

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y
Oceánica

PROYECTO FIN DE CARRERA
PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA DE UN FERRY
TIPO ROPAX



Titulación: Ingeniería Técnica Naval. Especialidad Estructuras Marinas

Alumna: Manuela Fernández Murcia

Director: Leandro Ruiz Peñalver

Departamento: Tecnología Naval



PROYECTO FIN DE CARRERA
PLANTA ÓSMOSIS INVERSA DE UN FERRY TIPO ROPAX



CAPÍTULO 1: DESARROLLO DEL PROCESO TEÓRICO

OBJETIVO

- 1.1. CONCEPTO E HISTORIA DE LA DESALACIÓN COMO MÉTODO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.
- 1.2. PROCESOS/TÉCNICAS DE DESALACIÓN
 - 2.1 PROCESO DE DESTILACIÓN
 - 2.2 DESTILACIÓN SÚBITA ETAPA (MSF)
 - 2.3 DESTILACIÓN EFECTO MÚLTIPLE (MED)
 - 2.4 COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR
 - 2.5 CONGELACIÓN
 - 2.6 PROCESOS DE MEMBRANA
 - 2.6.1 DIFERENCIAL DE POTENCIA ELÉCTRICO
 - 2.6.2 DIFERENCIAL DE CONCENTRACIÓN
 - 2.6.3 DIFERENCIAL DE PRESIÓN
 - 2.6.4 OSMOSIS INVERSA
3. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA OSMOIS
4. CLASIFICACIÓN DE LAS MEMBRANAS
 - 4.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA ESTRUCTURA DE LAS MEMBRANAS
 - 4.1.1 SIMÉTRICAS
 - 4.1.2 ASIMÉTRICAS
 - 4.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NATURALEZA DE LAS MEMBRANAS.
 - 4.2.1 INTEGRALES
 - 4.2.2 COMPUESTAS POR CAPA FINA



4.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MEMBRANAS

4.3.1 MEMBRANAS ORGÁNICAS

4.3.1.1 ACETATO DE CELULOSA (CA)

4.3.1.2 TRICETATO DE CELOLOSA (CTA)

4.3.1.3 POLIETER-UREA

4.3.1.4 POLIAMIDAS AROMÁTICAS

4.3.1.5 POLIACRILONITRILO

4.3.1.6 POLIBENCIMIDAZOLA

4.3.1.7 POLISULFONA

4.3.1.8 POLIFURANO SULFONADO

4.3.1.9 POLIPIPERACIDAMIDAS

4.3.2 MEMBRANAS INORGANICAS

4.3.2.1 CERÁMICAS

4.3.2.2 DE VIDRIO

4.3.2.3 CARBONOS

4.3.2.4 FOSFAZENOS

4.4 CARGA SUPERFICIAL DE LAS MEMBRANAS

4.5 MORFOLOGÍA DE LA SUPERFICIE

4.6 PRESIÓN DE TRABAJO

5. CONFIGURACIÓN DE MEMBRANAS

5.1 CONFIGURACIÓN PLANA

5.2 CONFIGURACIÓN TUBULAR

5.3 CONFIGURACIÓN DE FIBRA HUECA

5.4 CONFIGURACIÓN EN ESPIRAL

5.4.1 SEPARADORES QUE COMPONEN UN
ELEMENTO DE CONFIGURACIÓN EN ESPIRAL

6. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS MEMBRANAS ENROLLADAS EN ESPIRAL. MEJORAS A REALIZAR



7. PRETRATAMIENTO PARA LOS PROCESOS DE DESALACIÓN
POR MEMBRANAS

8. DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS DE OSMOSIS INVERSA

9. CONFIGURACIÓN DE BLOQUES DE OSMOSIS INVERSA

10. DISPOSICIÓN DE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA.
CONFIGURACIÓN DE ETAPAS Y DISEÑO DE PIRÁMIDE

10.1 RECIRCULACIÓN DEL CONCENTRADOR

10.2 CONFIGURACIÓN DE UNA ETAPA

10.3 DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO

10.4 CONFIGURACIÓN DE DOS PASOS

11. ENSUCIAMIENTO (FOULING) Y LIMPIEZA DE MEMBRANAS.
CAUSAS DEL ENSUCIAMIENTO

11.1 TIPOS DE ENSUCIAMIENTO. TRATAMIENTOS

11.1.1 INCRUSTACIONES INORGÁNICAS

11.2 ENSUCIAMIENTO POR MATERIA COLOIDAL

11.3 MATERIA ORGÁNICA

12. CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCEDIMIENTO DE
LIMPIEZA PARA OSMOSIS INVERSA

12.1 ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE LIMPIEZA

12.2 LIMPIEZA DE MEMBRANAS

12.3 ACLARADO DE LA SOLUCIÓN DE LIMPIEZA.

DESPLAZAMIENTO

12.4 PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACIÓN

13. EQUIPOS DE ALTA PRESIÓN EMPLEADOS EN LA OSMOSIS
INVERSA



13.1 BOMBAS DE ALTA PRESIÓN

13.1.1. BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
O ALTERNATIVAS

13.1.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS

13.2 SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGIA.
OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

13.2.1 TURBINAS PELTON

13.2.2 TURBOCHARGER

13.2.3 CONVERTOR HIDRÁULICO DINÁMICO

14. POSTRATAMIENTOS

14.1 REMINERALIZACIÓN CON LECHOS DE CALCITA

14.1.1 VELOCIDAD ASCENSIONAL

14.1.2 TIEMPO DE CONTACTO O EBTC

14.2 DESINFECCIÓN (POST-CLORACIÓN)

14.2.1 GAS CLORO

14.2.2 HIPOCLORITO DE SODIO

14.2.3 ULTRAVIOLETA

15. INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DE OSMOSIS

15.1 INSTRUMENTOS DE PRESIÓN

15.2 MEDIDORES DE CALIDAD DEL AGUA

15.3 MEDIDORES DE CAUDAL

15.4 MEDIDOR DE Ph

16. ANEXO



OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto, se basa en la descripción y comparación de los diferentes sistemas de desalación de agua de mar existentes en la actualidad, para la elección del sistema más adecuado para la producción de agua potable en un ferry tipo ROPAX.

Se elige un sistema de potabilización de agua por membranas de ósmosis inversa, por simplicidad, robustez, consumo de energía y seguridad en el abastecimiento.



1. CONCEPTO E HISTORIA DE LA DESALACIÓN COMO MÉTODO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.

La desalación es el proceso de separación de minerales disueltos (sales) y otras sustancias indeseables contenidas en aguas salobres o marinas, para convertirlas en agua adecuada para el consumo humano, agua apta para uso industrial o agrícola.

En la edad moderna, el intento del hombre por desalar agua remonta a los tiempos donde los barcos, debido a la expansión del comercio y los largos viajes a través de los mares que esto suponía, utilizaban la desalación del agua del mar para obtener agua potable durante las travesías y así garantizar la seguridad del suministro y disponer de más espacio para el transporte de personas y mercancías, al no tener que ocuparlo con tanques de almacenamiento de agua. Con la navegación a vapor como sistema de propulsión del barco, se incorporó en éstos rudimentarios evaporadores (James Weir, 1884, creó una planta de evaporación que utilizaba la energía residual del vapor de salida de la caldera).

La desalación tal y como ahora la entendemos dio comienzo en los años 50 cuando los evaporadores citados anteriormente se pasaron a la tierra para poder desalar algunas zonas costeras donde no era posible obtenerla por otros medios.

En España, la desalación se incorporó relativamente pronto cuando en el año 1965 se instaló la primera planta desaladora en Lanzarote, se observó que la desalación de las aguas de mar podría ser la solución de muchas de las carencias de recursos naturales que tenía nuestro país, por lo que desde comienzo de los años 70 se empezaron a instalar plantas desaladoras.

Al ser el sector energético un punto importante en los costes de producción, desde muy pronto se investigó, con el objetivo de reducir



los consumos energéticos y mejorar las tecnologías existentes, siendo hoy en día España el quinto país del mundo en cuanto a capacidad de agua desalada, habiendo reducido de forma importante los costes de producción.

2. PROCESOS Y TÉCNICAS DE DESALACIÓN

Todos los procesos de desalación están basados en procesos naturales.

Los diferentes sistemas empleados para la disminución del contenido de sales de aguas marinas están relacionados con el volumen de agua a tratar y su grado de salinidad. Se diferencian entre:

2.1 PROCESO DE DESTILACIÓN

Consiste en evaporar una cantidad de agua de mar que luego se condensa obteniendo agua destilada, a la que se le añaden las sales que sean necesarias para hacerla apta para el consumo humano. Las variantes de este proceso son:

2.2 DESTILACIÓN SÚBITA ETAPA (MSF)

Este proceso llegó a representar el 85% de las plantas instaladas durante el periodo del 70 al 85. El fenómeno natural de la osmosis, era conocido desde hace muchos años, pero la aplicación práctica para desalar agua de mar no fue posible hasta principios de los años 80 en que apareció la primera membrana capaz de trabajar con esas concentraciones, dando lugar al proceso conocido como ósmosis inversa (OI).

En el proceso de destilación MSF se necesitan dos tipos de energía, una calorífica para calentar el agua de mar y evaporarla y otra eléctrica para mover las bombas involucradas en el proceso.



2.3 DESTILACIÓN EFECTO MÚLTIPLE (MED)

Proceso que, al igual que el anterior (MSF), necesita para su funcionamiento los dos tipos de energía anteriormente expuestas.

2.4 COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR (CMV)

Aunque es también un proceso de destilación, sólo requiere energía eléctrica para el accionamiento de las bombas que mueven el agua y el compresor que lleva a cabo del proceso.

En cambio la ósmosis inversa sólo utiliza energía eléctrica para mover las bombas que llevan el agua y realizan el proceso de separación.

2.5 CONGELACIÓN

Se basa en los diferentes puntos de fusión del agua dulce y del agua salada. Los cristales de hielo obtenidos se separan en la salmuera, se lavan para extraer la sal y se derriten convirtiéndose en agua dulce. La práctica demostró que no era viable desde el punto de vista económico.

2.6 PROCESOS DE MEMBRANA

En función de la fuerza directora utilizada pueden ser:

2.6.1 DIFERENCIAL DE POTENCIAL ELÉCTRICO

Electrodiálisis, consiste en usar un diferencial de potencial eléctrico y unas membranas de intercambio iónico selectivas para separar especies iónicas y otros compuestos con carga iónica de una solución acuosa.

2.6.2 DIFERENCIAL DE CONCENTRACIÓN

- Diálisis

2.6.3 DIFERENCIAL DE PRESIÓN

- Microfiltración



- Ultrafiltración
- Nanofiltración
- **Osmosis inversa**, sistema a tratar en el presente proyecto y que se detallará de forma explícita a continuación.

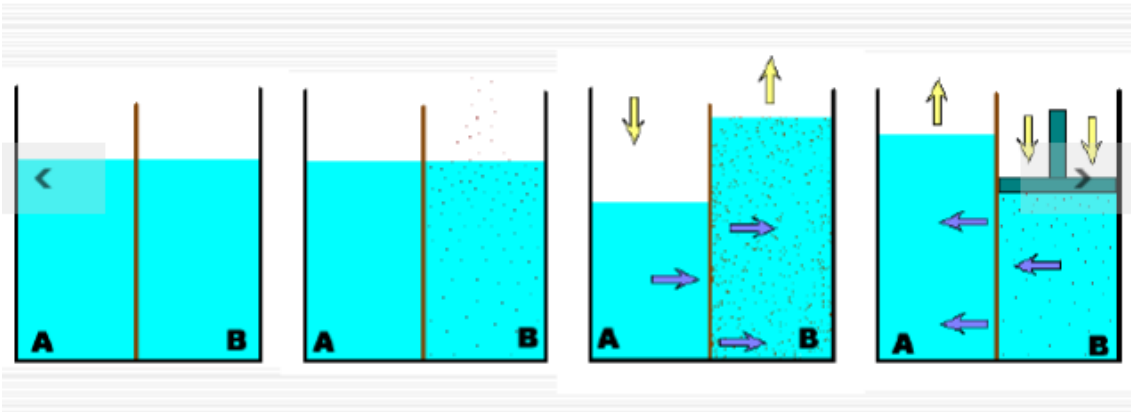
3. PRINCIPIO BÁSICO DE LA OSMOSIS

La ósmosis es el proceso natural por el cual un medio acuoso con una concentración de sales inicial trasvasa parte de su contenido acuoso a otro medio con una mayor concentración de sales, separado del primero tan sólo por una membrana semipermeable, siendo ésta una membrana que permite que ciertas moléculas o iones pasen a través de ella por difusión, el índice de paso depende de la presión, la concentración y la temperatura de las moléculas o de los solutos en cualquier lado, así como la permeabilidad de la membrana para cada soluto.

La parte que ha atravesado la membrana se llama permeado y la que no es el rechazo. En consecuencia, permite lograr una separación diferencial de unas sustancias frente a otras. Para que el paso de sustancias a través de la membrana se produzca, es necesaria la presencia de una fuerza impulsora entre ambos lados de la membrana, la cual puede ser de diferente naturaleza:

- Diferencia de presión
- Diferencia de concentración
- Potencial eléctrico, etc...

Una vez establecido el flujo, el diferente grado de paso de unas sustancias respecto de otras se produce por criterios físicos como el Tamaño del poro, o químicos como la solubilidad y difusión de la membrana, etc...



Se tienen dos recipientes separados por una membrana semipermeable. El recipiente “A” contiene un fluido con poca concentración de sales, y el recipiente “B” contiene un fluido con una alta concentración de sales. La osmosis hace que el agua pase del recipiente “A” al recipiente “B”, intentando igualar la concentración de sales en los dos recipientes.

El trasvase de agua pasará cuando la presión del agua en dos puntos situados en la misma altura, a un lado y a otro de la membrana haya una diferencia de presión suficiente como para que las fuerzas electroquímicas del proceso de ósmosis se contrarresten con esta presión. De esta manera se quedarán en equilibrio a un lado y a otro de la membrana los dos fluidos.

La diferencia de presión que existe entre los dos recipientes debido a que el recipiente “B” tiene más cantidad de agua que el recipiente “A”, se llama presión osmótica.

La desalación por osmosis inversa se aprovecha del fenómeno de la osmosis para realizar el proceso inverso y conseguir agua con una baja concentración de sales a partir de un agua con alta concentración. Para conseguir invertir el proceso es necesario invertir energía, la idea es suministrar al recipiente “B” una presión superior a la presión osmótica; esta presión provocará que el agua fluya en sentido contrario, es decir del recipiente “B” al recipiente “A”, pero la membrana no dejará



pasar apenas sales, de este modo se consigue un agua en el recipiente “A” con una concentración de sales muy baja.

Esta agua obtenida será apta para el consumo humano después de un tratamiento químico.

El presente proyecto está centrado en el proceso de ósmosis inversa, por tanto, me enfocaré más detalladamente en el tipo de membranas que es usado por éste.

Las membranas que se utilizan en ósmosis inversa deben estar preparadas para resistir presiones mayores a la diferencia de presiones osmóticas con dos soluciones: en el caso de agua de mar esta presión puede ascender entre 50 y 90 bares, además éstas son semipermeables, permitiendo que el transporte de especies moleculares diferentes ocurra a distintas velocidades.

4. CLASIFICACIÓN DE LAS MEMBRANAS

Los parámetros que se van a considerar en la clasificación de las membranas de ósmosis inversa son los que se muestran a continuación:

4.1 ESTRUCTURA DE LAS MEMBRANAS

La estructura de las membranas puede ser de dos tipos:

4.1.1 SIMÉTRICAS

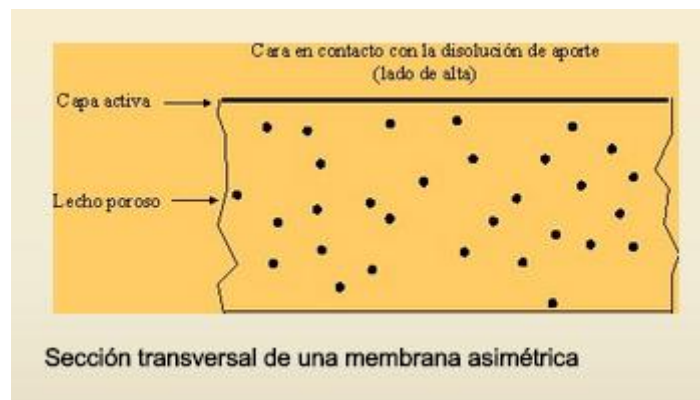
En estas, la sección transversal ofrece una estructura porosa uniforme, de tal manera que no existen zonas de densidad superior en cualquiera de las caras de la membrana.

Este tipo de estructura de la membrana se caracteriza por presentar una elevada permeabilidad al solvente y un rechazo bastante bajo de sales, por lo que es importante destacar que no favorece al proceso de ósmosis inversa.



4.1.2 ASIMÉTRICAS

Están constituidas por dos capas; la primera muy densa y fina denominada “CAPA ACTIVA”, la cual actúa como una barrera permitiendo el paso del solvente e impidiendo el paso del soluto. La segunda capa actúa como soporte de la primera capa y ofrece una resistencia al paso del solvente muy pequeña.



4.2 NATURALEZA DE LAS MEMBRANAS

Las membranas pueden ser de dos tipos:

4.2.1 INTEGRALES

Las membranas asimétricas integrales se caracterizan porque existe una continuidad entre la capa activa y el lecho poroso, es una capa formada por un solo material, donde su porosidad aumenta de forma progresiva.

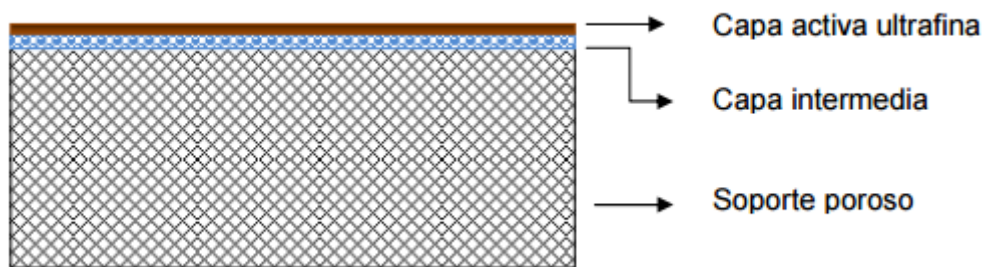
El espesor de la capa activa es de aproximadamente 0,25 micras, mientras que el del lecho poroso es de unas 99,75 micras.

El inconveniente que presentan este tipo de membranas, es que si las características de la capa activa mejoran, las del lecho poroso empeoran.



4.2.2 COMPUESTAS POR CAPA FINA

Estas se caracterizan porque la capa activa y el lecho poroso son de distinto material.



Es importante mencionar que las membranas de capa fina son la evolución tecnológica de las membranas integrales; presentando las ventajas siguientes respecto a las segundas:

- ✓ Cada capa se puede optimizar de manera separada, dependiendo del tipo de agua que se trate.
- ✓ El espesor de la capa activa se puede modificar ajustándolo a las necesidades de cada aplicación



4.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MEMBRANAS

Dependiendo de la composición química de la capa activa, las membranas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Membranas Orgánicas: presentan la ventaja de ser más fáciles de generar, lo que supone que sean económicamente más viables.
- Membranas Inorgánicas: son más costosas pero ofrecen ventajas tales como la resistencia a agentes químicos agresivos.

4.3.1 MEMBRANAS ORGÁNICAS

Constituyen el campo más amplio y desarrollado de las membranas, tanto por su importante volumen de fabricación como por su amplio espectro de posibles aplicaciones.

Están compuestas por una capa activa fabricada por polímeros o por mezclas de ellos, son membranas asequibles económicamente además de presentar un buen desempeño en cuanto a propiedades de Separación pero en contraposición, presentan deficiencias en lo que se refiere a resistencia mecánica, química y térmica.

De todos los compuestos orgánicos que existen, para la ósmosis inversa los más apropiados son los que se describen a continuación:

4.3.1.1 ACETATO DE CELULOSA (CA)

Resulta al tratar la celulosa procedente de algodón y la madera con ácido acético. Fueron las primeras que se usaron y son llamadas de primera generación. Trabajan en un rango limitado de Ph (3-8), temperaturas $<50^{\circ}\text{C}$ y concentraciones de cloro entre 10 y 50 mg/l.

A partir de acetato de celulosa modificado, se han elaborado una gran variedad de membranas en función de los tratamientos complementarios a los que se someten después de su formación.



4.3.1.2 TRICETATO DE CELULOSA (CTA)

Este compuesto tiene un mejor comportamiento que el acetato de celulosa en cuanto a la hidrólisis, lo que conlleva a que se pueda trabajar en un rango de Ph mucho más amplio. Si bien es similar al acetato de celulosa, sus compuestos químicos difieren.

Cabe destacar que posee el inconveniente de obtención de caudal de permeado por unidad de superficie muy deficiente.

4.3.1.3 POLIETER-UREA

Se emplea para la elaboración de membranas compuestas de capa fina. Este tipo de membranas posee un exceso de grupos amina, provocando de esta manera una naturaleza catódica muy fuerte.

4.3.1.4 POLIAMIDAS AROMÁTICAS (AP)

Existen dos polímeros con características de resistencia química muy similares dentro del grupo de las poliamidas aromáticas:

- Poliamida aromática Lineal: utilizada para la fabricación de membranas integrales.
- Poliamida aromática entrecruzada: tiene una menor compactación que la anterior y un mejor comportamiento ante los oxidantes.

4.3.1.5 POLIACRILONITRILO

Estas presentan un alto nivel de desecho de sustancias orgánicas, cabe mencionar que es mucho menor en comparación con las membranas de poliamida aromática.

4.3.1.6 POLIBENCIMIDAZOLA

Como inconveniente hay que mencionar que posee pérdida de caudal y bajo desecho de sales pero como característica positiva posee una gran resistencia a Ph extremos.



4.3.1.7 POLISULFONA

Este tipo de membranas contienen las ventajas de la poliamida, además de presentar resistencia al cloro libre y a oxidantes, pudiendo resultar de esta forma un polímero ideal. Tienen el inconveniente que para obtener flujos de permeado y desecho de sales adecuados es necesaria una cantidad determinada de grupos sulfónicos, lo cual es muy complicado de conseguir.

4.3.1.8 POLIFURANO SULFONADO

Tienen el gran inconveniente de ser muy sensible a la oxidación, siendo esta una desventaja que limita mucho su uso, prevaleciendo este inconveniente sobre otras características positivas tales como, buena eliminación de sales y solventes orgánicos.

4.3.1.9 POLIPIPERACIMIDAS

Con este material se pueden elaborar tanto membranas integrales como compuestas para capa fina, presentan resistencia al cloro y a otros oxidantes.

