



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**OSMOSIS INVERSA EN LA DESALINIZACION
DE AGUA DE MAR**

TRABAJO DE SEMINARIO DE TITULACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ADRIANA PATRICIA ZANELLA PARRA

ASESOR: I. Q. HECTOR ANTONIO NAVARRO ROMERO

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE DE 2004

4



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/098/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: ZANELLA PARRA ADRIANA PATRICIA
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	I.Q. Eduardo Vázquez Zamora
Vocal:	I.Q. Héctor Antonio Navarro Romero
Secretario:	I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández
Suplente:	Q.F.I. Ma. del Carmen Niño de Rivera O.
Suplente:	Quím. Martha Ortiz Rojas

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., 27 de Octubre de 2003

EL JEFE DE LA CARRERA:

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
INGENIERIA QUIMICA
SECRETARIA TECNICA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

Dedico este trabajo a:

Mi mamá. Ruth Parra Vera.

Por haber salido adelante en los momentos más difíciles.

A mi papá. Pedro Zanella Fuentes.

Por el apoyo incondicional.

A mi mamá Bertha.

Porque aunque ya no esté aquí, siempre estará.

A mi esposo. Alejandro López Ibarra.

Por todo el amor que me ha dado. Por estar cuando lo necesito.

Porque sin él, no hubiera podido completar la meta.

A mis hijos:

Alejandro López Zanella.

Diego López Zanella

*Por el sacrificio que para ellos representó la realización de éste
trabajo.*

Porque son la inspiración y la alegría de mi vida

*A la Universidad Nacional Autónoma de México especialmente a la Facultad de
Estudios Superiores "Zaragoza".*

Por la oportunidad brindada.

Agradezco a:

Ing. Héctor Antonio Navarro Romero. Por su valiosa ayuda.

INDICE

INTRODUCCION.

OBJETIVO.

CAPITULO I. PROCESOS DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS	1
CONCEPTOS BASICOS	
MEMBRANA	4
OSMOSIS INVERSA	5
PRESION OSMÓTICA	7
CAPITULO II. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS	9
MEMBRANAS	10
TIPOS DE MEMBRANA	12
SISTEMAS DE MEMBRANAS TUBULARES	12
SISTEMAS DE FIBRA HUECA	13
SISTEMA DE ENROLLAMIENTO EN ESPIRAL	14
SISTEMA DE PLACA Y MARCO	15
TIEMPO DE VIDA DE LA MEMBRANA	15
ENSUCIAMIENTO DE LA MEMBRANA	15
ÍNDICE DE ENSUCIAMIENTO DE LAS MEMBRANAS (SDI)	16
FACTOR DE RECHAZO DE LAS MEMBRANAS	21
CÁLCULO DEL NÚMERO DE MEMBRANAS	23
CAPITULO III. CONSIDERACIONES DE DISEÑO	24
CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA	25
VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL DISEÑO	26
CAPITULO IV. CASO DE APLICACIÓN.	30
DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR COMO UNA SOLUCIÓN A LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS	31
CAPTACIÓN DE AGUA.	32
PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR	34

MEMBRANAS UTILIZADAS EN LA DESALACIÓN	
DE AGUA DE MAR	37
CONTROL DE PROCESO	37
SISTEMA DE LIMPIEZA DE LAS MEMBRANAS	39
COSTOS	42
IMPACTO AMBIENTAL	45
OTRAS APLICACIONES DE LA ÓSMOSIS INVERSA	47
CONCLUSIONES	48
GLOSARIO	49
BIBLIOGRAFIA	53

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es analizar el uso de la ósmosis inversa en la desalación de agua de mar, como una posible solución a la disponibilidad de recursos hídricos.

INTRODUCCIÓN.

El agua no solo es una de las sustancias responsables de la existencia de vida en nuestro planeta ya que es el compuesto más abundante en las células vivas (65-95% en peso) si no que también contribuye a mantener el clima y a disolver una gran cantidad de contaminantes que se encuentran en la atmósfera. Cubre alrededor del 71% de la superficie de la tierra pero el 98% se encuentra en los océanos mientras que solo el 2.8% es agua dulce y de esta cantidad cerca del 75% se encuentra congelada en los casquetes polares de las zonas ártica y antártica.

El agua también es importante para muchos procesos industriales pero desafortunadamente este recurso es cada vez más escaso debido al aumento de la población, la variación climatológica y el mal uso que hacemos de ella.

Según la Cumbre de Desarrollo sostenible llevada a cabo en Johannesburgo en Octubre del 2002, la escasez de agua se sumara al petróleo como causa de futuras guerras. La gestión de aguas en las ciudades y las diferentes mutaciones antropogénicas y naturales obligan a la redefinición de la problemática para conformar soluciones posibles.

La escasez de este recurso solo puede atenuarse con un mejor rendimiento de las tecnologías de extracción, distribución y consumo de los recursos hídricos. Una posible solución es el uso de tecnologías desalinizadoras que generalmente utilizan membranas para lograr una separación sólido-líquida aunque hasta ahora son muy pocos los países que la utilizan, esto a pesar de que el uso de membranas semipermeables en la industria data del siglo XIX. La primera membrana industrial se construyó en Estados Unidos basándose en la teoría de soluciones y a pesar de que Graham fue el padre de los estudios, ya existía el concepto de "hacer pasar sustancias a través de una membrana semipermeable sin consumo de energía exterior".

Pero fue Fick quien basándose en los experimentos de Graham sobre bases cuantitativas, estableció formalmente la matemática de la difusión; básicamente: "la presencia de un flujo de difusión es debido a una diferencia de concentraciones".

En 1748 Nollet, profesor de física experimental de la universidad de Navarra, experimentó con una membrana tomada de la pared de la vejiga de un animal, colocando alcohol a un lado y agua al otro y comprobó que el agua fluía de un lado al otro para mezclarse con el alcohol pero el proceso contrario nunca se producía. Es decir, Nollet en el siglo XVIII descubrió la existencia de membranas semipermeables y definió el proceso osmótico que permitía el paso de uno de los componentes de una solución pero no de otros. Llamó solvente a la sustancia capaz de atravesar la membrana y soluto a la que no puede fluir a través de ella. Pero no fue capaz de explicar por qué ocurría este fenómeno, era imposible poderlo explicar con los conocimientos de la época, hacía falta que pasarán 100 años para poder sentar las bases aún que hasta la fecha no existe una explicación fiable ni un modelo matemático que sustente el fenómeno osmótico.

Fue el investigador Dutrochet, quien realizó el descubrimiento del fenómeno osmótico a través de membranas semipermeables, y lo hizo dentro de su objetivo principal: demostrar que las leyes fundamentales de la química y la física y por lo tanto las matemáticas eran capaces de explicar los procesos básicos de la vida por ejemplo los procesos que tienen lugar en una célula viva. Por lo tanto se puede fijar como fecha del descubrimiento del fenómeno osmótico tal y como lo conocemos en 1828, fecha en la que Dutrochet publicó: "que si se tenían dos soluciones con el mismo soluto, que no puede atravesar la membrana, una a cada lado de una membrana semipermeable, el flujo osmótico ocurría siempre de la solución menos concentrada a la más concentrada (figura1) y por supuesto fluía el solvente el cual provocaba una presión sobre la membrana a la que llamó presión osmótica". Luego encontró que venciendo esta presión aplicando una presión de mayor magnitud pero del lado en donde se encontraba la solución más concentrada, el fluido pasaría de

la solución mas concentrada a la más diluida. Había nacido la tecnología de la ósmosis inversa.

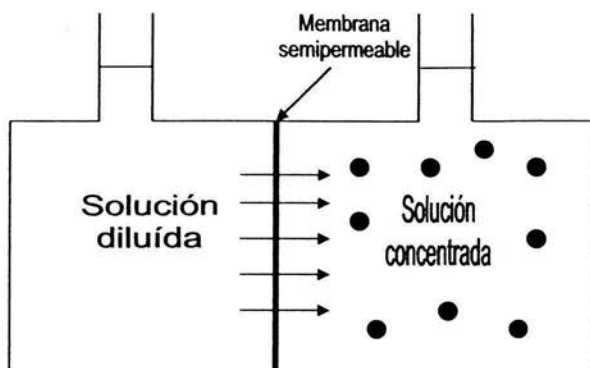


Figura 1. Ósmosis natural.

CAPITULO I

PROCESOS DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

PROCESOS DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS.

Dentro del tratamiento del agua y aguas residuales el uso de membranas para procesos de separación ha cobrado mucha importancia. En general se puede decir que los procesos de membranas usan una barrera permeable para filtrar componentes seleccionados de mezclas.

Existen varios procesos de separación por membranas:

1. Ósmosis inversa (OI)
2. Ultrafiltración (UF)
3. Electrodialisis (ED)
4. Nanofiltración (NF)

ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa no es necesariamente la solución para todos los problemas de desalación (eliminación de sales), pero puede tener muchas ventajas sobre otros procesos utilizados con este fin como son la evaporación y la congelación.

La gran ventaja de la ósmosis sobre otras tecnologías como el intercambio iónico y la electrodialisis, es que a un costo prácticamente constante, la ósmosis puede remover hasta el 99.5% de las sales que contenga el agua a tratar.

ULTRAFILTRACIÓN

Al igual que la ósmosis inversa, la ultrafiltración por membrana depende de una fuerza impulsora, presión y una membrana que es permeable a algunos de los componentes de una disolución líquida o mezcla en permeable a otros. Los dos procesos difieren en que la ultrafiltración no está controlada por la presión osmótica y puede llevarse a cabo a diferencias de presión bajas (0.35 a 7 kg/cm²).

ELECTRODIÁLISIS

Este proceso se basa en hacer pasar una corriente eléctrica que induce la separación parcial de los componentes de una solución iónica. Esto se lleva a cabo colocando alternativamente membranas selectivas, aniónicas y catiónicas al paso de la corriente. Cuando se aplica la corriente, los cationes son atraídos eléctricamente y pasan a través de la membrana de intercambio catiónico en una dirección, y los aniones cruzan a través de la membrana de intercambio aniónico en la otra dirección. Como resultado se obtienen alternativamente compartimientos de elevada salinidad y de baja salinidad a través de todo el paquete de membranas paralelas. Así el agua pasa a través de varios paquetes hasta que se obtiene el nivel de salinidad deseada.

NANOFILTRACIÓN

La nanofiltración es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular son retenidos, pero las sales pasan, total o parcialmente, a través de la membrana con el filtrado. Esto provee un rango de selectividad entre las membranas de Ultrafiltración y Osmosis Inversa, permitiendo simultáneamente concentración y desalado de solutos orgánicos. La membrana NF retiene solutos que la UF pasaría, y deja pasar sales que la OI retendría. En algunas aplicaciones, su selectividad entre moléculas de tamaños similares es la clave del éxito del proceso de separación con membrana.

CONCEPTOS BÁSICOS

MEMBRANA

Una membrana puede definirse como una fase que actúa como una barrera al flujo de especies moleculares o iónicas entre las fases que separa (fig. 2). La fase membrana es generalmente heterogénea. Esta fase puede ser un sólido seco, un gel empapado de disolvente un líquido inmobilizado. Para que la membrana actúe como un dispositivo útil de separación, debe transportar algunas moléculas más rápidamente que otras. Por tanto, debe tener elevada permeabilidad para algunas especies y baja permeabilidad para otras; es decir, debe ser altamente permeoselectiva. Los mecanismos de transporte a través de la membrana varían desde la difusión molecular en sólidos que son semejantes a un líquido hasta el flujo viscoso a través de sólidos microporosos.

