro conjunto de membranas se dice que tiene un paso.

Se pueden encontrar diversas formas de producción:

- Simple.

- Etapa de salmuera (donde se recoge el rechazo del primer paso y se osmotiza una segunda vez).
- Etapa de producto ( el producto del primer paso se osmotiza una segunda vez en otro paso y el rechazo del segundo paso se recircula en circuito cerrado).

#### **4. Parámetros y materiales en membranas (diseño)**

Este apartado se centrará en el análisis más exhaustivo de las membranas y de todos los parámetros que desde el punto de vista del diseño pueden interesar para la instalación así como un pequeño análisis preliminar de los materiales que se pueden encontrar en la actualidad para cada tipo de membrana.

##### **4.1. Materiales de membranas**

En las membranas de desalación están constituidas por una capa base o más de una capa que es la encargada de realizar la separación de las sales.

Hoy en día solo las membranas de tipo asimétrico o compuesto de capa delgada merecen la atención, y en su constitución entran fundamentalmente el acetato de celulosa en las de tipo asimétrico y diversas poliamidas en las de capa delgada.

En un principio las membranas comerciales eran de acetato de celulosa aunque han sido mejoradas mediante mezclas de polímeros de acetato y triacetato de celulosa. Se tratan de membranas sensibles al pH, de caudal moderado y susceptible al ataque biológico, pero que permiten una cloración moderada. La superficie de las membranas es muy lisa y no se ensucian demasiado, son membranas destinadas sobre todo al tratamiento de residuos.

El triacetato de celulosa que produce un caudal más reducido pero que es más resistente que el anterior, se emplea en membranas fibrilares de fibra hueca, compensado el menor caudal unitario con la mayor superficie que presentan las fibras.

Las membranas de poliamida alifática y aromática representan, especialmente estas últimas, una nueva generación, con numerosas ventajas sobre el acetato.

La composición química de la capa separadora es la parte en la que cada uno de los fabricantes pone toda su atención ya que será donde reside el alto grado de separación de cada membrana.

Estas membranas de poliamidas han sustituido casi por completo a las de acetato de celulosa ya que poseen unos caudales de producto y rechazo más amplios y operan a presiones más bajas. Aunque presente el inconveniente que son sensibles al cloro.

## 4.2. Características principales de las membranas

- **Rechazo de sales**

La característica más importante de las membranas es su capacidad para separar iones en solución.

Esta capacidad de separación no es igual en todas las membranas, siendo precisamente esta capacidad la principal característica diferenciadora de todas.

En el caso que trata este documento, las membranas para aguas salobres se asignan membranas con un rechazo entre 85-95%. Las membranas dependen mucho también del tipo de iones a separar y de si son mono o polivalentes en el sentido que separaran mejor los polivalentes que los monovalentes.

Una membrana se puede clasificar o identificar por el rechazo a determinados iones.

- **Rechazo de bacterias**

El tamaño de los poros de las membranas es suficientemente pequeño para que su poder de separación de las bacterias, virus y pirógenos sea prácticamente total. Esto quiere decir que en aplicaciones donde el principal efecto sea separar sustancias bacteriológicas se tiene que controlar el rechazo pues es bastante contaminante.

En el caso de un alto contenido de bacterias en el agua a tratar se debe realizar un pretratamiento de desinfección antes de que pase por las membranas para evitar que se cree una capa de suciedad en las mismas.

- **Compuestos orgánicos**

Las sustancias orgánicas también son retenidas en un grado diferente por las membranas. Siendo retenidas en mayor medida las moléculas con un peso molecular mayor que las de peso molecular más pequeño. También el grado de retención es diferente según la estructura iónica de las moléculas.

En general los compuestos orgánicos de bajo peso molecular, como los ácidos orgánicos y las amidas, pasan a través de las membranas sin ningún tipo de problemas.

Los compuestos que dotan al agua de color son eliminados y no salen con el permeado en ningún caso.

Algunos compuestos orgánicos pueden atacar a las membranas degradándolas. Por ejemplo, determinados polímeros aparentemente no tienen efecto alguno en bajas concentraciones como los usados en los pretratamientos químicos, pero deben vigilarse puesto que pequeños aumentos en su concentración resultan dañinos.

El rechazo de compuestos orgánicos solubles depende además del material constituyente de la membrana siendo más eficientes las membranas de poliamida que las de acetato de celulosa.

- **Resistencia al cloro**

El cloro es un fuerte oxidante que es utilizado en tratamientos para desinfección de agua tanto en forma de hipoclorito (sódico o potásico) como en forma de gas. La tolerancia de las membranas de desalación al cloro libre disuelto en agua a tratar es muy distinta según el tipo de membranas.

Las membranas de arrollamiento en espiral que son las que se han utilizado en la planta, las de poliamida alifática, TFC, son destruidas casi al instante por el cloro, en cambio las de poliamidas aromáticas, TFCl, solo aguantan una pequeña cantidad de cloro 0,1 ppm y durante breves periodos de tiempo.

Según el espesor también pueden ser más o menos resistentes al cloro. En el caso de que se utilice cloro en el pretratamiento es obligatorio la utilización de un reductor para poder pasar el agua a través de las membranas.

Hay que distinguir entre cloro libre que es el perjudicial para las membranas y por lo tanto hay que tener un control exhaustivo mediante pretratamientos químicos antes de que entre en contacto con las membranas y por otra parte las sales de cloruros que tendrán que cumplir lo establecido en el RD140 para la calidad del agua para el consumo humano en el agua osmotizada en esta instalación que se trata en el presente documento.

- **Condiciones hidráulicas**

Las membranas funcionan en condiciones óptimas cuando las velocidades de circulación del agua cumplen unas determinadas condiciones.

Para conseguir un arrastre adecuado de las sales que se van depositando sobre las membranas, es conveniente que el flujo de salmuera sea constante y uniforme, y que el caudal de alimentación se mantenga también dentro de unos valores, lo que implica fijar unos flujos mínimos. En función de su tamaño cada elemento de permeado tendrá un caudal óptimo de funcionamiento.

Para el caso de membranas de arrollamiento en espiral:

- Mantener un caudal de barrido de la salmuera mayor de 10 lpm para las de 4" y de 40 lpm para las de 8".
- Mantener una relación entre salmuera y permeado de 5

- Mantener un caudal de alimentación a las membranas que de ser menor de 50 lpm para las membranas de 4" y menor de 200 lpm para las de 8".

Pero a su vez el flujo a través de las membranas viene regido por una combinación de cuatro factores:

- Presión osmótica.
- Permeabilidad de la membrana.
- Espesor de la membrana.
- La difusión o diferencia de concentraciones.

El flujo a través de una membrana se mide en función del volumen que la atraviesa (transmitido) por unidad de área de membrana en un periodo determinado y bajo una presión también determinada.

Como unidad de la literatura anglosajona se emplea el GFD, *galon/foot/day*, (galon/pies/días). En el sistema internacional sería litro por metro y día.

Esta magnitud es muy importante a la hora del diseño de una instalación pues está relacionado con la cantidad de elementos de filtración que se deben utilizar en función de la calidad de agua a tratar. Se entiende que aguas de buena calidad darán un parámetro de GFD elevado en cambio aguas de menor calidad darán un parámetro de GFD menor.

El caudal específico en cada membrana variará en cada proyecto según las restricciones del diseño y las precauciones del proyectista, según el tipo de instalación los fabricantes darán un valor de GFD específico.

En las membranas de arrollamiento en espiral, dado que la superficie de las mismas es muy importante para la producción de agua osmotizada, los fabricantes han utilizado esta propiedad para mejorar el caudal de la membrana y en definitiva reducir los costes, aumentando la superficie de lámina separadora en el interior de cada unidad.

En unos casos ese aumento de superficie se consigue mediante sistemas mecánicos de enrollado, que permiten realiza de una manera completamente homogénea un mayor apriete, haciéndola más compacta, En otros casos se han probado mallas separadoras más delgadas.