4.3.2 MEMBRANAS INORGÁNICAS

Estas membranas muestran una alta estabilidad térmica, mecánica y química, un alto periodo de funcionamiento, caudales de trabajo elevados, capacidad de regeneración, resistencia a las bacterias y una gran facilidad en su limpieza, es así que compiten con las membranas orgánicas en muchas aplicaciones.

Estas membranas pueden dividirse en cuatro grupos:

4.3.2.1 CERÁMICAS

Las membranas cerámicas forman la categoría de membrana inorgánica más utilizada.



Éstas se obtienen a partir de materiales como el óxido de titanio, óxido de zirconio, mezclas de ambos o alúmina.

Ofrecen una serie de ventajas frente a las membranas orgánicas tales como:

- ✓ Mayor robustez que las membranas orgánicas, lo cual les permite trabajar a elevadas velocidades de flujo.
- ✓ Presenta una superficie más lisa, lo que conlleva a que las membranas cerámicas tengan una menor tendencia a ensuciarse.
- ✓ Mayor resistencia mecánica, térmica y química.

En conclusión, son numerosas las ventajas de éstas respecto a las orgánicas, haciéndolas superiores respecto a estas últimas, pero su elevado coste limita de forma notable su uso.

4.3.2.2. DE VIDRIO

Están elaboradas normalmente a partir de cuarzo, carbonato sódico y ácido bórico, aunque puede añadirse a éstos, óxido de calcio, óxido potásico y alúmina para poder aumentar la resistencia a los compuestos alcalinos.

Cuando estos elementos se someten a elevadas temperaturas, se produce la fusión de estos y se consigue de dos fases, una de ácido bórico y otra de vidrio de silicio. Con esta técnica pueden ser elaboradas membranas planas, tubulares o capilares.

4.3.2.3. CARBONOS

El lecho poroso generalmente es de carbono sintetizado, mientras que la capa filtrante se obtiene a partir de óxidos metálicos. Sólo se usan en procesos de ultrafiltración y microfiltración., su ventaja más destacada es que tiene una gran capacidad de soportar valores extremos de Ph, pero a nivel económico son de elevado coste y además se le añade que presentan una gran dificultad para elaborar módulos.



4.3.2.4 FOSFAZENOS

Compuesto capaz de soportar temperaturas de hasta 250°

4.4 CARGA SUPERFICIAL DE LAS MEMBRANAS

Los polímeros orgánicos que se utilizan para la fabricación de las membranas de ósmosis inversa proporcionan una cierta carga eléctrica a la capa activa. Esta carga se mide a partir del potencial; si este es nulo las membranas serán neutras y si la carga eléctrica es positiva o negativa serán aniónicas o catiónicas respectivamente.

4.5 MORFOLOGÍA DE LA SUPERFICIE

Es un aspecto a considerar, ya que dependiendo de la morfología de la superficie de las membranas, estas tendrán un mayor o menor nivel de ensuciamiento.

Si la superficie es lisa, la membrana se ensuciará de forma más lenta y será mucho más sencilla su limpieza, siendo al contrario en el caso que la superficie de la misma fuese rugosa.

4.6 PRESIÓN DE TRABAJO

Las membranas pueden trabajar a cuatro presiones diferentes:

- Presión muy baja: normalmente entre 5 y 10bar. Las membranas que trabajan a estas presiones se emplean para aguas con salinidad baja
- Presión baja: valores de entre 10 y 20bares
- Presión media: valores de entre 20 y 40bares
- Presión alta: valores que oscilan entre 50 y 80bares

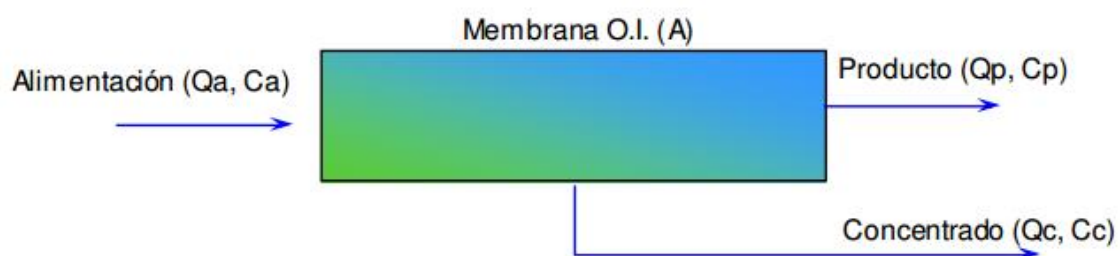


5. CONFIGURACIÓN DE MEMBRANAS

Las membranas componen las unidades básicas de una instalación y se alojan dentro de unos tubos de presión que reciben el nombre de módulos. Cada módulo puede contener hasta siete membranas, todas ellas conectadas en serie. El conjunto de módulos formará un banco de membranas, y estos podrán tener distintas disposiciones dentro de la instalación, siendo este punto desarrollado más adelante.

El principio de funcionamiento de un módulo con membranas puede ser explicado de la siguiente manera:

Un líquido de alimentación (disolución a tratar) que poseerá una cierta velocidad y composición se introduce en el módulo para entrar en contacto tangencialmente con la membrana. En el interior del módulo el flujo de alimentación se divide en dos flujos secundarios, el primero se denomina permeado, que es el líquido o disolución de alimentación que pasa a través de la membrana y estará constituido por las sustancias con mayor tendencia a pasar por las mismas. El flujo restante se llama rechazo o concentrado y estará formado por las sustancias que permean en menor grado, el rechazo puede ser reciclado bien en el mismo módulo o se puede dirigir hacia otro módulo dispuesto en serie.





Las configuraciones de elementos de membrana más usadas son las que se detallan a continuación:

5.1 CONFIGURACIÓN PLANA

Es el primer tipo de configuración que se utilizó, está constituido por una serie de membranas planas con forma rectangular o de disco circular; éstas se apoyan sobre platos soporte que serán porosos, siendo la misión de éstos suministrar resistencia mecánica a la membrana, recoger el permeado de forma uniforme y evacuarlo al exterior.

Las membranas estarán separadas entre sí por espaciadores, siendo la misión de éstos:

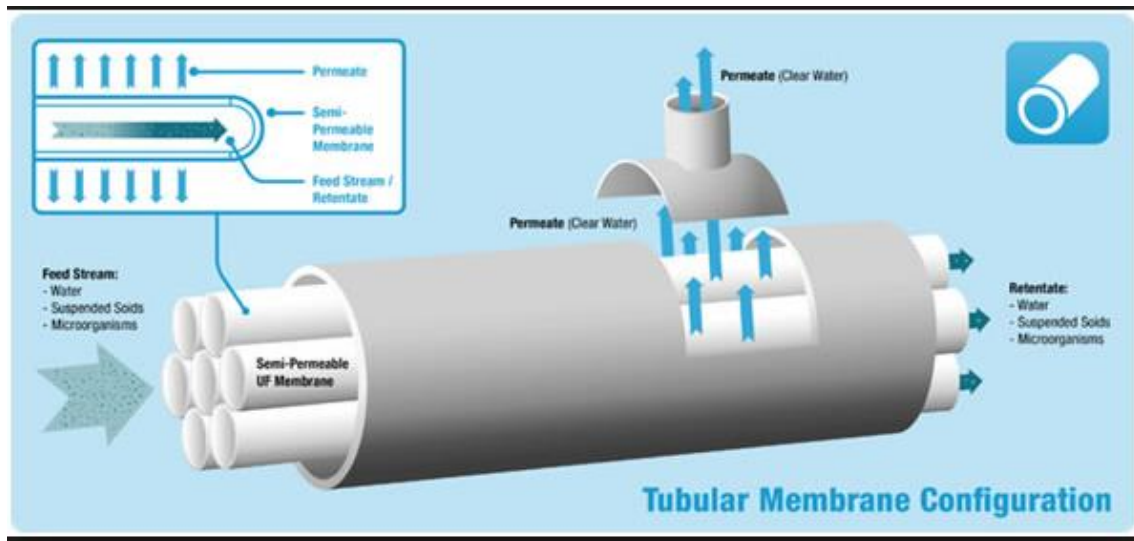
- Conseguir que la solución a tratar esté debidamente repartida sobre las membranas permitiendo así el paso del líquido entre ambas.
- Separar las capas activas de dos membranas consecutivas.
- Recoger el rechazo de manera uniforme.

Por tanto la configuración de estos módulos planos consiste en aplicar conjuntos formados por espaciador-membrana-placa soporte-membrana y así sucesivamente.

Estas configuraciones representan superficies pequeñas, lo que implica poca capacidad de producción.

5.2 CONFIGURACIÓN TUBULAR

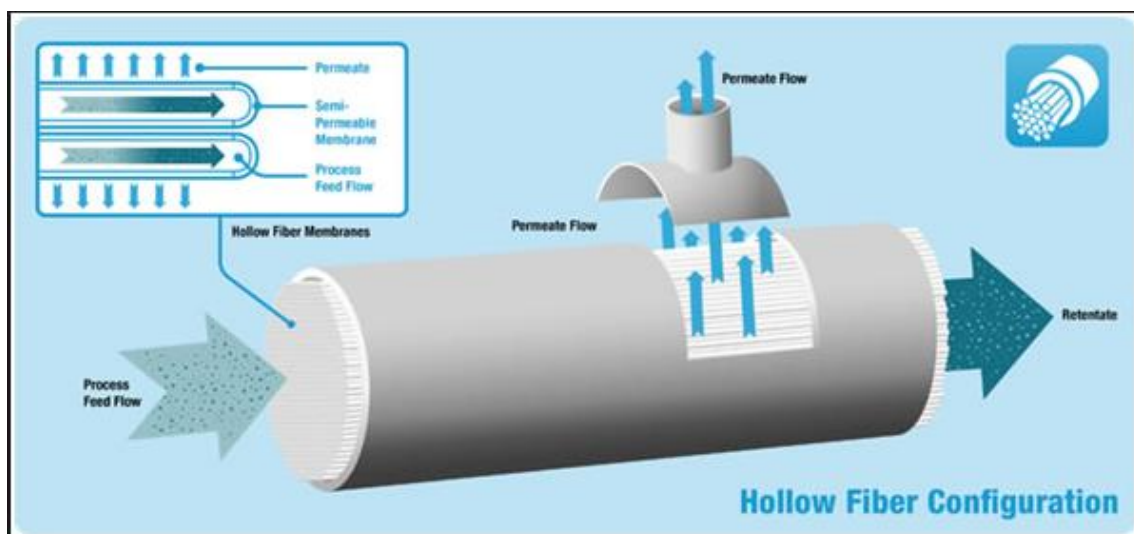
Consiste en una serie de tubos largos y porosos, su longitud estará entre 1,5 y 3m de largo y servirán de soporte a las membranas tubulares que pasan por su interior.



De forma esquemática, el modo de funcionamiento de estos módulos consiste en que el flujo alimentario se hace circular por el interior de la membrana y el permeado se recogerá entre la pared exterior de la membrana y la interior del tubo contenedor.

5.3 CONFIGURACIÓN DE FIBRA HUECA

Están formados por miles de membranas de fibra hueca, constituyendo un haz en forma de “U” y están dispuestas paralelamente a un tubo central. Se usa resina EPOXY para fijar las membranas en ambos extremos, dando así estabilidad al haz.





En el recorrido del flujo la solución a tratar se introduce a presión en el tubo central donde se reparte de forma radial y uniforme por todo el haz de fibras, cuando la solución entra en contacto con la capa activa de la fibra, el permeado atraviesa la misma por su interior hueco hasta alcanzar el extremo abierto, abandonando el haz y pasando antes de dejar el módulo a través de un bloque poroso, el cual tiene como objetivo conseguir un buen reparto hidráulico en la recogida del permeado. Por otro lado, el rechazo se desplaza hacia el otro extremo del haz de fibras y sale al exterior del módulo, la colocación de una junta tórica en los extremos del tubo impide que el permeado se mezcle con el rechazo.

5.4 CONFIGURACIÓN EN ESPIRAL

La configuración más extendida en elementos de membrana en procesos de desalación por ósmosis inversa es la de arrollamiento en espiral, de tal manera que realizaré una explicación más detallada de este tipo de configuración, pues forma parte del tema central del presente proyecto.

Las membranas de arrollamiento en espiral están formadas por membranas planas arrolladas en espiral alrededor de un tubo central. La configuración de un elemento de membrana de arrollamiento en espiral será:

Alrededor de un tubo central se arrollan dos membranas separadas entre sí por un espaciador en el lado de alimentación denominado espaciador de alimentación y por otro espaciador más fino en el lado de permeado llamado espaciador de permeado. Esta configuración tiene como fin realizar la separación de las membranas y establecer en ambas caras de cada membrana un canal para facilitar el flujo de agua a través de las mismas, tanto en el lado de alimentación como en el de rechazo. De esta manera se consiguen minimizar las pérdidas de carga dentro de la membrana.

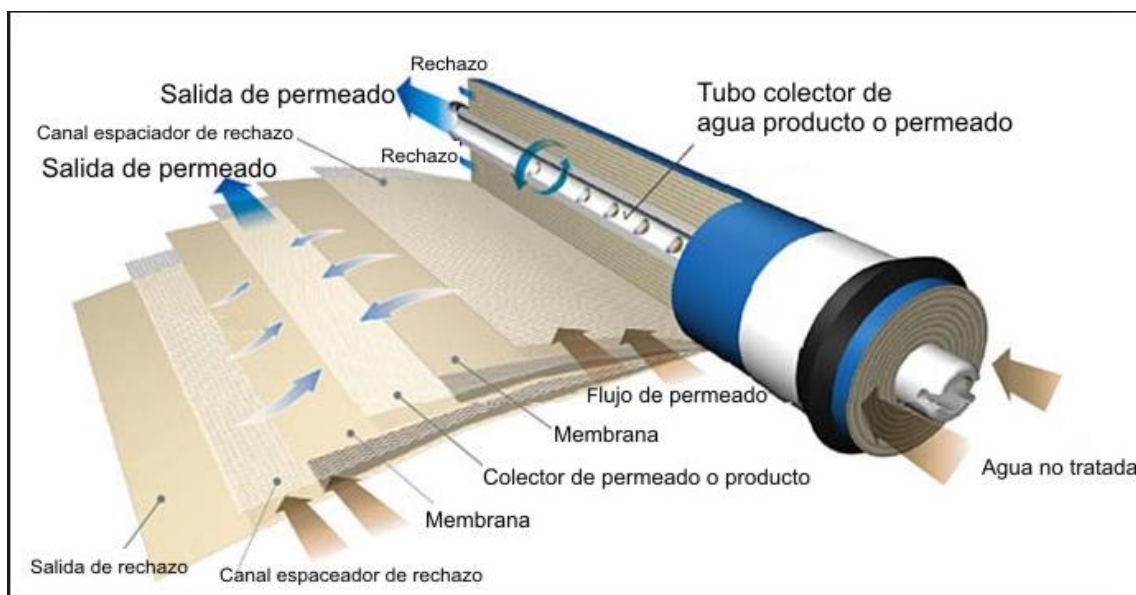


El conjunto de espaciadores/separadores, membranas y capa impermeable (esta última se sitúa inmediatamente después del espaciador de permeado para asegurar que no se produzcan filtraciones del mismo), se pegan al tubo por uno de sus lados, permitiendo la salida del permeado por las perforaciones del mismo.

Los otros tres lados se sellan y se arrollan alrededor del tubo y se recubren de poliéster reforzado con fibra de vidrio, con lo que se consigue una gran estanqueidad.

Se denomina sobre al conjunto formado por membranas-espaciador/separador-capa impermeable. La unión de varios sobres de membrana arrollados, de longitud reducida, conforman los elementos en espiral y estos se pueden fabricar en cuatro diámetros diferentes: 2.5", 4" y 8".

Por ejemplo, un elemento de membrana de 8" suele llevar entre 16 y 18 sobres.





5.4.1 SEPARADORES QUE COMPONEN UN ELEMENTO DE CONFIGURACIÓN EN ESPIRAL

Para un elemento (membrana) arrollado en espiral, existen dos clases de separadores que tienen una gran importancia a la hora de realizarse el diseño del elemento.

ESPACIADOR DE ALIMENTACIÓN-RECHAZO O NETTING



Este tipo de espaciador tiene varias funciones:

- Separar las caras activas entre dos caras de cada sobre del elemento.
- Producir un régimen hidráulico tal, que permita conseguir los parámetros de transporte adecuados como son:
- Número de Reynolds (Re)

$$Re = \rho \times v \times d_{h/c}$$

- Número de Schmidt (Sc)

$$Sc = v/D$$

- Número de Sherwood (Sh)

$$Sh = (k \times d_h)/D$$

k : coeficiente de transporte de masa [$m \times sec^{-1}$]

D : coeficiente de difusión líquido-líquido [$m^2 \times sec^{-1}$]

ζ : viscosidad dinámica [$kg \times m^{-1} \times sec^{-1}$]



Siendo éstos, algunos de los parámetros sobre los que inciden los espaciadores.

ESPACIADOR O CONDUCTOR DE PERMEADO “CARRIER”

Está formado por canales en forma de eslabones asemejándose a una cadena.

Una de sus principales funciones es mantener el coeficiente de permeabilidad de la membrana.

Es importante destacar uno de los problemas más importantes que surgen con el uso de este tipo de espaciadores y es la posible adaptación del tejido soporte de la membrana al canal del conductor causado por la deformación mecánica al trabajar este bajo presión, originando problemas de pérdida de carga y por consiguiente, una reducción en la eficiencia del elemento.

Tras experiencias realizadas con estos espaciadores, se puede deducir que lo más aconsejable es trabajar con conductores de canal lo más ancho posible y con el mayor número de eslabones, ya que se obtienen bajos valores de resistencia al flujo de permeado a través del espaciador.

En conclusión, los espaciadores son elementos que requieren ser minuciosamente estudiados, ya que una buena optimización de éstos influye en gran medida en la productividad de la membrana.

De los tipos de espaciadores mencionados anteriormente, sobre el que más estudios se realizan es el espaciador alimentación/rechazo, ya que una buena configuración de éste evitará que se produzcan pérdidas de carga, ensuciamiento de la cara actúa de la membrana (fouling), también se evitará obtener altos valores de factor de polarización. Todo esto implica que se alcancen rendimientos más altos de la membrana.



6. PARAMETROS QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS MEMBRANAS ARROLLADAS EN ESPIRAL. MEJORAS A REALIZAR.

La configuración en espiral es la más extendida en el diseño de elementos de membranas pero a su vez es una de las que presenta mayor dificultad para cumplir los requisitos de funcionamiento que son fundamentales en el diseño de las plantas de tratamiento.

A continuación, se van a exponer y explicar cuáles son los parámetros más importantes y las mejoras que se intentan realizar sobre el funcionamiento de las membranas enrolladas en espiral compuestas por poliamida aromática, que es el caso que nos ocupa.

- Los parámetros que se intentan mejorar son los siguientes:
- Mantener lo más inamovible posible el coeficiente de permeabilidad al agua de una membrana plana.

Este coeficiente se calcula mediante la ecuación:

$$A = Q_p \times \rho / S \times (\ddot{A}P_{ap} - \ddot{A}P_{\pi})$$

A: coeficiente de permeabilidad al agua a 25° [$gr \times cm^{-2} \times sec^{-1} \times at^{-1}$]

Q_p : caudal de permeado a 25° [$cm^3 \times sec^{-1}$]

ρ : peso específico [$gr \times cm^{-3}$]

S: superficie de la membrana [cm^2]

$\ddot{A}P_{ap}$: variación de presión aplicada [at]

$\ddot{A}P_{\pi}$: variación de presión osmótica [at]

- Mantener lo más bajo posible el coeficiente de permeabilidad de soluto (normalmente NaCl) que ofrece la membrana plana. El coeficiente se puede calcular por la ecuación:

$$B = Q_p \times C_p / S \times (C_f - C_p)$$

B= coeficiente de permeabilidad absoluta [$cm \times sec^{-1}$]



Q_p : caudal de permeado [$cm^3 \times sec^{-1}$]

C_p : concentración de soluto de permeado [$mg \times l^{-1}$]

S : superficie de la membrana [cm^2]

C_f : concentración de soluto en la alimentación a la membrana
[$mg \times l^{-1}$]

- Obtener un valor lo más bajo posible de la polarización o factor beta. El factor beta se define como la relación entre la concentración de soluto que existe sobre la capa activa de la membrana y la concentración de soluto que se introduce en el sistema mediante la corriente principal de fluido; es decir:

$$\beta = C_m/C_f$$

C_m : concentración de soluto sobre la cara activa de la membrana
en [$mg \times l^{-1}$]

C_f : concentración de soluto en la alimentación a la membrana
[$mg \times l^{-1}$]

El valor de beta es adimensional y puede oscilar de 1 a 2 y normalmente varía en base a los parámetros de funcionamiento del elemento y características de la membrana plana.

- Alcanzar una presión diferencial o pérdida de carga baja. Esta pérdida de carga se produce durante el funcionamiento de un elemento enrollado en espiral y viene definida como la diferencia entre la presión del fluido de entrada a dicho elemento y la salida de esta a través del canal de rechazo. Se determina en función de varios parámetros, pudiéndose calcular a partir de la ecuación:

$$\Delta p = \lambda \times \rho \times v^2 \times l/2 \times dh$$

Δp : pérdida de carga [$Kgf \times \frac{1}{m} \times sec^{-2}$]



λ : coeficiente de fricción (adimensional)

ρ : peso específico en $[Kgf \times m^{-3}]$

v : velocidad en el canal $[m \times sec^{-1}]$

l : longitud del canal [m]

dh : diámetro hidráulico del canal [m]

- Conseguir una eficiencia de elemento lo más alta posible. Para un elemento enrollado en espiral, la eficiencia se puede obtener mediante la ecuación:

$$Eficiencia = \left[\frac{1}{L} \times \sqrt{2} \times AH \right] \times \tanh \times [L \times \sqrt{2AH}]$$

L : longitud del canal de permeado [cm]

A : permeabilidad del agua en el módulo $[ml \times cm^{-2} \times sec^{-1} \times at^{-1}]$

H : resistencia del canal de permeado en $[at \times sec \times ml^{-1}]$

- Evitar el ensuciamiento (fouling) de la cara activa de la membrana.

El ensuciamiento de una membrana está vinculado con una serie de parámetros que actúan en un agua, tales como, la turbidez, materia orgánica, los sólidos en suspensión, contenido de bacterias, etc.

Éste es un parámetro difícil de calcular y la única medida que en la desalación de un agua da una estimación del grado de ensuciamiento a que puede estar sometida una membrana es la medida SDI (índice de atascamiento), que ya se explicó con anterioridad.

Para conseguir un diseño de un elemento enrollado en espiral en el que converjan todos los apartados mencionados anteriormente es muy complicado y por lo general se requieren estudios hidráulicos muy minuciosos.



