

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
DESALADORA POR OSMOSIS INVERSA COMPACTA



**ANEXO II:DESALADORA POR
OSMOSIS INVERSA**



INDICE

1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	6
2.1. LA CARTA DEL AGUA	6
2.2. NECESIDAD DEL AGUA	7
2.3. HISTORIA DE LA DESALACION	8
2.4. METODOS DE DESALACION	12
2.4.1. TIPOS DE DESALINIZACION	12
2.4.2. PRINCIPIO DE LA OSMOSIS INVERSA	14
2.4.2.1. ¿QUÉ ES LA OSMOSIS?	14
2.4.2.2. ¿EN QUE CONSISTE EL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA?	14
2.4.2.3. PRINCIPIO DE LA ÓSMOSIS INVERSA	14
2.4.2.4. COMPONENTES DE LA ÓSMOSIS INVERSA	15
2.4.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LA ÓSMOSIS INVERSA	15
2.4.2.6. DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS	16
2.4.2.7. RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS	17
3. MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA	18
3.1. INTRODUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MEMBRANAS	18
3.2. FACTORES QUE AFECTAN AL COMPORTAMIENTO DE LAS MEMBRANA	19
3.3. COMPARACIÓN ENTRE MEMBRANAS	22
3.4. UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA	26
3.5. POLARIZACIÓN DE LA MEMBRANA	30
3.6. ENSUCIAMIENTO DE LAS MEMBRANAS	31
3.6.1. INCRUSTACIONES	31
3.6.2. ENSUCIAMIENTO	32
3.6.3. LIMPIEZA QUÍMICA DE LAS MEMBRANAS	33
4. DESCRIPCIÓN DE INSTALACIONES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DESALADORA DE ÓSMOSIS INVERSA.	35
4.1. DATOS DE PARTIDA	35
4.2. CAPTACIÓN DE AGUA MARINA	36
4.2.1. CAPTACIÓN ABIERTA	36



4.2.2. CAPTACIÓN POR MEDIO DE CÁNTARA	38
4.2.3. CAPTACIÓN MEDIANTE POZOS	39
5. PRETRATAMIENTOS	42
5.1. PRETRATAMIENTOS QUÍMICOS	42
5.1.1. CLORACIÓN DEL AGUA DE MAR	42
5.1.2. COAGULACIÓN	43
5.1.3. AJUSTE DE PH	43
5.2. PRETRATAMIENTOS FÍSICOS	43
5.3. MÓDULO DE ÓSMOSIS INVERSA	46
5.3.1. CONDUCTO DE ALIMENTACIÓN A BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	46
5.3.2. BOMBEO DE ALTA PRESIÓN	47
5.3.3. CONTROL DEL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN	48
5.3.4. ALIMENTACIÓN AL MÓDULO DE MEMBRANAS.	49
5.3.5. MÓDULO DE MEMBRANAS	49
5.3.6. COLECTOR DE AGUA PRODUCTO	49
5.3.7. VERTIDO DE SALMUERA	52
5.4. POSTRATAMIENTOS	53
5.5. OTROS ELEMENTOS ASOCIADOS A UNA PLANTA DESALADORA	54
5.5.1. VERTIDO DE SALMUERA	54
6. DATOS DE PARTIDA	55
6.1. CAPACIDAD DE LA INSTALACIÓN	55
6.2. BALANCE DE MATERIA	55
6.3. CARACTERÍSTICAS DE AGUA DE MAR	56
6.4. CALIDAD DEL AGUA DESALADA.	56
6.5. CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR	57
6.5.1. CÁNTARA DE CAPTACIÓN.	57
6.5.2. BOMBA DE CAPTACIÓN	57
6.5.2.1. CAUDAL DE LA BOMBA DE CAPTACIÓN.	57
6.5.2.2. ALTURA DE LA BOMBA Y NPSHd.	57
6.6.1. FILTRACIÓN EN ARENA	60
6.6.2. LAVADO DEL FILTRO DE ARENA	62
6.6.3. FILTROS DE CARTUCHO.	62