Algunos fabricantes han decidido fabricar elementos del mismo diámetro pero más anchas, con esto se reduce el espacio que ocupan los interconectores y en definitiva se incrementa la superficie de membrana por tubo de presión.

- **Carga eléctrica**

La superficie de todas las membranas tiene una carga eléctrica que es consecuencia de los elementos químicos que intervienen en su fabricación. Estas cargas retienen la materia orgánica y los coloides del agua, así como los radicales de los productos químicos del pretratamiento.

Es necesario conocer este parámetro ya que se debería poder elegir el pretratamiento químico necesario, así como los productos de limpieza convenientes, para que no se produzcan atracciones entre unos y otros que deterioren las cualidades de permeabilidad de las membranas.

- **Concentración de polarización.**

Las membranas poseen un rechazo de sales limitado por lo que la concentración de estas en el producto depende de la concentración que posee el agua de alimentación a la entrada de la interfase. Las sales disueltas en el agua de alimentación son transportadas hacia la membrana.

Como su difusión a través de la misma no se realiza en la misma proporción, se produce una acumulación de sales en la superficie de la membrana. Su eliminación por tanto solo puede realizarse por difusión mediante un proceso de transferencia de masa.

Cuando el fluido es turbulento la teoría de Bènard establece que se produce una capa de fluido no agitada, estancada, de la que se extrae constantemente agua y en la que las sales rechazadas se van acumulando en concentraciones excepcionalmente altas. Este efecto se conoce como polarización de concentración.

Esta teoría sostiene que existe una capa límite próxima a la membrana donde el flujo de fluido es despreciable. Más tarde se probó que la concentración era distinta según cual fuera el régimen hidráulico y que no se mantenía constante.

Esta concentración de la polarización está influenciada por:

- La convección de las sales a través de las membranas y su movimiento fuera de estas.
- El rechazo de sales.
- La presencia de flujo transversal en la superficie de la membrana.
- Las interacciones de los distintos componentes del agua de alimentación.

Como es lógico este fenómeno tiene una serie de efectos negativos:

- El aumento de las sales en la interfase también aumenta la presión osmótica en la misma, y por tanto disminuye la presión efectiva que impulsa el agua través de la membrana.
- Dado que las membranas siempre dejan pasar algunas de las sales presentes en el agua de alimentación, la concentración de sales en el agua producto aumenta.
- Pueden producirse precipitaciones de los componentes disueltos.

Al disminuir la presión efectiva debido a un aumento de la presión osmótica hace que el caudal efectivo disminuya por lo tanto se tendrá que aumentar la presión de suministro con el consiguiente aumento de consumo eléctrico.

En muchas membranas el rechazo de sales disminuye al aumentar la concentración de la solución de alimentación.

Este fenómeno influye como se ha visto en el flujo y en el rechazo de sales fundamentalmente.

Para reducir el efecto de la polarización:

- Haciendo la solución turbulenta para mantener dicha capa lo más delgada posible.
- Estableciendo mecánicamente en la membrana canales de flujo para reducir los efectos de entrada.
- Además se puede también actuar en la operación de la instalación, para lo cual es necesario ajustar el flujo y limitar el recobro.

Se sabe que existe una velocidad máxima de flujo por unidad de área para cada membrana, más allá de la cual un incremento de la presión no produce un aumento en el flujo del disolvente si no provoca un aumento de la presión osmótica.

### **4.3. Parámetros técnicos.**

Una membrana de desalación viene definida por una serie de parámetros técnicos que son las herramientas que se utilizan a la hora de hacer un diseño de una instalación, con objeto de hacer una estimación o proyección de la calidad de agua a obtener.

- **Rechazo**

El rechazo de sales que es la cantidad de sales que rechaza la membrana y el paso de sales que es la cantidad de sales que pasan a través de la membrana y se quedan en el permeado producto son las dos variables que se observan más a la hora de hacer las proyecciones.

Es la característica principal de la membrana y la que permite definir su campo de actuación o funcionamiento en relación con el agua que se desea tratar. El diseño depende tanto de la calidad del agua a tratar como del agua que se quiera conseguir.

- **Presión**

La presión a la que funciona la membrana debe ser la necesaria para vencer la presión osmótica diferencial, entre las soluciones existentes a un lado y a otro de la misma y dar un caudal suficiente.

Dependiendo de la instalación existe una presión máxima a partir de la cual no se podrá operar ya que se podrían producir colmataciones de las membranas con la consiguiente pérdida de permeabilidad, o incluso su rotura.

- **Temperatura**

Será variable según la localización geográfica y de la época del año. Las membranas de osmosis inversa están preparadas para trabajar con aguas hasta 45°C.

- **Conversión o recobro**

Es la relación de caudal que puede desalarse en función de un caudal de alimentación dado. Esta relación puede variarse pero dentro de unos límites muy estrictos.

A medida que se aumenta la conversión de una instalación, se aprovecha más el agua a tratar y se reduce en consecuencia el caudal o volumen de salmuera que hay que eliminar.

La membrana en cambio, en función de sus características, rechaza una cantidad o porcentaje fijo de sales que se concentra en la salmuera; por tanto, cuanto menor sea el caudal de rechazo más concentrada estará la disolución. La conversión está limitada por la cantidad de sales en la salmuera, o dicho de otro modo por el coeficiente de solubilidad de las sales presentes en la salmuera.

Todas las sales son solubles pero ésta capacidad va en función de un coeficiente de solubilidad característico de cada sal, y si se llegase a superar éstas precipitarían en la solución. La precipitación en la operación de osmosis inversa se ve acrecentada debido

a que esta precipitación sería en las membranas produciendo su colmatación. La consecuencia es un aumento de la presión de operación y un menor caudal de rechazo de sales.

Hay que llegar a un equilibrio entre la conversión y el gasto energético producido por esta variación de parámetros.

La conversión se puede variar de las siguientes maneras:

- Regulando el pH. Variando en función de las sales con el coeficiente de solubilidad sea menor y por lo tanto más fáciles de que precipiten hasta elevarlo.
- Actuando sobre la temperatura. Al disminuir la temperatura la solubilidad de las sales aumenta en la solución.
- Añadiendo antiincrustantes a la solución. Esta adición pone a la solución en un estado de saturación en la que el coeficiente de solubilidad es muy elevado.

- **Fouling Factor ( factor de ensuciamiento)**

Es un número menor que la unidad que trata de reflejar el deterioro que experimenta la membrana cada año tanto en su caudal como en el rechazo de sales debido a su uso.

Lo que se obtiene de los fabricantes es una idea de lo segura o fiable que será la membrana en unos años, aunque este parámetro es bastante subjetivo.

#### **4.4. Variación de los parámetros.**

Los parámetros por los que vienen definidas las membranas son valores que nos proporcionan los fabricantes que se han obtenido en unas condiciones especiales de diseño. La salinidad, presión y temperatura del agua hacen variar dichos parámetros.

- **Con la temperatura.**

La presión máxima de operación para cada tipo de instalación viene definida por la presión y el tipo de membrana. Este valor suele estar comprendido entre 35-45°C siendo el límite inferior 0°C para todo tipo de instalaciones.

Los fallos de adherencia en membranas en espiral y los fallos por compactación son los principales problemas que se dan.

Normalmente un funcionamiento óptimo de las membranas se da para una temperatura del agua de alimentación de 24-27°C, aunque estas temperaturas suelen

ser perjudiciales en caso de contaminación biológica, dado que favorecen el desarrollo de ésta.

Tiene dos puntos de medición, aguas abajo antes de la adición de productos químicos y justo antes del contacto con las membranas.

Al aumentar la temperatura lo hace el caudal debido a la variación de viscosidad que experimenta ésta y por tanto su mayor difusión por las membranas.

Al aumentar la solubilidad de las sales disminuye el rechazo de las mismas.

Al refrigerar se puede aumentar la presión, la conversión y se mejora la calidad del agua producto.