7. PRETRAMIENTO PARA LOS PROCESOS DE DESALACIÓN POR MEMBRANAS

En estos procesos de desalación, la misión del pretratamiento consiste en eliminar o reducir al máximo posible el riesgo de atascamiento de las membranas por acumulación de sustancias, materiales y microorganismos sobre su superficie. Éste tipo de atascamiento reduce la vida y la eficiencia de las membranas, ya que empeora la calidad del agua tratada y produce un incremento de la presión necesaria para su funcionamiento.

Un aspecto de gran importancia es la procedencia del agua de entrada a la hora de diseñar el pretratamiento de una planta de membranas; en conclusión el agua de origen superficial requiere un pretratamiento más complejo que el agua de origen subterráneo. El pretratamiento es una parte fundamental del proceso de desalación, y su diseño condiciona de una manera muy importante los costes de mantenimiento y de explotación de la planta desaladora.

Para los procesos de membranas los objetivos del pretratamiento son los siguientes:

- Eliminar los sólidos en suspensión que comúnmente incluyen bacterias, arcillas, hierro, etc., pueden provocar el atascamiento de las membranas al ser retenidas en su superficie por filtración mecánica. Para valorar el atascamiento que pueden producir las sustancias coloidales del agua, se utiliza el SDI15 (silt density index) o índice de fouling.

$$SDI = 1 - \left(\frac{T_0}{T_1}\right) \times 100/15$$

El índice de fouling, también llamado índice de atascamiento (SDI), es un índice que se mide de forma experimental; los fabricantes



de membranas exigen un valor máximo de SDI de entrada a las mismas menor que cinco; no obstante estará condicionado al diseño de la instalación y a las instrucciones concretas del fabricante.

El SDI se determina filtrando el agua a través de un filtro de 0.45 micras con una presión 2 kg/cm². Primero se hacen pasar 500 ml, y al tiempo que tarde en pasar dicha cantidad se llamara t₀, después se sigue introduciendo agua en el filtro a la misma presión durante 15 min. (t_{total}). Transcurrido este tiempo se vuelve a medir el tiempo que tarda en atravesar el filtro 500ml de agua, que se llamara t₁.

Evitar la precipitación de óxidos metálicos, los óxidos metálicos que se encuentran con más frecuencia en el agua son los oxidos de hierro, manganeso y aluminio.

- ❖ El hierro puede encontrarse en el agua en las formas ferrosa y férrica, siendo lo más probable que coexistan ambas.
- ❖ El hierro ferroso es soluble y no causara problemas ya que será rechazado por las membranas como cualquier otro catión.
- ❖ El hierro férrico suele proceder de la oxidación de la forma ferrosa o de la corrosión de estructuras metálicas degradadas. Por ser insoluble es susceptible de acumulación que atascaría las membranas, siendo lo más adecuado eliminarlo en el pretratamiento mediante oxidación total con cloro y filtración.
- ❖ El manganeso puede encontrarse en el agua en los estados de oxidación II y IV. El primero es soluble y será rechazado por las membranas sin causar problemas, sin embargo, el manganeso IV es insoluble y causaría problemas de acumulación y atascamiento de membranas, por lo que se deberá eliminar en el pretratamiento.
- ❖ El aluminio es un metal anfótero (presenta a la vez propiedades ácidas y básicas) cuya solubilidad en el agua es mínima a un Ph de 6,6. la presencia del aluminio en el agua puede ser debida a dos causas distintas. la primera es que se encuentre disuelto en



el agua de forma natural, y la segunda y más habitual; que proceda del uso de coagulantes de este metal en el pretratamiento de la propia planta, indicando, en tal caso, un funcionamiento incorrecto de la coagulación-filtración.

- ❖ El aluminio puede precipitar como hidróxido si se supera su producto de solubilidad o si se modifica el Ph del agua. En combinación con sílice da lugar a aluminosilicatos y también forma una capa impermeable sobre la membrana.

Evitar la precipitación de sales minerales, la precipitación de sales en las membranas se produce cuando su concentración en el agua de rechazo supera el producto de solubilidad. Las sales que normalmente suelen crear problemas de precipitaciones son:

- ❖ Sulfatos de calcio
- ❖ Bario y estroncio
- ❖ Carbonato de calcio
- ❖ Fluoruro de calcio
- ❖ Sílice

Para conocer el riesgo de precipitación de una sal determinada, hay que tener en cuenta su concentración en el agua de entrada, la conversión de la planta de membranas y el producto de solubilidad. Para evitar la precipitación de sales, como las anteriormente expuestas, las cuales pueden precipitar al aumentar su concentración en el interior de las membranas, se utilizan productos anti incrustantes. Este tipo de sustancias actúa sobre la formación de cristales limitándolo, al mantener los iones en sobresaturación en el agua concentrada.

Reducir el contenido de materia orgánica del agua, el atascamiento de los elementos de membranas por materia orgánica, ocurre cuando queda adherida en sus diferentes superficies.

La materia orgánica que puede provocar este atascamiento puede ser de origen natural procedentes del humus vegetal (lavado de turbas,



ácidos húmicos y tánicos, etc.) que suelen transmitir color; o proveniente de la contaminación, como sería el caso de los aceites, grasas y otros compuestos orgánicos. Estas sustancias se deben eliminar en el pretratamiento.

Actividad biológica en el agua, los crecimientos microbiológicos en las membranas ocurren cuando el agua de aportación contiene los microorganismos y los nutrientes necesarios para permitir un rápido desarrollo sobre la superficie del elemento.

Si las membranas no son biodegradables, esta proliferación microbiológica produce efectos similares a un atascamiento provocado por sustancias coloidales. Cuando son membranas biodegradables, los microorganismos son capaces de destruir la capa activa de estas membranas, que de este modo pueden llegar a perder sus propiedades.

8. DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS DE ÓSMOSIS INVERSA

Para conseguir que una planta de ósmosis tenga un determinado caudal de permeado, es necesaria la agrupación de un conjunto de módulos de membranas; estos módulos podrán tener distinta producción y tamaños diferentes.

La conversión de un módulo dependerá del tipo de membrana que se utilice, de sus características, sus dimensiones, etc.

9. CONFIGURACIÓN DE LOS BLOQUES DE ÓSMOSIS INVERSA

Un bloque de ósmosis inversa (unidad de ensamblaje de las membranas), consiste en un soporte formado por el conjunto de tubos de presión (bancos de membranas), interconexión de tuberías y los colectores del flujo de alimentación, permeado y concentrado.

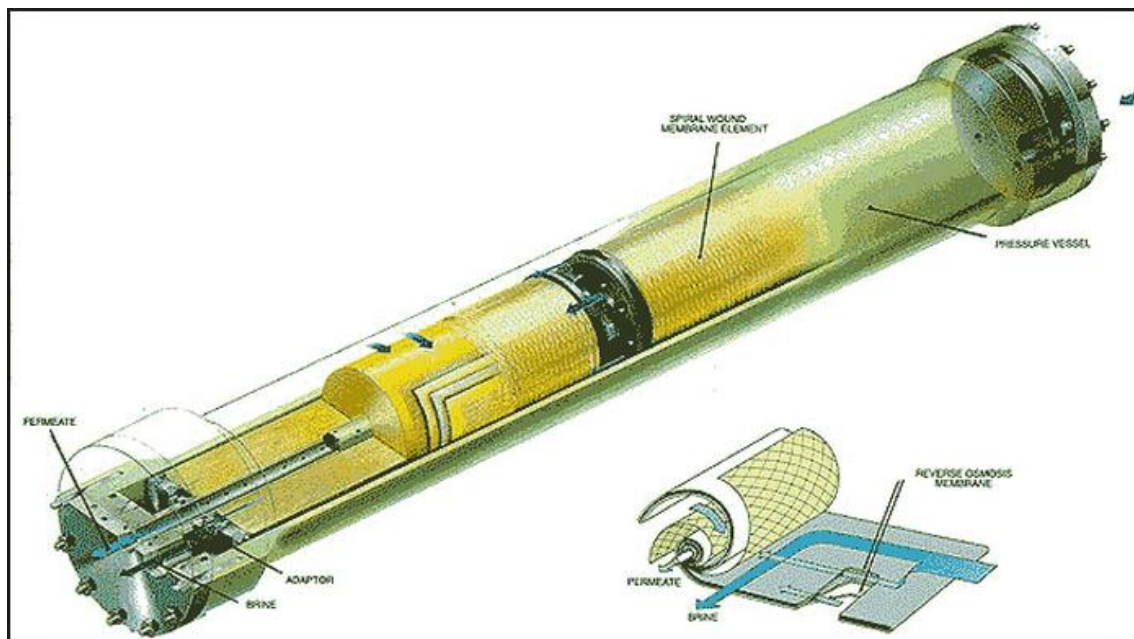
Los elementos de membrana están alojados en el interior de recipientes cilíndricos, resistentes a altas presiones y cuyos diámetros se adaptan a



los diámetros de las membranas; estos recipientes reciben el nombre de tubos de presión. Los tubos de presión están provistos en ambos extremos por tapas, que son resistentes a la presión de trabajo. Se dispone de conductos/puertos de permeado, colocados en la parte central de la tapa que está situada en el extremo final de cada tubo de presión.

En uno de los extremos de cada tubo de presión se coloca un conducto para la entrada del flujo de alimentación y en el otro extremo se coloca otro conducto para la salida del rechazo.

Los tubos de presión se fabrican con capacidad para contener de 1 a 7 elementos de membrana conectados en serie.



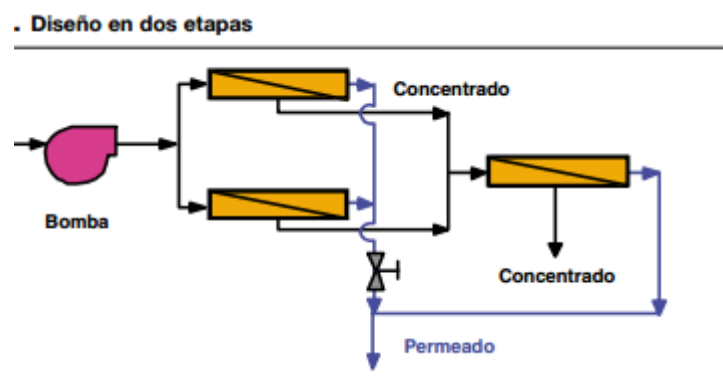
El tubo central de permeado del primer y del último elemento de membrana está conectado a las tapas finales de los tubos de presión por medio de piezas tubulares provistas de juntas tóricas. Los tubos de permeado de los elementos de membrana esta conectados entre sí mediante interconectores. En un lado de cada membrana hay una junta habitualmente tórica, la cual impide el paso entre el borde



exterior del elemento de membrana y la pared interior del tubo de presión. La función de este cierre es evitar que el agua de alimentación se desvíe por los bordes de las membranas y la fuerza a fluir a través de los conductos de alimentación de las mismas. A medida que el agua de alimentación fluye a través de cada elemento de membrana, parte del volumen de la misma es obtenido como permeado. La concentración de sales en el resto del agua de alimentación va incrementándose gradualmente a lo largo de su paso por el tubo de presión. Los tubos de permeado, conducen el permeado que se va obteniendo a través de los elementos de membrana conectados entre sí. Este permeado obtenido tiene muy baja concentración de sales.

10. DISPOSICION DE SISTEMA/PLANTA DE OSMOSIS INVERSA. CONFIGURACION DE ETAPAS Y DISEÑO DE PIRAMIDE

Un sistema/planta de osmosis inversa está formado por grupos de tubos de presión y forman etapas de concentrado. En cada etapa los tubos de presión están conectados en paralelo, con respecto a la dirección del flujo de alimentación. El número de estos tubos en las sucesivas etapas del sistema ira disminuyendo en la dirección del flujo de alimentación, normalmente en una proporción de 2:1.





Se puede observar que el recorrido del flujo del agua de alimentación a través de los tubos de presión se asemeja a una estructura piramidal. Un volumen elevado de agua de alimentación fluye por la base de la pirámide y un volumen relativamente pequeño de concentrado sale de la parte alta de la misma

El número de tubos de presión dispuestos en paralelo que decrece de etapa a etapa, es compensado por el volumen cada vez menor del flujo de alimentación, del cual una parte se va convirtiendo de forma continuada en permeado. El permeado obtenido de todos los tubos de presión de cada etapa, se une en un colector común de permeado.

El objetivo de este tipo de configuración de reducción de los tubos de presión es mantener una proporción de flujo de alimentación por tubo a lo largo de la longitud del sistema y también mantener un flujo de alimentación dentro de los límites especificados para un tipo de elemento de membrana dado.

Una alta cantidad de flujo a través de un tubo de presión puede desembocar en un rápido descenso de presión y en un posible daño estructural del elemento; así mismo, una baja cantidad de flujo no generara las turbulencias suficientes, pudiendo dar como resultado una concentración excesiva de sales en la superficie de la membrana y llegar a producir precipitaciones.

Para una unidad de osmosis inversa dada, el número de etapas de concentrado dependerá del porcentaje de recuperación de permeado (conversión) y del número de elementos de membrana por tubo de presión.

Para evitar una concentración de polarización excesiva en la superficie de la membrana, el porcentaje de recuperación de cada elemento de membrana no debe exceder del 15%.

Es una práctica común en ingeniería diseñar los sistemas de desalación por ósmosis inversa para que el porcentaje de recuperación de un elemento de membrana que tenga una longitud de 40" sea



aproximadamente del 9%; por lo tanto, el número de etapas de concentrado en una unidad de osmosis inversa que conste de 6 elementos de membrana por tubo de presión, deberá ser de una etapa de concentrado para que el porcentaje de recuperación sea del 50% o menos, y de dos etapas para que la recuperación sea del 75%.

En el caso de que los tubos de presión contengan 7 elementos de membrana, una configuración de dos etapas será suficiente para conseguir porcentajes de recuperación por encima del 85%.

10.1 RECIRCULACIÓN DEL CONCENTRADO

El montaje más simple de un elemento de membrana consiste en un tubo de presión con un elemento de membrana en su interior. Esta configuración, empleada en sistemas muy pequeños, puede operar con un porcentaje limitado de recuperación de permeado (conversión), normalmente esta en torno al 15%.

Para incrementar el porcentaje de conversión del sistema y seguir manteniendo un flujo de concentrado aceptable, una parte del concentrado obtenido vuelve a la succión de la bomba de alta presión.

Este tipo de configuración en la que se recicla el concentrado, se usa principalmente en unidades muy pequeñas de osmosis inversa.

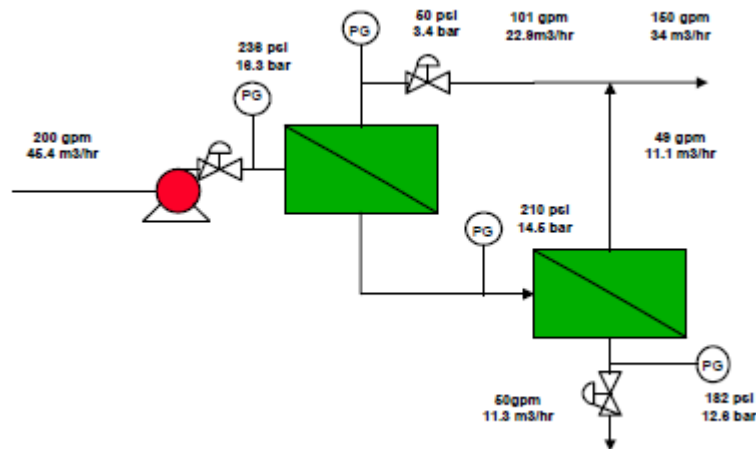
Una ventaja de este diseño es que la unidad de osmosis inversa posee un tamaño compacto. En cambio, el inconveniente de este diseño de recirculación del concentrado está relacionada con la necesidad de disponer de una bomba de alimentación más potente para que mantenga un mayor flujo de alimentación.

En cuanto al consumo de energía, este es sensiblemente mayor que el requerido por una configuración multietapa.

Debido a la mezcla del flujo de alimentación con la parte del concentrado que se hace recircular, habrá un incremento en el porcentaje de salinidad del flujo de alimentación, lo que implica que tanto la presión del flujo de alimentación como la salinidad del



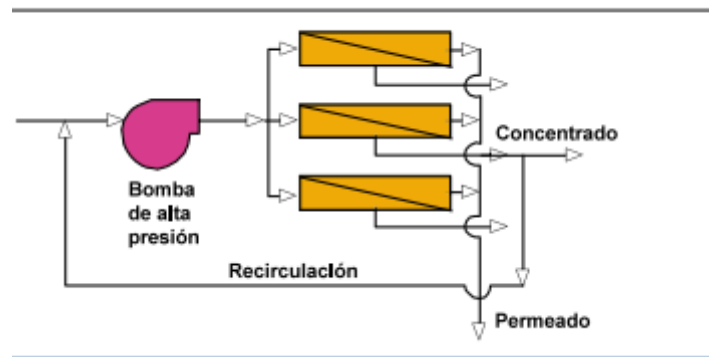
concentrado también se vean incrementados.



10.2 CONFIGURACIÓN DE UNA ETAPA

Una unidad comercial de osmosis inversa normalmente consiste en una bomba de alta presión y una matriz multietapa de tubos de presión, como se muestra a continuación:

. Diseño en una etapa



El concentrado obtenido en la primera etapa pasa a ser la alimentación de la segunda etapa. Los flujos y presiones en la unidad multietapa son controlados por las válvulas de alimentación y concentrado.

La válvula de alimentación, después de la bomba de alta presión, controla la cantidad de flujo que se conduce a la alimentación de unidad multietapa y la válvula de concentrado que se encuentra a la salida del bloque de osmosis inversa controla la conversión de la instalación.



10.3 DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO

En algunos casos es necesario equilibrar el flujo de permeado entre etapas; por ejemplo, el flujo de permeado aumenta en la primera etapa del sistema y disminuye en la última.

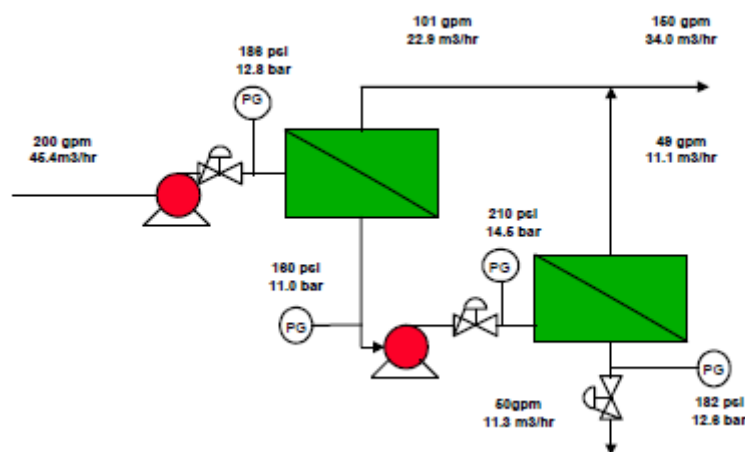
Se tienen que conseguir equilibrar los caudales de permeado de cada etapa.

La primera solución es mediante la instalación de una válvula en la línea de permeado en la primera etapa.

Mediante la regulación de esta válvula, la presión del permeado que sale de la misma aumentara, reduciendo la presión impulsora neta y el flujo de permeado en la primera etapa.

El diferencial del flujo de permeado, se produce en la segunda etapa mediante la utilización de la unidad de ósmosis inversa a una presión de alimentación mayor.

La otra solución es instalar una bomba booster, (bomba que incrementa la presión), en la línea de concentrado entre la primera y la segunda etapa, como se muestra a continuación en el diagrama de flujo



La bomba booster aumentara la presión de alimentación en la segunda etapa, produciendo un flujo de permeado mayor. la ventaja del diseño de regulación del permeado, a través de una válvula de contrapresión, es la sencillez de la unidad de osmosis inversa además de que su coste resulta más bajo.



Sin embargo, este diseño conlleva pérdidas adicionales de energía debido a la regulación del permeado y al mayor consumo de energía.

El diseño con la bomba entre etapas requiere la modificación del colector entre etapas y una unidad de bombeo adicional. La inversión para este diseño será mayor que en el primer diseño expuesto, pero a su vez el consumo de energía es menor.

10.4 CONFIGURACIÓN DE DOS PASOS

Para los sistemas de desalación de agua de mar, que es el caso que nos ocupa, a veces el uso de un sistema de osmosis inversa con una sola etapa no es capaz de producir el permeado con la salinidad necesaria, ya que, estos sistemas trabajan con un flujo de alimentación de alta salinidad, con altos porcentajes de recuperación (conversión) y con agua de alimentación a altas temperaturas.

Para conseguir una reducción adicional en la salinidad del permeado, el permeado que se obtiene en la primera etapa vuelve a ser desalado en un segundo sistema de osmosis inversa. Esta configuración recibe el nombre de diseño de doble paso.

Dependiendo de las cualidades requeridas, todo o parte del volumen de permeado del primer paso, es desalado de nuevo en el segundo paso del sistema.

La configuración de este sistema se conoce como un sistema completo o parcial de dos pasos dependiendo de si todo el permeado alimenta a la segunda etapa o no.

El permeado del primer paso es agua muy limpia, contiene concentraciones muy bajas de partículas suspendidas y de sales disueltas, además no requiere de ningún pretratamiento significativo.

El segundo paso del sistema puede trabajar con un promedio relativamente alto de flujo de permeado y con una alta conversión.

Los parámetros comunes de diseño para la segunda etapa del sistema de ósmosis inversa son un porcentaje de flujo promedio de 20

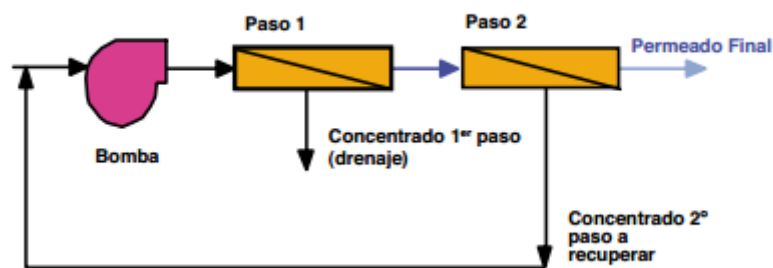


GFD y un porcentaje de recuperación del 85-90%.

En un sistema de dos pasos, el permeado fluye desde el primer paso a través del tanque de almacenamiento o es llevado directamente a la succión de la bomba de alta presión del segundo paso. Hay una gran variedad de configuraciones posibles en las unidades de dos pasos de ósmosis inversa.

Una configuración de un sistema parcial de dos pasos es la que se muestra a continuación:

Figura 29. Diseño de plantas de dos pasos



El permeado se divide en el primer paso en dos vertientes.

Una de las vertientes es procesada por la unidad que conforma el segundo paso y después se mezcla con la parte no procesada del permeado procedente de la primera etapa.