6.6.4. DOSIFICACIÓN ANTI-INCRUSTANTE. HEXAMETAFOSFATO SÓDICO	62
7. OSMOSIS INVERSA	63
7.1. BOMBEO DE ALTA PRESIÓN	64
7.2. MÓDULOS DE ÓSMOSIS INVERSA	66
7.3. DESPLAZAMIENTO	67
8.- POSTRATAMIENTO.	68
8.1. REGULACIÓN DEL pH. CARBONATACIÓN.	68
8.2. CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA TECNICO-SANITARIA. CLORACIÓN	69
9. ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA	69
10.TUBERÍAS	69
10.1. BAJA PRESIÓN.	69
10.2. ALTA PRESIÓN	70
11. APARATOS DE MEDICIÓN Y CONTROL	71
12. INSTALACIÓN ELÉCTRICA	73
13. INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS	73
14. CONSIDERACIONES SOBRE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	73
14.1. SITUACIÓN DE LA PLANTA	74
14.2. EL INTERIOR DE LA PLANTA	74
15. PUESTA A PUNTO.	74



1. RESUMEN

Este proyecto nace de la necesidad de potabilizar agua para consumo humano en determinadas poblaciones donde no es posible el acceso al suministro regular de abastecimiento de agua potable y no poseen grandes infraestructuras eléctricas, o zonas desérticas .

El objetivo principal es el diseño y la viabilidad tanto económica como energética de una planta desaladora por osmosis inversa ,para poder auto abastecer a núcleos de población aproximadamente de 3000 personas del suministro de agua potable, mediante la energía eléctrica suministrada mediante paneles fotovoltaicos .Todo ello deberá de ser compartimentado en un contenedor , para su transporte a cualquier lugar del mundo Se estima que la cantidad de agua producida sea 20 l por persona y día, debido a que este proyecto contempla la producción de energía solar mediante paneles solares , es imprescindible obtener la localización geográfica exacta del lugar de instalación , para poder aprovechar el máximo rendimiento de las placas solares .

2. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

2.1. LA CARTA DEL AGUA

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

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



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

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

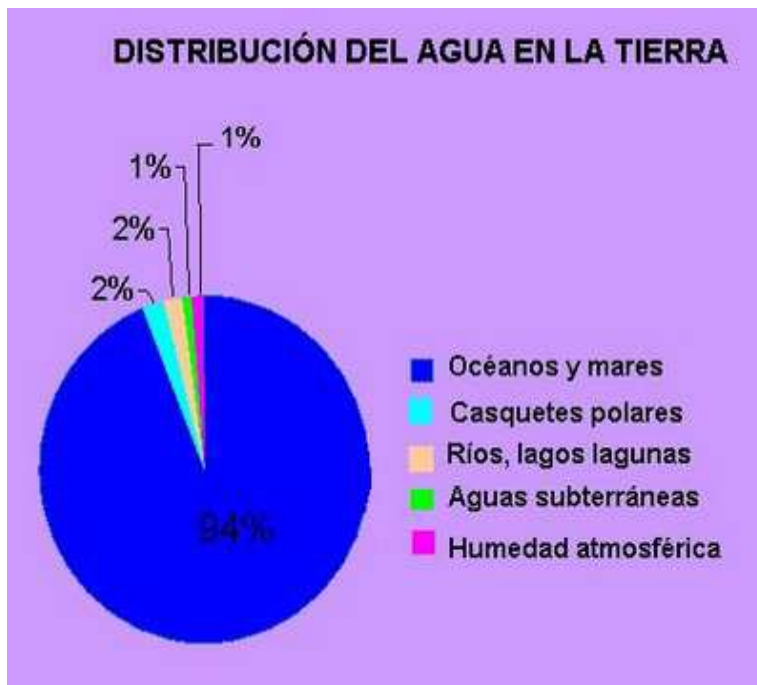


2.2 NECESIDAD DEL AGUA

El agua es el elemento más abundante y necesario del planeta así como la fuente de vida en la tierra. Las primeras civilizaciones se gestaron en torno a los valles de los grandes ríos y en razón de los cursos de agua se han ido estableciendo límites, pueblos, caminos, etc. que han fijado el entramado geográfico del mundo.

Es considerada un recurso natural con reservas inagotables puesto que la hidrosfera contiene del orden de 1.386 millones de km³ de agua, pero su disponibilidad como agua dulce es limitada, por lo que debe considerarse como un bien escaso. Al afirmar que el agua es un bien escaso, se está afirmando que podría darse un uso valioso a cualquier aumento de la cantidad disponible del mismo.