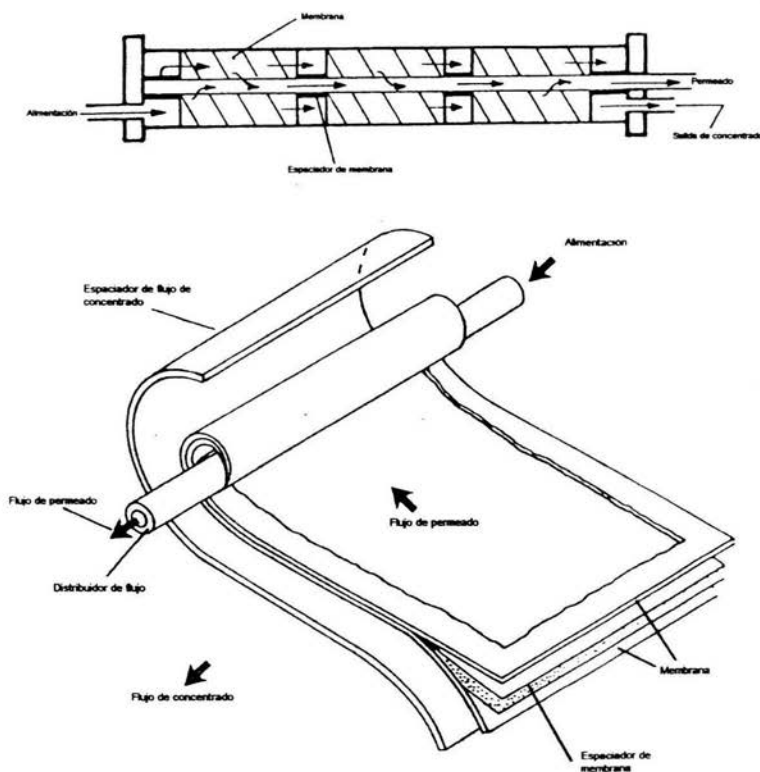


Fig.2. Esquema de una membrana.

Una membrana semipermeable es cualquier membrana, animal, vegetal, o sintética en la que el agua puede penetrar y traspasar con mucha más facilidad que los otros componentes que se encuentran en solución en la misma.

Por ejemplo, las raíces permiten a las plantas extraer del suelo el agua, por el proceso de ósmosis. El agua relativamente pura que se encuentra en el suelo, pasa por difusión a través de las membranas de las raíces para diluir la alta concentración de sales que normalmente tiene la savia de la planta, ya que a ésta se le evapora el agua continuamente por las hojas.

ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis es un proceso natural que ocurre en todas las células vivas. La ósmosis permite la vida del reino vegetal, y del reino animal, incluyendo a los seres humanos, al inducir que el agua fluya por difusión desde zonas donde se encuentra relativamente pura, con baja concentración de sales, a zonas donde se encuentra con alta concentración a través de una membrana semipermeable. El resultado final es la extracción de agua pura del medio ambiente.

El objetivo de la ósmosis natural es permitir que seres vivos puedan absorber o chupar agua pura del medio ambiente. En el proceso de ósmosis natural, el agua pura se convierte en agua menos pura al contaminarse con las sales y azúcares de los fluidos vitales de las plantas y de los animales.

La ósmosis inversa es un proceso inventado o creado por el hombre que invierte el fenómeno de la osmosis natural.

Como ya se mencionó, el objetivo del proceso de ósmosis directa es absorber y en efecto contaminar agua pura. El objetivo de la ósmosis inversa es obtener agua purificada partiendo de un flujo de agua que está relativamente impura o concentrada en sales. Esto se logra al separar de este

flujo de agua contaminada con sales, un flujo menor de agua pura. En el proceso de ósmosis inversa, se le aplica presión a la solución que tiene más alta concentración de sales y así se fuerza un flujo inverso a través de la membrana semipermeable.

Se han propuesto varias teorías para explicar la causa de la ósmosis, la mayoría se fundamenta en el descenso de la presión de vapor, la cual da lugar a que el disolvente pase a través de la membrana hasta que se igualen las dos presiones. Si aplicamos una presión igual a la presión osmótica de la solución se detendría el proceso de eliminación.

Si la presión en el lado de la solución se incrementa por encima de la presión osmótica, la dirección de flujo se invierte; entonces el disolvente puro pasará desde la solución hacia disolvente. Éste fenómeno constituye la base de la ósmosis inversa cuya principal aplicación es la desalación de agua salobre y marina.

La ósmosis inversa es de alguna forma similar a la filtración, ambos procesos implican la separación de un líquido a partir de una mezcla que se hace pasar a través de un dispositivo que retiene los otros componentes. Este proceso también se ha denominado hiperfiltración. Pero existen al menos tres diferencias importantes:

1. La presión osmótica que es muy pequeña en la filtración ordinaria juega un papel muy importante en la ósmosis.
2. En la ósmosis inversa no es posible obtener tortas filtrantes con bajo contenido de humedad, ya que la presión osmótica de la disolución aumenta con la separación del disolvente.
3. Los filtros separan mezclas basándose principalmente en el tamaño, mientras que la semi-permeabilidad de las membranas de ósmosis inversa depende también de otros factores como el pH de la solución y la temperatura.

Se dispone de varias técnicas para medir la presión osmótica. Puede calcularse a partir de medidas del descenso de la presión del vapor, descenso del punto de congelación o a partir de mediciones directas. Ésta última técnica mide la presión necesaria para mantener el flujo de disolvente a través de la membrana.

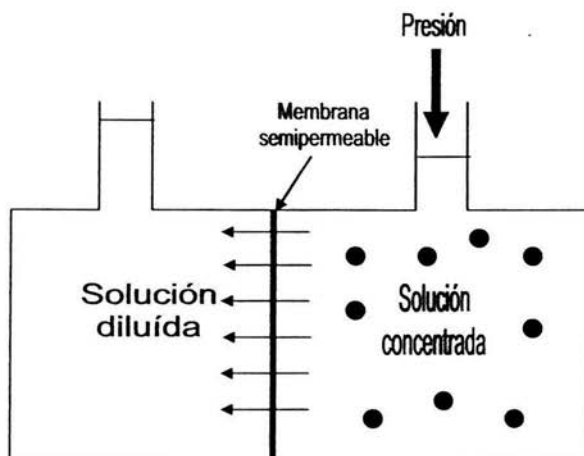


Figura 3. Ósmosis inversa.

La figura 3 ilustra un esquema de un sistema de ósmosis inversa. Una bomba de alta presión provee la energía para que el agua pase a través de la membrana. Un restrictor de flujo o una válvula de concentrados puesta en la línea hacen que la presión force al permeado a través de la membrana.

PRESIÓN OSMÓTICA

La presión osmótica es la presión que se aplica en el compartimento de concentrado para hacer que el flujo neto de disolvente a través de la membrana semipermeable (que sólo deja pasar al disolvente) sea nulo; es decir, es la presión requerida para mantener un sistema en estado de equilibrio (fig. 4). Es debida al choque de las moléculas de soluto contra la pared de la membrana

semipermeable; es igual a las que ejercerían el mismo número de partículas de soluto si se encontraran en estado gaseoso y está dada por la ecuación de Van't Hoff

$$\pi = \frac{nRT}{V} = cRT$$

$$\frac{n}{V} = c$$

Donde:

π = presión osmótica (atm).

n = moles gramo de soluto.

V = volumen de la solución (litros).

T = temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$).

c = concentración de la solución (moles/litros).

R = constante ideal de los gases (0.082 atm litros/molgramo $^{\circ}\text{K}$).

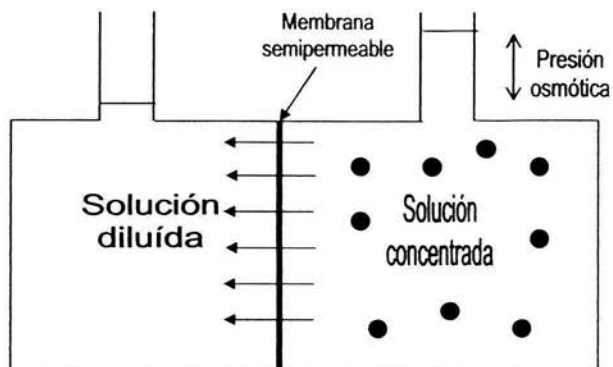


Figura 4. Presión osmótica.

CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS

MEMBRANAS

Las membranas son capas de hojas muy delgadas microporosas sujetas a una estructura de soporte más gruesa y porosa, generalmente hecha de polipropileno, poliéster o hasta de politetrafluoretileno. A diferencia del papel o la tela, el material de las membranas que varía desde acetato de celulosa o cerámicos y otros polímeros como polisulfonatos, polivinildieno, funcionan como filtros asimétricos. En general, la resistencia al flujo y la caída de presión depende del lado de la membrana que de al flujo de proceso (Tabla 1).

Tabla 1 Membranas utilizadas en los procesos de separación.

(Chemical Engineering, September 1998, pp. 94-104 High-shear membrane separation for process and wastewater treatment. Brett Elias and Jabez Van Cleeen).

	Osmosis Inversa	Nanofiltración	Ultrafiltración	Microfiltración
Membranas	Asimétrica	Asimétrica	Asimétrica	Simétrica Asimétrica
Grueso Capa Superficial	150 μ 1 μ	150 μ 1 μ	150-250 μ 1 μ	10-150 μ 1 μ
Tamaño de Poro	0.002 μ	0.002 μ	0.05-0.2 μ	0.2-5 μ
Rechazos	HMWC* LMWC Cloruro Sodio, glucosa Aminoácidos Proteínas	LMWC, mono, di y oligo- sacáridos, aniones pivalentes	Macromoléculas* Proteínas, polisacáridos, virus	Partículas barro, bacterias
Materiales de membranas	CA* capa delgada	CA* capa delgada	Cerámica, PSO* CA* PVDF, capa delgada	Cerámica Pp*, PSO* PVDF*,
Módulo de membrana	Tubular. Enrollado en espiral. Placa y marco	Tubular. Enrollado en espiral. Placa y marco	Tubular. Fibra hueca. Enrollado en espiral. Placa y marco	Tubular. Fibra hueca. Placa y marco
Presión	15-148atm.	5-34atm.	1-10atm	2atm.

*CA- acetato de celulosa.

*PSO-fluoruro de polivinil.

*PP-polipropileno.

*HMWC-compuestos de alto peso molecular (100,000 a 1 millones de moles/g).

*LMWC-compuestos de bajo peso molecular (1,000 a 100,000 moles/g).

*Macromoléculas- 1 millón moles/g

La mayoría de las membranas para ósmosis inversa, son hechas a base de dos polímeros: Acetato de celulosa (CA) y Poliamida (PA). En general las de acetato de celulosa son más aceptadas por ser menos caras y más tolerantes al cloro, mientras que las de poliamidas ofrecen niveles más altos de rechazo a sales pero son mas caras y susceptibles a daño por oxidantes. Las PA ofrecen un rechazo de sales de 99% contra un 97.5% de las CA. (En el anexo 1 se muestran algunos ejemplos de especificaciones de membrana):

Las membranas de acetato de celulosa se construyen en base al método Loeb-Sourirajan (por sus creadores) donde la solución para el moldeado de la membrana es acetato de celulosa con una concentración de 15-25% en peso, disuelto en un sistema disolvente que contiene acetona, agua y perclorato magnésico a 0 °C. Algunas veces se emplea formamida en vez del agua y perclorato magnésico. Cuando la membrana está moldeada, en el lado expuesto a la atmósfera se forma un revestimiento delgado. Después de esta exposición corta, la membrana se sumerge en una sustancia no-disolvente, generalmente agua, en donde gelifica. Durante la inmersión, la porción de la membrana que no se ha expuesto al aire se transforma en una matriz porosa de celda abierta puesto que absorbe agua y se transforma en una fase separada. En la saturación, la membrana absorbe 60-70% en peso de agua y la mayor parte se retiene por capilaridad dentro de los poros, hasta este punto la membrana ya es semipermeable a una pequeña cantidad de cloruro sódico y prácticamente impermeable a compuestos orgánicos de elevado peso molecular. La semipermeabilidad de la membrana puede mejorarse mediante un tratamiento térmico con agua calentada a temperaturas de 60-90°C, para producir una película que pueda rechazar el 99.5% de las sales en la alimentación.