- **Con la presión.**

Normalmente la productividad es mayor operado a presiones elevadas que a presiones más bajas, pero a largo plazo el aumento de la presión de operación produce una compactación de la membrana que a su vez reduce el caudal. En ocasiones el descenso de caudal por este motivo es del 25%.

Al paso por los conductos de cada una de las membranas se produce una disminución de la presión, una pérdida de carga, que hace que la presión en cada elemento sea menor que en el anterior.

También afecta a la conductividad del agua que a medida que pasa a través de la membrana esta disminuye al tener menos cantidad de sales.

Si la presión es muy elevada afecta mecánicamente al equipo.

La máxima cantidad de presión admisible en los elementos es de 0,55-0,8 kg/m<sup>2</sup> (8-12 psi) por elemento. Aunque ni el flujo de sales, ni el gradiente de concentración de la membrana se ven afectados por un aumento o disminución de la presión de alimentación. Existe un efecto directo de la presión en la concentración de sales del agua producto.

Si la presión se reduce, pasa menos agua a través de la membrana, el paso de sales permanece constante, con lo que hay más sal por unidad de volumen de agua producto y en consecuencia mayor salinidad en esta.

- **Con el pH**

El rechazo de las membranas tiene que ver en cierta medida con el pH, pues cada material tiene un pH al que el rechazo es máximo. No todas las membranas reaccionan de igual forma a la variación del pH del agua de alimentación.

Para las membranas de poliamidas que son las que se utilizan en el proyecto funcionan correctamente para una franja amplia de pH y no hidrolizan en torno a pH de 4-11 y durante algún tiempo de exposición de pH 3-12.

La variación del pH del punto óptimo hace que se sacrifique parte de la calidad del agua producto o un abaratamiento de los costes energéticos, estos se establecerá mediante un análisis económico de las distintas opciones.

## **5. Pretratamientos físicos**

En la planta de osmosis inversa que se analiza en este documento el agua de aporte es un agua salobre en la que un principio se extraía desde unos pozos y posteriormente se toma del agua de la red municipal debido a la contaminación del pozo de extracción. Este agua puede incluir elementos que pueden ser perjudicial para la salud y para la instalación, véase membranas, tuberías, etc. Por esta razón se debe proceder a una serie de tratamientos para adecuarla a los requerimientos de la instalación. En los pretratamientos físicos se realizaran dos filtrados cuyo fundamento se explicará a continuación, y estos englobarían los pretratamientos físicos entendiéndose como tratamientos antes de la operación de ósmosis inversa propiamente dicha.

### **5.1. Filtro sílex (filtros de arena a presión)**

El filtro sílex de la instalación está justo después de la bomba de baja que se encuentra en la aspiración del agua de aporte. Está compuesto por cinco electroválvulas (Figura 4) que irán activándose para aportar la presión necesaria para el filtrado del agua y para la posterior limpieza del filtro que se verá a continuación.

Se trata de elementos verticales y cilíndricos rellenos de un medio filtrante.

El material de construcción empleado en los mismos es chapa galvánica y dada la corrosividad o poder oxidante del agua a tratar y los efectos negativos que el hierro ocasiona a las membranas y a otros elementos de la instalación, deben ir recubiertos interiormente de una película que garantice el total aislamiento del hierro con el agua. Los materiales más empleados para estos recubrimientos son la goma, la ebonita o distintas capas de pintura tipo epoxi.

El movimiento del agua en estos filtros es siempre en sentido vertical, penetrando por la parte superior del filtro y descendiendo el agua a través de la capa o capas filtrantes, que retienen los materiales solidos que transporta. En su interior llevan un colector o plataforma de boquillas que recogen el agua filtrada.

Es importante el mecanismo de distribución por la parte superior del filtro para conseguir un reparto uniforme y evitar el impacto sobre la superficie filtrante, que puede provocar caminos de flujo preferente y deteriorar la calidad del filtrado.

La limpieza de estos filtros se realiza con agua y aire, por lo que es necesario un equipo especial para este cometido, formado por bombas y compresores de aire de capacidad adecuada al tamaño del filtro.

Tanto el aire como el agua de lavado se incorporan por la parte inferior del filtro, por debajo del material filtrante, de manera que el agua en su movimiento a través del filtro arrastra los materiales que obstruyen el filtro y es eliminada por la parte superior.

El caudal de agua de lavado y de aire debe ser el adecuado para provocar el arrastre de los materiales indeseados y no el del mismo material filtrante. El control de este caudal se realizara con un rotámetro convencional.

Estos filtros deben disponer de válvulas de seguridad para evitar sobrepresiones y golpes de ariete en su interior.

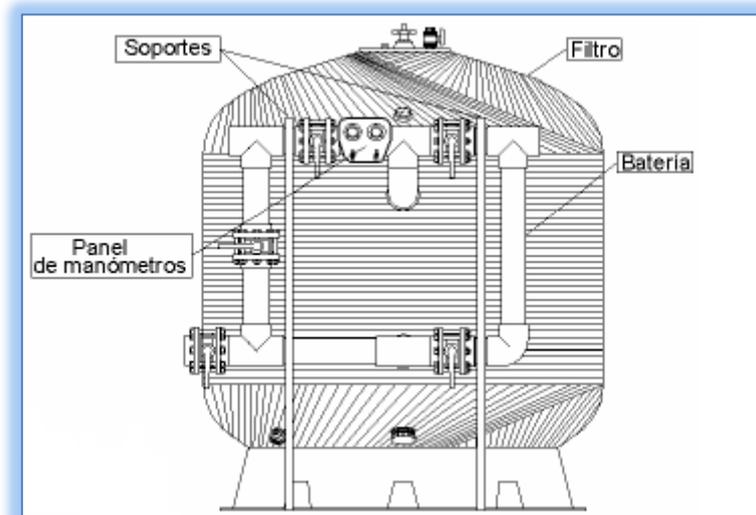


Figura 4: Esquema interior de un filtro sílex.

Tienen que tener dos bocas de acceso al filtro un por al partes superior donde se coloca el material filtrante y otra por la parte inferior para la cámara de agua filtrada.

También debe disponer de elementos de by-pass para prescindir del filtro y poder hacer frente a averías en el mismo.

Es habitual la utilización de filtros en paralelos, en este caso se deberán conectar los colectores tanto de entrada como de salida de los filtros para que uno pueda operar a la misma vez que en otro se están realizando operaciones de limpieza y se

deben dimensionar de acuerdo al caudal total a tratar para cada uno de los filtros tanto con las condiciones de entrada y salida de los mismos.

## **5.2. Filtros de seguridad (cartuchos)**

Se utilizan en las instalaciones para poder garantizar un nivel de filtrado mínimo de 5 micras que es lo que requiere la operación de osmosis inversa.

Se trata de depósitos metálicos recubiertos interiormente, como en el caso de los filtros de arena de presión, de disposición vertical, y utilizan como medio filtrante unos cartuchos constituidos por un eje hueco, provisto de orificios, sobre el que se enrolla un hilo de polipropileno u otro material plástico a unas determinadas tensiones que garantizan la separación de sólidos de hasta ese tamaño.

El flujo del agua en los cartuchos se realiza desde la parte exterior hacia el eje en el que se recoge el agua filtrada; tienen por tanto que atravesar el hilo de polipropileno.

El agua entra generalmente por la parte inferior del filtro y después de atravesar los cartuchos se recoge en la parte superior.

Para ello los filtros quedan conectados a una placa de anclaje por su parte superior, de forma que se establecen dos cámaras, una en la parte inferior a la que llega el agua sin filtrar y otra en la parte superior con el agua filtrada.

Los filtros de cartucho deben de contar con colectores y conexiones necesarias para poder realizar un lavado a contracorriente, es decir para poder revertir el flujo desde el interior del cartucho hacia afuera.

Como las partículas atrapadas en los cartuchos son muy pequeñas comparadas con las de los filtros sílex el lavado no es del todo perfecto y quedaran partículas en los cartuchos que a largo plazo colmataran los cartuchos y habrá que cambiarlos.