Siempre y cuando el segundo paso del sistema parcial pueda producir la calidad del permeado requerido, esta configuración requiere de una menor inversión y de menos gastos de operatividad, además de reunir un mayor porcentaje de recuperación de permeado comparado con un sistema completo de dos etapas.

Es un procedimiento común en los sistemas de dos etapas retornar el concentrado o rechazo desde el segundo paso a la succión de la bomba de alta presión del primer paso.

La concentración de sales disueltas en el rechazo procedente del segundo paso es normalmente menor que la concentración de sales del flujo de alimentación del primer paso.



Además, la mezcla del flujo de alimentación con el concentrado del segundo paso reduce ligeramente la salinidad de dicho flujo e incrementa el uso del flujo de alimentación en su totalidad.

11. ENSUCIAMIENTO (FOLULING) Y LIMPIEZA DE MEMBRANAS. CAUSAS DEL ENSUCIAMIENTO.

Partiendo de la base que la planta de ósmosis presenta un diseño y un uso adecuado, se puede decir que el ensuciamiento de las membranas es debido a un deficiente pretratamiento del agua de alimentación, bien por el uso de anti incrustantes o por métodos de limpieza ineficaces. Además el ensuciamiento de éstas, puede verse acelerado por otros parámetros como una mala regulación de la conversión de la planta o cambios no detectados en la calidad del agua de alimentación; implicando todo esto una posible disminución en el rendimiento de la planta.

Sin embargo, los síntomas de ensuciamiento no siempre se detectan de forma inmediata, si no que la variación de los parámetros normalizados de funcionamiento de la planta hace que se manifieste dicho ensuciamiento; lo que conlleva la programación de una pronta limpieza para recuperar cuanto antes los parámetros de partida de la planta.

Algunos de los parámetros que dejan ver que existe un ensuciamiento en las membranas, son:

- Aumento de las presiones de trabajo
- Disminución en la calidad del permeado
- Pérdidas de producción de la planta
- Aumento de pérdida de carga

Habitualmente, se estipula que la limpieza debe llevarse a cabo cuando hay variaciones del 10-15% en el valor de los parámetros de funcionamiento iniciales.



A continuación, se expone una guía general con las condiciones que deben presentarse para proceder a la eliminación del ensuciamiento (fouling):

- La presión aplicada se incrementa en un 10-15%
- La presión diferencial se incrementa en un 10%
- El paso de sales se incrementa en un 10-15%
- La calidad del agua permeada obtenida ha descendido en un 10-15%
- El caudal de permeado desciende en un 10-15% por debajo del valor del caudal a la presión normal de funcionamiento.
- La presión del agua de alimentación se incrementa en un 10-15% para mantener el caudal de agua permeada.
- El caudal de rechazo varía en más de un 10%

No obstante, incluso con el uso de un correcto pretratamiento, en el cual el anti incrustante sea eficaz, es inevitable que las membranas, sobre todo las de arrollamiento en espiral, presenten un cierto grado de ensuciamiento microbiológico (bacterias y materia orgánica), ya que esta configuración es ideal para el crecimiento y fijación de estos microorganismos, produciéndose biopelículas sobre la superficie de las mismas.

Cabe mencionar, que es importante tener en cuenta la situación de la instalación de la planta de osmosis inversa, ya que una elevada temperatura del agua de alimentación, en torno a los 30°C, favorece la formación de estos microorganismos.

11.1. TIPOS DE ENSUCIAMIENTO. TRATAMIENTO

Los tipos de ensuciamiento que se presentan con más asiduidad en las membranas para el tratamiento de aguas, son:

11.1.1. INCRUSTACIONES INORGÁNICAS.

Las más frecuentes son:



- Carbonato Cálcico: Este tipo de incrustaciones son las más comunes en las plantas de ósmosis inversa. Tiene efectos de forma inmediata, como pueden ser un aumento en la salinidad y en la presión diferencial. La eliminación de estas incrustaciones es fácil, ya que con el uso de cualquier ácido fuerte se provocara la eliminación de los cristales de carbonato cálcico que se provocan al precipitar este compuesto. Suele provocar empeoramiento de la calidad del permeado después de la limpieza química.
- Carbonato Magnésico: Al igual que en la anteriormente mencionada, tiene efectos de forma inmediata, como pueden ser un aumento en la salinidad y en la presión diferencial. La eliminación de estas incrustaciones es fácil, ya que con el uso de cualquier ácido fuerte se provocara la eliminación de los cristales de carbonato cálcico que se provocan al precipitar este compuesto. Suele provocar empeoramiento de la calidad del permeado después de la limpieza química.
- Sulfato Cálcico: cada vez es más frecuente la formación de este tipo de incrustaciones debido a la alta conversión a la que operan las plantas de ósmosis inversa. Los efectos de esta incrustación son muy parecidos a los de carbonato cálcico, aunque son más difíciles de eliminar. La disolución del sulfato cálcico no puede hacerse mediante el uso de ácidos fuertes, lo más acertado es el uso de agentes quelantes específicos.
- Sulfato Magnésico: sus efectos son iguales a los que produce el Sulfato Cálcico.
- Sulfato de Bario: es usual encontrarlo en agua de mar. Se producen precipitaciones de este incrustante incluso cuando la cantidad presente es mínima. Su presencia implica un empeoramiento en la calidad del permeado y es muy complicada su eliminación; siendo la forma más eficaz mediante agentes



quelantes específicos.

- Sales de Hierro y Aluminio: se eliminan con soluciones ácidas, por ejemplo ácido cítrico al 2%.
- Sílice: con estas incrustaciones hay que tener especial cuidado. En las superficies de las membranas, la precipitación de silicatos siempre está asociada a la presencia de hierro y aluminio. Provocan de forma progresiva una disminución en el caudal de producción y en la calidad del mismo; pueden llegar incluso a causar una deficiente retención de sales de las membranas. Su eliminación es muy difícil.
- El fluoruro cálcico o precipitaciones de fosfato cálcico no suelen presentarse en los sistemas de producción de agua potable.

11.2 ENSUCIAMIENTO POR MATERIA COLOIDAL

Los coloides son partículas que poseen un diámetro inferior a 1 micra, lo que hace que su eliminación por filtrado sea muy difícil, siendo necesaria una coagulación-floculación previa al filtro de arena para optimizar su retención.

Su presencia es debida a un ineficiente pretratamiento; estas permanecen en suspensión y suelen ser arcillas y bacterias.

La materia coloidal produce sus efectos más acusados en las primeras etapas de la planta, provocando una pérdida de producción y un aumento en la presión diferencial.

Su eliminación se realizara combinando la aplicación de surfactantes y agentes quelantes en medio alcalino, siendo fundamental un elevado caudal de recirculación de esta solución.

11.3 MATERIA ORGÁNICA

En toda membrana, el ensuciamiento por materia orgánica es muy frecuente, de hecho, es la causa más común en la disminución de rendimiento de las membranas y va asociada a un incremento en la



presión diferencial.

Esta materia orgánica procede del agua de alimentación y se deposita en la superficie de las membranas, lo que provoca un descenso en el caudal de producción y facilita la aparición de la biopelícula, la cual está formada por microorganismos que se nutren de la materia orgánica.

Esta biopelícula no daña físicamente a las membranas, pero su existencia hace muy complicada la recuperación total de los parámetros de funcionamiento de las mismas.

En las plantas de osmosis lo más recomendado es mantener la biopelícula estable, es decir tener un control sobre ella mediante la dosificación en pequeñas dosis de biocidas, los cuales deben ser no oxidantes y compatibles con las membranas.

12. CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA PARA ÓSMOSIS INVERSA

Realizar un seguimiento periódico del rendimiento y el funcionamiento de la planta de osmosis es fundamental para detectar el ensuciamiento de las membranas.

Es aconsejable también, realizar análisis químicos al agua de alimentación, ya que aportan datos del tipo y del potencial de ensuciamiento al que pueden estar expuestas las membranas. Además, las membranas deben ser limpiadas con periodicidad, al menos una vez al año, o bien, cuando los parámetros de funcionamiento normales de la instalación varían, habiendo sido expuestos estos anteriormente.

Para la correcta limpieza de las membranas hay que realizar una serie de etapas y tener en cuenta una serie de consideraciones importantes que a continuación se detallan:



12.1 ELABORACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE LIMPIEZA

- El agua para su elaboración debe ser de buena calidad y sin cloro. Se recomienda el uso de agua permeada y nunca utilizar agua con dureza.
- Tener la seguridad que las variaciones de Ph y temperatura del agua una vez añadidos los productos químicos de limpieza, se llevan a cabo de forma gradual.
- Dependiendo de la suciedad a eliminar puede ocurrir que la solución química que se necesite aplicar sea a una temperatura elevada del agua; esta temperatura puede variar entre 15° y 35°c.

12.2 LIMPIEZA DE LAS MEMBRANAS

Se realiza haciendo una recirculación de la solución de limpieza por el lado de alta presión de la membrana, a baja presión (siempre menor a 4 bar y el valor del caudal dependerá del diámetro de la membrana, para una membrana de 8" oscila entre 6 y 9 m³/h).

Mientras se realiza la limpieza, las válvulas de permeado y concentrado de retorno al tanque de limpieza permanecerán abiertas, no así la válvula de permeado al tanque de agua producto, que solo se abrirá una vez se tenga la certeza que la calidad del agua permeada es óptima.



Table 2. Summary of Recommended Cleaning Solutions

Solution	Ingredient	Quantity per 100 Gallons (379 Liters)	pH Adjustment
1	Citric Acid	17.0 pounds (7.7 kg)	Adjust to pH 4.0 with sodium hydroxide (NaOH)
	RO Permeate (Chlorine-Free)	100 gallons (379 liters)	
2	Sodium Tripolyphosphate	17 pounds (7.7 kg)	Adjust to pH 10.0 with sulfuric acid (H_2SO_4)
	Tetrasodium EDTA (Versene 220 or equal)	7 pounds (3.18 kg)	
	RO Permeate (Chlorine-Free)	100 gallons (379 liters)	
3	Sodium Tripolyphosphate	17 pounds (7.7 kg)	Adjust to pH 10.0 with sulfuric acid (H_2SO_4)
	Sodium Dodecylbenzene Sulfonate	2.13 pounds (0.97 kg)	
	RO Permeate (Chlorine-Free)	100 gallons (379 liters)	



Table 1. RO Membrane Element Foulant Symptoms

FOULANT	GENERAL SYMPTOMS	RESPONSE
1. Calcium Precipitates (carbonates and phosphates, generally found at the concentrate end of the system)	A marked decrease in salt rejection and a moderate increase in ΔP between feed and concentrate. Also, a slight decrease in system production.	Chemically clean the system with Solution 1.
2. Hydrated Oxides (iron, nickel, copper, etc.)	A rapid decrease in salt rejection and a rapid increase in ΔP between feed and concentrate. Also, a rapid decrease in system production.	Chemically clean the system with Solution 1.
3. Mixed Colloids (iron, organics, and silicates)	A slight decrease in salt rejection and a gradual increase in ΔP between feed and concentrate. Also, a gradual decrease over several weeks in system production.	Chemically clean the system with Solution 2.
4. Calcium Sulfate (generally found at the concentrate end of the system)	A significant decrease in salt rejection and a slight to moderate increase in ΔP between feed and concentrate. Also, a slight decrease in system production.	Chemically clean the system with Solution 2.
5. Organic Deposits	Possible decrease in salt rejection and a gradual increase in ΔP between feed and concentrate. Also, a gradual decrease in system production.	Chemically clean the system with Solution 2. For heavy fouling, use Solution 3.
6. Bacterial Fouling	Possible decrease in salt rejection and a marked increase in ΔP between feed and concentrate. Also, a marked decrease in system production.	Chemically clean the system with either of the solutions, depending on possible compounded fouling.

Note

All problems require the cause of the fouling to be corrected. Contact Hydraulics for assistance.



12.3 ACLARADO DE LA SOLUCIÓN DE LIMPIEZA. DESPLAZAMIENTO

En el momento en que finaliza el proceso de limpieza, las membranas y el circuito de limpieza deben someterse a un aclarado con agua que deberá tener la calidad apropiada para cada tipo de membrana.

Se considera que el proceso de aclarado ha finalizado cuando se tiene la certeza de que se ha desplazado totalmente la solución de limpieza del interior de las membranas.

12.4 PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACIÓN

Cuando finaliza la etapa de aclarado se vuelve a poner en marcha la instalación, desechando el agua producto durante 30 min al caudal nominal de diseño, para garantizar que se eliminan todas las posibles trazas de productos químicos que pueden quedar en la línea de agua osmotizada.

13. EQUIPOS DE ALTA PRESIÓN EMPLEADOS EN LA ÓSMOSIS INVERSA

En una planta de ósmosis inversa los equipos de alta presión están constituidos por dos elementos:

- ❖ Bombas de alta presión
- ❖ Recuperador de energía

13.1 BOMBAS DE ALTA PRESIÓN

Una vez realizada la captación del agua, esta es impulsada mediante bombas de alta presión a los bastidores/bancos de membranas; estas bombas suministrarán la presión necesaria para que se realice el proceso de osmosis inversa.

Es fundamental realizar una buena elección de la bomba a usar,



ya que es en la etapa de bombeo donde se consume más energía.

Algunos de los parámetros a tener en cuenta para dicha elección serán:

- Presión de bombeo
- Rendimiento
- Mantenimiento
- Consumo de energía

Las bombas de alta presión se pueden dividir según dos tipos:

13.1.1 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO O ALTERNATIVAS

Estas bombas se basan en la transformación de energía mecánica en hidráulica.

Suministran la misma cantidad de líquido en cada ciclo o revolución del elemento de bombeo, independientemente de la presión que encuentre el líquido a su salida.

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un aspa, un diente de engranaje, un tornillo, etc. y la carcasa o el cilindro.

“El movimiento del desplazamiento positivo” consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara; por tanto, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), si no que puede tener movimiento rotatorio (rotor); de ahí que estas bombas se puedan clasificar a su vez en:

- Recíprocantes
- Rotatorias

Estas bombas de desplazamiento positivo, también reciben el nombre de bombas volumétricas, debido a que siempre hay una cámara



que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión).

Una de las ventajas del uso de estas bombas es que no necesitan “cebarse” para poder operar, es decir, no es necesario llenar previamente el tubo de succión y el cuerpo de la bomba para que esta pueda iniciar su funcionamiento, tal y como sucede en las bombas centrífugas, las cuales explicare a continuación de estas.

Otra ventaja, quizá la más importante es que estas bombas poseen un alto rendimiento hidráulico y un bajo consumo energético.

También hay que mencionar algunas de las ventajas que presentan, como el hecho de que la presión que es suministrada por la bomba siempre es igual a la requerida por el sistema, independientemente del número de revoluciones; todo esto conlleva que las presiones que se alcancen sean muy elevadas y como consecuencia tengan que ser instaladas válvulas de seguridad.

Un inconveniente es que generan muchas vibraciones debido a que suministran una presión y un caudal intermitentes. Hay diversos sistemas para minimizar estas vibraciones, como sistemas silenblock y mangueras antivibración para aislar la bomba de la instalación y amortiguadores de pulsaciones para minimizar las vibraciones de la bomba.

Estas bombas de desplazamiento positivo se suelen usar en plantas pequeñas en las que se opere con altas presiones.



13.1.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son por tanto máquinas hidráulicas que transforman la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requerida.

Esta clase de bomba está formada por los siguientes elementos constructivos:

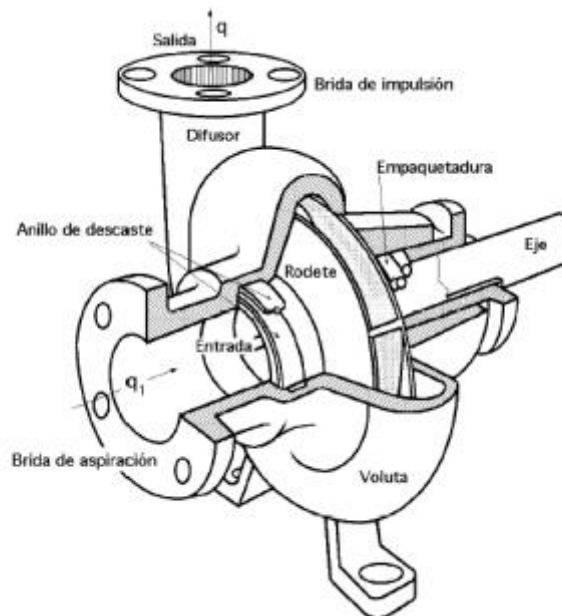
- ✓ Una tubería de aspiración
- ✓ Impulsor o rodete, que está constituido por una serie de alabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular llamada voluta. El rodete va unido al eje y es la parte móvil de la bomba.

El funcionamiento de esta es sencillo:

El fluido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que es alimentado por un motor. Los alabes que conforman el rodete someten a las partículas del fluido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el



exterior por la fuerza centrífuga que se genera, de tal manera que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión según la distancia al eje. La elevación del fluido se produce por la reacción entre este y el rodete, el cual lleva un movimiento de rotación. La voluta, que tiene forma de caracol, tiene como función recoger al fluido que lleva gran velocidad, disminuirla y actuar como un transformador de energía, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, al mismo tiempo que cambia la dirección del movimiento del fluido y lo encamina hacia la brida de impulsión de la bomba por donde evacua el mismo.



Las propiedades de esta clase de bombas son las siguientes:

- Según va aumentando la presión el caudal disminuye
- El caudal es uniforme
- La potencia que absorbe la bomba es proporcional al peso específico del fluido
- Para el funcionamiento de una bomba centrífuga el motor que se requiere es pequeño y la potencia absorbida a lo largo del funcionamiento es continua y libre de cargas.



Estas bombas, aun teniendo menor rendimiento hidráulico que las de desplazamiento positivo, son las más usadas debido a que el mantenimiento que necesitan es sencillo y además son fiables.

Existen cuatro tipos de bombas centrifugas:

- ✚ Bomba de cámara partida horizontal
- ✚ Bomba segmentada
- ✚ Bombas centrifugas con tubo de Pitot
- ✚ Bombas centrifugas de alta velocidad

Dependiendo del tipo de instalación en la que se utilicen y del tamaño de la misma, se optará por la utilización de un tipo u otro de bomba.

13.2 SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA. OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Uno de los principales inconvenientes en el proceso de desalación por osmosis inversa es el elevado consumo energético que se produce en el bombeo a alta presión, lo que supone elevados costes en el funcionamiento de la instalación.

En los últimos años, la optimización de energía por parte de las instalaciones de osmosis inversa, y en el caso que nos ocupa en el presente proyecto en la producción de agua potable a partir de agua de mar, ha sido objeto de numerosas investigaciones, obteniendo resultados positivos mediante la instalación de sistemas recuperadores de energía.

Estos sistemas recuperadores de energía se basan en el aprovechamiento de la energía residual que porta la salmuera resultante del proceso de producción mediante la transformación de la presión de la corriente de rechazo en presión positiva para la corriente de aporte.

Existen diversos tipos de recuperación de energía, siendo los que más destacan:

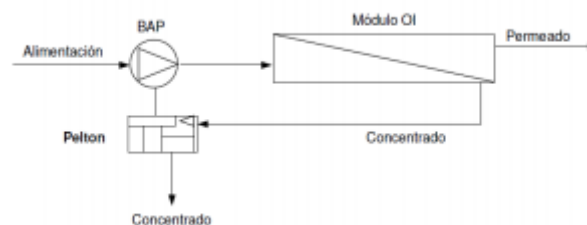


13.2.1 TURBINA PELTON

Esta turbina emplea el caudal de rechazo que se produce en el proceso de osmosis inversa, transformando la energía de presión del mismo en energía cinética en el distribuidor; este distribuye, dirige y acelera el chorro de fluido hacia el rodete, pasando primero por el inyector que está compuesto por una válvula de aguja y un deflector. La válvula de aguja regula el caudal del fluido y el deflector evita que se produzca el golpe de ariete; desde aquí el fluido pasa al rodete y se hace incidir sobre los alabes o cucharas del mismo tangencialmente, dentro del rodete se transforma la energía cinética en energía de rotación. El fluido sale de los alabes y es dirigido hacia la tubería de descarga. Rígidamente unido al rodete se sitúa el eje de la turbina que está dispuesto sobre cojinetes debidamente lubricados; este transmite el movimiento de rotación que lleva el fluido al salir del rodete al eje del motor de alta presión.

Esta clase de turbinas se utiliza en plantas de capacidad media-alta y son de fácil mantenimiento.

El consumo específico que resulta al utilizar estas turbinas se reduce hasta 4 kWh/m^3 , pero con la aparición de los intercambiadores de presión el uso de estas turbinas ha sido relegado a un segundo plano.



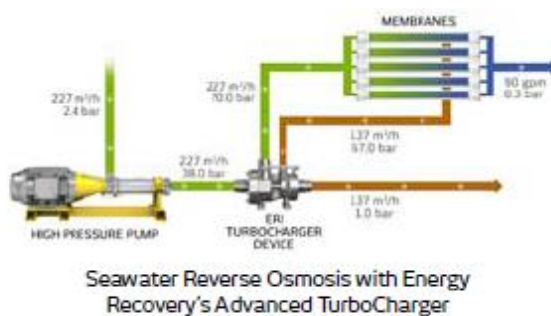
13.2.2 TURBOCHARGER

Este sistema, también llamado convertidor hidráulico centrífugo, representa un avance tecnológico en los procesos de recuperación de energía en las plantas de osmosis inversa.

Está constituido por una turbina y una bomba directamente acopladas, sin necesidad de utilizar un motor adicional, la turbina y la bomba contienen un rotor fabricado en una sola pieza.

El rechazo entra en la turbina del turbo y el rotor se encarga de convertir la energía hidráulica con la que llega la corriente de rechazo en energía mecánica, a continuación el impulsor de la bomba convierte esta energía mecánica en presión.

Cabe mencionar que este sistema presenta una serie de ventajas tales como, su eficiencia, fiabilidad, fácil mantenimiento y empaque reducido. Se consiguen consumos de 3-3,5kwh/m³



13.2.3 CONVERTOR HIDRÁULICO DINÁMICO

Estos conversores presentan diferentes tipos de configuración según su fabricante, aunque todos tienen como base operacional el intercambio de las presiones entre dos fluidos mediante el uso de tuberías o cilindros que transfieren la presión del rechazo resultante al flujo de alimentación.

Como ejemplo de funcionamiento de conversor hidráulico dinámico, también llamado sistema intercambiador de presión o cámara isobárica, realizaré una descripción del sistema ERI.

Este se basa en el principio de incompresibilidad de los líquidos, el cual permite someter a presión a un volumen de líquido sin apenas gasto energético.



Este principio se aplica de forma práctica mediante el uso de dos cámaras isobáricas en forma de bucle cerrado que intercambian su contenido entre el flujo de alimentación (agua de mar) a osmotizar y el rechazo obtenido durante el proceso osmótico.