TIPOS DE MEMBRANA

Las membranas son diseñadas en módulos tubulares, en espiral, fibra hueca y placa y marco (Fig. 5). La de enrollamiento en espiral ha sido favorecida en el mercado por su bajo costo y facilidad de mantenimiento. Las membranas son formadas en tubos y ensambladas en módulos, los cuales son operados en serie o en paralelo para obtener la cantidad y calidad deseada de agua purificada.

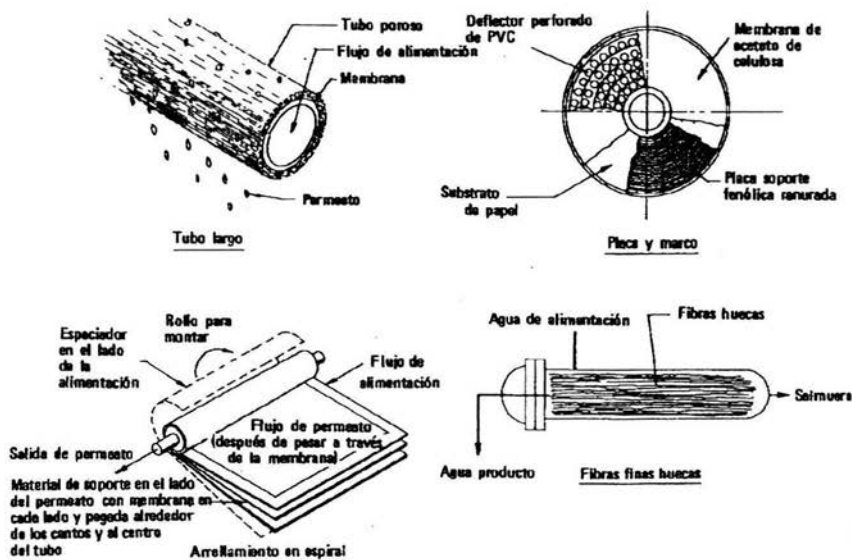


Figura 5. Sistemas de membrana.

SISTEMAS DE MEMBRANAS TUBULARES

En este sistema la membrana esta en el interior de tubo. Los diámetros de tubo van de 6.35-25.4 mm (0.25-1 pulg.), y son fácilmente limpiados y tiene menor contaminación. Un ejemplo sería tener un módulo que consista en 18 tubos de 14.1 mm(0.55 pulg.) de diámetro encerrados en un tubo cilíndrico de 114 mm(4.5 pulg.) de diámetro y 1.3 m.(52.3 pulg.) de longitud, éste nominal de

membranas de 1m^2 . Estas membranas son usadas en tratamiento de aguas residuales, recuperación de pinturas y clarificación de jugos, entre otras aplicaciones.

La ventaja principal de los sistemas tubulares es que sus orificios permiten manejar partículas más grandes y procesar afluentes con grandes concentraciones de partículas. Su mayor desventaja es su costo asociado con el reemplazo de los tubos de membrana. Los tubos porosos de soporte generalmente se fabrican de fibra de vidrio, y el tubo completo y su membrana deben reemplazarse una vez que se ha dañado con contaminación irreversible. Son menos costosas que las membranas de fibra hueca, enrollado en espiral y placa y marco.

SISTEMAS DE FIBRA HUECA

Generalmente se utiliza en aplicaciones de purificación de agua de muy bajos sólidos, por ejemplo en las que la concentración de sólidos es menor de 1%. Los elementos de filtración consisten en fibras que pueden ser presurizadas en el interior. La alimentación se introduce en la terminal de la fibra. El permeado se filtra a través de la fibra y es colectado y fluye hacia fuera del contenedor. El material retenido pasa a través del final de la fibra. Estas membranas son las más susceptibles de contaminar y tapar. Debido al diámetro interior muy pequeño de las fibras de la membrana que están entre 0.5 y 1 mm, las partículas grandes y concentraciones de altos sólidos no pueden procesarse eficientemente en estas membranas. Si son fabricadas de poliestersulfona las unidades de membrana pueden esterilizarse con agua calentada por arriba de 100°C (212°F).

Para compensar el ensuciamiento las membranas pueden retrolavarse periódicamente, sin embargo el fluido de retrolavado debe estar filtrado para remover las partículas que tapen o dañen la pared de la fibra porosa.

SISTEMA DE ENROLLAMIENTO EN ESPIRAL

Estos elementos consisten en dos hojas de membrana separadas por un polímero de textil de refuerzo. Esta tela soporta la membrana para las altas presiones de operación y provee un canal de flujo por donde el agua clarificada puede salir.

El material de la membrana esta pegado en espiral en un cartucho cilíndrico. La envoltura de la membrana es sellada con adhesivo en tres lados para prevenir contaminación del agua limpia. El cuarto lado es pegado a un tubo de permeado que tiene perforaciones en cada extremo para que el agua producida pueda salir por un tubo central. Los tamaños de los cartuchos pueden variar entre 5 cm(2 pulg.) de diámetro con 15 cm(6 pulg.) de longitud hasta 20 cm(8 pulg.) de diámetro y 102 cm(40 pulg.) de longitud generalmente.

Estos factores de diseño permiten operar con una gran variedad de materiales de proceso hasta caídas de presión de 3 atm.(5 lb/pulg.²) y temperaturas de operación de aproximadamente 70 °C(158°F). Entre los fabricantes de estas membranas esta Nitto Denko Corp. y Desalination System, Inc

Hay dos desventajas mayores con estas membranas, primero la membrana completa y su contenedor deben reemplazarse una vez que se ha contaminado, y tiene dificultad en manejar materiales viscosos o aquellos que tengan gran cantidad o concentraciones de sólidos a menos que se logre salvar con una buena limpieza, lo que implica un aumento de costos.

SISTEMA DE PLACA Y MARCO.

Estos utilizan hojas de membrana planas y ofrece flexibilidad. Las unidades típicas consisten en una serie de platos **con** membranas de Ultrafiltración o Microfiltración pegadas a ambos lados del **plato**.

Los platos de forma de disco están arreglados de **modo** que forme una especie de filtro cilíndrico. El número de platos en un **módulo** esta limita al volumen de flujo que pueda manejar la entrada y **salida** del sistema y la velocidad mínima de entre cruzamiento requerida a través de cada superficie de membrana.

En estos sistemas el ensuciamiento de la superficie de membrana se previene introduciendo energía mecánica en el sistema **para** prevenir que las partículas se adhieran a los poros, por ejemplo inducir **vibración** en el sistema. Otro método es combinar membranas de cerámica con **rotación**.

TIEMPO DE VIDA DE LA MEMBRANA.

El tiempo de vida de la membrana se puede acortar drásticamente por constituyentes indeseables en el agua de alimentación **por** ejemplo fenoles, bacterias, así como altas temperaturas y valores altos o bajos de pH. Generalmente las membranas tienen un tiempo de vida de alrededor de dos o tres años con algunas pérdidas de eficiencia en el flujo de **agua**.

ENSUCIAMIENTO DE LA MEMBRANA

El ensuciamiento que produce una reducción temporal del flujo, se debe a las materias extrañas que van tapizando la superficie de la membrana a medida que sólo las sustancias que tienen enlaces hidrógeno (agua, amoníaco), pasan a través de los poros de la membrana. Los materiales sin enlaces se quedan almacenados en la película en reposo (película límite de líquido).

La composición de los depósitos en las películas límite refleja la composición del agua de alimentación.

El ensuciamiento de membranas en el proceso de desalación de agua de mar, normalmente ocurre por:

1. Hierro como producto de la corrosión de tuberías. El hierro se elimina fácilmente mezclando 10 kilos de ácido cítrico por cada 1000 litros de agua permeada, revolver hasta que esté totalmente disuelto, añadir cinco kilos de sal sódica de EDTA, ajustar pH a 4.5, circular por 50 minutos a razón de 2-2.5 L/m por tubo, enjuagar con permeado por diez minutos y arrancar la planta.
2. Por algas, bacterias o materia orgánica, principalmente si se tiene toma abierta. Para eliminar este ensuciamiento orgánico se mezclan por cada 1000 litros de agua permeada 10 kilos de fosfato trisódico, 10 kilos de borax y 10 kilos de EDTA, revolver hasta que los detergentes queden totalmente disueltos. Ajustar pH a 10.5. Circular la solución por 50 minutos a razón de 2-2.5 L/m por tubo y enjuagar con permeado por diez minutos y arrancar la planta.

ÍNDICE DE ENSUCIAMIENTO DE LAS MEMBRANAS

El índice de densidad de sedimentos (Silt Density Index = SDI) o índice de "ensuciamiento" es un procedimiento sencillo desarrollado para estimar el grado de bloqueo o "ensuciamiento" de las membranas debido a la contaminación en forma de partículas coloidales, que comúnmente incluyen bacterias, arcillas, hierro, productos químicos utilizados en la clarificación/filtración tales como sulfato de aluminio, cloruro férrico, o polielectrolitos catiónicos, que pueden causar bloqueo coloidal. Este método es ampliamente aceptado en la industria, dado que principalmente mide la concentración coloidal.

El procedimiento de SDI determina la caída en el flujo a través de una membrana de 47 mm(1.85pulg.) de diámetro y con un tamaño de poro de 0.45

µm. Este tamaño de poro es susceptible de ser obstruido por materia coloidal y no por arena o incrustantes. La disminución en el flujo de agua es representado entre 1 a 100 unidades. Un rápido taponamiento indica niveles altos de contaminación coloidal por lo que el SDI será un número grande relativamente en comparación con el agua con bajas tendencias a ensuciarse.

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ENSUCIAMIENTO DE LAS MEMBRANAS (SDI)

La tendencia del agua de alimentación a ensuciar las membranas de los equipos de purificación, así como de las membranas de osmosis inversa, deberá ser mantenida a un nivel aceptable para asegurar una operación económica y eficiente. Un SDI menor o igual a 5 es aceptable. Todos los módulos en espiral , incluyendo los de acetato de celulosa (CA), Thin Film Composite (TFC) y polisulfona de alto flujo (PSRO) deberán ser alimentados con agua tratada cuando el SDI sea igual a 5 o menor. En membranas de fibra hueca (Hollow Fiber) es más recomendable un SDI de 3.

Un alto nivel de partículas puede tener un efecto indeseable en las membranas de osmosis inversa y generar problemas, tales como:
Rápida disminución en el flujo del producto, debido a que la superficie de las membranas se ensucia y bloquea. Un incremento en la presión de alimentación y una disminución en el flujo de concentrado, debido a que los canales de rechazo se restringirán, reduciendo la acción de barrido a través de las membranas. Una pérdida en la retención de sales (por lo tanto disminución en la calidad del permeado) ya que la superficie de las membranas cambia de acuerdo al grado de "ensuciamiento".

COMO REDUCIR EL SDI

Algunos métodos de pretratamiento sugeridos para reducir el SDI incluyen:

- Microfiltración (Filtros de cartucho)
- Ultrafiltración
- Suavización
- Filtros multimedia
- Filtros de arena
- Filtros de Fierro (Greensand)
- Floculación

Si se requiere determinar la efectividad de un pretratamiento, cualquiera de los dos procedimientos: estándar o modificado, pueden ser utilizados. Para analizar agua con una alta tendencia a ensuciarse (por ejemplo las aguas municipales de abastecimiento con un SDI igual o mayor a 10 unidades) es recomendable utilizar el procedimiento modificado.

El procedimiento estándar deberá ser utilizado después de que el agua ha sido tratada por cualquier método de purificación, tales como la ultrafiltración u ósmosis inversa. Debido a que el nivel de contaminación será bajo se recomienda utilizar un filtro con un tamaño de poro de 0.1 μm en lugar de un filtro de 0.45 μm .