## **6. Pretratamientos químicos**

Generalmente toda agua que vaya a sufrir un tratamiento de osmosis inversa, debido a diversos factores como puede ser las especificaciones de las membranas o el uso del agua a tratar si es para consumo humano o desinfección de equipos, tiene que cumplir con una serie de restricciones o calidades. Estas condiciones que se exigen al agua en el mismo proceso se consiguen mediante la adición de una serie de compuestos químicos que a lo largo del proceso van a ir concediéndole al agua estas particularidades. La forma de aplicación y el punto de adición de los compuestos químicos son fundamentales para un correcto funcionamiento de la instalación y para dotar al agua de las características idóneas para su uso.

### **6.1. Desinfección.**

En la instalación se va a utilizar el hipoclorito sódico como agente desinfectante. Es el producto más empleado en la desinfección, se trata de un líquido, por lo que el equipo necesario para su aplicación debe constar al menos de un depósito para el almacenamiento del producto y de las bombas dosificadoras correspondientes.

Normalmente se colocaran dos bombas dosificadoras para que pueda hacer frente a diversas averías o a ciclos de limpieza y la planta opere en continuo. Esta bomba extra dependerá también de las necesidades de dosificación, la capacidad de éstas, las disponibilidades y el precio global del conjunto dosificador.

Todas las bombas deben constar de filtro en la aspiración y válvulas de seguridad en la impulsión que permitan el retorno al depósito del líquido impulsado, si en alguna circunstancia se produjera algún fallo en el funcionamiento.

La instalación debe de contar con medidores de nivel y con una capacidad de abastecimiento para 15 días antes de que se detecte escasez de producto.

La dosificación se puede realizar en continuo o en la toma de aguas dependiendo de la capacidad de la planta. En este caso que se estudia se realiza en continuo en la toma de agua, más exactamente en el colector que conduce el agua a los filtros de sílex, esto también ayuda como coagulante.

### **6.2. Equipo de corrección de pH.**

El ácido sulfúrico que se utiliza en la corrección de pH está muy concentrado 96-98% por lo tanto tiene que tener unas instalaciones específicas y su manipulación debe ser muy segura. Debido a esto se utilizará en la instalación clorhídrico en alta concentración para controlar el pH de alimentación y la adición de antiincrustantes.

La adición del corrector de pH se realizará en la salida del tanque de agua tratada con unas térs de mezcla construidas en teflón para aliviar posibles subidas de temperatura por la mezcla del ácido con el agua osmotizada.

### **6.3. Dosificador de reductor**

El producto que se emplea es el bisulfito o metabisulfito sódico, es un producto sólido que debe ser diluido previamente en agua. Su objetivo es eliminar el cloro libre antes que entre en contacto con las membranas.

Se colocan dos depósitos en paralelo provistos de sus correspondientes agitadores, que permitan la preparación del producto en uno de ellos cuando en el otro empieza a agotarse. Las condiciones para la aplicación del producto deben permitir la inyección del mismo, tanto entre los filtros de arena y cartucho como en la

salida de estos últimos. En la planta se detectó un ensuciamiento de los cartuchos excesivo debido a la eliminación del cloro antes de la entrada a los mismos generándose material biológico, por lo que se propuso eliminar el cloro después de los filtros de cartucho mediante la dosificación del bisulfito a la entrada de una lira para que le diera tiempo a reaccionar antes de la entrada en las membranas.

#### **6.4. Aplicación de estabilizantes (dispersantes)**

La aplicación de inhibidores o antiincrustantes es de obligada inclusión en plantas de agua salobre como es la que se trata en el documento. Esto es debido al pequeño coste que supone la instalación en relación al volumen total de la inversión de la planta justifica plenamente el tenerlo como un elemento de reserva. Las dosis aplicadas son pequeñas y los equipos de tamaños reducidos.

Se incluirán dos depósitos de capacidad adecuada, dado que según el tipo de producto que se utilice, su efectividad suele ser limitada en el tiempo entre tres días u una semana. De esta forma se dosificará siempre un producto recién prepara desde un depósito mientras en el otro se estará preparando el producto nuevo este próximo a terminarse el del anterior.

Se dispondrán de agitadores en cada uno de los depósitos para facilitar la disolución de los componentes.

La dosificación se realizara después de los filtros sílex y antes de los filtros de cartucho. De esta manera se conseguirá que los primeros retengan parte del producto y los segundos impiden que, si una parte del producto no se ha disuelto bien, se pueda pasar a las membranas.

### **7. Mantenimiento de las membranas**

En este apartado se tratara de conocer los métodos por los cuales se van a conservar las membranas, los tipos de lavado de la misma y la utilización del tanque de equilibrio osmótico que se explicará a continuación.

#### **7.1. Depósito de equilibrio osmótico**

Las membranas separadoras tienen hasta un 60% de agua en su composición, por lo que deben estar permanentemente húmedas.

Al secarse se pueden secar desprendiéndose de ellas la capa filtrante dejándolas inservibles.

El bisulfito sódico se dispone en solución y se aplica en las membranas cuando estas están fuera de servicio para conservarlas mejor.

Al pararse una instalación las dos caras de las membranas están en contacto con agua, pero al no existir presión se produce el fenómeno de la osmosis natural, con lo que el agua producto pasa a través de la membrana hacia la parte del agua de alimentación. Este flujo continúa hasta que se equilibran las salinidades a ambos lados de la membrana.

Si no existe agua en la zona del agua producto, la succión que produce la membrana, como consecuencia de la osmosis natural, arruga y encoge la membrana inutilizándola. Por tanto, cuando la planta se para, hay que suministrar agua en el lado del producto.

Normalmente se dispone de un depósito colocado a la misma altura que la última membrana más alta, y el agua producto pasará a través de este depósito, de tal forma que al pararse la instalación se garantiza que se encuentren húmedas las membranas ya que el agua que se encuentra en este depósito retorna a los bastidores y a las mismas membranas.

Aunque en fábricas de arrollamiento en espiral no son necesarios ya que sus exigencias son menores sí que se recomienda que las membranas estén húmedas todo el tiempo por lo tanto es aconsejable la utilización de este equipo.

## **7.2. Recuperación de las membranas**

Las membranas de ósmosis inversa pierden con el tiempo sus características básicas de funcionamiento, es decir, sus propiedades de rechazo o su caudal.

Esto es consecuencia de una mala operación o por causas naturales y una prolongada operación con estas condiciones provocarían un deterioro irreversible para las membranas.

Con el mantenimiento de las membranas se conseguiría aumentar su vida útil sin tener que llevar a cabo operaciones como sería la sustitución de las membranas por unas nuevas con la consiguiente carga económica que conllevaría.

Estas causas que producen un deterioro irreversible son las siguientes:

- Compactación
- Ensuciamiento excesivo
- Desplazamiento interno de las distintas láminas de componentes (telescoping)
- Rotura de la cubierta externa protectora
- Rotura de algún componente de la membrana
- Pretratamientos químicos inadecuados

- Rotura de algún elemento de filtración

Para detectar estos fallos se observa una pérdida de producción, un aumento de la salinidad ambas a la vez.

Si se analizan cada una por separada y su origen es posible evitarlas.

La compactación es un fenómeno que se da justo en el momento de empezar a operar con la instalación. Es debida a la presión ejercida sobre el elemento filtrante que es la membrana. Esta presión lo que hace es compactar la membrana con el elemento soporte produciendo el sellado de los poros y una pérdida de caudal. Como se produce menos caudal se aumenta la presión con el consiguiente aumento de este fenómeno.

También es generado por las frecuentes paradas y arranques de la planta que producen los golpes de ariete si la planta trabajase a altas presiones que favorecen este fenómeno.

Se estipula que ante una disminución del 20% del caudal puede considerarse el cambiar de membranas.