El anillo cerrado que configura las cámaras isobáricas conecta a las mismas a través de una válvula de accionamiento neumático, que estará fabricada en materiales cerámicos y plástico, cuyo desplazamiento de intercomunicación se realiza a velocidad baja para evitar golpes de ariete.



El funcionamiento de este sistema intercambiador de energía (SIP), consiste en que el agua de alimentación y el rechazo obtenido circulan a través de cada una de las cámaras isobáricas alternativamente.

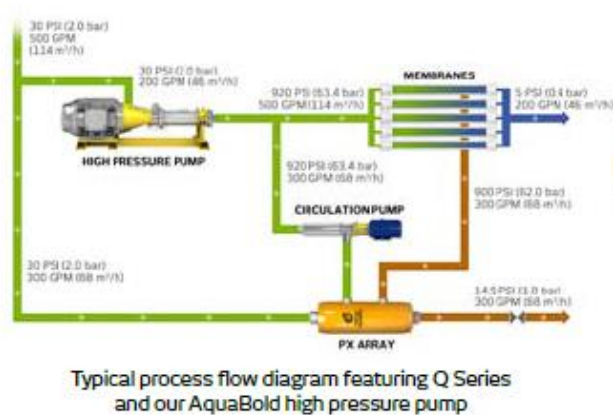
Estas cámaras funcionan bajo ciclos alternos, de manera que cuando en una de ellas se lleva a cabo la carga de una de las corrientes y la descarga de la otra, en la otra cámara se produce la descarga de la primera corriente y la carga de la segunda.

La corriente de rechazo transfiere la energía de presión al empujar la corriente de alimentación en ciclos de 12 segundos de duración. Debido a la geometría de las cámaras, el flujo de alimentación y de rechazo se desplazan en el interior de ellas en el mismo sentido, para evitar de esta manera la pérdida de energía que se produciría si estos



flujos circularan a contracorriente dentro de las mismas.

La disposición del sistema de cámara isobárica en la planta de ósmosis inversa es la misma que para los demás intercambiadores de presión; se instala en paralelo con la bomba de alimentación de alta presión de la planta y en serie con una bomba booster, como se puede ver en el siguiente diagrama de flujo.



Actualmente este es el sistema más usado de recuperación de energía en las plantas de osmosis inversa, pues los consumos específicos que se obtienen están por debajo de los 3 kwh/m³ y en el caso de la desalación de agua de mar pueden alcanzarse en torno a los 2.17kwh/m³; además poseen un alto rendimiento, pudiendo aprovechar entre un 97-98% de la energía contenida en el rechazo obtenido.

14. POSTRATAMIENTOS

El agua producto (permeado) obtenida del proceso de ósmosis inversa normalmente tiene una alcalinidad y dureza bajas, con un marcado carácter agresivo, por lo que requieren un tratamiento posterior para su corrección antes de ser distribuidas.

El tipo de tratamiento de corrección dependen principalmente del proceso de desalación empleado y de la calidad del agua producto obtenida.



Los postratamientos que se llevan a cabo para aguas desaladas son:

14.1 REMINERALIZACIÓN CON LECHOS DE CALCITA

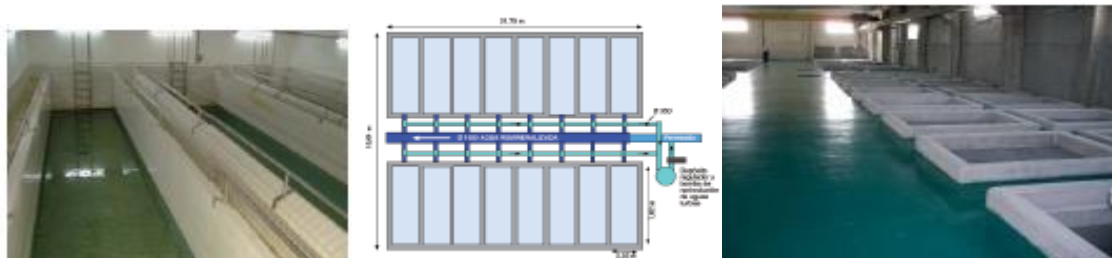
Se emplean al mismo tiempo para la eliminación de CO_2 , ajuste de Ph e incorporar cierta dureza al agua, quitándole así el carácter agresivo y haciéndola apta para el consumo humano.

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

1	Carbonato cálcico + Disolución de carbono	$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$	50,1 mg CaCO_3 100% 22 mg CO_2	20 mg Ca^{2+}
---	--	---	---	------------------------

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

Los lechos filtrantes se instalan dentro de filtros abiertos o cerrados a presión. Los dos sentidos de filtración son posibles: Ascendente o descendente. Existe una variante de los lechos ascendentes que son los de alimentación en continuo o altura constante. (Ver figuras 2, 3 y 4)



Cuando se trata de flujo descendente, el material neutralizante desempeña también el papel de filtro mecánico: al hacerlo presenta una



tendencia al atascamiento en su parte inferior, que varía con el porcentaje de finos de la calcita.

Generalmente, esto obliga a efectuar lavados a contracorriente cada 10-14 días. Los contralavados se hacen coincidir con las recargas de los filtros y se realizan siguiendo una secuencia como la siguiente:

1. Aire 3 min. a $80 \text{ nm}^3/\text{h}$ y m^2
2. Aire 5 min, a $80 \text{ nm}^3/\text{h}$ y m^2 + agua a 20 m/h.
3. Agua 5 min. a 30 m/h.
4. Agua 5 min. a 50 m/h.
5. Agua 30 min. a caudal nominal (10-16 m/h).

El consumo anual de agua de estos lavados es equivalente a la producción de la planta en un día.

Cuando la filtración es ascendente el procedimiento se hace coincidir también con el proceso de carga aunque el paso 4, antes mencionado no es necesario.

Para el caso de los lechos de flujo ascendente y altura constante, el mantenimiento requiere solo de esponjamientos el consumo anual de agua de estos lavados es equivalente a la producción de la planta en un día.

Cuando la filtración es ascendente el procedimiento se hace coincidir también con el proceso de carga aunque el paso 4, antes mencionado no es necesario.

Para el caso de los lechos de flujo ascendente y altura constante, el mantenimiento requiere solo de esponjamientos periódicos 1 o 3 veces al año. El objetivo de los esponjamientos es eliminar los posibles cauces preferenciales que puedan haberse generado en el lecho.

Para los esponjamientos se recomienda la siguiente secuencia:

1. min. con aire a $80 \text{ nm}^3/\text{h}$ y m^2 .
2. 30-45 min. con agua a caudal nominal (10-16 m/h).

Esta secuencia se repite 4 o 5 veces dependiendo de la altura del



lecho y el porcentaje de finos de calcita.

Es importante constatar que las limpiezas de los lechos de calcita, sobre todo después de carga inicial deben hacerse según estas recomendaciones, ya que en caso de contralavados insuficientes permanece en el lecho material suficiente para causar problemas de turbidez durante algún tiempo.

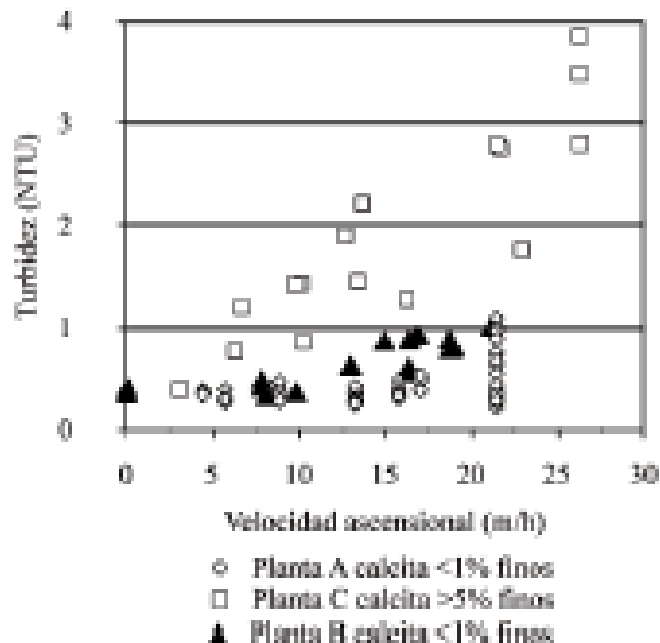
La altura del lecho filtrante suele estar entre 2 y 3 metros.

Lechos de mayor altura suponen un problema a la hora de poder limpiarlos. La velocidad de filtración suele estar entre 8 y 16 m/h.

A continuación, describiré en detalle los criterios de diseño para los lechos de calcita ascendentes.

14.1.1 VELOCIDAD ASCENSIONAL

En los lechos ascendentes con dosificación en continuo, la calidad de la calcita dicta la turbidez del agua de salida



En la figura, se ilustra esta relación para lechos de partículas de 2 mm. Los ensayos se realizaron después de llevar la planta en



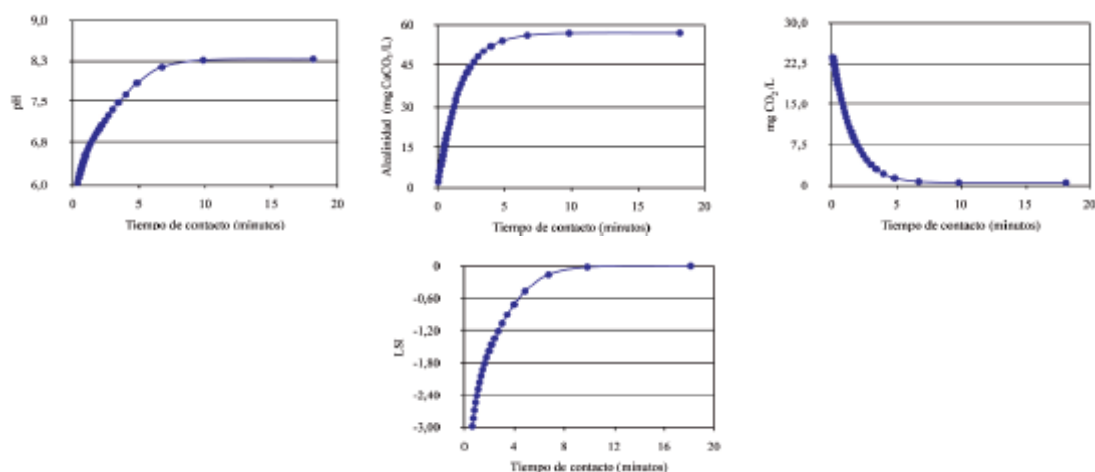
funcionamiento varios meses. Estos datos han sido corroborados posteriormente con otras plantas.

De acuerdo con los datos se observa que el valor supera 1 NTU generalmente a partir de los 20 m/h. en la práctica se seleccionan velocidades entre 10 y 15 m/h. en los lechos de calcita sin alimentación en continuo as velocidades son similares.

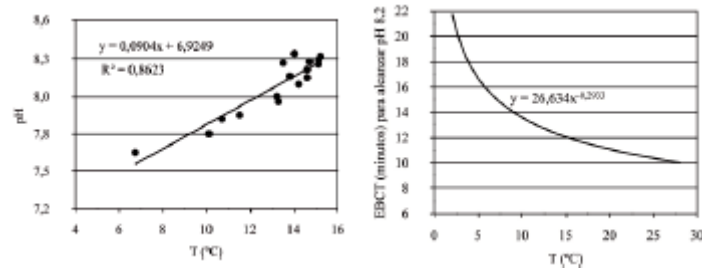
14.1.2 TIEMPO DE CONTACTO O EBTC

El cálculo del tiempo de contacto en lecho vacío o EBTC (empty bed contact time) se realiza por medio de una simulación matemática del proceso de saturación de los lechos de calcita. Dicha simulación esta contrastada con numerosos datos de campo. Se asume que la calcita tendrá una pureza del 99% y una granulometría de 1-3 mm. Los resultados de la simulación que aparecen en las figuras desde la 6 hasta la figura 10, se refiere a un permeado normal:

Ph=6.2; 2.8mg HCO₃⁻/l; 1.5mg Ca²⁺; 3Mg CO₂/l; 200mg STD/l Y
T=22 °C Y UNA DOSIFICACION DE 23mg CO₂/l.



De acuerdo con estos gráficos se selecciona normalmente un tiempo de contacto de 11 min. Aunque para aguas más frías se alcanzan los 14-20 min. Ver las siguientes figuras:



Cuando se busca aumentar la alcalinidad y dureza aumentando la dosis de CO_2 , por ejemplo hasta 70 mg CO_2/l , se requieren un EBTC de 18-20 min. Para alcanzar la fase casi plana de la curva de saturación.

14.2 DESINFECCIÓN (POST-CLORACIÓN)

La desinfección del agua es necesaria como uno de los últimos pasos a realizar antes del consumo humano.

El agua se almacena en un depósito de manera que existe riesgo de que se vuelva a contaminar; por este motivo hay que desinfectar el agua de nuevo.

Los agentes desinfectantes que más se utilizan son el cloro y sus derivados; es posible emplear compuestos tales como:

14.2.1 GAS CLORO

Primero el cloro se almacena como líquido en recipientes presurizados y se inyecta como gas directamente en el agua producto. Es muy utilizado por su bajo coste. Se emplea cuando se tratan grandes caudales.

14.2.2 HIPOCLORITO DE SODIO

Esta solución es corrosiva pero mucho menos peligrosa y más fácil de manejar que el gas cloro. El líquido se diluye simplemente y después se mezcla con el agua producto para realizar la desinfección. Este tratamiento es de mayor costo que el del gas cloro.



14.2.3 ULTRAVIOLETA

Con el Sistema ultravioleta se obtiene una buena desinfección y una eliminación completa de los virus, bacterias y demás microorganismos, a condición de que se apliquen sobre una capa de agua de poco espesor y con una potencia suficiente, con una longitud de onda determinada (254nm). Estando el agua clara, sin turbiedad ni color, se consigue que toda célula viva atacada por los rayos ultravioletas, muera o, al menos, no puede reproducirse o actuar sobre el medio ambiente.

Los sistemas de desinfección ultravioleta canalizan el agua a través de lámparas sumergidas que emiten dosis laterales de rayos UV, destruyendo cualquier agente patógeno.

El valor de la dosis depende de la intensidad de la radiación y del tiempo de exposición.

Además de su seguridad y eficacia, los rayos UV no alteran el sabor, color, u olor del agua, eliminando el riesgo de enfermedades causadas por contaminación microbiológica.

Ventajas:

- Sin aditivos químicos
- Actúa en intervalos muy breves de tiempo
- No afecta al olor ni al sabor del agua
- Muy eficiente

15. INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DE OSMOSIS

En una planta de ósmosis inversa hay que comprobar que cumple con las especificaciones relativas de calidad de agua producida, caudal y consumo energético.

Es fundamental controlar el recorrido del agua durante todo el proceso y que todos los equipos que constituyen la instalación tengan un funcionamiento correcto. Debido a esto, se necesitaran instrumentos



de medición e instrumentos de control y protección.

15.1 INSTRUMENTOS DE PRESIÓN

Se dispondrá de manómetros para la medición en los siguientes puntos de la instalación:

- Entrada y salida del filtro de arena
- Entrada y salida del filtro de cartuchos
- Entrada y salida de la bomba de alta presión
- Entrada y salida de la bomba booster
- Entrada y salida de la primera y de la segunda etapa de membranas
- Mediciones de presión en el recuperador energético.
- Presostato de baja para la protección de sistema.
- Presostato de alta en el permeado.
- Presostato de alta en la entrada a las membranas.
- Transmisor de presión en la entrada de la bomba de alta presión para el control de la bomba de alimentación.
- Instalación de medidor de temperatura en la alimentación de la planta

15.2 MEDIDORES DE CALIDAD DEL AGUA

- Entrada de la instalación
- Agua permeada

15.3 MEDIDORES DE CAUDAL

- Entrada bomba de alta presión
- Entrada agua de alimentación a recuperador
- Agua permeada
- Agua de rechazo de salida del recuperador
- Caudal de salida de la bomba booster



15.4 MEDIDOR DE Ph DEL AGUA PRODUCTO

- Para medición del Ph del agua producto

▼B

ANEXO I

PARÁMETROS Y VALORES PARAMÉTRICOS

PARTE A

Parámetros microbiológicos

Parámetro	Valor paramétrico (número/100 ml)
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0
Enterococos	0

A las aguas comercializadas en botellas u otros recipientes se aplicarán los valores siguientes:

Parámetro	Valor paramétrico
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0/250 ml
Enterococos	0/250 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 ml
Recuento de colonias a 22 °C	100/ml
Recuento de colonias a 37 °C	20/ml



PARTE B

Parámetros químicos

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Acrilamida	0,10	µg/l	Nota 1
Antimonio	5,0	µg/l	
Arsénico	10	µg/l	
Benceno	1,0	µg/l	
Benzo(a)pireno	0,010	µg/l	
Boro	1,0	mg/l	
Bromato	10	µg/l	Nota 2
Cadmio	5,0	µg/l	
Cromo	50	µg/l	Nota 3
Cobre	2,0	mg/l	Nota 3
Cianuro	50	µg/l	
1,2-dicloroetano	3,0	µg/l	
Epiclorhidrina	0,10	µg/l	Nota 1
Fluoruro	1,5	mg/l	
Plomo	10	µg/l	Notas 3 y 4
Mercurio	1,0	µg/l	
Níquel	20	µg/l	Nota 3
Nitrato	50	mg/l	Nota 5
Nitrito	0,50	mg/l	Nota 5
Plaguicidas	0,10	µg/l	Notas 6 y 7
Total plaguicidas	0,50	µg/l	Notas 6 y 8
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	0,10	µg/l	Suma de concentraciones de compuestos especificados; nota 9
Selenio	10	µg/l	
Tetracloroetano y tricloroetano	10	µg/l	Suma de concentraciones de parámetros especificados
Total trihalometanos	100	µg/l	Suma de concentraciones de compuestos especificados; nota 10
Cloruro de vinilo	0,50	µg/l	Nota 1

Nota 1: El valor del parámetro se refiere a la concentración monomérica residual en el agua, calculada con arreglo a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua.

Nota 2: Cuando sea posible sin que afecta a la desinfección, los Estados miembros deberán procurar obtener un valor más bajo.

Para las aguas a que se refieren las letras a), b) y d) del apartado 1 del artículo 6, el valor se cumplirá, a lo sumo, a los diez años naturales de la fecha de entrada en vigor de la presente Directiva. Para el período comprendido entre el quinto y el décimo año a partir de la entrada en vigor de la presente Directiva, el valor paramétrico de bromato será de 25 µg/l.

▼B

Nota 3: El valor se aplica a una muestra de agua destinada al consumo humano, obtenida por un método adecuado de muestreo ⁽¹⁾ en el grifo y recogida de modo que sea representativa de un valor medio semanal ingerido por los consumidores. Cuando proceda, los métodos de muestreo y control deberán efectuarse de una forma armonizada, que se establecerá con arreglo al apartado 4 del artículo 7. Los Estados miembros tendrán en cuenta la presencia de valores punta que puedan provocar efectos adversos en la salud humana.

Nota 4: Para las aguas a que se refieren las letras a), b) y d) del apartado 1 del artículo 6, el valor se cumplirá, a lo sumo, a los quince años naturales de la fecha de entrada en vigor de la presente Directiva. Para el período comprendido entre el quinto y el decimoquinto año a partir de la entrada en vigor de la presente Directiva, el valor del parámetro plomo será de 25 µg/l.

Los Estados miembros velarán por que se adopten todas las disposiciones apropiadas a fin de reducir cuanto sea posible la concentración de plomo en las aguas destinadas al consumo humano durante el plazo necesario para cumplir el valor de este parámetro. Al poner en práctica las medidas necesarias para cumplir este valor, los Estados miembros darán progresivamente prioridad a las zonas con máximas concentraciones de plomo en las aguas destinadas al consumo humano.

Nota 5: Los Estados miembros velarán por que a la salida de las instalaciones de tratamiento de aguas se respete la cifra de 0,10 mg/l para los nitritos y se cumpla la condición de que $[\text{nitrato}]/50 + [\text{nitrito}]/3 \leq 1$, donde los corchetes significan concentraciones en mg/l para el nitrato (NO₃) y para el nitrito (NO₂).

Nota 6: Por «plaguicidas» se entiende:

- insecticidas orgánicos,
- herbicidas orgánicos,
- fungicidas orgánicos,
- nematocidas orgánicos,
- acaricidas orgánicos,
- alguicidas orgánicos,
- rodenticidas orgánicos,
- molusquicidas orgánicos,
- productos relacionados (entre otros, reguladores de crecimiento) y sus pertinentes metabolitos y productos de degradación y reacción.

Sólo es preciso controlar aquellos plaguicidas que sea probable que estén presentes en un suministro dado.

Nota 7: El valor paramétrico se aplica a cada uno de los plaguicidas. En el caso de la aldrina, la dieldrina, el heptacloro y el heptacloropóxido, el valor paramétrico es de 0,030 µg/l.

Nota 8: Por «total plaguicidas» se entiende la suma de todos los plaguicidas detectados y cuantificados en el procedimiento de control.

Nota 9: Los compuestos especificados son:

- benzo(b)fluoranteno
- benzo(k)fluoranteno
- benzo(ghi)perileno
- indeno(1,2,3-cd)pireno

Nota 10: Cuando sea posible sin que afecte a la desinfección, los Estados miembros deberán procurar obtener un valor más bajo.

Los compuestos especificados son: cloroformo, bromoformo, dibromoclorometano, bromodichlorometano.

Para las aguas a que refieren las letras a), b) y d) del apartado 1 del artículo 6, el valor se cumplirá, a lo sumo, a los diez años naturales de la fecha de entrada en vigor de la presente Directiva. Para el período comprendido entre el quinto y el décimo año a partir de la entrada en vigor de la presente Directiva, el valor paramétrico de THM totales será de 150 µg/l.

Los Estados miembros se cerciorarán de que se adopten todas las medidas adecuadas para reducir la concentración de THM en el agua destinada al consumo humano en la mayor medida posible durante el período necesario para lograr el cumplimiento del valor paramétrico.

Al aplicar las medidas necesarias para cumplir este valor, los Estados miembros darán progresivamente prioridad a las zonas con máximas concentraciones de THM en el agua destinada al consumo humano.

⁽¹⁾ Se añadirá cuando se disponga de los resultados del estudio actualmente en curso.