MEDICIÓN DEL SDI

Como parte de los análisis "in situ" se deberán realizar las determinaciones del SDI en el agua de alimentación. La prueba deberá repetirse antes de la instalación del equipo para determinar si las condiciones del agua de alimentación han cambiado desde que el agua fue analizada por primera vez. En el caso de que exista un pretratamiento el análisis del SDI deberá llevarse a cabo a intervalos regulares (semanalmente) con el objetivo de confirmar que el pretratamiento está operando eficientemente. Si cualquier componente del tratamiento de agua es modificado, el SDI deberá ser determinado para comparar la eficiencia del nuevo equipo con respecto al sistema anterior.

Materiales

Para llevar a cabo el procedimiento de SDI es necesario un recipiente para filtros de 47 mm de diámetro, regulador de presión, medidor de presión, válvulas, conexiones, pinzas y discos de filtros de membranas. También se requiere un cronometro y un contenedor de 100 ml o un cilindro graduado (Fig.6).

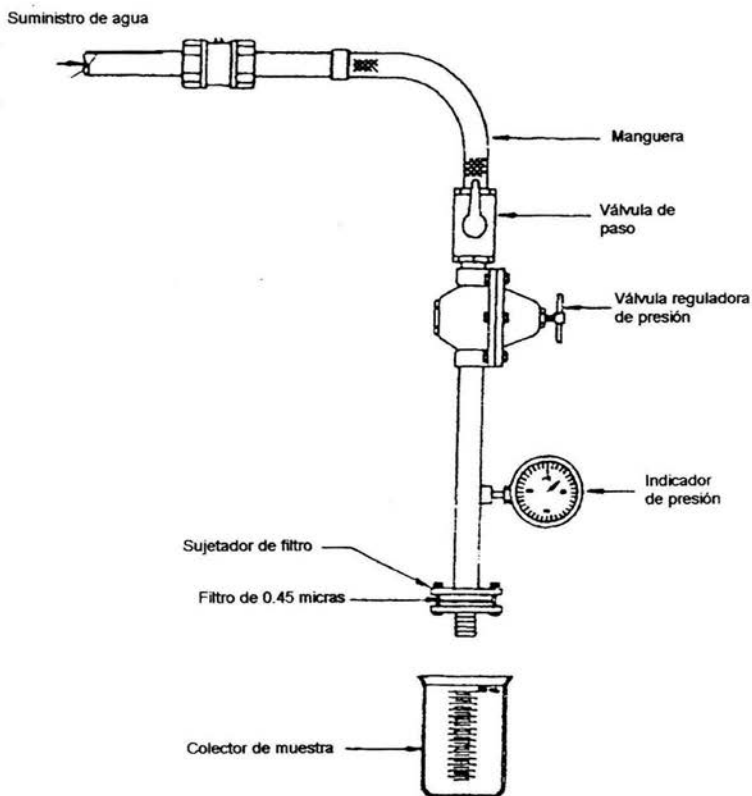


Figura 6. Equipo para medir índice de ensuciamiento.

Procedimiento

1. Antes de instalar el dispositivo de análisis, se debe enjuagar la línea de muestreo durante 3 o 5 minutos.

Nota: Si se cuenta con un pretratamiento, este deberá de operar en las condiciones rutinarias.

2. Conectar el dispositivo SDI sin el filtro en la línea de muestreo.

3. Abrir la válvula, que se encuentra localizada en el dispositivo de análisis y enjuagar el dispositivo durante 2 minutos con el agua que será analizada.

4. Con ayuda del regulador de presión, establecer la presión en 2 atm. (30 lb/pulg²). El tornillo de ajuste del regulador deberá ser ajustado mientras exista un flujo pequeño.

5. Cerrar la válvula y liberar la presión.

6. Colocar cuidadosamente el filtro de 0.45 µm en el contenedor de filtro (47 mm). Colocar la parte brillante del filtro hacia arriba. Con el dedo pulgar apretar suavemente los tornillos.

Nota: En lugar de colocar una membrana de 0.45 µm, se puede colocar una membrana con un lado hidrofóbico. El lado hidrofóbico permite que el aire sea fácilmente ventilado, y el paso 7 será eliminado.

7. Abrir parcialmente la válvula y mientras el agua fluye a través del dispositivo, aflojar cuidadosamente las dos manivelas e inclinar el contenedor para asegurarse que todo el aire ha sido eliminado del contenedor del filtro.

Nota: Si el aire no ha sido eliminado completamente de la corriente del filtro, al final del procedimiento se formarán burbujas que bloquearán las membranas.

8. Apretar los tornillos del contenedor del filtro.

9. Colocar el cilindro graduado para medir el flujo.

10. Abrir la válvula completamente y medir el flujo. Con ayuda del cronometro, determinar en cuanto tiempo el contenedor se llena. Registrar el tiempo.

11. El paso 10 se repite a los 5, 10 y 15 minutos, registrando el tiempo en cada evento.

Para estimar el porcentaje de taponamiento se utiliza la siguiente relación.

$$\text{Indice de ensuciamiento} = \frac{\text{tiempo llenado al inicio}}{\text{tiempo de llenado a los 15 min.}}$$

FACTOR DE RECHAZO DE LAS MEMBRANAS

El rechazo de soluto calculado es siempre mayor a los datos obtenidos experimentalmente, por ejemplo el rechazo teórico de cloruro sódico en una membrana de acetato de celulosa se reporta de 99.7% pero en los resultados experimentales nunca se obtienen valores mayores al 97-99% de rechazo, esto probablemente se deba a imperfecciones de las membranas a través de las cuales el soluto presurizado puede fluir y contaminar el permeado; estas imperfecciones generalmente son pequeñas y pueden corregirse fácilmente mediante un taponamiento inducido con aditivos de grandes pesos moleculares (por ejemplo el éter de metil polivinilo) destinados a taponar los poros de mayor tamaño. Desafortunadamente estos aditivos tienen algunos inconvenientes que limitan su uso como que son mas eficientes a bajos flujos que a flujos moderados, además se disipan rápidamente y deben reemplazarse con regularidad.

Otro tratamiento para reducir los efectos de imperfección es el térmico, en donde la membrana se somete a temperaturas elevadas con el objeto de reducir los tamaños de poro.

El factor de rechazo de una membrana está dado por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{C_F - C_P}{C_F}$$

Donde:

f = factor de rechazo (adimensional),

C_F = concentración de soluto en la solución (masa/volumen).

C_P = concentración de soluto en el producto (masa/volumen).

Esto indica que si se tiene un factor de rechazo $f=0.9$ el valor de C_P será de 0.1 veces el valor de C_F , es decir que el producto contiene la décima parte de concentración de soluto en la alimentación, por lo tanto el 90% del soluto ha sido rechazado por la membrana. El factor de rechazo es por lo tanto una medida de la selectividad de la membrana.

Las concentraciones C_F y C_P pueden obtenerse mediante determinación de sólidos totales disueltos (evaporación a sequedad) a nivel laboratorio.

La capacidad de una membrana para rechazar solutos depende de una combinación de características fisicoquímicas del soluto, de la membrana y del agua. Las propiedades del soluto que tienen mayor influencia en el rechazo de especies de compuestos determinadas son:

1. Valencia, el rechazo aumenta con la carga del ión.
2. Tamaño molecular, El rechazo aumenta con el tamaño molecular del soluto.
3. Tendencia al enlace de hidrógeno, la permeabilidad aumenta con la intensidad del enlace hidrógeno.

La capacidad de una membrana para rechazar sales disminuye con el tiempo de operación. La variación del rechazo se representa en la Figura 7.

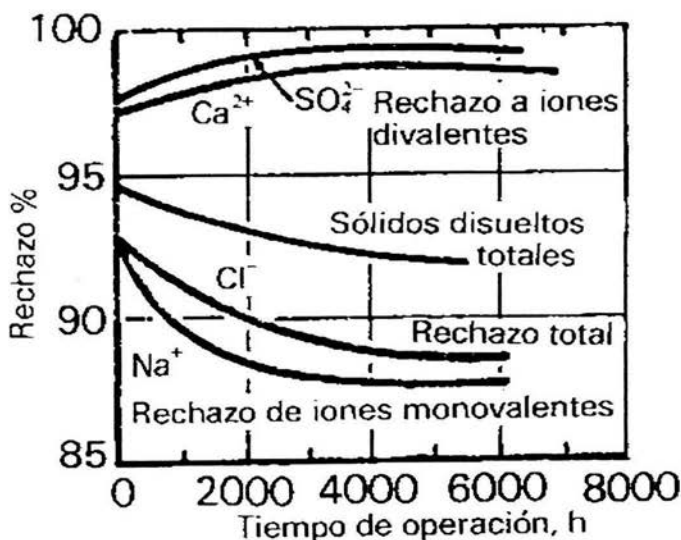


Figura 7. Variación del rechazo de sales con el tiempo de operación.

Al comienzo, el descenso es más pronunciado para iones pequeños monovalentes como el Na^+ y los cloruros Cl^- . Normalmente estos iones se encuentran entre los más permeables, presentando el rechazo inicial menor y teniendo la velocidad más alta de descenso.

La disminución progresiva puede ser debida a la hidrólisis de la membrana con la pérdida subsecuente de puntos de enlace. Otra causa puede ser el aumento de tamaño de poro debido al hinchamiento de la membrana.

CÁLCULO DEL NÚMERO DE MEMBRANAS

El cálculo del número de membranas requeridas durante el proceso de ósmosis inversa está dado por la ecuación:

$$\text{Número de membranas} = \frac{\text{Flujo deseado de permeado por día}}{(\text{Flux})(\text{Área por membrana})}$$

Donde:

Flujo de permeado deseado por día = Cantidad de agua desalinizada que se desea obtener (LPD).

Flux =Especificación del fabricante de membrana (LPD/m² de membrana).

Área por membrana = Especificación del fabricante (m²).

CAPITULO III

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA

Una unidad de ósmosis inversa se compone básicamente de: una membrana, una estructura de soporte de la misma, un tanque y una bomba de alta presión (Fig. 8).

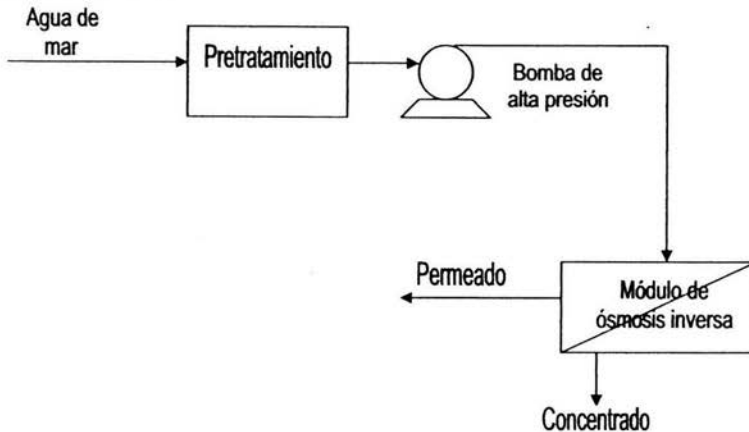


Figura 8. Sistema de ósmosis inversa.

En el diseño de un sistema de ósmosis inversa económico y eficiente, aparecen muchos problemas ingenieriles difíciles. A continuación se enumeran algunos de los pasos más difíciles durante el diseño:

1. Soportar una membrana frágil para que pueda aguantar presiones diferenciales de 300 a 102 atmósferas (4410-1499.4 lb/pulg.²).
2. Evitar que los flujos de alimentación de alta presión, entren en contacto con el flujo de agua producto de baja presión.
3. Obtener una densidad lo suficientemente alta en tratamiento como para reducir al mínimo el costo del recipiente a presión para obtener una relación óptima de alimentación /permeado.
4. Reducir al mínimo la polarización por concentración en la membrana y ensuciamiento.
5. Evitar caídas de presión en los flujos de alimentación y producto.
6. Minimizar los costos de reemplazamiento de las membranas.