Los pretratamientos químicos y físicos que se realizan en el agua antes de ponerse en contacto con las membranas son fundamentales para evitar este tipo de fenómeno aunque nunca podrá evitarse totalmente. Además el aumento del coste de operación por estos pretratamiento bien justifica un planteamiento más conservador a la hora de cambiar las membranas. Todo esto está ligado a la calidad del agua y al precio de la misma y al de la energía que se vaya a utilizar.

La deposición de elementos ensucadores en las membranas unido al fenómeno de compactación produce un descenso de caudal y por consiguiente una pérdida de la calidad del producto al disminuir el rechazo y un aumento de la presión diferencial interior de las membranas.

Para evitar el ensucamiento excesivo se deben lavar las membranas correctamente y en el tiempo adecuado para que no sean irreversibles las pérdidas de propiedades de las membranas.

El desplazamiento de las láminas componentes de la membrana se produce precisamente por prolongar excesivamente el tiempo de funcionamiento sin recurrir a lavados.

Como es lógico el ensucamiento no es igual en toda la membrana y esto hará que el desplazamiento por sobrepresiones en algunas zonas de la superficie de la membrana produzca grietas y roturas en la misma y con un consiguiente aumento de la salinidad en el caudal producto.

El telescoping es fruto de una pérdida de carga inferiores a las normales, a consecuencia de golpes de ariete y desplazamiento de las membranas en el tubo, por holguras en los interconectores entre membranas, defectos en la fabricación de estas o de los tubos de presión, o pandeo por excesiva longitud de estos.

Las máximas pérdidas de carga son en torno a  $0,7 \text{ kg/m}^2$  por unidad y  $4 \text{ kg/m}^2$  por cada tubo de seis membranas.

La rotura de la cubierta externa protectora, generalmente de PRFV, se produce por defectos de fabricación, o por desplazamientos internos de las membranas en el interior de los tubos de presión, por excesivas holguras en unos u otros.

Estos problemas se evitan en la instalación de las membranas por lo que hay que tener una experiencia para su correcto montaje.

La rotura de las membranas ya se ha visto que puede ser por todos estos defectos que anteriormente se han visto.

Un ineficiente tratamiento químico se da cuando en las membranas de poliamidas se dan condiciones oxidantes por la no eliminación del cloro que se utiliza como desinfectante por una mala dosificación de bisulfito o por no dejar tiempo a que se mezcle con el agua a tratar.

En los pretratamiento físicos la rotura de uno de los cartuchos del filtro de seguridad puede hacer que llegue a la membrana elementos con una granulometría muy superior a la requerida con la consiguiente colmatación de las mismas.

### **7.3. Lavado de membranas**

Como se ha visto anteriormente cuando se produce una pérdida de caudal producto del 10%, o un aumento de la salinidad, o una pérdida de carga en el tubo de presión importante hay que proceder a la limpieza de las membranas.

La compactación y el ensuciamiento se ven recuperados por el lavado de forma total o parcial mientras que las pérdidas de carga son irreversibles.

Según el tipo de problemática o ensuciamiento que exista en las membranas se utilizara un tipo de lavado otro:

- **Ácido** para la eliminación de precipitados inorgánicos
- **Alcalino** para el ensuciamiento por materia orgánica
- **Lavados especiales** para el ensuciamientos biológicos

En el caso de no saber la causa de los ensuciamientos se procede según un protocolo de limpieza en donde se utiliza primero un lavado ácido y luego un alcalino. En los casos de ensuciamientos persistentes se utilizan lavados especiales.

- **Ácido**

Tiene por objetivo eliminar ensuciamiento químico, es decir la disolución de los precipitados salinos, carbonatos y sulfatos que se han depositado sobre las membranas.

El sistema operativo de realizar el lavado es similar en ambos casos aunque se emplean lógicamente productos distintos.

En el depósito de lavado se disuelve el ácido en una solución de agua producto, libre de cloro hasta conseguir un pH muy bajo (3-4) y se empieza a recircular bombeando por el circuito de lavado existente, que deberá llevar intercalado un filtro de 4 micras para proteger a las membranas de sustancias extrañas que se agregan con los reactivos o de la mala disolución de estos, llevando el agua al bastidor de las membranas y tras pasar sobre ellas se recoge y se devuelve al depósito.

Se debe lograr que el pH se mantenga constante durante la operación de lavado por lo que se ira añadiendo más ácido al depósito y regulándolo con hidróxido amónico.

Las membranas se deben dejar en la solución acida un tiempo indicado por el fabricante y después volver a poner en funcionamiento el sistema de bombeo para expulsar el agua acidificada con agua ya tratada, cuando el agua a la salida tiene la misma composición de la de entrada se considera que la operación de limpieza a finalizado.

Los fabricantes suelen dar una serie de reactivos ácidos que hacen la misma función que los comerciales y son específicos para sus membranas.

Normalmente se suele realizar un lavado alcalino seguidamente para eliminar posibles sustancias como microorganismos y el hierro.

- **Alcalino**

Es para combatir el ensuciamiento biológico y se realiza llevando el líquido de lavado a un pH muy alto (11), mediante la adición al agua tratada de hidróxido sódico, conjuntamente con algún producto más energético entre los que se emplean:

- STPP (tripolifosfato sódico)
- EDTA en polvo o en solución

- TSP (fosfato trisódico)

EL tiempo de contacto de la solución alcalina con la membrana es más elevado y es en torno a 8 horas, dependiendo del nivel de ensuciamiento.

El caudal de lavado suele estar limitado por el fabricante estableciéndose en torno a  $9 \text{ m}^3/\text{h}$  para los tubos de 8".

- **Lavado mixto**

Se realiza para provocar la rotura de la capa de bacterias que cubren la superficie de la membrana y eliminarla posteriormente con un lavado normal.

El alcalino mata y desprende las bacterias y el ácido elimina las precipitaciones y las arrastra con ella.

Primero se realiza un lavado con una solución de sosa con un control exhaustivo del pH en solución durante 1 hora aproximadamente. Posteriormente con el pH estabilizado a 12 se realiza el lavado de la instalación durante 1,5-2 horas para después con agua de lavado se arrastre.

Existen otros tipos de lavados mixtos alternando el alcalino con el ácido varias veces. Esto depende del grado de ensuciamiento que puedan tener las membranas.

Siempre se recomienda que después de un lavado ácido después se realice una recirculación con sosa para eliminar el carácter salino del agua producto por la acción de los iones de hidrogeno que sustituyen a los de sodio durante la operación de lavado.

#### **7.4. Síntomas de ensuciamiento**

Se puede detectar de forma aproximada el ensuciamiento que se produce en las membranas por diversos efectos:

- Precipitados de calcio: marcado descenso del rechazo de sales y moderado aumento de la pérdida de carga.
- Hidróxidos metálicos de Fe, Ni, Cu: rápido descenso del rechazo y rápido aumento de las pérdidas de carga.
- Coloides: ligero descenso del rechazo y gradual aumento de las pérdidas de carga.
- SO<sub>4</sub>Ca: importante descenso del rechazo y ligero a moderado aumento de la presión diferencial ( pérdida de carga)

- Materia orgánica: marcado descenso del rechazo y aumento gradual de la presión diferencial.
- Ensuciamiento biológico: marcado descenso del rechazo y marcado descenso de la presión diferencial.

## 8. Elementos técnicos

### 8.1. Filtros de puentecillo

Consiste en un elemento constructivo de seguridad, normalmente construido en acero inoxidable (Figura 5) para evitar condiciones de corrosión en el tubo, que se colocan a lo largo de la tubería de inyección en los pozos de extracción de agua.

La función principal de estos filtros es evitar el paso de mayor granulometría así eliminando tratamientos físicos posteriores. Hay que tener especial cuidado en la utilización de estos filtros en pozos donde la cantidad de arcillas es muy abundante ya que si el pozo no se ha construido de una manera correcta y no se ha sellado el pozo con el prefiltro correspondiente de grava pueden llegar a colmatarse y el agua de proceso arrastraría fangos no deseados.