PARTE C

Parámetros indicadores

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Aluminio	200	µg/l	
Amonio	0,50	mg/l	
Cloruro	250	mg/l	Nota 1
<i>Clostridium perfringens</i> (incluidas esporas)	0	número/100-ml	Nota. 2
Color	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos		
Conductividad	2 500	µS cm ⁻¹ a 20 °C	Nota 1
Concentración en iones hidrógeno	≥ 6,5 y ≤ 9,5	unidades pH	Notas 1 y 3
Hierro	200	µg/l	
Manganeso	50	µg/l	
Olor	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos		
Oxidabilidad	5,0	mg/l O ₂	Nota 4
Sulfato	250	mg/l	Nota 1
Sodio	200	mg/l	
Sabor	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos		
Recuento de colonias a 22 °C	Sin cambios anómalos		
Bacterias coliformes	0	número/100-ml	Nota 5
Carbono orgánico total (COT)	Sin cambios anómalos		Nota 6
Turbidez	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos		Nota 7

RADIOACTIVIDAD

Parámetro	Valor paramétrico	Unidad	Notas
Tritio	100	Bq/l	Notas 8 y 10
Dosis indicativa total	0,10	mSv/año	Notas 9 y 10

Nota 1: El agua no deberá contener materias corrosivas.

Nota 2: Este parámetro es necesario medirlo sólo si el agua procede total o parcialmente de agua superficial. En caso de incumplimiento de este valor paramétrico, el Estado miembro afectado investigará el suministro para asegurarse de que de la presencia de microorganismos patógenos como, por ejemplo, el *cryptosporidium* no se desprende peligro potencial alguno para la salud humana. Los Estados miembros incluirán en su informe los resultados de todas estas investigaciones, de conformidad con el apartado 2 del artículo 13.

Nota 3: Para el agua sin gas envasada en botellas u otros recipientes, el valor mínimo podrá reducirse a 4,5 unidades pH.

Para el agua envasada en botellas u otros recipientes que sea naturalmente rica en dióxido de carbono o con adición artificial de éste, el valor mínimo podrá ser inferior.

Nota 4: No es necesario medir este parámetro si se analiza el parámetro COT.

Nota 5: Para las aguas envasadas en botellas u otros recipientes, la unidad es número/250 ml.

▼B

- Nota 6:* No es necesario medir este parámetro para suministros de menos de 10 000 m³ por día.
- Nota 7:* Cuando se trate de tratamiento de aguas superficiales, los Estados miembros deberán intentar lograr un valor paramétrico no superior a 1,0 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) en el agua a la salida de las instalaciones de tratamiento.
- Nota 8:* La periodicidad del control se indicará posteriormente, en el anexo II.
- Nota 9:* Excluido el tritio, el potasio -40, el radón y los productos de desintegración del radón. La periodicidad del control, los métodos de control y los lugares más adecuados para la toma de muestras se indicarán posteriormente en el anexo II.
- Nota 10:* ► **M2** 1. La Comisión adoptará las propuestas requeridas en virtud de la nota 8, sobre la periodicidad del control, y de la nota 9 sobre la periodicidad del control, los métodos de control y los lugares más adecuados para los puntos de control, que se indican en el anexo II. Estas medidas, destinadas a modificar elementos no esenciales de la Directiva, se adoptarán con arreglo al procedimiento de reglamentación con control contemplado en el artículo 12, apartado 3.
- Al elaborar dichas propuestas, la Comisión tomará en consideración, entre otras, las disposiciones pertinentes con arreglo a la legislación existente o a los programas de control adecuados, incluidos los resultados del control que se deriven de los mismos. ◀
2. No será necesario que los Estados miembros controlen el agua potable respecto del tritio ni la radiactividad para establecer la dosis indicativa total cuando consideren que sobre la base de otros controles llevados a cabo los niveles de tritio o de la dosis indicativa total del agua se encuentran muy por debajo del valor paramétrico. En ese caso comunicará las razones de su decisión a la Comisión, incluyendo los resultados de esos otros controles llevados a cabo.



PROYECTO FIN DE CARRERA
PLANTA ÓSMOSIS INVERSA DE UN FERRY TIPO ROPAX



CAPÍTULO 2: DESARROLLO DEL PROCESO PRÁCTICO

1. INTRODUCCIÓN
2. PARÁMETROS DE DISEÑO
 - 2.1. DATOS DE FUNCIONAMIENTO
 - 2.2. ANÁLISIS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN
3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO
 - 4.1. BASTIDOR DE ÓSMOSIS
 - 4.2. UNIDAD DE BOMBEO DE ALIMENTACIÓN
 - 4.2.1 CÁLCULO DE BOMBA DE ALIMENTACIÓN
 - 4.2.2 EQUIPO SELECCIONADO
 - 4.3. PRETRATAMIENTO QUÍMICO
 - 4.3.1 CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DE INHIBIDOR
 - 4.3.2 EQUIPO SELECCIONADO
5. PRETRATAMIENTO FÍSICO
 - 5.1 FILTRO DE ARENA
 - 5.1.1 CÁLCULO DE FILTRO DE ARENA
 - 5.1.2 EQUIPO SELECCIONADO
 - 5.2 UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN
 - 5.2.1 CÁLCULO DE MICROFILTRACIÓN
 - 5.2.2 EQUIPO SELECCIONADO
6. UNIDAD DE OSMOSIS INVERSA
 - 6.1 CÁLCULO DE OSMOSIS INVERSA
 - 6.2 EQUIPO SELECCIONADO



7. UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN
 - 7.1 CÁLCULO DE UNIDAD DE BOMBEO
 - 7.2 EQUIPO SELECCIONADO

8. UNIDAD DE LIMPIEZA QUÍMICA DE MEMBRANAS Y FLUSHING CON PERMEADO
 - 8.1 CÁLCULO DE EQUIPO
 - 8.1.1 CÁLCULO DE BOMBA DE LIMPIEZA QUÍMICA
 - 8.1.2 CÁLCULO DE DEPÓSITO DE LIMPIEZA QUÍMICA
 - 8.2 EQUIPO SELECCIONADO

9. INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN Y CONTROL

10. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

11. ARMARIO ELÉCTRICO

12. TUBERÍAS

13. VALVULERÍA.



PROYECTO FIN DE CARRERA
PLANTA ÓSMOSIS INVERSA DE UN FERRY TIPO ROPAX



OBJETIVO

Una vez seleccionado el sistema de desalación, en esta parte del proyecto se desarrollan los cálculos para el diseño óptimo del sistema de membranas de ósmosis inversa, definiendo los equipos y materiales, más adecuados para un mejor rendimiento de la instalación, usando materiales robustos y primando el rendimiento energético.



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la parte práctica de este proyecto, es el diseño de un sistema de abastecimiento de agua tomando como referencia, las necesidades hídricas de un Ferry tipo ROPAX, teniendo en cuenta todos los consumos y servicios hídricos del barco.

Se han considerado unas necesidades de agua de 400 m³/día, que estimando un 25% de seguridad y de imprevistos, se calcula una capacidad total de producción de 500m³/día.

2. PARÁMETROS DE DISEÑO.

2.1 DATOS DE FUNCIONAMIENTO

SALINIDAD 38.000 ppm.

Procedencia del agua:	agua de mar
Temperatura de diseño:	20°C
Conversión de la planta:	45%
Presión de operación a los 3 años:	56 bar

	<u>Agua Alimentación</u>	<u>Agua Producto</u>
Caudal de agua	1110 m ³ /día	500 m ³ /día
Salinidad (S.T.D.):	38.000 ppm	250 ppm
Ph:	7,4	5,9

Régimen de funcionamiento:	Continuo o intermitente.
Modelo de operación:	Manual o automático.
Dispositivos de protección:	Automáticos.



2.2. ANÁLISIS DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN TIPO

TAS (sólidos totales disueltos)	38.000	
Ph:	7,4	
Conductividad:	33000	μS/cm.
Calcio:	431	ppm.
Magnesio:	1412	ppm.
Sodio	11577	ppm.
Potasio	500	ppm.
Bicarbonatos	157	ppm.
Sulfatos	3050	ppm.
Cloruros	20850	ppm.
Silice	18	ppm.
Hierro	0	ppm.
Sólidos en suspensión	0	ppm.
SDI (Índice de atascamiento)	<3	%15 min.

3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

El agua de alimentación será bombeada hasta el punto de toma de la planta desde la toma de agua a través de una bomba sumergible adecuada. La presión del agua de alimentación en el punto de toma de la planta será de 3 a 4 bar. en operación normal de la planta.

Una vez impulsada hacia la planta, se somete el agua de alimentación a un exhaustivo pretratamiento antes de que llegue a las membranas de ósmosis. Este pretratamiento tiene como objeto evitar daños en las membranas, eliminando para ello sustancias indeseables presentes en el agua de alimentación y ajustando sus parámetros químicos.



El Pretratamiento Químico que se realiza al agua de alimentación consiste en:

- Inhibición de la precipitación de sulfatos de Calcio, Estroncio y Bario mediante la dosificación de un dispersante (dependiendo de las características del dispersante a veces también inhibe la precipitación de carbonatos, hierro y sílice).

La Unidad Dosificadora de químico incluye un depósito con capacidad para operar la planta durante un mínimo de 7 días. Todos los depósitos están provistos de un interruptor de nivel para la activación de la alarma de aviso de bajo nivel y para la parada de la planta por nivel mínimo. El pretratamiento propuesto tiene por objeto proteger las membranas de osmosis y evitar una frecuencia excesiva de lavados químicos de éstas.

El Pretratamiento Físico tiene por objetivo eliminar posibles sustancias indeseables, partículas en suspensión y coloides que pudiesen existir en el agua de alimentación. El pretratamiento físico se compone de:

- Etapa de filtración en filtro multimedia (filtro de arena con diferentes granulometrías). El filtro/s de arena debe lavarse periódicamente para eliminar las partículas que han sido retenidos en la operación normal. La detección de la necesidad de lavado se realiza mediante la lectura de la presión diferencial entre entrada y salida del filtro. El lavado se realiza automáticamente con agua de alimentación bombeada a contracorriente.
- Etapa de microfiltración con cartuchos de polipropileno extruido con selectividad de una micra. La necesidad de



cambio de los cartuchos de la unidad de microfiltración también se realiza mediante la lectura de la presión diferencial del agua al atravesar la unidad.

Una vez realizado el pretratamiento físico-químico, el agua de alimentación acondicionada es dirigida hacia una unidad de bombeo de alta presión. Esta Unidad está formada por un grupo motobomba de tipo Centrífuga Multietapa, que impulsa el agua hacia la Unidad de Osmosis Inversa. Se dispone de un sistema de recuperación energético que aprovecha la energía de salida del rechazo. La presión de diseño del agua de alimentación a la bomba de alta presión será de 2-3 bar.

Para evitar daños en las bombas de alta presión por caída de presión, se instalará un presostato de baja, a la entrada de las bombas de alta presión, que parará automáticamente en el sistema (bomba de alimentación, bombas dosificadoras, bombas de alta presión) para presiones inferiores a la de diseño.

La unidad de Osmosis Inversa está formada por una (1) Unidad dotada con seis (6) tubos de presión, con siete (7) elementos de membrana cada uno y un total de cuarenta y dos (42) elementos de membrana. Cada tubo de presión tiene una entrada, y dos salidas (una para el permeado y otra para el rechazo).

El agua producto (permeado) será dirigida hacia un depósito con una capacidad de 5000 litros para ser posteriormente usada en diferentes procesos. Con este depósito situado a la salida de la planta se consigue mantener un almacenamiento de permeado, cuyo objetivo es:

- Eliminar de forma automática el rechazo, diluido previamente con agua de alimentación en los tubos de presión cuando se efectúen paradas de la planta (sistema Flushing).
- Proporcionar agua permeada al depósito de la Unidad de Limpieza Química de Membranas.



El rechazo final se evacuará hacia la salida de efluentes que se disponga, procurando evitar todo contacto y/o posible contaminación con la fuente del agua de alimentación.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO.

Las principales unidades que componen el sistema completo de la planta son los siguientes:

4.1. BASTIDOR

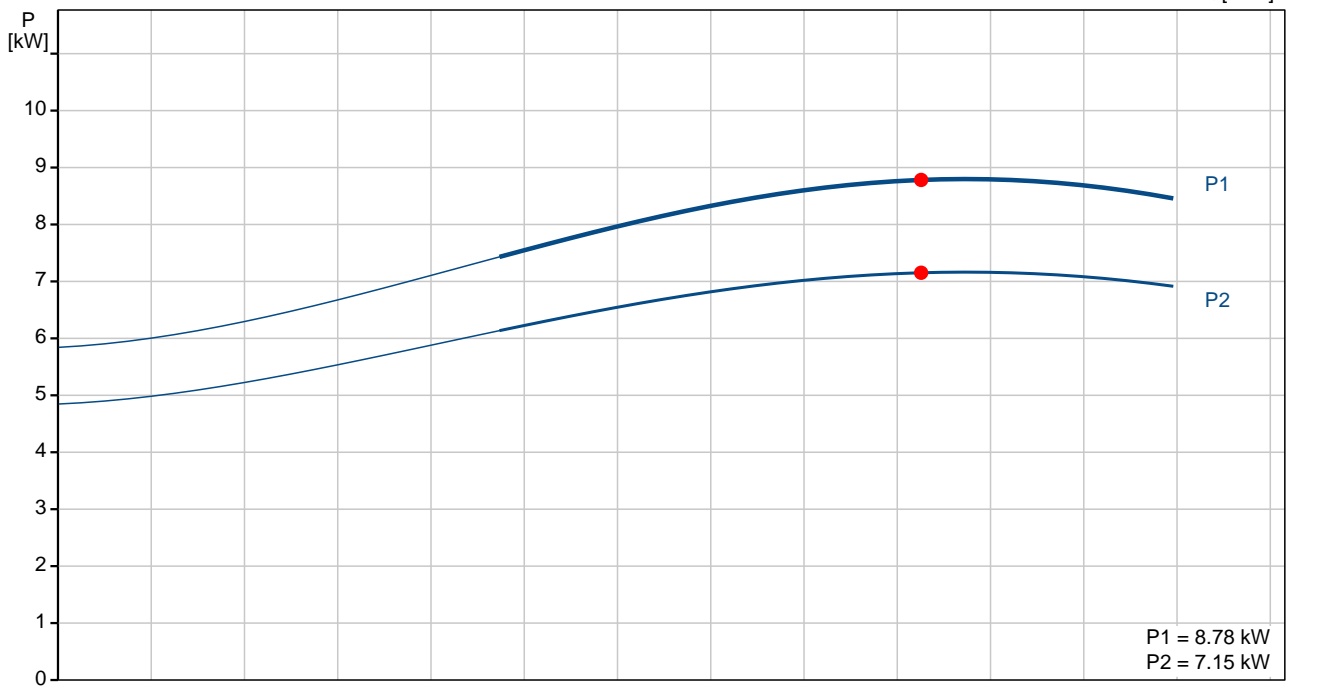
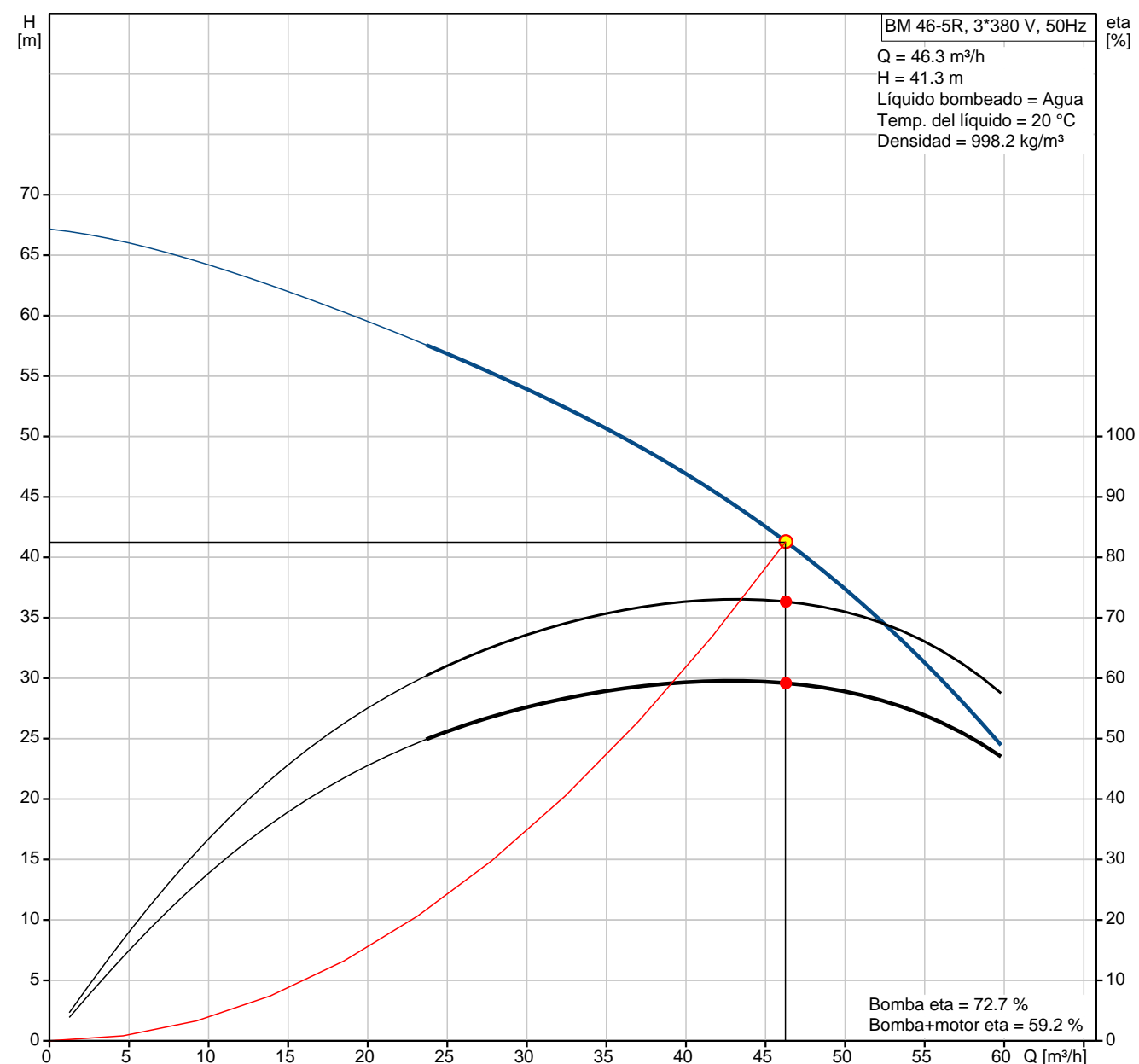
En el diseño se ha considerado la instalación montada sobre un bastidor en el que se integrarán los equipos mecánicos instrumentos de medición y control, armario eléctrico, así como los tubos de presión con las membranas de Osmosis Inversa y demás equipos eléctricos.

El bastidor se construirá con perfiles rectangulares de Acero al Carbono protegido mediante chorreado con arena grado SA 2 ½ , imprimación con silicato de zinc con espesor de 75 micras, capa de pintura epoxi intermedia de 80 micras y acabado de poliuretano alifático brillante de forma que el conjunto sea altamente resistente al agua salada y ambientes húmedos o salinos. Además con un suelo sobre la base de chapa de aluminio anodizado totalmente resistente a la corrosión.

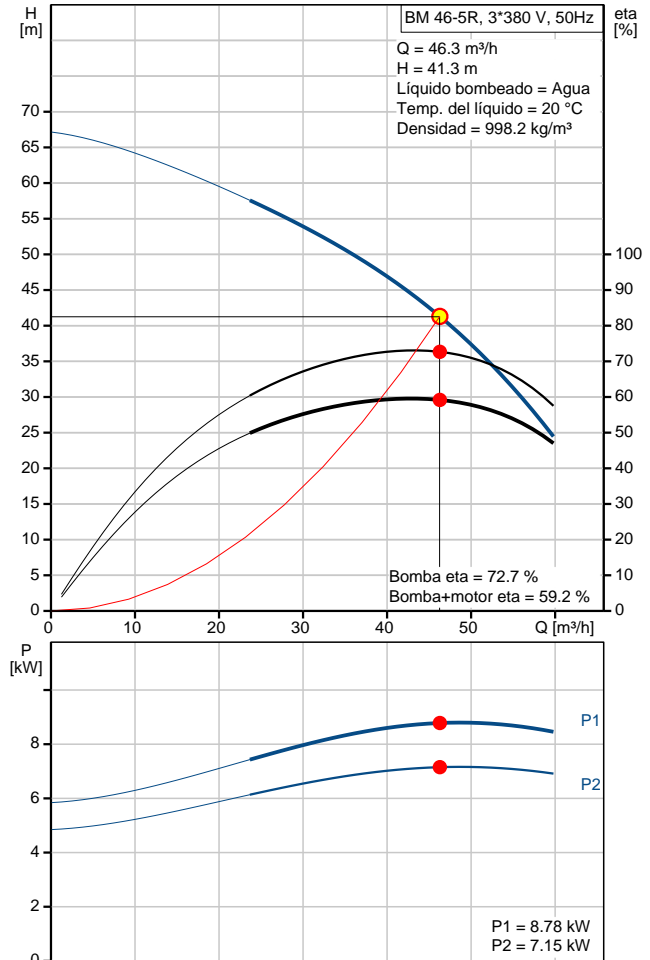
4.2. UNIDAD DE BOMBEO DE ALIMENTACIÓN

4.2.1. CALCULO DE LA UNIDAD DE BOMBEO

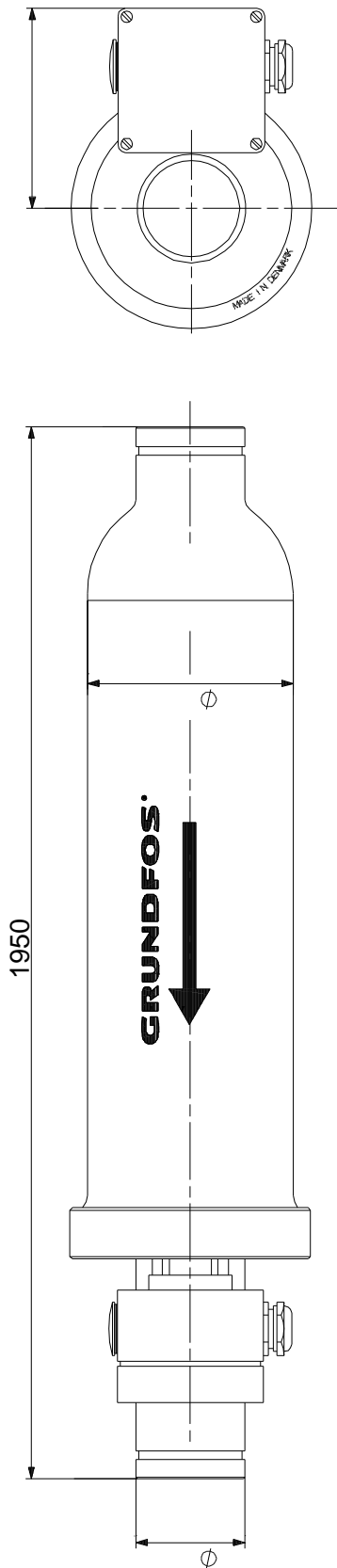
15C71905 BM 46-5R 50 Hz



Descripción	Valor
Producto::	BM 46-5R
Código::	15C71905
Número EAN::	5700393963009
Precio:	Bajo pedido
Técnico:	
Caudal real calculado:	46.3 m ³ /h
Altura resultante de la bomba:	41.3 m
Tolerancia de curva:	ISO 9906:1999 Annex A
Etapas:	5
Modelo:	E
Materiales:	
Bomba:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4539 AISI 904 L
Impulsor:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4539 AISI 904 L
Motor:	Acero inox. DIN W.-Nr. 1.4539 AISI 904 L
Camisa:	Acero inox. DIN W.-Nr. 1.4462 AISI SAF 2205
Caucho:	NBR
Instalación:	
Presión máx. de entrada:	50 bar
Presión máx. de descarga:	80 bar
Tipo de brida:	PJE
Dimensión de conexiones:	recta
Diámetro de conexiones:	89 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	0
Temperatura máxima del líquido:	40 °C
Temp. líquido:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m ³
Viscosidad cinemática:	1 mm ² /s
Datos eléctricos:	
Potencia nominal - P2:	7.5 kW
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	3 x 380-415 V
Tipo de arranque:	directo
Factor de trabajo:	1.15
Corriente nominal:	17,6-17,8 A
Grado de protección (IEC 34-5):	IP54
Motor N°:	78195612
Otros:	
Peso neto:	82 kg
Peso bruto:	117 kg
Volumen:	0.335 m ³



15C71905 BM 46-5R 50 Hz



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.