Los intentos realizados para solventar estos problemas a través de obtener un equipo económico y seguro, han conducido al diseño de cuatro módulos distintos: placa y marco, tubos largos, arrollamiento en espiral y fibra fina hueca. Cada módulo, con excepción del tipo placa y marco, se aplica corrientemente en el tratamiento del agua y agua residual.

VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL DISEÑO

Una planta de ósmosis inversa consiste en una disposición de módulos en serie-paralelo.

Las variables de diseño más importantes son:

- Permeado (Recuperación).
- Calidad del agua producto.
- Presión.
- Temperatura
- Grado de pretratamiento.
- Postratamiento.

PERMEADO

La producción de agua permeada, se mide por el flujo de permeado, definido como la cantidad de agua desalinizada por día por unidad de área de membrana. En el trabajo de campo se emplean para el flujo de agua las unidades de litros por día por metro cuadrado [$l/(d)(m^2)$] mientras que para ensayos de laboratorio las unidades son [$g/(s)(m^2)$].

El flujo a través de la membrana se caracteriza por:

- Características de la membrana. Como espesor, composición química y porosidad.
- Condiciones del sistema. Que implican temperatura, presión, concentración salina y velocidad de alimentación.

Al porcentaje de permeado sobre el total del agua alimentada se le da el nombre de "recuperación" que matemáticamente se representa como sigue:

$$\text{Porcentaje de recuperación} = \frac{\text{Permeado}}{\text{Alimentación}} \times 100$$

La recuperación es una variable de diseño de sistema y debe ser respetada. Si la recuperación es muy alta, se tendrá mayor flujo de permeado y en consecuencia mayores probabilidades de que la membrana falle por taponamiento. Si la recuperación es muy baja, se desperdiciará mucha agua.

CALIDAD DEL AGUA PRODUCTO

Para diseñar una unidad de ósmosis inversa se debe conocer la composición del agua de alimentación, su variabilidad, temperatura y presión osmótica. El rechazo de los componentes de la alimentación por el sistema de membrana en consideración, también es necesario para estimar la calidad del agua producto. La capacidad de la planta está generalmente basada sobre un flujo de producto a una temperatura determinada, al que para las aplicaciones de tratamiento de residuos, el flujo de alimentación es el factor determinante. Una vez que se conocen el flujo de salida y la composición de la alimentación, se debe establecer la recuperación. En general, es difícil predecir con exactitud la calidad del permeado (agua producto), debido al rechazo específico cuando existe variación en la composición del agua de alimentación.

PRESIÓN

El flujo de agua es una función del diferencial de presión entre la presión aplicada y la presión osmótica a lo largo de la membrana. Mientras más alta sea la presión aplicada, más grande es el flujo de agua; sin embargo, la capacidad de presión de la membrana es limitada por lo que generalmente esta

presión máxima se toma de 68 atm.(1000 lb/in²). La experiencia operacional dicta un rango de presión entre 41 atm.(400 y 600lb/pulg.²) como presión de diseño. La presión osmótica del agua de mar es de aproximadamente 27 atm.(400 lb/pulg.2). Esto significa que una planta de agua de mar tiene que operar como mínimo a 41 atm.(600 lb/pulg.2) para vencer la presión osmótica y tener una productividad aceptable.

TEMPERATURA

El flujo de agua se incrementa al incrementar la temperatura del agua de alimentación. Generalmente se toman una temperatura estándar de 70°F(21°C) aunque se considera aceptable hasta 29°C(85°F) y arriba de 38°C(100°F) se acelera el proceso de deterioración de la membrana y esto no podrá ser tolerado por periodos largos de operación.

GRADO DE PRETRATAMIENTO

Es necesario efectuar un pretratamiento al agua de alimentación con el objeto de:

1. Eliminar el exceso de turbidez o sólidos en suspensión.
2. Ajustar y controlar el pH y temperatura de la alimentación.
3. Inhibir o controlar la formación de compuestos, que una vez precipitados taponaran las canalizaciones del agua o el recubrimiento de las membranas.
4. Desinfectar y evitar el crecimiento de lodos o contaminación del equipo.
5. Eliminar los aceites emulsionados o sin emulsionar y compuestos orgánicos similares.

El exceso de turbidez y sólidos en suspensión pueden eliminarse generalmente por coagulación y floculación seguida de sedimentación y/o filtración. Puede ser necesario el uso de filtro de arena de gravedad o a presión y filtros de tierra diatomeas. La materia coloidal que ocasione un descenso del flujo por unidad de superficie puede tolerarse pero debe efectuarse una limpieza periódica.

El mayor interés lo constituyen los compuestos poco solubles como el carbonato de calcio, sulfato de calcio y los óxidos metálicos hidratados. La deposición de carbonato de calcio y fosfato de calcio puede generalmente eliminarse si se mantiene un pH de operación de 5, el cual también inhibe la hidrólisis de la membrana. El sulfato de calcio incrustante puede inhibirse mediante un tratamiento mínimo con hexametáfosfato sódico.

La deposición de compuestos orgánicos puede evitarse de forma eficaz mediante un tratamiento con carbón activado. Según el tamaño de la planta y la concentración de materia orgánica en alimentación, algunas veces resulta más económico dejar que la materia orgánica se deposite y efectuar la limpieza más frecuentemente. Una gran superficie de membrana da lugar al crecimiento de lodos bacteriales y hongos y por tanto es preciso tomar ciertas medidas para evitar un crecimiento biológico excesivo sobre las membranas. Una buena técnica de inhibición consiste en la exploración de la alimentación hasta una concentración residual de 0.5 mg/L (0.5 ppm); este tratamiento da lugar a una ligera deterioración de las membranas de acetato de celulosa.

POSTRATAMIENTO

El postratamiento del agua permeada generalmente implica un ajuste del pH, una desgasificación para eliminar el dióxido de carbono, y una desinfección si queremos utilizarla como agua potable. La disminución del flujo por unidad de superficie constituye el problema operacional más serio. Este fenómeno se presenta en la ósmosis inversa y también en otros procesos de membrana. Ésta disminución del flujo, es la suma de la compactación de la membrana y el ensuciamiento. El ensuciamiento de la membrana puede algunas veces reducirse al mínimo mediante una limpieza periódica.

CAPITULO IV

CASO DE APLICACION

DESALINIZACION DE AGUA DE MAR COMO UNA SOLUCION A LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

La desalación o desalinización de agua, es un proceso de separación de sales de una disolución acuosa, pero que puede ampliarse al proceso de separación del agua de las sales, ya que existen tecnologías que realizan este proceso y el fin último a perseguir es la separación de ambos componentes para uso humano del agua dulce producto.

El uso de membranas para desalar agua tuvo su inicio durante la década de los 60's como una solución tomada por muchos países que tenían que importar agua en grandes navíos ya que no contaban con agua dulce, esta medida les ayudo a mitigar los efectos económicos que les producía satisfacer la demanda de este recurso (Fig. 9).

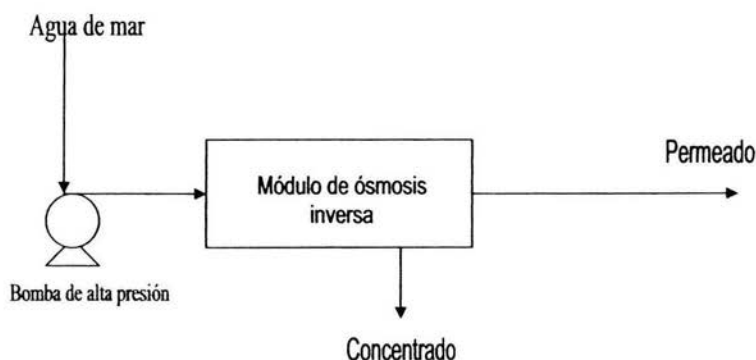


Figura 9. Desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa.

Actualmente se considera a la ósmosis inversa como el proceso idóneo para desalar agua de mar destinada a diferentes usos incluso para agua potable debido a que reduce prácticamente en su totalidad el contenido de sólidos totales disueltos (SDT). Las plantas que operan procesan un agua de mar con 36 000 ppm de SDT y la convierten en agua dulce con una salinidad inferior a 500 ppm de SDT.

Las principales razones para considerar la ósmosis inversa como idónea en este proceso son:

1. **Mayor** eficiencia con respecto a los procesos de evaporación que consumen alrededor de 12-15 Kwh/m³ de agua producto ya que la ósmosis no requiere calor sino que utiliza presión, esto permite que el consumo energético sea de hasta 6 Kwh/m³ de permeado y hasta menor en caso de instalar una turbina de recuperación de energía.
2. **Menor** costo de inversión y operación. La continua reducción en el costo de las membranas así como su creciente eficiencia hace de la ósmosis un proceso viable en la desalación de agua de mar.
3. El permeado se obtiene libre de dureza, bacterias, virus, pirógenos y patógenos, lo que la hace apta para consumo humano (después de desinfección con cloro), como agua de enfriamiento, uso en calderas y muchos otros procesos industriales.

CAPTACIÓN DE AGUA

Las tomas de agua pueden ser por pozo playero (Fig. 10), o abiertas con o sin rejilla (Fig. 11 a y b respectivamente) aunque hasta ahora las de pozo playero son las preferidas por las empresas dedicadas a este rubro por presentar menos variabilidad en la calidad del agua de alimentación, lo que permite mas constancia de operación en las plantas de ósmosis inversa y alarga el tiempo de vida de las membranas.

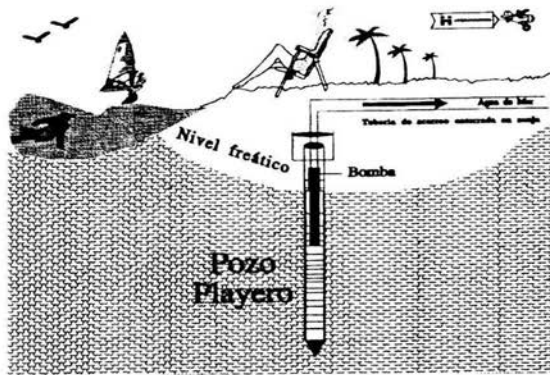
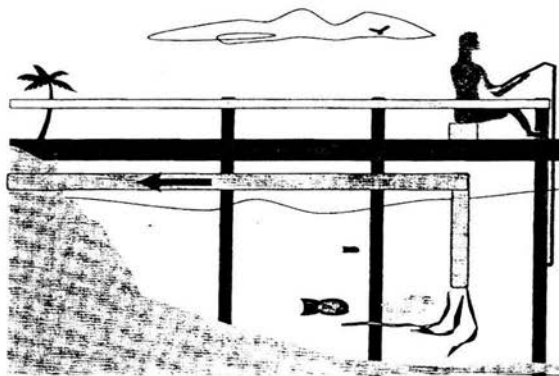
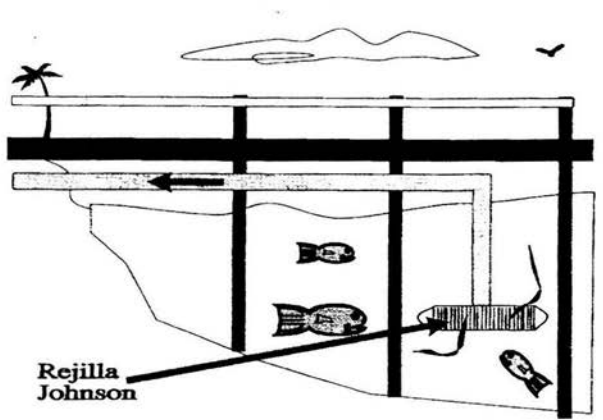


Figura 10. Pozo playero.



a) sin rejilla



b) con rejilla

Figura 11. Toma abierta .