En el siguiente gráfico se observa la distribución de agua mundial:



La desalinización de agua de mar es una gran solución al problema de la escasez de agua. Tengamos en cuenta que en el propio ciclo hídrico natural del agua, durante el proceso de evaporación de aguas de mar, ya existe el fenómeno de la desalinización.



Las aguas superficiales que discurren por la corteza terrestre, más las que están almacenadas en suelo y subsuelo, sin contar las aguas dulces congeladas en ambos polos —que no llegan a ser el 2% de las aguas marinas—, representan cifras ridículas en comparación con las que se almacenan en los mares y océanos que cubren las tres cuartas partes de la superficie terráquea. Por tanto, las cantidades máximas y teóricas de agua a desalar para completar las necesidades y demandas de agua potable son muy pequeñas, en magnitudes relativas a las aguas marinas; aun teniendo en cuenta las previsiones del fuerte crecimiento de la población del Planeta y sus demandas. Puede ser casi inagotable, por su renovación, si se sabe manejar con cordura y racionalidad.

Precisamente, ello pone más en evidencia la necesidad de resolver este problema de forma lógica y por esta vía, sin ningún tipo de repercusiones consideradas desfavorables para el medio marino; ni desde el punto de vista geodésico. Incluso se contribuiría al mantenimiento de los deseables y permanentes niveles de agua en el mar, con los valores actuales, que son juzgados como óptimos. La desalinización de agua de mar puede ser, también, la solución para la reposición de acuíferos sobreexplotados, al igual que debe serlo el reciclaje de aguas. La sal excedente de las desalinizadoras, debe aprovecharse para conseguir otros elementos Minerales y nuevas fuentes de inéditas energías. Es imprescindible este camino de Investigación, porque, en gran parte, nuestro futuro hídrico está en el mar teóricamente ilimitada y con mayores posibilidades cada día, a medida que se perfeccionan y abaratan las técnicas, tanto de investigación, como de obtención, elevación, transporte movilización del agua.

Dentro de unos años, la sociedad no entenderá cómo hemos podido padecer falta de agua en algunas partes del mundo, teniendo tanto perímetro de costa marítima, sin haber recurrido antes a la solución de desalinización de agua de mar. Será tan incomprensible que podría parecer como un juego de despropósitos. Y más aún, cuando se piense que, como banal justificación o disculpa, se recurría a la falsedad de que un procedimiento caro. Cuando lo verdaderamente caro es carecer de un elemento básico, como es el agua, con restricciones urbanas que provocan gravísimos daños a los pobladores y a sus condiciones de sanidad, salubridad, higiene y economía, entre otras.



2.3 HISTORIA DE LA DESALACION

Quizá la más antigua referencia que existe sobre la desalación del agua de mar es el relato que aparece en la Biblia (Éxodo, capítulo 15, versículo 22-25): «Al mando de Moisés, los hijos de Israel partieron del mar Rojo. Avanzaron hacia el desierto del Sur y marcharon por él tres días sin hallar agua. Llegaron a Mara, pero no podían beber el agua por ser amarga [por eso se dio a este lugar el nombre de Mara]. El pueblo murmuraba contra Moisés, diciendo: ¿Qué vamos a beber? Moisés clamó a Yavé, que le indicó un madero que él echó en el agua, y esta se volvió dulce».

Referencias más concretas se encuentran ya en Tales de Mileto (624-547 a.C.) y Demócrito (460?-370? a.C.), quienes sugirieron que el agua dulce se obtenía por filtración del agua de mar a través de la tierra. Aristóteles (384-322 a.C.) abordó en sus obras diversos aspectos del problema del agua; discutió acerca de la naturaleza y propiedades del agua de mar y la posibilidad de su desalación. Plinio (23-79 d.C.), en su gran enciclopedia sobre historia natural describe varios métodos para desalar agua.

Alejandro de Afrodisias (193-217 d.C.), al comentar la Meteorológica de Aristóteles, describe por primera vez el procedimiento de destilación como método de obtención de agua dulce a partir de agua de mar.

En la Edad Media varios autores trataron el problema de la desalación del agua de mar, entre los que se puede citar a John Gaddesden (1280-1361), que en su obra *Rosa medicine* describe cuatro métodos para la desalación del agua de mar.