4.2.2. EQUIPO SELECCIONADO

Bomba de Alimentación

Unidades	1
Tipo	Centrífuga Multietapa sumergible
Caudal	46,25 m ³ /l
Presión	4,1 bar
Materiales	904L
Potencia media absorbida	7,15kw
Rendimiento estimado	59,2%
Velocidad máxima	3000rpm

Motor eléctrico

Potencia motor	7,5kw
Rendimiento estimado	90%
Alimentación eléctrica	4x400v 50Hz

5..PRETRATAMIENTO QUÍMICO.

5.1. CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DE INHIBIDOR.

Project Information	
Project Name	Ropax-500 m3/día
Project Customer	José Pedro Murcia
Customer	Manuela Murcia
Calc Version	2.0.0
Project Date	14.03.2015

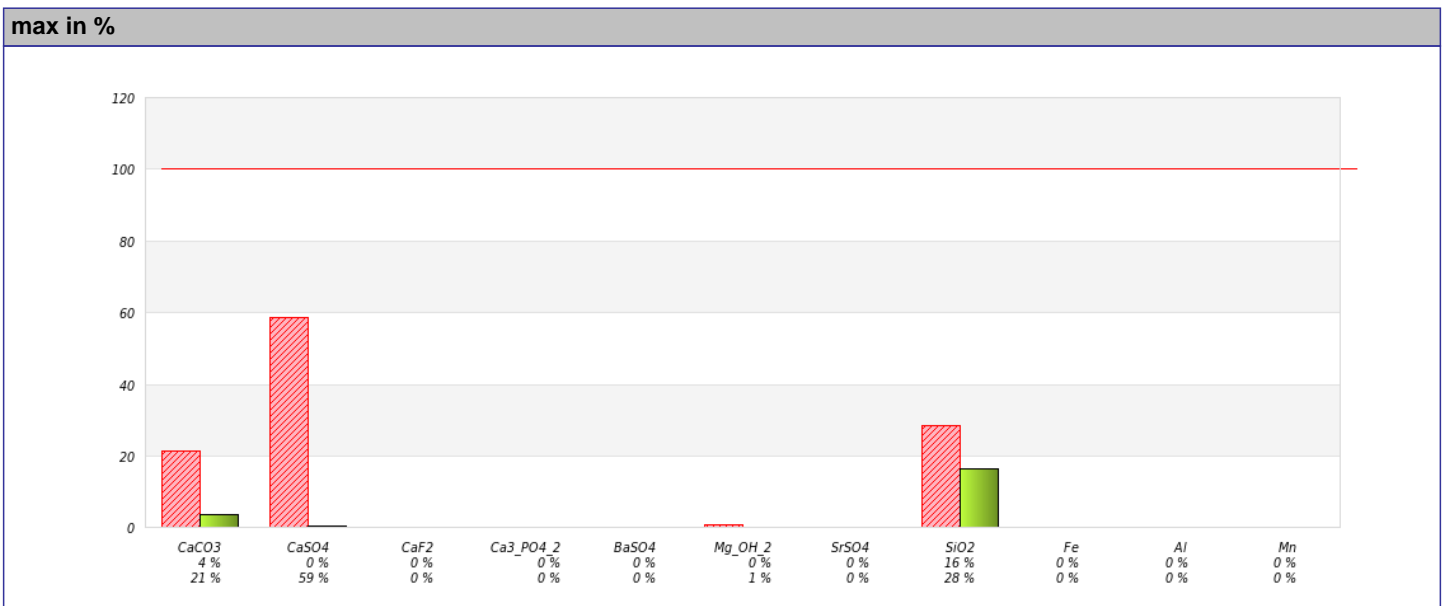
Plant Operation Data	
Type of Water	Sea Open Intake
Feed Flow	46.67 m3/h
Product Flow	21.00 m3/h
Concentrate Flow	25.67 m3/h
Operation Time	24.00 h/d
Recovery	45.00 %
Concentration Factor	1.82 -
SDI	3.00 -
Rejection	99.70 %

Antiscalant & Dosing Amount	
Antiscalant Selection	RPI-2800(Seawater Only)
Total Feed Dose	0.83 mg/l
Brine Concentration	1.51 mg/l
Daily requirement	0.93 kg
Daily requirement	0.81 l
Comments	Please select another antiscalant.

pH-Control	
Acid/Alkali Selection	Without acid/alkali
Acid/Alkali Concentration	0.00 %
Total Feed Dose	0.00 mg/l
Daily requirement	0.00 kg
Daily requirement	0.00 l

Water Analysis		Raw	Feed	Brine	
Calcium	Ca	431.00	431.00	782.23	mg/l
Magnesium	Mg	1412.00	1412.00	2562.67	mg/l
Sodium	Na	11577.00	11756.98	21338.03	mg/l
Potassium	K	200.00	200.00	362.98	mg/l
Ammonium	NH4	0.00	0.00	0.00	mg/l
Barium	Ba	0.00	0.00	0.00	mg/l
Strontium	Sr	0.00	0.00	0.00	mg/l
Iron	Fe	0.00	0.00	0.00	mg/l
Aluminium	Al	0.00	0.00	0.00	mg/l
Manganese	Mn	0.00	0.00	0.00	mg/l
Sulfate	SO4	3050.00	3050.00	5535.52	mg/l
Chloride	Cl	20850.00	20850.00	37841.16	mg/l
Fluoride	F	0.00	0.00	0.00	mg/l
Carbonate	CO3	0.99	0.99	1.80	mg/l
Bicarbonate	HCO3	157.00	157.00	284.94	mg/l
Carbon Dioxide	CO2	7.10	7.10	7.10	mg/l
Nitrate	NO3	0.00	0.00	0.00	mg/l
Phosphate	PO4	0.00	0.00	0.00	mg/l
Silicate	SiO2	18.00	18.00	32.67	mg/l
Bromide	Br	0.00	0.00	0.00	mg/l
Boron	B	0.00	0.00	0.00	mg/l
pH-Value	pH	7.40	7.40	7.63	-
TDS	(TDS)	37695.99	37875.97	68742.01	mg/l
Temperature		20.00			°C
LSI	(LSI)	0.31	0.31	1.03	-
SDSI	(SDSI)	-0.54	-0.54	0.11	-

Seawater Solubility	
Fe in Feed Water	0.00 mg/l
Fe Max Solubility	0 mg/l
Fe in Treatment	0 mg/l





5.2 EQUIPO SELECCIONADO.

Al considerarse una dosificadora de 0,75l/h y la dosis es muy baja se diluye el producto químico al 10% para que la dosificadora trabaje en un punto óptimo:

0,81l/día -> 0,034l/h=34cc/h puro

Diluida al 10% -> 340cc/h

Punto de trabajo de dosificadora -> 45%

Motobomba Dosificadora

Unidades	1
Tipo	Electromagnética de membrana
Material cabezal bomba	PVC
Caudal máximo	0,75l/h
Contrapresión máx. admisible	10bar
Alimentación eléctrica	220v. 60Hz.
Consumo máximo	7W

Depósito

Material	Polietileno
Capacidad	100l.
Válvula 4 funciones	Antisifón, Retención, Purga de cebado, descarga línea de impulsión.
Accesorios	Aspiración y lastre, caña de inyección, tubo flexible de PE y cable de mando.

Interruptor de nivel



6. PRETRATAMIENTO FÍSICO

6.1. FILTRO DE ARENA

6.1.1 Cálculo del filtro de arena

Se considera una velocidad de $10\text{m}^3/\text{hora} \times \text{m}^2$.

Tenemos un caudal de alimentación de $46,25\text{m}^3/\text{h}$, por lo que nos saldría un área de filtración de:

$$46,25\text{m}^3/\text{hora} : 10\text{m}^3/\text{hora} \times \text{m}^2 = 4,82\text{m}^2$$

El filtro estándar considerado es de \varnothing ext. 1840mm con un área de $2,5\text{m}^2$, con lo que se instalarían 2 filtros en paralelo, teniendo una superficie total de 5m^2 y una velocidad de filtrado de $9,25\text{m}^3/\text{hora} \times \text{m}^2$.

El material seleccionado es poliéster reforzado, para evitar la corrosión

6.1.2 Equipo seleccionado

Filtro de Presión

Unidades	2
Tipo	Vertical
Presión	5 bar
Material del cuerpo	Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio
Caudal unitario	$46,25\text{m}^3/\text{h}$
Velocidad de filtrado	$9,25\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{h}$
Diámetro exterior	1840mm
Superficie de filtración unitaria	2,54
Cantidad de arena por unidad	3500Kg
Lavado del filtro	Automático
Válvulas	PVC
Actuadores	Neumáticos; doble efecto
Compresor	1



6.2. UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN

6.2.1 Cálculo de la Unidad de Microfiltración (filtro cartucho)

Se considera una velocidad de $0,75\text{m}^3/\text{h}$ por cada $10''$ de filtro.

Tenemos un caudal de alimentación de $46,25\text{m}^3/\text{h}$, por lo que obtendríamos una longitud total de filtración de:

$$4,625\text{m}^3/\text{h} : 0,75\text{m}^3/\text{h} \times 10'' = 61,7$$

El filtro de cartucho estándar considerado es de 18 cartuchos de $40''$, por lo que sería de una velocidad de filtración real de:

$$46,25\text{m}^3/\text{h} : (18 \times 4) = 0,64\text{m}^3/\text{h} \times 10''$$

El material seleccionado será poliéster reforzado para evitar Corrosiones.

6.2.2 Equipo Seleccionado

Carcasa para Filtro de Cartucho

Unidades	1
Caudal Unitario	$46,25\text{m}^3/\text{h}$
Selectividad Filtro	1 micra
Nº de Cartuchos por unidad	18
Longitud Cartucho	$40''$
Velocidad de filtrado	$0,64\text{m}^3/\text{h}$. pulg
Presión de Diseño	8bar
Material del Cuerpo	Poliéster reforzado con fibra de vidrio
Material Cartuchos	Polipropileno

7. UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA

7.1. CÁLCULO DE OSMOSIS INVERSA

Referencia : Caso: Fecha: 14/03/2015 10:59
 Titulo Proy. :

 Prog-Version: 1.1.87 * Rev.: 29Sep11/430 ** El-Version: 2572-DEV * Rev.: 01.Nov.2011

1. DATOS SISTEMA OI

 Tipo de Agua Sea Open Intake
 Temp. alimentation 20,00 deg.C (diseño)
 Presion neta aliment. 55,76 bar tras 3 años, estimacion
 Dif.presion total 0,71 bar alim-rechazo incl. colector
 Presion Rechazo 55,05 bar antes valv. control rech.
 Periodo de diseño 3,00 años
 Tolerancia Fouling 0,85 after 3 años, estimacion
 Aumento pass. de sales 23,00 % after 3 años, estimacion (7% per year)
 Indice de bloqueo 4,00 en alim.OI (SDI_15)
 Conversion total 45,00 %
 Caudal Alimentacion 1111,11 m3/d = 46,30 m3/h
 Caudal Producto 500,00 m3/d = 20,83 m3/h
 Flux medio sistema 0,32 m/d = 13,3 l/m2/h = 7,83 GFD
 Caudal Rechazo 611,11 m3/d = 25,46 m3/h
 Salinidad alimentacion 37995,61 ppm ion
 Salinidad Producto 245,85 ppm ion tras 3 años, estimacion
 Salinidad Rechazo 68881,38 ppm ion

2. DATOS DE BANCO 1

 Elementos OI Tipo TM820V-
 400
 Elementos OI No. 42
 Elementos/caja 7
 Caja de presion No. 6

 Conversion % 45,00
 Alimentacion m3/d 1111,11
 Producto m3/d 499,96
 Flux medio l/m2/h 13,30
 Caudal Rechazo m3/d 611,15

 Presion Aliment. bar 55,76
 dP elementos bar 0,71
 dP colectores bar 0,00
 Presion Rechazo bar 55,05
 P. Producto bar 0,00

 1er elemento
 Alimentacion m3/d 185,19
 Producto m3/d 20,90
 Flux l/m2/h 23,34

 Ultimo elemento
 Producto m3/d 4,73
 Producto:Rechazo 1: 21,55
 Rechazo m3/d 101,86
 Presion neta bar 5,27

Referencia : Caso: Fecha: 14/03/2015 10:59
 Titulo Proy. :

3. ANALISIS como ppm ion	Alim. Orig	Alim. Tratada	Conc. Rech.	Prod. Esperado
Calcio	431,00	431,00	782,95	0,84
Magnesio	1412,00	1412,00	2565,02	2,75
Sodio	11577,00	11577,00	20978,17	86,69
Potasio	500,00	500,00	904,81	5,24
Cloruros	20850,00	20850,00	37792,63	142,34
Sulfatos	3050,00	3050,00	5540,03	6,63
Bicarbonatos	157,00	156,78	282,39	1,25
Carbonatos	0,61	0,62	2,16	0,00
Silice	18,00	18,00	32,62	0,14
CO2 libre	7,11	7,27	7,55	7,26
Total como ion	37995,61	37995,50	68881,38	245,85
Total como meq/l	654,03	654,03	1185,73	4,17
EC uS/cm	49825,01	49824,95	84529,27	476,49
CO2 EC uS/cm	2,99	3,02	3,08	3,02
pH	7,40	7,40	7,60	5,45
Indice Langelier	0,44	0,43	1,13	-6,17
Indice StiffDavis	-0,55	-0,56	0,06	-6,06

4. PRETRATAMIENTO

Medidas contra precip-CaCO3 : Nada
 Inhibidor Incr. SO4- y CO3-: Nada
 Indice Saturacion Rechazo : 0,0 max. (Indice StiffDavis)

5. LIMITE CONVERSION

para	PI Rech.	Saturacion	Max. Conv.
CaSO4	1,13E-3	49,9%	61,1%
BaSO4	0,00E0	0,0%	95,0%
SrSO4	0,00E0	0,0%	95,0%
CaF2	0,00E0	0,0%	95,0%
Silice		23,6%	87,0%

6. TRATAMIENTO PRODUCTO

Medida in permeato : Nada



7.2. EQUIPO SELECCIONADO

Se selecciona la membrana TM820V-400, como membrana standard de agua de mar recomendada por el fabricante.

La Unidad de Osmosis Inversa está formada por un bando de ósmosis:

Tubos de presión	
Nº de tubos	6
Nº membranas por tubo	7
Longitud aproximada tubo	7,5m.
Presión max. de alimentación	70bar
Elementos de membrana	
Unidades	42
Longitud unitaria	1m.
Diámetro	8"
Material	Poliamida Aromática
Tipo	De agua de mar
Datos de Operación	
Caudal de alimentación	1.110m ³ /d
Presión max. de alimentación	70bar
Conversión	45%
Caudal agua producto	500 m ³ /d

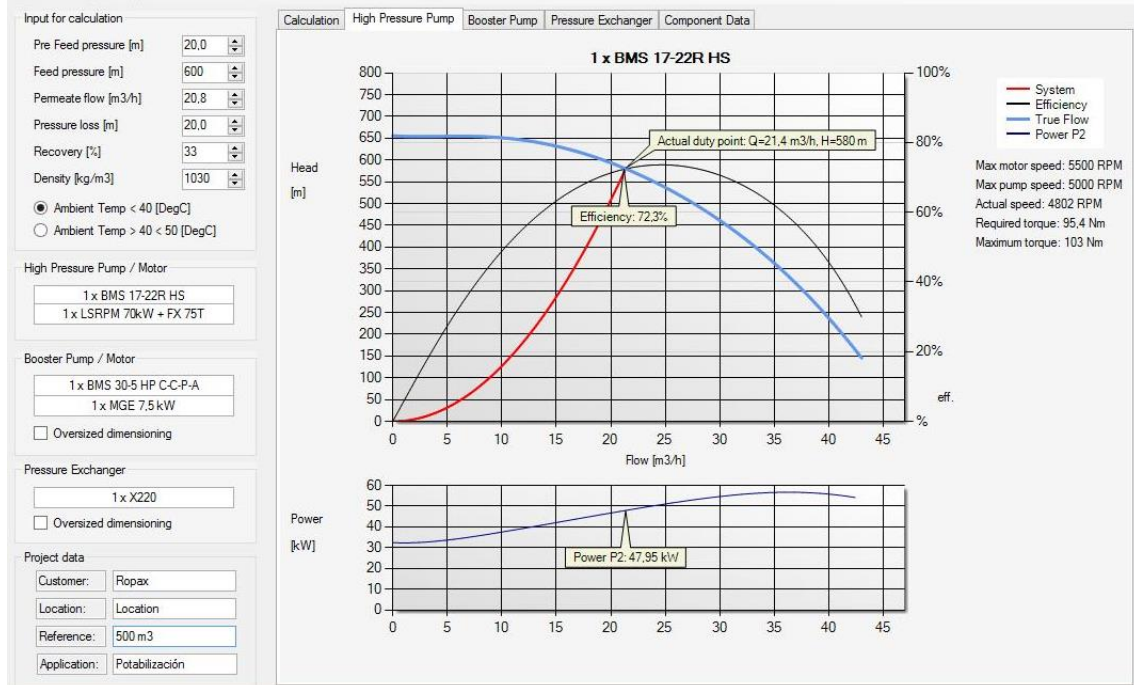
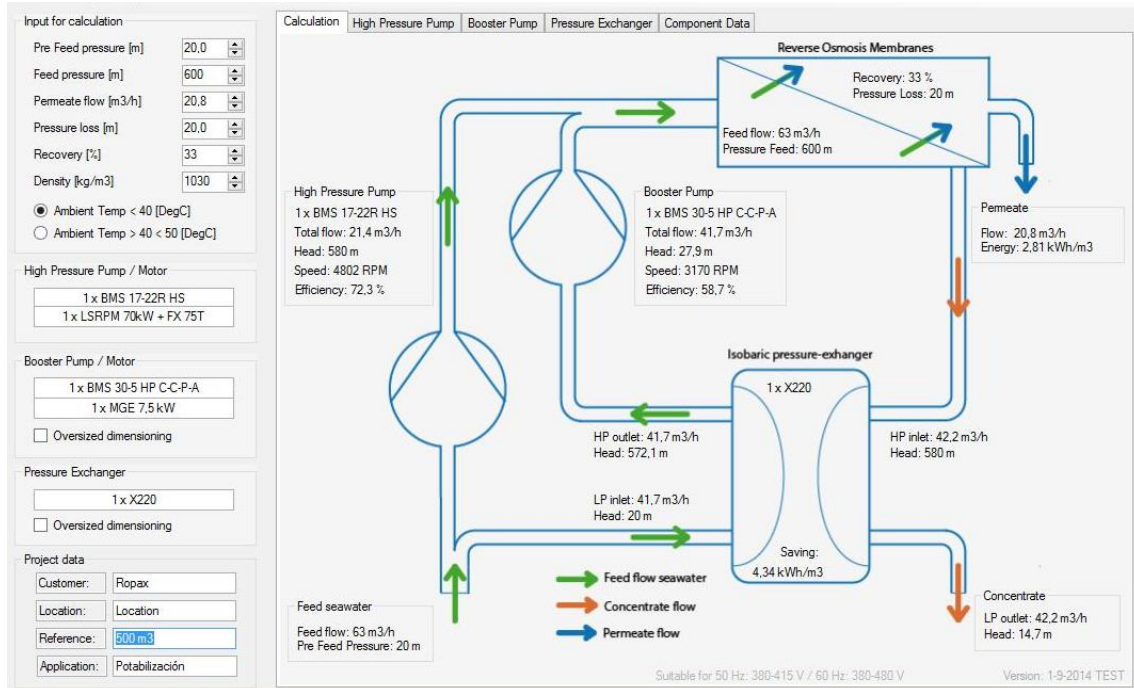
8.UNIDAD DE BOMBEO DE ALTRA PRESIÓN