Los principales problemas que se presentan por una toma abierta son:

- Riesgo de contaminación por aceites e hidrocarburos, principalmente en las tomas superficiales, en este caso el operador tendría que parar la planta ya que el aceite es muy difícil de remover.
- Riesgo de contaminación por materia fecal, algas, bacterias, pescados, moluscos, crustáceos, aunque este tipo de contaminación es relativamente fácil de eliminar colocando filtros de lechos múltiples en la corriente de alimentación.
- Aportación de agua saturada en oxígeno, lo que favorece la corrosión de las tuberías y acorta la vida útil de la planta en general.
- Aumento en el costo de instalación y operación ya que hay que considerar instalación de los filtros y paros recurrentes para limpieza de las membranas.

PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR

El primer paso para instalar una planta desalinizadora de agua de mar es hacer un pozo playero piloto (Fig. 10) para hacer una evaluación previa de flujo, salinidad, sólidos disueltos y turbidez del agua a tratar. Una empresa reporta que el costo de un pozo playero convencional de 40 m. de profundidad con rejilla de PVC es de alrededor de 3000 USD.

Instalar un equipo de pretratamiento que puede ser un suavizador de intercambio iónico corriente arriba de la unidad de ósmosis inversa para reducir la cantidad de calcio, estroncio, magnesio, bario, hierro y aluminio. También puede ser efectivo un filtro multimedia para reducir el nivel de sólidos suspendidos. Se puede usar un polímero coagulante para hacer la filtración de coloides. Se puede colocar una unidad de carbón activado para remover cloro y algunos orgánicos del agua de alimentación a la unidad de ósmosis inversa. También se debe colocar filtros de cartucho en las cabezas de las bombas para retener cualquier materia suspendida.

Una planta de ósmosis inversa para agua de mar no puede incluir ninguna parte de metal ferroso ya que a corto plazo este sería oxidado por el agua de mar y una vez ocurriendo esto, el óxido de hierro se quedaría sobre la superficie de las membranas causando daños irreversibles, por lo que todas las tuberías y equipos antes del proceso de ósmosis deben ser vulcanizados, de plástico o de acero inoxidable según la presión y el diámetro.

En caso de que el agua de mar tenga una temperatura superior a los 25°C(77°F) se debe considerar el uso de acero inoxidable para evitar corrosión de hendiduras en lugares donde la circulación de agua es pobre.

Todas las partes del pozo playero deben ser hechas de material a prueba de corrosión, el ademe del pozo debe ser de acero inoxidable o de PVC, en el caso de cemento, no se recomienda usar varilla de acero al carbón.

La bomba del pozo o de la toma debe ser multietapa sumergible fabricada de acero inoxidable 316 L. El motor de la bomba debe ser fabricado totalmente de acero inoxidable. En caso de ser una toma abierta, se permite utilizar bombas de tazón con partes de bronce-aluminio.

La tubería de conducción de agua de mar desde el pozo o toma a la planta debe ser de polietileno negro a prueba de radiación ultravioleta u de resina reforzada con fibra de vidrio, también podría ser de PVC enterrado aunque en caso de fuga, resulta bastante complicado desenterrarlo para su cambio o reparación.

En caso de tener una toma abierta y no un pozo playero se debe tener en cuenta que la calidad del agua de alimentación va a ser muy variable, la cantidad de contaminantes dependerá de tormentas, mareas, descargas cloacales, paso de barcos y contaminación ambiental por este motivo, se necesitará al menos una etapa de filtros multicapa. Sin embargo, la opción es limpiar las membranas con mucha frecuencia.

El diseño debe considerar un número de filtros suficiente para no parar la planta cuando sea necesario retrolavar.

Los filtros deben contener las siguientes capas como mínimo:

1. Una capa de antracita con espesor mínimo de 8 pulg. (óptimo 16-20 pulg.).
2. Una capa de granate malla 30-40 con un espesor de capa de 8-12pulg. mínimo.
3. Una capa de granate malla 8-12 con un espesor de 8-12 pulg. mínimo.

Las toveras o colectores deben ser fabricadas de rejilla ranurada de acero inoxidable tipo Johnson. No se permiten rejillas de PVC, ya que si se fracturan esto permite la posible y poco saludable entrada de granate o de arena a las membranas.

Los mecanismos de cierre de las válvulas de los filtros deben de tener refuerzo de acero inoxidable para permitir su cierre hermético durante la operación y retrolavados.

Los filtros multicapa deben de tener como mínimo un 33% de su altura total libre por arriba de la última capa. Esta altura libre permite la expansión de los lechos filtrantes durante retrolavados enérgicos.

El filtro debe de estar equipado con una válvula en su parte superior para purgar aire y otra válvula en la tubería de limpieza para permitir la inyección de aire durante los retrolavados especiales.

Es necesario colocar una serie de filtros de cartucho antes del sistema de ósmosis para evitar que el material grueso dañe la superficie de las membranas. El cuerpo de filtros de cartucho debe ser fabricado de acero inoxidable o de material plástico reforzado. Los pernos internos para sellar los cartuchos filan tuercas deben ser de acero inoxidable 316L. No se recomiendan términos de PVC ya que se rompen fácilmente dejando pasar mugre a las membranas. El rompimiento de pernos y el fallo del sellado de los filtros de

cartucho predominan entre las causas principales de fallos de pretratamiento en plantas de ósmosis inversa que resulta en ensuciamiento de las membranas.

El material de fabricación del tubo central en caso de considerarse una toma abierta y no un pozo playero con una posibilidad real o remota de contaminación con hidrocarburos, no debe ser de Noryll ya que este material es muy susceptible a ataques químicos fracturándose fácilmente.

MEMBRANAS UTILIZADAS EN LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR

Normalmente se prefiere la membrana de tipo enrollado en espiral. Los elementos serán equipados con una malla interna de un espesor no menor a 0.11 mm (0.028 pulg). El área superficial por cada elemento de 20.3 cm (8 pulg), debe de ser como mínimo de 28 m²(300ft²).

Se utilizan membranas de poliamida aromática superpuesta en capa de polisulfona ya que ésta tiene un rechazo mínimo de sales de 99.4%. Una resistencia mínima a oxidantes de 4000 ppm por hora de tolerancia al cloro para efectos de esterilización. Es resistente a soluciones de 1% de metabisulfito de sodio utilizado durante la limpieza.

CONTROL DE PROCESO

El tablero de control debe incluir dispositivos de lógica, alarmas e indicadores visuales para efectuar el siguiente control de proceso:

1. Paro de la planta cuando ocurre un evento de alta conductividad por más de 5 minutos.
2. Paro de la planta cuando ocurre cualquier evento instantáneo de baja presión de succión de la bomba de alta presión.
3. Paro de la planta si la turbiedad en la alimentación excede 3 NTU.

4. Dispositivo para asegurar un intervalo de 3 minutos después de que el operador acciona el botón de arranque y se abre la válvula de suministro de agua a la bomba de alta presión y antes de que arranque dicha bomba. Esto permite purgar el aire atrapado en el sistema antes de presurizarlo.
5. Dispositivo para asegurar un intervalo de 7 minutos después que el operador acciona el interruptor de paro y se para la bomba de alta presión; esto permite barrer concentrado del sistema antes de aislarlo para el paro.
6. En caso de que los módulos de ósmosis inversa estén equipados con mas de una bomba de alta presión, el sistema de control debe estar programado de manera que el operador pueda arrancar cualquiera de sus bombas individualmente.
7. Se puede instalar en la línea de alimentación un aparato utilizado para medir el índice de ensuciamiento de la membrana (llamado comúnmente cazamoscas) que es una membrana millipore de 0.45 micras con un regulador de presión ajustado a 2 atm. (30 lb/pulg.2), esta membrana se remueve cada 24 horas como un testigo de ensuciamiento, si se encuentra color rojo en la membrana hay que sospechar que se tiene algún aparato de acero al carbón en el circuito de agua de mar que está aportando hierro.
8. De vez en cuando hay que abrir manualmente una de las tapas de los recipientes a presión de las membranas, si se encuentran trozos de algas o de animales marinos, hay que investigar la integridad de todo el sistema de filtración.

SISTEMA DE LIMPIEZA DE LAS MEMBRANAS.

Bajo condiciones de uso continuo de las membranas, se deben tomar algunas previsiones para hacer limpieza mecánica o química. Los métodos utilizados incluyen despresurizaciones periódicas, aumento en la velocidad de flujo de agua, alimentación de mezcla aire-agua, retrolavado, limpieza con detergentes enzimáticos, etilendiamina, ácido tetra-acético y perborato de sodio. El control de pH durante las operaciones de limpieza debe ser mantenido para prevenir la hidrólisis de la membrana. La tabla 2 muestra algunos problemas por problemas por ensuciamiento y como pueden controlarse.

Tabla 2. Problemas por ensuciamiento y método de control.

Ensuciante	Síntoma	Método de control
Precipitados de Calcio (Carbonatos, Fosfatos)	<ul style="list-style-type: none"> Una marcada disminución en el rechazo de sales un moderado incremento en caída de presión entre la alimentación y el concentrado. Ligera disminución en la producción del sistema. El efecto generalmente ocurre en las membranas de la etapa final 	<ul style="list-style-type: none"> Bajar la recuperación Ajustar pH Uso de anti incrustante <p>Limpiar químicamente al sistema usando la solución N° 1*</p>
Óxidos hidratados (Hierro, manganeso, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Una disminución en rechazo de sales Rápido aumento en caída de presión entre alimentación y concentrado. Una rápida disminución de producción en el sistema. El efecto ocurre en las membranas de la primera etapa 	<ul style="list-style-type: none"> Filtración con zeolita de manganeso Suavización Oxidación - Filtración <p>Limpiar químicamente al sistema usando la solución N° 1*</p>
Coloide (Hierro, Silice, orgánicos)	<ul style="list-style-type: none"> Una ligera disminución en el rechazo de sales Un gradual aumento en caída de presión entre alimentación y concentrado. Una disminución gradual (en varias semanas) en la producción del sistema El efecto ocurre en las membranas de la primera etapa 	<ul style="list-style-type: none"> Coagulación - Floculación - Sedimentación - Filtración Coagulación - Filtración Uso de dispersantes Limpiar químicamente al sistema usando la solución N° 2*.
Sulfato de Calcio (generalmente encontrado en las últimas membranas del sistema)	<ul style="list-style-type: none"> Una significativa disminución en el rechazo de sales Una ligera a moderada caída de presión entre alimentación y concentrado. Una ligera disminución en la producción del sistema. El efecto ocurre generalmente en las membranas de la última etapa 	<ul style="list-style-type: none"> Suavización con resina Uso de anti-incrustante <p>Limpiar químicamente al sistema usando la solución N° 2*.</p>
Depósitos orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> Posible disminución en el rechazo de sales Gradual incremento en caída de presión entre la alimentación y el concentrado. Disminución en la producción del sistema Los efectos ocurren lentamente en todas las etapas 	<ul style="list-style-type: none"> Filtración con GAC. <p>Limpiar químicamente al sistema usando la solución N° 2*. Para ensuciamiento mas pesado usar solución N° 3*.</p>
Ensuciamiento biológico	<ul style="list-style-type: none"> Posible disminución en el rechazo de sales Una marcada disminución en caída de presión entre la alimentación y rechazo. Una marcada disminución en la producción del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> Cloración - dechloración Bisulfito de sodio Luz U V <p>Lavar químicamente al sistema con cualquiera de las soluciones dependiendo de la composición de los ensuciantes.</p>

*Las soluciones de limpieza recomendadas se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Soluciones de limpieza recomendadas.