Figura 5: Zoom filtros de puentecillo.

## 8.2. Hidro-Ciclón

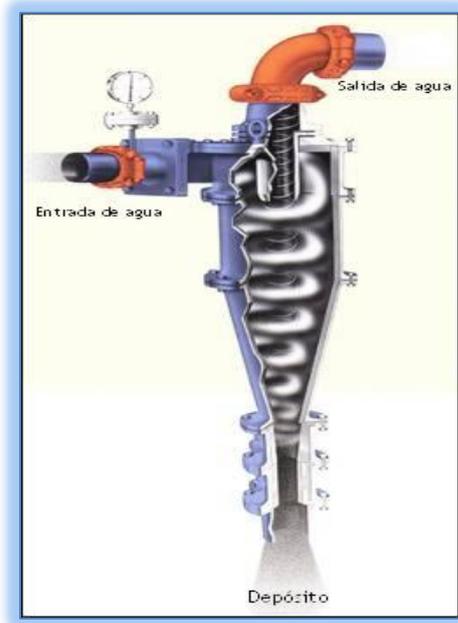


Figura 6: Sección de un Hidro-ciclón.

Los ciclones (Figura 6) son equipos mecánicos estacionarios, ampliamente utilizados en la industria, que permiten la separación de partículas de un sólido o de un líquido que se encuentran suspendidos en un gas portador, mediante la fuerza centrífuga. En tanto, los hidrociclones son equipos que permiten la separación de líquidos de distintas densidades, o de sólidos de líquidos. Los ciclones son equipos muy sencillos, que al no poseer partes móviles son de fácil mantenimiento. Tienen la desventaja de ser poco versátiles, ya que no se adaptan a cambios de las condiciones de operación, por lo cual son poco flexibles a los cambios de concentración de polvos, caudal de

gas y distribución de tamaños de partículas. El principio de funcionamiento de un ciclón se basa en la separación de las partículas mediante la fuerza centrífuga (del orden de cientos de g), lo que lo hace más efectivo que las cámaras de sedimentación, además ocupan un espacio mucho menor que éstas.

## 8.3. Limpieza de pozos de extracción de agua

Una de las condiciones que se deben de dar para realizar una limpieza de un pozo es la filtración de fangos en exceso a través de las rejillas de contención. En el caso del pozo de extracción que se presenta en el documento se produce un descenso del flujo y a la vez un alto contenido en fangos a la entrada de la instalación por lo que tras un análisis previo se realiza una limpieza del pozo.

Los trabajos deben incluir la revisión y el mantenimiento de todos los componentes del sistema de bombeo:

- El pozo profundo, la tubería ciega y los filtros.
- El equipo de bombeo y la tubería de descarga.
- La acometida eléctrica del sistema, tableros, cables y elementos de control eléctrico.
- La descontaminación o desinfección del agua.

En la primera etapa del lavado se inyecta agua a presión (jetting). Se debe utilizar agua limpia, inyectada a presión frente a cada uno de los filtros para destaparlos, remover los sólidos y reacomodar el empaque de grava.

Dependiendo del nivel del agua en el pozo se realiza un lavado con aire comprimido para remover los posibles sólidos que estén incrustados en los filtros de rejilla.



Figura 7: Gratas de cepillos para limpieza de pozos de extracción.

Para eliminar los elementos más pesados que se hayan quedado adheridos a los filtros de puentecillo se introduce en el pozo gratas de cepillos de acero (Figura 7) para eliminar estas incrustaciones.

Para remover el agua en el interior se utilizan pistones de caucho con los que se consigue homogeneizar el agua del pozo para posteriormente extraerla con una bomba de aspiración.

Si la concentración de lodos es muy elevada se inyecta junto con el agua presión un disolvente de lodos (sulfactantes) para asegurar la buena disolución de estos.

#### **8.4. Motobomba Booster.**

Son bombas centrífugas multietapa, de desarrollo horizontal, alojadas en un barril y provistas de diferentes etapas o impulsores que se van agregando en función de la presión requerida (Figura 8).

Su diámetro es relativamente pequeño, con impulsores estrechos, que permiten aumentar las eficiencias para caudales pequeños, frente a las que se obtendrían con bombas centrífugas normales. Con este desarrollo se trata de aproximar a las características de eficiencia de las bombas de pistones, salvando los inconvenientes que tienen estas como las pulsaciones o vibraciones, poca flexibilidad en cuanto a caudales y presiones, y vida relativamente corta.

Permiten obtener un flujo continuo y estable, dependiendo del número de etapas, sin pulsaciones y con mínimo ruido y desgaste.

Necesitan de poco mantenimiento pues llevan pocas partes sujetas a desgaste, por lo que mantienen sus características de funcionamiento prácticamente a lo largo de toda la vida de la bomba.

Se utilizan en instalaciones pequeñas y medianas de no más de 50 m<sup>3</sup>/h de permeado y presiones no superiores a 40 kg/cm<sup>2</sup>.

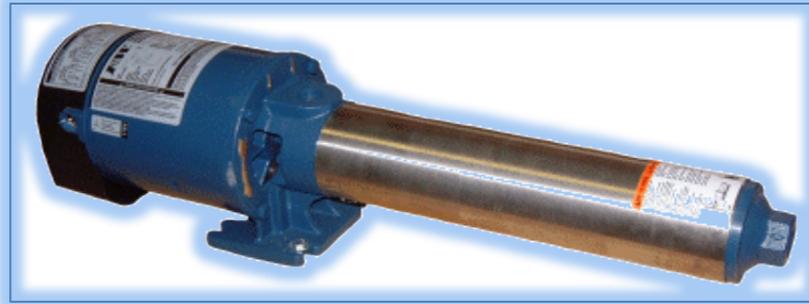


Figura 8: Moto-bomba booster.

### 8.5. Variadores de frecuencia

Son equipos que actúan sobre la frecuencia eléctrica, produciendo variaciones de velocidad en la velocidad de rotación de las bombas y motores. Como resultado de dicho cambio, las bombas suministran una menor presión y el consumo eléctrico del correspondiente motor es menor.

Para conseguir un ahorro energético se utilizan donde exista unas fluctuaciones mayores de presión y en el caso de las plantas de osmosis inversa es en las zonas de alta presión donde pueden variar en torno a 3-5 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo si la membranas son nuevas o no.

Incorporando el variador directamente a la bomba de alta presión en la aspiración se consigue aumentar la presión en la misma a medida que le bastidor va necesitando de mayor presión. Y así mismo se consigue absorber con el variador de frecuencia las pérdidas de carga de los filtros.

### 8.6. Bombas dosificadoras de reactivos

A la hora de incorporar cualquier tipo de reactivos al proceso se tiene que tener un control sobre la cantidad que se vaya a incorporar ya que la calidad del producto dependerá de los pretratamientos y postratamientos químicos a los que se vea sometida el agua a tratar.

Debido a esto se utilizan las bombas dosificadoras en las que el control de la cantidad de reactivo a añadir se puede llevar a cabo de una manera eficaz debido a la automatización del proceso.

La gama de tipos de bombas de dosificación abarca desde las bombas magnéticas de dosificación controladas electrónicamente hasta las bombas de dosificación de motor controladas electrónicamente y las bombas de dosificación de accionamiento neumático. La capacidad de dosificación de las bombas va desde unos pocos ml, por ejemplo para el área de laboratorio, hasta los 40.000 l/h, por ejemplo para su uso en la técnica de procesos y procedimientos.

En el proceso que se está utilizando las bombas dosificadoras estarán accionadas por un motor y realizara la dosificación desentendiendo del caudal de líquido a tratar y los valores de pH del agua.

Los dos reactivos de mayor consumo en la instalación son el hipoclorito sódico y el ácido clorhídrico, por lo que para ellos se utiliza un depósito que cubra las necesidades de la instalación durante 20 a 30 días, para evitar el transporte frecuente de productos peligrosos.