8.1. CÁLCULO DE UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN



PROYECTO FIN DE CARRERA

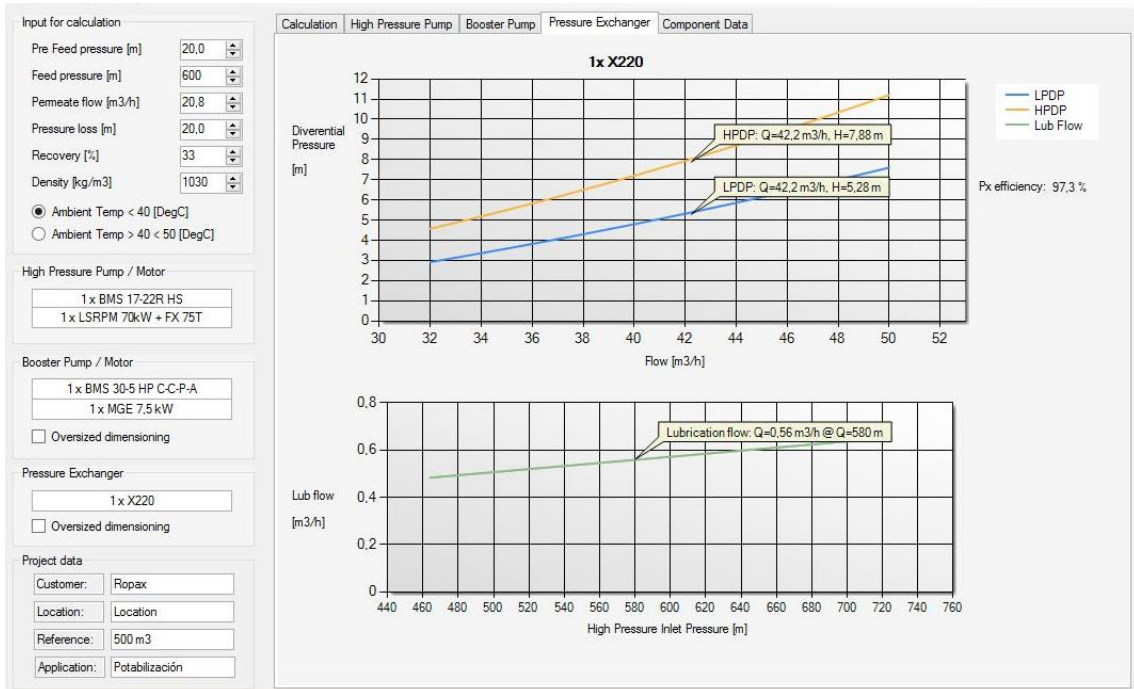
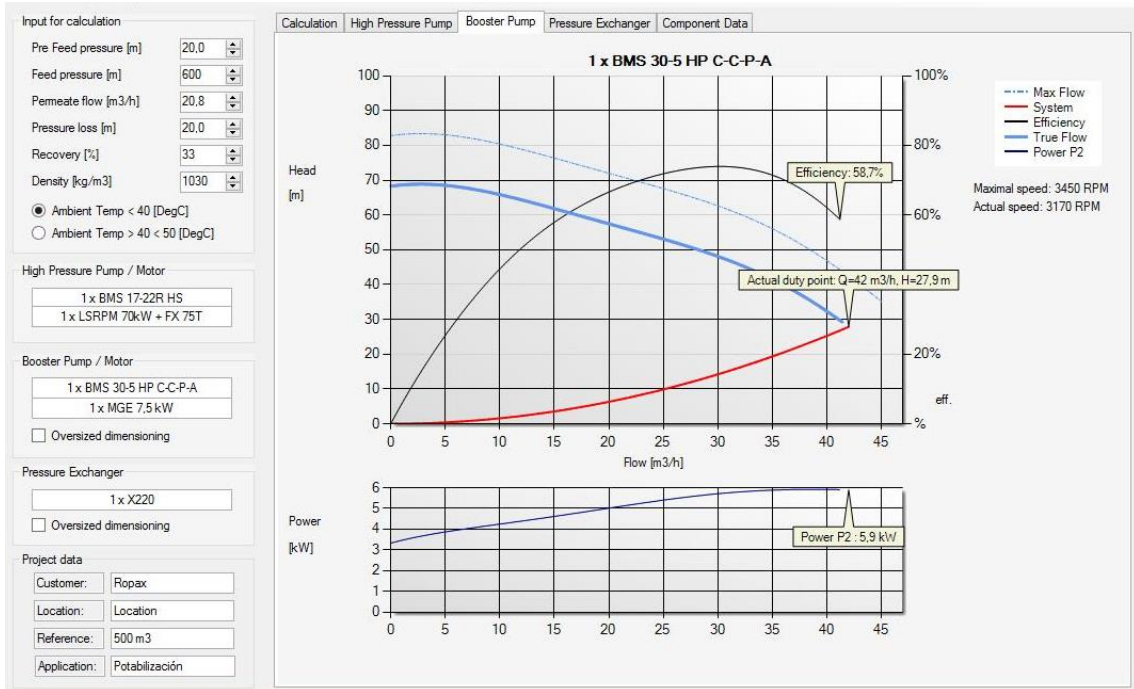
PLANTA ÓSMOSIS INVERSA DE UN FERRY TIPO ROPAX





PROYECTO FIN DE CARRERA

PLANTA ÓSMOSIS INVERSA DE UN FERRY TIPO ROPAX





Input for calculation

Pre Feed pressure [m] 20.0
Feed pressure [m] 600
Permeate flow [m³/h] 20.8
Pressure loss [m] 20.0
Recovery [%] 33
Density [kg/m³] 1030

Ambient Temp < 40 [DegC]
 Ambient Temp > 40 < 50 [DegC]

High Pressure Pump / Motor
1 x BMS 17-22R HS
1 x LSRPM 70kW + FX 75T

Booster Pump / Motor
1 x BMS 30-5 HP C-C-P-A
1 x MGE 7.5 kW
 Oversized dimensioning

Pressure Exchanger
1 x X220
 Oversized dimensioning

Project data
Customer: Ropax
Location: Location
Reference: 500 m³
Application: Potabilización

Calculation High Pressure Pump Booster Pump Pressure Exchanger Component Data

High Pressure Pump
1 x BMS 17-22R HS
Motor + drive:
1 x LSRPM 70kW + FX 75T
Part number: 98467178

Booster Pump
1 x BMS 30-5 HP C-C-P-A
Motor:
1 x MGE 7.5 kW
Part number: 98494500

Pressure Exchanger
1 x X220
Part number: 96563025

Suitable for 50 Hz: 380-415 V / 60 Hz: 380-480 V

8.2. EQUIPO SELECCIONADO

BOMBA DE ALTA PRESIÓN

Unidades	1
Tipo	Centrífuga Multietapa
Caudal	174-185m ³ /h
Presión	33-38bar
Materiales	Dúplex SS2205
Potencia media absorbida	215/264Kw
Rendimiento estimado	75,8%
Velocidad máxima	3000rpm

MOTOR ELÉCTRICO

Potencia motor	300kw
Rendimiento estimado	95,8%
Alimentación eléctrica	3x440V 60Hz



9. UNIDAD DE LIMPIEZA QUÍMICA DE MEMBRANAS Y FLUSHING CON PERMEADO

9.1 CÁLCULO DE EQUIPOS

9.1.1 CÁLCULO DE BOMBA DE LIMPIEZA QUÍMICA

Se considera un caudal de $9\text{m}^3/\text{h}$ por tubo de membranas, con una presión de 4,5bar.

$$6 \text{ tubos} \times 9\text{m}^3/\text{h. tubo} = 54\text{m}^3/\text{h}$$

Se selecciona según programa del fabricante GRUNDFOS el modelo CRN 64-2-1

GRAFICO

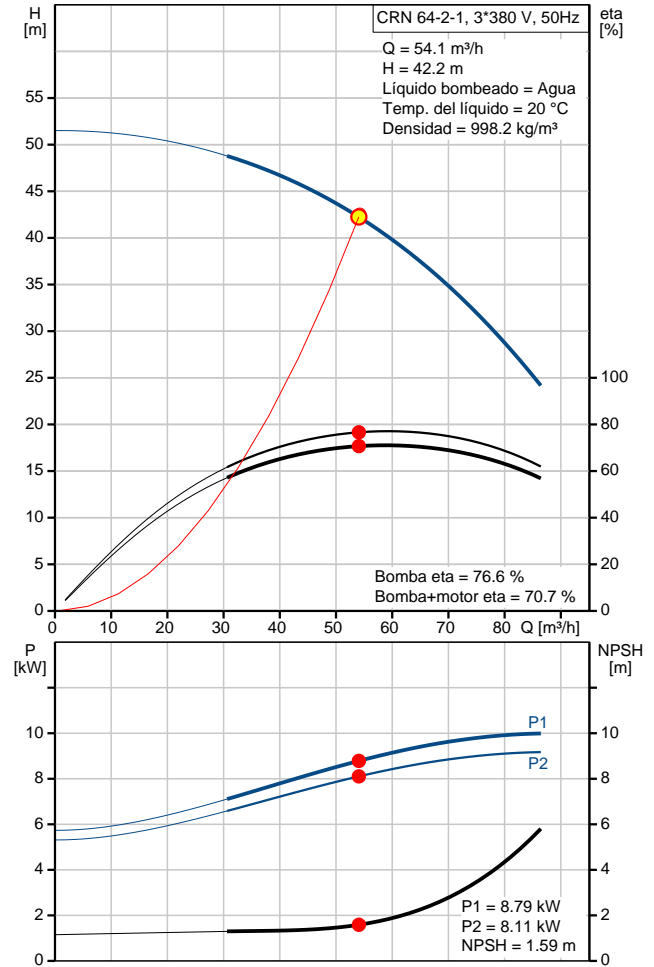
9.1.2 CÁLCULO DEL DEPÓSITO DE LIMPIEZA QUÍMICA

Se considera un volumen de solución de limpieza de 30l/membrana

$$42 \text{ membranas} \times 30\text{l} / \text{membrana} = 1260\text{l}$$

Como depósito estándar se considera uno de 1500l

Descripción	Valor
Producto::	CRN 64-2-1 A-F-G-E-HQQE
Código::	96123733
Número EAN::	5700396699844
Precio:	Bajo pedido
Técnico:	
Velocidad para datos de bomba:	2924 rpm
Caudal real calculado:	54.1 m³/h
Altura resultante de la bomba:	42.2 m
Impulsores:	2
Impulsor reducido:	1
Cierre:	HQQE
Tolerancia de curva:	ISO 9906:1999 Annex A
Etapas:	2
Versión de la bomba:	A
Modelo:	A
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4408 AISI 316 LN
Impulsor:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4401 AISI 316
Código de material:	G
Código para caucho:	E
Instalación:	
Temperatura ambiental máxima:	60 °C
Presión máxima a la temp. declarada:	16 bar / 120 °C
	16 bar / -40 °C
Tipo de brida:	DIN
Código de conexión:	F
Diámetro de conexiones:	DN 100
Presión:	PN 16
Tamaño de la brida del motor:	FF300
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Rango de temperatura del líquido:	-40 .. 120 °C
Temp. líquido:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	160MB
IE Efficiency class:	IE3
Número de polos:	2
Potencia nominal - P2:	11 kW
Potencia (P2) requerida por la bomba:	11 kW
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	3 x 220-240 D/380-415 Y V
Corriente nominal:	36,0-34,5/20,8-19,8 A
Intensidad de arranque:	660-780 %
Cos phi - Factor de potencia:	0,88-0,84
Velocidad nominal:	2940-2950 rpm
Efficiency:	IE3 91,2%
Rendimiento del motor a carga total:	91,2-91,2 %
Rendimiento del motor a 3/4 de carga:	91,8-91,8 %
Rendimiento del motor a 1/2 carga:	91,3-91,2 %
Grado de protección (IEC 34-5):	55 (Protect. water jets/dust)
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección del motor:	PTC
Motor N°:	85U07524
Otros:	
Label:	Grundfos Blueflux
Minimum efficiency index, MEI :	0.7
Peso neto:	162 kg
Peso bruto:	195 kg
Volumen:	0.305 m³





9.2. EQUIPO SELECCIONADO

GRUPO MOTOBOMBA: MARCA GRUNDFOS. MODELO CRN 64-2-1

Unidades	1
Tipo	Centrífuga
Caudal máximo	54m ³ /h
Presión de impulsión	4bar
Material	AISI 316
Potencia del motor	15Kw
Alimentación eléctrica	3x440V 60Hz

DEPÓSITO LIMPIEZA QUÍMICA

Material	Polietileno
Capacidad	1500l

INTERRUPTOR DE NIVEL

Unidades	1
----------	---

10. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CONTROL

La instalación cuenta con los instrumentos de medición y control necesarios que permitan conocer en todo momento la situación de funcionamiento de la planta y aseguren paradas automáticas de la misma en los casos en que algún parámetro vital no se encuentre dentro de los márgenes admisibles. Los instrumentos incluidos en nuestra instalación, objeto de la presente oferta, son:

- Interruptores de nivel
En las Unidades Dosificadoras y Depósitos que lo requieran y que estén incluidos en nuestro alcance suministro.
- Caudal metros
Entrada bomba de alta presión



Entrada agua de alimentación a recuperador

Agua permeada

Agua de rechazo de salida del recuperador

Caudal de salida de la bomba booster

Medidores de Caudal

Tipo	Electromagnético
Fabricante	ENDRES HAUSER
Modelo	Promag 101
Recubrimiento interno	PTFE
Conexión a proceso	PN16, St37-2, Bridas locas
Electrodos	1.4435/316n
Calibración	0,5%
Versión	Compacta. Cabezal Alu, IP67 NEMA4X
Entrada de cable	Prensaestopas M20
Alimentación; Display	85-260 VAC, WEA, 2 líneas + pulsadores
Salidas, Entradas	4-20mA HART + Impulsivo Pasivo
Conductividad mínima	10 μ S/cm

- Manómetros

Entrada y salida del filtro de arena

Entrada y salida del filtro de cartuchos

Entrada y salida de la bomba de alta presión

Entrada y salida de la bomba booster

Entrada y salida de la primera y de la segunda etapa de membranas

Mediciones de presión en el recuperador energético.

Transmisor de presión en la entrada de la bomba de alta presión para el control de la bomba de alimentación.



Instalación de medidor de temperatura en la alimentación de la planta.

Para el sistema calculado se seleccionan manómetros de la marca WIKA

Material	Caja Inox, rosca Inox 316
Líquido relleno	Glicerina
Diámetro	100

- Presostatos

Presostato de baja para la protección de sistemas

Presostato de alta en el permeado

Presostato de alta en la entrada a las membranas

Para el sistema calculado se seleccionan presostatos de la marca DANFOSS

Modelo	KP 35
Rango	0,2-7,5bar

- Conductivímetros

Para la medición de la conductividad en el agua de alimentación.

Para la medición de la conductividad en el agua producto.

Las características generales son:

Transmisor	Protección IP65
	Caja PC/ABS
	Display LCD 2 líneas
	Alarma con salida relé
	2 señales salida 4-20mA



Célula de conductividad	De 2 electrodos Material: PES Rango: 0,1-200 μ s, K=0,1 Termoresistencia Pt100 Cable conexión de 5mts integral
-------------------------	--

- Medidor de Ph

Para la medición del Ph del agua producto.

Para el sistema calculado se selecciona un medidor de Ph de la marca ENDRESS & HAUSER.

Características generales del medidor de Ph:

Cantidad	1 (limpieza química)
Caja	PC/ABS
Protección	IP65
Calibración	Directa
Alimentación	230v AC
Señal	4-20mA, Ph/redox
Electrodo combinado de Ph	
Tecnología	Memosens
Electrolitos de referencia	Gel
Rango	0-14Ph, 0° a 135°C, 16 bar

11. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Comprende todas las conexiones eléctricas necesarias entre los distintos componentes que forman la planta y entre éstos y el armario eléctrico de mando y control. La alimentación eléctrica a nuestra planta deberá ser de 3 x 400V y 50Hz.



12. ARMARIO ELÉCTRICO

La planta dispone de un sistema eléctrico y de control que gobierna los posibles modos de funcionamiento, alarmas, emergencias y procesos necesarios.

El armario eléctrico se construye en chapa de acero pintada. Contendrá todos los componentes necesarios para el control eléctrico de la planta, con cableado completo y amparado bajo la normativa española.

La filosofía del diseño eléctrico se describe a continuación, y consta de protecciones generales y particulares para cada elemento consumidor.

El panel eléctrico y de control de la planta dispone de:

- ❖ Interruptor/seccionador para alimentación trifásica 400V/50Hz.
- ❖ Terminal de operador con sinóptico del proceso e indicación del estado de las válvulas motorizadas, motores, niveles, protecciones y alarmas diversas.
- ❖ Variador para el arranque de la bomba de alta presión, de forma que se efectúen arranques suaves minimizando la carga demanda a la red en el arranque así como los esfuerzos mecánicos en las membranas, optimizando el consumo de energía.
- ❖ Pulsadores para apertura o cierre de las válvulas actuadas del sistema de forma manual.
- ❖ Selectores para puesta en marcha manual de las bombas componentes del sistema.
- ❖ Pulsador de prueba de lámparas de señalización.
- ❖ Pulsador de enterado de alarmas, se debe pulsar cuando alguna alarma se ha producido, de forma que deje de sonar la señal acústica y mantener la indicación luminosa.
- ❖ Pulsador para la parada de emergencia.
- ❖ Selector de modo de operación, Manual - Automático.
- ❖ Pulsador de puesta en marcha en modo automático.
- ❖ Pulsador de parada en modo automático.



- ❖ Voltímetro analógico local con selector de medida entre fases.
- ❖ Amperímetro local del consumo de bomba de alta presión.
- ❖ Indicador de horas de marcha bomba de alta presión.

El sistema de control eléctrico está gobernado por un autómata programable, del que parten las órdenes para ejecutar las acciones pertinentes en cada proceso o situación.

Los posibles modos de operación de la planta son dos, quedando determinados según la posición del conmutador dispuesto al efecto.

Modo Manual: En este modo todos los procesos y motores han de ser accionados de forma manual, no realizando el autómata proceso alguno, aunque sí gobierna todos los estados de alarma o parada necesarios. Este modo es útil cuando se quiere poner en marcha algún consumidor particular para comprobaciones y procesos especiales.

Modo Automático: Este modo se utiliza para el proceso normal de la planta ejecutando el autómata de forma automática los procesos de puesta en marcha y parada, con apertura y cierre de válvulas, puesta en marcha o parada de motores, etc., de acuerdo al programa desarrollado. La consigna para comenzar los procesos de parada o puesta en marcha debe ser ejecutada por el operador al presionar los pulsadores de parada o de puesta en marcha.

12. TUBERÍAS

Baja Presión: Se utilizará tubería en material PVC PN 10 para las conducciones en las que la presión de trabajo sea inferior a 10 bar.

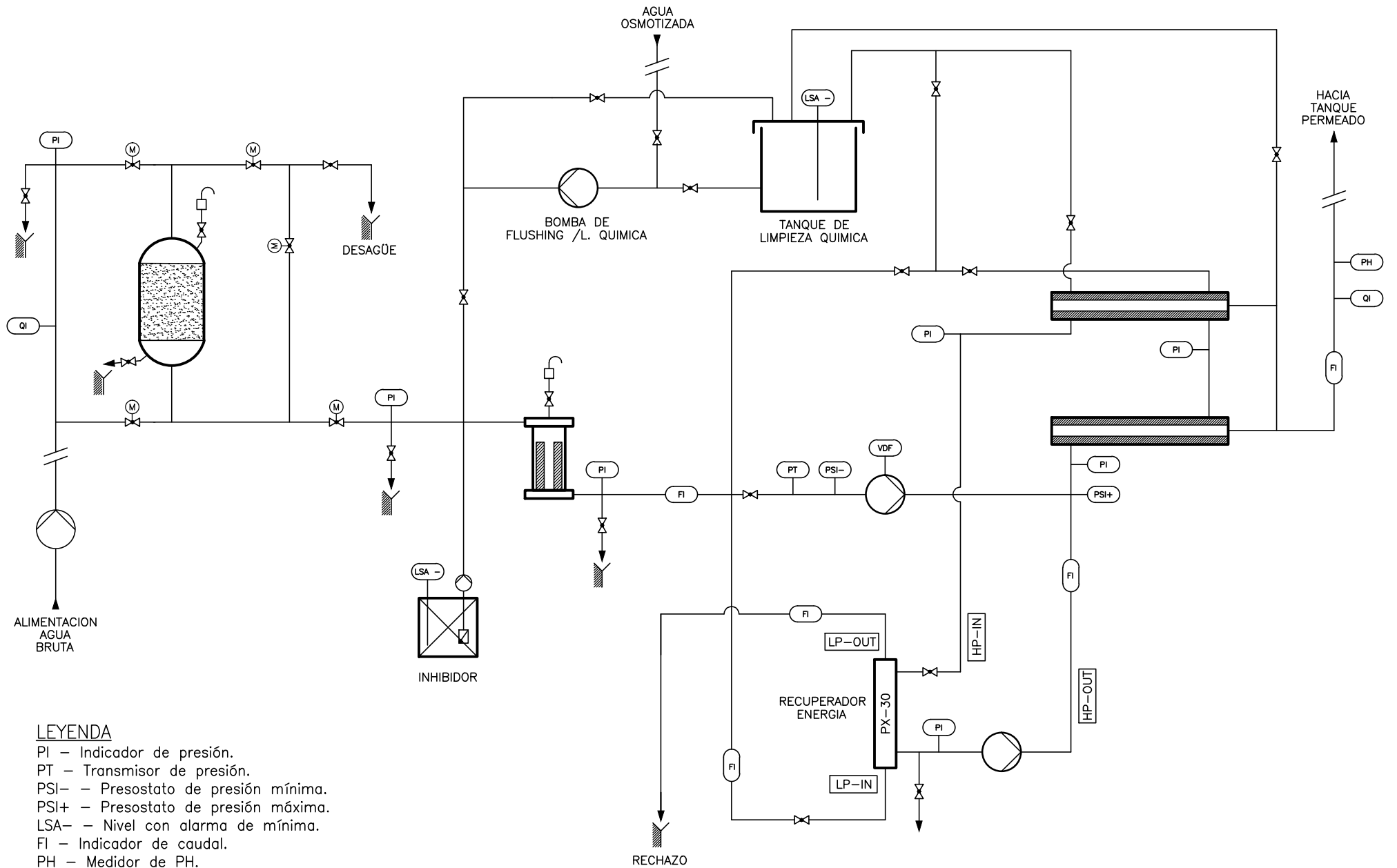
Alta Presión: Se utilizará tubería en material de Acero Inoxidable **AISI 904 L** o equivalente para las conducciones en las que la presión sea superior a 10 bar.



13. VALVULERÍA

Baja Presión: Se utilizarán válvulas en PVC PN 10 en aquellas conducciones en las que la presión sea igual a 10 bar.

Alta Presión: Se utilizarán válvulas en Acero Inoxidable **AISI 904 L** o equivalente en conducciones en las que la presión sea superior a 10 bar.



LEYENDA

- PI - Indicador de presión.
- PT - Transmisor de presión.
- PSI- - Presostato de presión mínima.
- PSI+ - Presostato de presión máxima.
- LSA- - Nivel con alarma de mínima.
- FI - Indicador de caudal.
- PH - Medidor de PH.
- QI - Medidor de conductividad.



BIBLIOGRAFÍA

- *MANUAL TÉCNICO TORAY*
Fabricante de Membranas
- *MANUAL TÉCNICO HIDRANAUTICS*
Fabricante de Membranas
- *MANUAL ENERGY RECOVERY SYSTEM*
Fabricante de membranas y Sistemas de recuperación
- *ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA
DESALACIÓN DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA EN
ESPAÑA*
David Martínez Vicente
- *TRATAMIENTO DEL AGUA POR PROCESOS DE MEMBRANA.
PRINCIPIOS, PROCESOS Y APLICACIONES.*
American Water Works Association. Ed. Mc Graw Hill
- *PRIMER CONGRESO NACIONAL AEDYR. LA DESALACIÓN Y
REUTILIZACIÓN DEL AGUA CON LA ALTERNATIVA REAL A LA
SEQUÍA.*



HERRAMIENTAS DE CÁLCULO UTILIZADAS:

- Programa de cálculo de bombas de GRUNDFOS.
- Programa de cálculo inhibidor de precipitación de fabricante de membranas TORAY.
- Programa de cálculo de TORAY para el cálculo y diseño de membranas.