Solución No.	Ingrediente	Cantidad para 1200 litros	Ajuste de pH
1	Ácido cítrico Agua permeada	54 lb. (25 Kg.) 1200 litros	Ajustar el pH a 3 usando hidróxido de amonio
2	Tri poli Fosfato de sodio EDTA Agua permeada	54 lb (25 Kg) 22 lb (10 Kg) 1200 litros	Ajustar el pH a 10 usando Ácido Clorhídrico
3	Tri poli Fosfato de sodio Dodecibencen Sulfonato Agua permeada	54 lb (25 Kg) 7 lb (3.2 Kg) 1200 litros.	Ajustar el pH a 10 usando Ácido Clorhídrico

La planta debe incluir un sistema adecuado para efectuar la limpieza simultánea de todos los tubos que comprendan un módulo de ósmosis inversa (un módulo es el conjunto independiente de tubos y membranas a los cuales alimenta una bomba). Este sistema incluye:

- a. Tanque de polietileno, fibra de vidrio con resina epóxica o de acero inoxidable equipado con dispositivos de drenaje, agitador y bypass de recirculación en la descarga de la bomba. El tanque debe de estar ligeramente elevado y debe de equiparse con una conexión de drenaje en el fondo de manera que se pueda drenar totalmente. A la capacidad del tanque debe de ser por lo menos 20 litros (0.02 m^3) por el número de membranas (elementos de ósmosis inversa) en cada módulo.
- b. Calentador eléctrico de 3000 watts, o serpentín de vapor (esencial si es una toma abierta y opcional si es un pozo).
- c. Bomba de recirculación de acero inoxidable capaz de bombear el flujo total requerido para limpieza. La bomba de recirculación y su motor estarán diseñadas para bombear el flujo correcto de limpieza a una presión de 4 atm (60 lb/pulg^2). El flujo correcto de limpieza se calcula multiplicando 151.4 litros/min ($0.15 \text{ m}^3/\text{min}$) por el número de tubos instalados en cada paso.

- d. Medidor del flujo de limpieza tipo rotámetro o electrónico.
- e. Medidor de presión en la descarga de la bomba de limpieza.
- f. Filtro de cartucho ubicado en la línea de retorno de la planta de ósmosis al tanque de limpieza. El filtro de cartucho debe de ser de tamaño adecuado para manejar el volumen total del flujo de limpieza.
- g. Interconexiones y válvulas en el equipo de limpieza que permitan la recirculación de la solución de limpieza antes de alimentarla al sistema de ósmosis inversa.
- h. Mangueras seleccionadas de un diámetro adecuado para que la caída de presión no sea mayor a 0.4 atm.(6 lb/pulg.²) al conducir el volumen total del flujo de limpieza. Estas mangueras deben de estar equipadas con interconexiones rápidas tipo clamp (tipo bombero) para ser conectadas y desconectadas rápidamente al cabezal de entrada y de salida del sistema de ósmosis. El cabezal de limpieza debe de estar equipado con válvulas y conexiones que permitan limpiar independientemente cada paso de membranas.

COSTOS

Las plantas desalinizadoras de agua de mar han producido agua potable durante muchos años. Sin embargo, hasta hace poco la desalinización sólo se había empleado en circunstancias extremas debido al alto consumo de energía de proceso.

Los costos de operación de la ósmosis inversa se dividen equitativamente en 3 áreas (fig12):

1. Cargas fijas
2. Reemplazamiento de las membranas.
3. Costos de potencia, mano de obra, pretratamiento y limpieza.

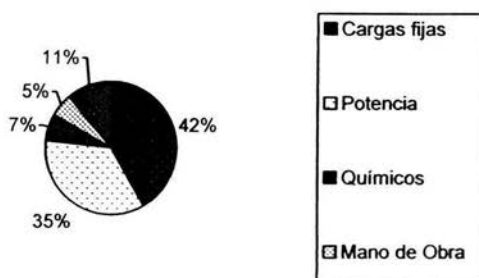


Fig. 12. Costos de operación de una planta de ósmosis inversa.

Cuando se reutiliza el agua y/o el concentrado tiene algún valor, algunos de los costos de operación son inferiores. Estudios económicos han indicado que el costo puede disminuirse significativamente cuando se trabaja con flujos por unidad de superficie elevados y membranas de vida larga.

El costo específico (m^3 permeado/día) de las membranas de ósmosis inversa de agua de mar, en términos reales, ha disminuido a razón de 15% durante los últimos diez años. Esto repercute en costos más atractivos, no solo en una reducción en el costo de inversión de las plantas de ósmosis inversa, sino también en el costo de reposición de membranas que se ha hecho más accesible.

Las primeras plantas desalinizadoras utilizaban diversas tecnologías de evaporación. Las desalinizadoras por evaporación más avanzadas, de múltiples etapas, tienen un consumo de energía de más de 9 kWh por metro cúbico de agua potable producido. Por esta razón, inicialmente las grandes desalinizadoras de agua de mar se construyeron en lugares en los que el costo de la energía era muy bajo, como el Oriente Medio.

En los años setenta se desarrolló el proceso de ósmosis inversa de agua de mar, con el que se obtiene agua potable a partir de agua de mar que se fuerza a pasar, bajo una alta presión, a través de una membrana semipermeable que filtra las sales e impurezas. Estas sales e impurezas se expulsan del dispositivo de ósmosis inversa en forma de solución concentrada de salmuera en un flujo continuo que contiene una gran cantidad de energía de alta presión. La mayor parte de esta energía puede recuperarse con una turbina adecuada.

Muchas de las primeras plantas desalinizadoras de ósmosis inversa construidas en los años setenta y a principios de los ochenta tenían un consumo de energía de más de 6.0 kWh por metro cúbico de agua potable producido debido al bajo rendimiento de la membrana, a las limitaciones de la caída de presión y a la carencia de dispositivos de recuperación de energía.

En 1985, Filmtec (Dow Chemical Co.) desarrolló el primer elemento comercial de ósmosis inversa de baja presión y un solo paso.

Las nuevas tecnologías de membranas y los dispositivos de recuperación de energía de primera generación posibilitaron la desalinización de agua de mar con un consumo energético de algo menos de 4,0 kWh/m³. La maquinaria rotatoria de estos primeros dispositivos de recuperación de energía estaba fabricada con piezas metálicas que a menudo presentaban problemas de corrosión, desgaste y mantenimiento al instalarse en un entorno marino porque contenían partes de hierro.

En 1992, Energy Recovery, Inc. comenzó a desarrollar un rotor tubular relativamente sencillo que podía transferir la energía a presión directamente desde el concentrado proveniente de la ósmosis inversa al flujo de alimentación (Fig.13). Lo que contribuyó a disminuir los costos de operación de la bomba de alta presión.

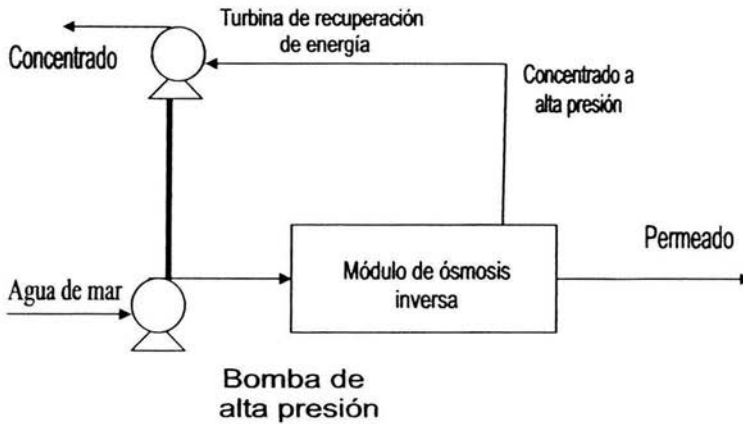


Figura 13. Sistema de ósmosis inversa con recuperación de energía.

Cinco años y varios millones de dólares más tarde, la idea evolucionó a un dispositivo comercial patentado de 10 cm (4 pulgadas) de diámetro: el Intercambiador de Presión (Pressure Exchanger, PE).

Los dispositivos PE se comenzaron a vender en 1997. Las partes móviles y de acoplamiento de cerámica del PE han mostrado un desgaste excepcionalmente bajo, e incluso nulo, en el uso con salmuera a alta presión, y el material no es susceptible a la corrosión por picaduras y tensión que sufren los componentes de acero y bronce en usos similares. El PE de rotación lenta (1.500 rpm) ha demostrado necesitar poco mantenimiento en las plantas desalinizadoras.

Como el PE transfiere energía de la salmuera al flujo de alimentación sin los problemas de rendimiento de los ejes giratorios de alta velocidad, se obtiene un rendimiento real de 91-95% con un amplio rango de flujos.

La reducción de los costos energéticos y de capital supone que por primera vez es posible producir agua potable a partir de agua de mar con un costo inferior a 1 dólar estadounidense por metro cúbico en muchos lugares del Mundo. El anexo 2 muestra algunos datos actuales de costos de sistemas de ósmosis inversa.

IMPACTO AMBIENTAL

Los principales impactos ambientales de las plantas desalinizadoras se presentan durante la construcción, otros son causados por el incremento en el uso de la energía, por la emisión de compuestos de nitrógeno y oxígeno, por las descargas de salmuera, por la acción de las obras de toma y por la posibilidad de que se fomente el crecimiento poblacional en torno a la planta.

La mayoría de los procesos de desalinización de aguas que se han planteado o ejecutado hasta el momento, han presentado una barrera prácticamente infranqueable asociada al vertido de concentrados que irremediablemente originan estos procesos industriales y que, al contemplarse únicamente como residuos y por tanto como impactos negativos sobre el medio ambiente no se les busca otro uso y se evacua al mar.

Hay pocos estudios reportados en la literatura acerca del impacto de vertidos de plantas desalinizadoras e indican que se ha presentado reducción de poblaciones de peces, mortalidad de plancton y corales en el Mar Rojo (Mabrook 1994) y contaminación importante de fangos por cobre y níquel en Key West, Florida (Chesher 1970).

La distribución de los organismos marinos está estrechamente relacionada con la temperatura y la salinidad como lo demuestra el hecho de que en zonas estuáricas donde hay variaciones significativas de salinidad, muchas especies no pueden sobrevivir o que con un aumento o disminución de algunos grados en la temperatura del agua, se da la sustitución de algunas especies por otras.

Las aguas residuales provenientes de la desalinización tienen un contenido mayor en sales que las aguas de origen, presentan diferencias de temperatura y pH. Y contienen algunas sustancias químicas utilizadas en la planta como anti-incrustantes y detergentes utilizados en la limpieza de las membranas; en la tabla 4 se presenta un resumen de las sustancias provenientes de una planta desalinizadora, su origen y su impacto al medio marino.

Tabla 4. Sustancias provenientes de una planta desalinizadora, su origen e impacto al medio marino.

Compuesto	Origen	Impactos
Metales pesados	Corrosión	Bioacumulación
Fosfatos	Anti-incrustantes	Macronutriente, eutrofización
Ácido Sulfúrico	Anti-incrustante	Modifica el pH del sistema
Residuos sólidos	Limpieza de membranas	Turbidez
Salmuera	Concentrado del proceso	Variable
Temperatura	Tratamiento	Variable

Una alternativa de disposición del concentrado proveniente de las plantas desalinizadoras es que en vez de contemplarla como residuo, se utilice como recurso para regenerar o crear ecosistemas salobres los cuales se encuentran en constante deterioro debido a la sequía y el desarrollo agrícola, ganadero e industrial hasta el punto de encontrarse entre los sistemas ecológicos más amenazados de la biosfera.

Es evidente la necesidad de detener esta tendencia al deterioro y aunque las medidas preventivas, es decir una política racional de gestión y conservación de la integridad funcional de estos ecosistemas, deben ser prioritarias, debemos considerar la posibilidad de crear nuevos humedales y desarrollar proyectos de restauración ecológica en otros que se encuentran alterados o desaparecidos.

OTRAS APLICACIONES DE LA ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa también se utiliza como pretratamiento del agua para su desionización por intercambio iónico con el fin de tener un agua ultra pura. Esta combinación es económicamente atractiva y ofrece varias ventajas técnicas. Otras áreas de aplicación en el tratamiento de agua las constituyen el pretratamiento del agua de proceso para alimentar calderas, agua de reposición en torres de refrigeración y agua de lavado de dureza casi cero.