Para los otros productos como el antiincrustante y el coagulante se precisa generalmente de dos depósitos con objeto de preparar el producto en uno de ellos cuando el producto se termine en el primero. De esta forma se consigue un suministro constante de producto fresco.

### **8.7. Válvulas de retención**

Es la que regula la conversión de la instalación, pero su colocación tiene bastante que ver con el tipo de instalación de que se trate.

En las pequeñas instalaciones de agua salobre se coloca en la tubería alta presión de salida del bastidor de ósmosis. Cerrándola más o menos se permite una salida variable de la salmuera y de esta forma se consigue la regulación.

Como la salmuera sale del bastidor a alta presión, unos 2-6 kg/cm<sup>2</sup> inferior a la de la alimentación, dicha válvula tiene que ser tal que provoque la pérdida de carga de salida, puesto que a dicha presión sería peligroso el manejo de citado rechazo. Suelen ser válvulas de agujas.

## Anexo 2

### Especificaciones técnicas de membranas y equipos en las reformas.

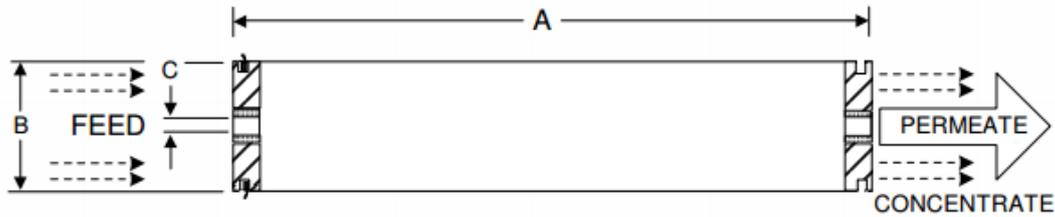
#### Características técnicas de membranas utilizadas en la planta de ósmosis inversa a lo largo del tiempo.

A continuación se expondrán en forma de tabla cada una de las membranas que se han utilizado en la planta con todas sus características básicas de operación y diseño:

##### **1.1 . ESPA 2 8040 HYDRANAUTIC:**

Membranas utilizadas durante la primera parte de la operación de la planta antes de realizar ninguna reforma. Membranas iniciales.

<b>Características</b>	
Tipo de membrana	Poliamida
Tipo de arrollamiento	Espiral
Área de sup. de membrana	37.1 m <sup>2</sup>
<b>Especificaciones de funcionamiento :</b>	
• Presión	150 psi
• Temperatura	25°C
• Conc. alimentación	1500 ppm solución de NaCl
• Conversión	15% permeado recuperado
• pH alimentación	6.5-7
Rechazo de sales	99.6%
Flujo de producto	34.1 m <sup>3</sup> /d
<b>Límite de operación</b>	
Máxima presión de operación	4.16 MPa
Temperatura máxima de agua de alimentación	45°C
Máximo SDI	5.0
Máximo de cloro en alimentación	<0.1ppm
Rango de pH en la alimentación operando en continuo	2-10.6
Máximo flujo de alimentación	15 m <sup>3</sup> /h
Presión máxima por elemento	10 psi
Máxima relación concentrado permeado por elemento	5:1

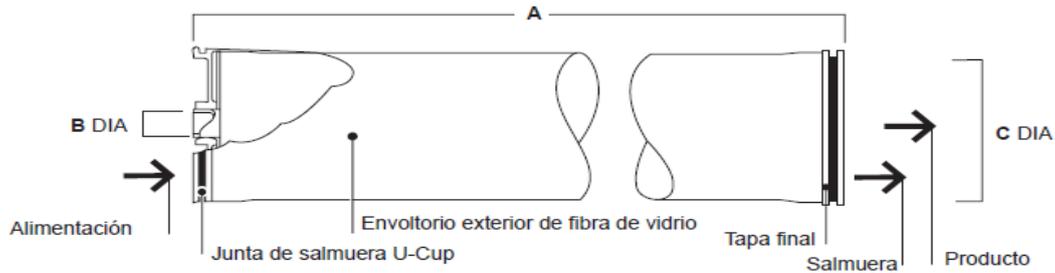


A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)	36 (16.4)

## 1.2. BW-30-400 DOW FIMTEC

Membranas utilizadas en la primera reforma:

<b>Características</b>	
Tipo de membrana	Compuesto de capa delgada
Tipo de arrollamiento	Espiral
Área de sup. de membrana	37 m <sup>2</sup>
<b>Especificaciones de funcionamiento :</b>	
• Presión	- 170 psi
• Temperatura	-25 °C
• Conc. alimentación	-
• Conversión	-15 % permeado recuperado
• pH alimentación	-6-7
Rechazo de sales	99.5%
Flujo de producto	40 m <sup>3</sup> /d
<b>Límite de operación</b>	
Máxima presión de operación	4.1 MPa
Temperatura máxima de agua de alimentación	45°C
Máximo SDI	5.0
Máximo de cloro en alimentación	<0.1ppm
Rango de pH en la alimentación operando en continuo	2-11
Máximo flujo de alimentación	19 m <sup>3</sup> /h
Presión máxima por elemento	-
Máxima relación concentrado permeado por elemento	5:1
Rango de pH, limpieza a corto plazo (30 min)	1-12



Producto	Recuperación unitaria del elemento (caudal de permeado a caudal de alimentación)	Dimensiones, pulgadas (mm)		
		A	B	C
BW30-400	0.15	40 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

## 2. Especificaciones de la 1ª Reforma:

A continuación se detallan los cambios en la planta inicial que propone la ingeniería para la construcción de la nueva planta al realizar la primera reforma. Cada una de las especificaciones se fue tomando de la misma planta:

### Reforma de ósmosis actual

- Moto-bomba para impulsión del agua pretratada hacia los módulos de ósmosis inversa:
  - Tipo : Sumergible/booster
  - Marca : Grundfos
  - Modelo : BMB 95-20
  - Potencia : 93 KW
  - Tensión : 380-415 V/3F
  - Unidades : 2
- Módulo de ósmosis inversa:
  - Tipo : Horizontal
  - Cajas de presión:
    - Presión : 600 psi.
    - Marca : CODELINE
    - Tipo : 80S60-6W
    - Unidades : 20
  - Membranas
    - Tipo : DOW BW30 400

Marca : FILMTEC

Unidades : 120

- Variadores
  - Marca : Siemens
  - Potencia : 100 Kw
  - Protecciones térmicas : 2 Unidades
  - Unidades : 2

Se aumentó la potencia de las bombas en la impulsión, la elección de las mismas se realizó con un software en donde se introducen las especificaciones del agua a tratar y las necesidades de pérdida de carga en la osmosis. Se instalan dos una para cada etapa la de 6 y 4 pasos. Como se indicó anteriormente las bombas de la instalación anterior se dejaron en la nueva planta nº 3 de seguridad.

Las membranas se sustituyen por unas nuevas de alta presión para poder tratar el agua que le llega a 27-29 bar de presión recomendada por el fabricante.

### **Modificaciones**

#### **DOSIFICACION ANTIINCRUSTANTE PC 191**

- Bomba dosificadora de antiincrustante
  - Depósito de producto Portafeed® NALCO S.A.
  - Bomba dosificadora Grundfos 2-11
  - Sensor de flujo
  - 1 Unidad

Dosificación controlada a lo largo de lira antes de entrar a las membranas. Se realiza un cambio de la bomba de dosificación ya que se propone inyectar el antiincrustante en la lira mezcladora antes de la bomba de alta hacia los bastidores de las membranas.

#### **FILTRACION DE SEGURIDAD: 5 µ**

No es necesaria al tratarse de agua permeada de primer paso. Como se indicó anteriormente la filtración de seguridad para posibles sólidos en suspensión no es necesaria en esta segunda etapa. Se decidió que la segunda etapa de osmotización se dejaría como una etapa de purificación de un agua ya osmotizada cuyo objetivo sería mejorar la calidad del agua a la salida de la planta.