En la Edad Moderna se multiplican las observaciones científicas debido a los descubrimientos geográficos, la expansión del comercio y los largos viajes a través de los mares. Ello implica un nuevo avance en el problema de la desalación del agua, especialmente en lo que se refiere al abastecimiento de las tripulaciones de los buques.

Andrés Laguna (1499-1560), médico personal del rey de España, Carlos I, en sus comentarios escritos sobre la materia médica, de Dioscórides, cita diferentes métodos de desalación. Giovan Battista Della (1535-1615) publicó en 1589 la segunda edición de su *Magiae naturalis* en veinte tomos y en el último describe los métodos de obtención de agua dulce a partir de agua salina conocidos en la época.



A comienzos del siglo XIX ya eran conocidos los principios de los métodos de desalación que podemos llamar naturales, concretamente la evaporación solar, la destilación y la congelación. El uso industrial de estos principios tuvo en cambio un lento desarrollo, excepto en las instalaciones de destilación para barcos, cuyo crecimiento fue relativamente rápido. La destilación tuvo un primer impulso de desarrollo en el año 1884, cuando James Weir creó, con destino a barcos, una planta de evaporación que utilizaba la energía residual del vapor de salida de la caldera. Desde 1884 hasta 1956 el tipo de destilación de tubos sumergidos sirvió de base a la mayoría de las instalaciones marinas de esta naturaleza, y en la época final a instalaciones terrestres.

Las primeras instalaciones de tipo industrial se reportan a partir de 1950. Los sistemas de intercambio de iones eran conocidos desde el siglo XIX, aplicados en multitud de industrias químicas y para desmineralizar aguas que no tuvieran más de 1,5 g/L de sales disueltas; sin embargo, su desarrollo comienza en la década de 1950.

Tras la II Guerra Mundial comienzan ya a instalarse las primeras plantas desaladoras. Países como Arabia Saudí o Kuwait, enormemente deficitarios en el terreno hídrico, pero cercanos al mar, son los que abanderan este proceso. Paulatinamente, se van incorporando nuevas técnicas que abaratan y facilitan la desalación, pero será en los años 60 cuando se produzca el descubrimiento de una técnica que habría de revolucionar todo el proceso: la ósmosis inversa, un sistema que es en la actualidad, y con mucha diferencia, el que ostenta la primacía internacional, por su eficacia y alto rendimiento, en los procesos de desalación en el mundo.

Actualmente es Arabia Saudí, uno de los países pioneros en desalinización de agua del mar, el que lidera la producción en el mundo, calculándose que cuatro de cada cinco litros que se consumen en el país provienen de plantas desalinizadoras. Le siguen otras naciones de la zona, como Emiratos Árabes Unidos, Libia, Kuwait o Qatar. Otros países con una abundante producción de agua desalinizada son Estados Unidos y Japón. España se sitúa directamente detrás, habiendo registrado en los últimos años una notable progresión.

A finales del 2010, los países del Medio Oriente, donde existe una escasez crítica del agua, producen aproximadamente el 50% de la capacidad mundial de agua desalinizada en el mundo. Le siguen de lejos América del Norte (16%), Europa (13%), Asia (11%), África (5%), América Central (3%), Australia (1%) y Sudamérica (1%)



2.4 METODOS DE DESALACION.

La desalinización y obtención de agua potable extraída del mar se logra por varios métodos, que están en competencia entre sí y, lógicamente, no todos ellos son utilizados en las mismas dimensiones. Me limitaré a una referencia generalizada y comparativa —no técnica— de los métodos actualmente conocidos, que utilizan las energías convencionales,

2.4.1 TIPOS DE DESALINIZACION

Destilación súbita por “efectoflash” - MSF.

Es el proceso de destilación más utilizado en el mundo, sobre todo en Oriente Medio. Especialmente indicado para aguas con altas salinidad, temperatura y contaminación; su capacidad es mucho mayor que la de otras plantas destiladoras. Pero tiene el inconveniente de que su consumo específico de energía es de los más grandes entre los procesos conocidos, lo que lo hace sólo permisible para naciones con energía barata.

Destilación por “múltiple efecto”- MED.

Es muy aconsejable cuando se aprovechan los calores residuales procedentes del vapor de escape de las turbinas, motores diesel, turbinas de gas, etc., en las instalaciones de cogeneración —en las que hay un considerable ahorro energético—, y cuando no se pueden aplicar otros procesos. Es apto para conseguir grandes caudales para abastecimiento de poblaciones, a bajos costes.