Los ensayos de ósmosis inversa en planta piloto para residuos sanitarios y purificación de aguas ácidas de minas han dado resultados muy esperanzadores. Se están desarrollando métodos para combatir el problema del ensuciamiento de la membrana. La reutilización múltiple de cualquier residuo sanitario municipal, eventualmente implica la desalinización. La ósmosis inversa ofrece otra ventaja significativa sobre otros sistemas de desmineralización de aguas salobres, tales como el intercambio iónico y la electrodiálisis y es que también elimina parte de la materia orgánica. Además éste proceso ofrece la posibilidad de reemplazar otros pasos del tratamiento general. De hecho, se están llevando a cabo experimentos sobre el tratamiento de aguas negras crudas con ósmosis inversa. El tratamiento del agua residual industrial ofrece un gran potencial para la ósmosis inversa y otros procesos de membrana. Debido a que la ósmosis inversa es un proceso de concentración, se aplica:

1. Cuando se requiere una reducción en el volumen de sólidos totales disueltos (STD).
2. Cuando se quiere recuperar compuestos valiosos o que se pueden reutilizar como metales preciosos.
3. Cuando se requiere recuperar agua residual.

CONCLUSIONES

La ósmosis inversa puede representar una solución a la problemática de abastecimiento de agua en lugares donde las fuentes de agua dulce no son suficientes y se tiene el mar como fuente de abastecimiento.

Este proceso tiene ventajas sobre otros métodos como el de destilación debido a que el agua obtenida es de mejor calidad y el costo energético de operación es bastante menor (9 Kwh/m³ de agua en la destilación contra menos de 4 Kw/m³ de agua utilizando ósmosis inversa).

Aunque no se tienen reportados grandes impactos ambientales por la operación de plantas desalinizadoras, se debe tratar de verter los concentrados en zonas con un hidrodinamismo medio o elevado que facilite la dispersión de la sal, preferentemente en fondos sin vegetación y se debe tratar de que el agua de origen sea de buena calidad para minimizar el tratamiento químico posterior, minimizando así los impactos.

La potabilización del agua de mar y su uso en la satisfacción de varias de nuestras necesidades va cada vez en aumento y aunque ahora la vemos como la gran solución, no debemos perder de vista que la mejor manera de evitar problemas futuros debidos a la escases este recurso natural es tratar de utilizarla de manera mas racional y educar a las nuevas generaciones en un concepto sustentable protección al ambiente.

GLOSARIO

AGUA CRUDA: Agua que no ha recibido algún tipo de pretratamiento

AGUA SALOBRE: Aguas con un contenido de sólidos totales disueltos de aproximadamente 60 a 6000 ppm. de sólidos totales disueltos.

AGUA SUAVIZADA: Agua que ha pasado por un proceso de intercambio de iones que induce la dureza (ca y mg)

ALIMENTACIÓN: Influyente a tratar.

ANILLO DE ACOMETIDA (ESPACIADOR): Dispositivo para transferir el agua introduciéndola a través de la circunferencia de los elementos, en los extremos de los tubos, este elimina el telecopiado de las membranas.

ARAMID: Material a base de mezcla de acetato de celulosa.

ARREGLO: Configuración específica del sistema de los tubos de presión.

ASIMÉTRICA: Membrana que es fabricada de diferentes materiales, es decir diferentes en capas, como por ejemplo, las de película ultra delgada compuesta.

COLECTOR DEL PERMEADO: Tubo plástico perforado localizado en el centro de la membrana para coleccionar el producto.

COMPACTACIÓN: Efecto sobre la membrana por la presión, este es reversible y está relacionado con el arrastre de la membrana, es una función logarítmica con respecto al tiempo y es directamente proporcional a la presión de operación y la temperatura.

CONCENTRACION POR POLARIZACION: Es la formación de sales en la cercanía de la superficie de la membrana, y esta excede la concentración de sales en el volumen de la solución de alimentación.

CUBIERTA PROTECTORA: Elemento de la membrana en fibra de vidrio que cubre el total de la membrana la cual es usado para evitar distorsión y desenrollamiento de la membrana.

DISPOSITIVO ANTITELESCOPICO: Dispositivo moldeado plástico el cual previene el movimiento horizontal de la membrana, comúnmente integrado sobre un elemento retenedor en el extremo de los tubos contenedores.

ENSUCIAMIENTO: Resultado de contaminación por materia de tipo coloidal, orgánica o biológica, las cuales al cubrir la superficie de la membrana, reducen su comportamiento por ejemplo bajando el flux o degradando la calidad del producto.

ESPACIADOR DEL CONCENTRADO: Hoja de material plástico localizado entre dos membranas del lado del rechazo para mantener un flujo turbulento y una distribución adecuada.

ESPACIADOR DEL PRODUCTO: Hoja de material plástico localizado entre las capas de las membranas para coleccionar el producto.

FIBRA HUECA FINA (HFF): Membrana fabricada en forma de fibras delgadas con centro hueco, configuradas en forma de cartucho.

FLUX: Rango en que se mide la capacidad de la membrana y es expresada en unidades de volumen sobre área.

GFD: Galones por día por pie² de área.

HIDRÓLISIS: Efecto que causan los valores de pH altos en las membranas.

INCRUSTACIÓN: Efecto particular del agua de alimentación en función de los sólidos totales disueltos y su solubilidad.

INDICE DE ENSUCIAMIENTO: Es la indicación del potencial de ensuciamiento del agua a tratar, el cual esta basado en el rango de taponamiento de un filtro de 0.45 micras, operando a una presión de 30 lb/pulg².

INTERCONECTOR DE PERMEADO: Componente cilíndrico plástico usado para interconectar los tubos de permeado de las membranas, estos pueden ser externos o internos.

IÓN: Forma de sustancia en la solución que tiene carga eléctrica.

MEMBRANA DE BAJA PRESIÓN: Membranas capaces de operar a presiones entre 225 y 275 lb/pulg².

MEMBRANA DE ACETATO DE CELULOSA (AC): Membrana en forma asimétrica fabricada de acetato de celulosa ó mezclas de acetato de celulosa.

MEMBRANA EN HOJAS (LEAF): Paquete formado por dos membranas (hojas) selladas por tres de sus lados con un espaciador acanalado para el permeado, el cual mantiene separadas las dos membranas, un numero de estos paquetes es separado por un espaciador de concentrado y enrolladas en espiral alrededor de un tubo colector de producto, dando origen a lo que se conoce como elemento ó membrana.

MEMBRANA SEMIPERMEABLE: Material que deja pasar el agua y rechaza los sólidos disueltos como las sales, coloides, virus y bacterias.

MEMBRANA TIPO POLIAMIDA (PA): Membrana en forma asimétrica de aramid.

MEMBRANA TUBULAR: Membrana fundida en el interior y exterior de tubos de tubos porosos de aproximadamente ½" de diámetro, fabricada en paquetes de tubos.

MEMBRANAS DE ALTA PRESIÓN: Membranas que puede trabajar entre 800 y 1000 lb/pulg².

MEMBRANAS DE MEDIA PRESIÓN: Membranas capaces de operar entre 400 a 600 lb/pulg².

ÓSMOSIS INVERSA: Flujo a través de una membrana semipermeable desde el lado de mas alta concentración al lado de mas baja concentración.

ÓSMOSIS NATURAL: Flujo de agua a través de una membrana semipermeable desde una solución de menos concentración a una de mas concentración.

PASO O ETAPA: Término usado para la identificación de un numero especifico de tubos a presión en un arreglo definido.

PELICULA ULTRADELGADA COMPUESTA (TFC): membrana fabricada en capas, la capa del fondo o de soporte puede ser de polisulfona u otro material de superficie finamente porosa. una solución acuosa de amina polimérica es entonces depositada. esta capa es entonces conectada con compuestos reactivos disfuncionales para formar la capa activa de la membrana para el rechazo de las sales, comúnmente esta capa puede ser de película ultra delgada d poliuria ó poliamida, ó de una capa semejante a la piel humana.

PERMEADO O PRODUCTO: Resultado del proceso de ósmosis inversa.

PRESIÓN OSMÓTICA: Fuerza que ejercen las partículas de una substancia disuelta en un líquido sobre las paredes del recipiente que lo contiene y que es exactamente igual a la que ejercerían aquellas partículas si estuvieran en forma gaseosa en idénticas condiciones de presión y temperatura.

PRESIÓN TRANSMEMBRANA: Presión requerida para producir un flujo de agua a través de una membrana semipermeable a condiciones especificas.

RECHAZO O CONCENTRADO: Corriente resultante del tratamiento de ósmosis inversa que contiene la mayor concentración de sales.

RECUPERACIÓN: Cantidad de agua producto obtenida de la alimentación expresada en % y es la relación entre la alimentación y el rechazo.

SELLO DEL CONCENTRADO: Dispositivo usado en los extremos de la membrana, localizado en una ranura exterior al elemento del lado del concentrado, el sello esta realzado contra la pared del tubo para asegurar un flujo completo de la membrana.

SELLO TRANSPORTADOR: Dispositivo ranurado moldeado plástico en los extremos de la membrana para mantener el sello del concentrado.

SIMÉTRICA: Se aplica a la membrana la cual esta hecha del mismo material con un lado mas denso y poroso que el otro.

SÓLIDOS DISUELTOS: Sustancias en la solución en forma de sales o iones.

TORTA FILTRANTE: Parte sólida resultante de la filtración efectuada por filtros de prensa.

TRANSPORTADOR DEL SELLO DEL CONCENTRADO: Dispositivo plástico para retener el sello del concentrado.

TUBOS DE PRESIÓN: Ensamble cilíndrico para contener hasta ocho elementos, que puede ser fabricado en acero inoxidable ó fibra de vidrio reforzada.

BIBLIOGRAFIA

1. Sincero Arcadio P.
Environmental engineering a design approach
Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 1996.
2. R.S. Ramalho
Introduction to waste water treatment processes.
Academic Press Inc. 2nd edition.
London, 1999.
3. High-shear membrane separation for process and wastewater treatment.
Brett Elias and Jabez Van Cleef
Chemical Engineering
September 1998
Pp 94-104
5. R.S. Ramalho.
Introduction to wastewater treatment processes.
Academic Press. 2nd. Edition.
U.S.A. 1983.
4. Hydranautics Corporation
manual de potabilizacion de agua de mar por ósmosis inversa.
San Diego Ca. 1990.
5. King, C.J. 1971.
Separation process.
New York; Mc.Graw Hill.
6. Himelstein, W. And Z. Amjad.
The role of water analysis, scale control and cleaning agents in reverse osmosis. Ultrapure Water. 1985
7. Hydranautics Co. Technical bulletins. Membranes, topic, reverse osmosis and design parameters.
8. Membranes separation process.
Chemical engineering, june 1984,

10. Z. Amjad, Ph. D.

Reverse Osmosis, Membrane technology, water chemistry and industrial applications. Edit by Z. Amjad. Van Nostrand Reinhold, N.Y.

Sitios de Internet:

<http://circe.cps.unizar.es/waterweb/index.html> Conferencia internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. aspectos medioambientales, reutilización y desalación

<http://www.gem.es/materiales/document/document/g01/d01105/d01105.htm>
Desalación

<http://www.cepis.org.pe/acrobat/israel.pdf> Desalination: Present and Future

<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/caliagua/mexicono/R-0107.pdf> La desalación de agua mediante ósmosis inversa en el emergente mercado del agua

<http://www.awwa.org/> American Water Works Association

<http://www.edsoc.com/> European Desalination Society (EDS)

<http://www.desline.com/> Desalination Directory Online

<http://www.ems.cict.fr> European Membrane Society (EMS)

<http://www.iawq.org.uk>; <http://www.iawq.co.uk> International Water Association (IWA)