#### **BOMBEO A OSMOSIS INVERSA**

Moto-bomba para impulsión del agua pretratada hacia los módulos de ósmosis inversa:

- **Se utilizarán las dos bombas actuales de la casa Grundfos tipo CRN 64**
- Unidades : 2

- Conjunto de tuberías en la aspiración del grupo motobomba:

- Diámetro : DN 150
- Presión Nominal : 10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Material : PVC

Se selecciona unas tuberías nuevas capaz de resistir más presión que las anteriores.

- Conjunto de tuberías en la impulsión en la bomba, hasta el rack de ósmosis inversa:

- Diámetro : DN 150
- Presión Nominal : 25 Kg/cm<sup>2</sup>
- Material : Acero inox. AISI 316

Se incluyen tuberías de acero inoxidable para soportar las condiciones corrosivas después del tratamiento con clorhídrico.

- Válvula para aislamiento de la aspiración de la bomba:

- Tipo : Bola
- Diámetro : DN 100
- Presión Nominal : 10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Accionamiento : Manual
- Material : inox AISI 316
- Unidades : 2

- Válvula de retención, instalada en la impulsión de la bomba:

- Tipo : Muelle
- Diámetro : DN100
- Presión Nominal : 25 Kg/cm<sup>2</sup>
- Material : Inox. AISI 316
- Unidades : 2

- Presostatos digitales para medida presión en impulsión bomba:

- Tipo : digital
- Conexión : 1 / 4 "
- Escala : 0 – 16 Kg/cm<sup>2</sup>
- Unidades : 2

Se decide tener un control más exhaustivo de la presión a la entrada del rack de la osmosis inversa. Ya que como se verá más adelante la presión es un parámetro fundamental para el correcto funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa.

### **OSMOSIS INVERSA**

- **Rack para el montaje de los equipos que componen la instalación de ósmosis inversa: HRO-804540-IV**
  - Material bastidor :Acero inox 304
- **Módulo de ósmosis inversa:**
  - Tipo : Horizontal
  - Cajas de presión:
    - Se utilizarán los del cliente
    - Unidades : 16
  - Membranas
    - Tipo : DOW BWLE-440
    - Marca : FILMTEC
    - Unidades : 96
- **Conexión de alta presión para la llegada de agua al módulo:**
  - Diámetro : DN 150
  - Presión Nominal : 25 kg/cm<sup>2</sup>
  - Material : Inox. AISI 316
- **Conexión de alta presión para la salida del agua rechazo 1ª etapa:**
  - Diámetro : DN 80
  - Presión Nominal : 25 kg/cm<sup>2</sup>
  - Material : Inox. AISI 316
- **Conexión de baja presión para salida del agua tratada de 1ª etapa:**
  - Diámetro : DN 100
  - Presión Nominal : 10 kg/cm<sup>2</sup>
  - Material : PVC

- Conexión de alta presión para salida del agua de vertido:
  - Diámetro : DN 80
  - Presión Nominal : 25 kg/cm<sup>2</sup>
  - Material : Inox. AISI 316
- Conexión de baja presión para salida del agua tratada 2ª etapa:
  - Diámetro : DN 100
  - Presión Nominal : 10 kg/cm<sup>2</sup>
  - Material : PVC
- Conjunto de abrazaderas y soportes del módulo
- Caudalímetro para medida del caudal de agua tratada:
  - Tipo : BURKET
  - Escala : 0 – 100 m<sup>3</sup>/h
  - Diámetro : DN 100
  - P. Nominal : 10 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Material : PP
  - Unidades : 2 (1 por etapa)
- Válvula de regulación del caudal de vertido:
  - Tipo : Volante
  - Diámetro : 3"
  - P. Nominal : 25 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Accionamiento : Manual
  - Unidades : 1
- Caudalímetro de caudal de agua de vertido:
  - Tipo : BURKET
  - Escala : 0- 20 m<sup>3</sup>/h
  - Diámetro : DN 80
  - P. Nominal : 10 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Material : PP

- Unidades : 1
- Válvula de apertura directa en desplazamientos:
  - Tipo : Mariposa
  - Diámetro : DN 80
  - Acondicionamiento : Neumático
  - Material : Inox. AISI 316
  - Unidades : 1
- Conductímetro agua entrada y salida:
  - Tipo : CRISON
  - Mod. : CM38
  - Alimentación : 220 VAC
  - Rango de alimentación : 0-1999  $\mu$ S; 0-19,99 mS
  - Punto de consigna : Todo-Nada
  - Instalación : En panel
  - Sonda de conductividad : 0-200  $\mu$ s/cm 7 bar 70 ° K= 10
  - Unidades : 2
- Manómetros control pérdida de carga en módulos ósmosis inversa, agua rechazo y agua salida:
  - Tipo : Bourdon
  - Conexión : 1 / 4 “
  - Escala : 1-6; 1-16 kg/cm<sup>2</sup>
  - Unidades : 2

### **EQUIPOS DE FUERZA, MANDO Y SEÑALIZACIÓN**

- Cuadro de control, mando y protección para Osmosis Inversa de las siguientes características.
  - Tensión de alimentación : 400/230 v.
  - Tensión de fuerza : 400VAC
  - Tensión de maniobra : 24 v.c.c.

- Potencia total : 50 Kw.
- **Armario** : **RITTAL (2000 x 800 x 400) 2 unidades chapa.**
- Autómata : Siemens S/7-200 CPU 226
- Pantalla comunicación : Táctil siemens TP 170
- Sinóptico : Esquema metacrilato serigrafiado con LEDS
- Cableado de cuadro : Cable 750 v.
- **Convertidor frecuencia** : **(actuales instalados, 2 unidades)**
- Funciones de la pantalla de comunicación:
  - Visualización de valores de funcionamiento.
  - Configuración de parámetros de proceso.
  - Acciones de control sobre la planta: arranque, paro, lavado filtro.
  - Visualización de alarmas tanto actuales como históricas.
  - Parametrización de tiempos de funcionamiento.
- Así mismo realiza el control sobre cada uno de los elementos de la planta:
  - Bombeo de alimentación a las membranas.
  - Flushing para lavado de membranas.
  - Dosificación de productos químicos en pretratamiento
  - Gestión de alarmas de proceso.
- Conjunto entre líneas eléctricas para conexión entre armario eléctrico y equipos, comprendiendo:
  - **Bajo reglamentación y RD 2267/2004 . BOE 303 de 17 de diciembre, reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales instalaciones eléctricas.**
  - **Conexión y montaje eléctrico a motores e instrumentos, conducido por tubo de PVC, y conexión neumático desde cajas de electro válvulas a válvulas neumáticas.**

## EQUIPOS DESPLAZAMIENTO DE MÓDULOS

- Válvulas aspiración/impulsión bomba desplazamiento:
  - Tipo : Bola
  - Diámetro : DN 80

- Presión Nominal : 10 kg/cm<sup>2</sup>
- Accionamiento : Manual
- Material : PVC
- Unidades : 1

• Válvula de retención instalada en impulsión bomba:

- Tipo : Muelle
- Diámetro : DN 80
- Presión Nominal : 10 kg/cm<sup>2</sup>
- Material : PVC
- Unidades : 1

• Bomba para Flushing y limpieza química :

- Modelo : CRN
- Caudal : 60 m<sup>3</sup>/h
- Altura manométrica : 21,3 mca
- Tensión : 380 V/3F
- Unidades : 1

• Depósito para lavado químico y flushing:

- Volumen : 5000 lt.
- Material : Polietileno
- Unidades : 1
- Ubicación : en carga

• Válvula de llenado depósito de desplazamiento:

- Tipo : Flotador
- Diámetro : 2"
- Presión Nominal : 10 kg/cm<sup>2</sup>
- Material : Inox. AISI 316
- Unidades : 1

Estudio y optimización de la operación de ósmosis inversa para el tratamiento de agua en una industria alimentaria.