Este tipo de plantas industriales son muy versátiles y flexibles, tienen bajo consumo de mantenimiento y pueden tener una rápida amortización. Produce agua de gran calidad, con bajos contenidos de sólidos, pudiendo reciclarse posteriormente para ser utilizada agrícolamente, lo que no podría ser si tuvieran un alto contenido en sales. Su capacidad suele ser más reducida que las de MSF —no suele superar los 15.000 m³/día—, pero tienen un mejor rendimiento global con respecto a las mismas. En las Islas Canarias se hizo una instalación de este tipo hace ya más de 25 años, que sigue funcionando, así como otras análogas, hasta superar el número de 50.

Siguiendo el mismo proceso, pero utilizando una fuente de energía diferente —termocompresores—, se logra una capacidad desalinizadora mucho mayor.



Sistema por ósmosis inversa.

En la década de los ochenta empezó el desarrollo y aplicación del sistema de ósmosis inversa en España y en el mundo, convirtiéndose en el más utilizado en la actualidad. Entre otras razones, por ser, entre todos los procesos para desalinización de agua de mar, el de más bajo consumo energético, menores costes de inversión y producción, y mayor flexibilidad de ampliación en el caso de aumento de demanda. Además, somos la nación europea puntera en buenas técnicas de desalinización por ósmosis inversa. Se sigue investigando en este sistema con la creación de nuevos modos y tipos de membranas, con mayor eficacia y rendimiento, más alargamiento de vida y menor coste de fabricación. Las plantas desalinizadoras, fijas o móviles, algunas de ellas de pequeño tamaño, como la que nos atañe en nuestro proyecto, son muy recomendables para según qué uso, circunstancias y situaciones. Se recomiendan para sequías circunstanciales, abastecimientos turísticos estacionales, emergencias o utilizaciones temporales reducidas, y casos análogos.

Otros métodos

- El método por destilación solar tiene, obviamente, un coste energético muy bajo, pero su limitada producción hace que estas desalinizadoras sean de baja operatividad. Sólo es posible pensar en estas instalaciones en sitios totalmente aislados y faltos de suministro electricidad y agua
- Los métodos de congelación y formación de hidratos, mediante el proceso de cristalización, no han sido aún suficientemente desarrollados, con ensayos a escala reducida.
- El método de destilación por membranas, que combina los procesos de evaporación y filtración, además de consumir más energía, necesita mayor espacio para su instalación.

Sólo ha sido probado en laboratorio.

- El método de compresión mecánica de vapor, mediante el proceso de evaporación, es de muy bajo consumo específico, pero tiene el inconveniente de que no existen compresores de tamaño adecuado para una producción acorde con la natural demanda.
- El método de electrodiálisis es un proceso de filtración recomendable sólo para el tratamiento de aguas salobres, o en el reaprovechamiento de aguas residuales.
- El método de intercambio iónico es aplicado en la adecuación de agua para calderas, extraída de ciertos acuíferos o de vapores acumulados. Su coste no es apropiado para aguas salobres y de mar.



2.4.2 PRINCIPIO DE LA OSMOSIS INVERSA

2.4.2.1. ¿Qué es la osmosis?

La ósmosis es un fenómeno físico-químico de difusión pasiva que implica un movimiento neto de agua a través de una membrana selectivamente permeable que limita dos compartimentos, es provocado por la diferencia de concentración (gradiente) de una solución acuosa entre ambos compartimentos. La ósmosis es un fenómeno biológico importante para la fisiología celular de los seres vivos.

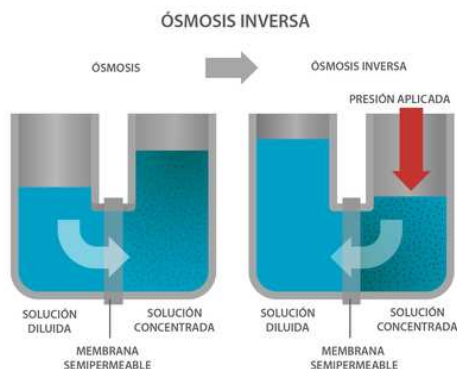
2.4.2.2. ¿En qué consiste el proceso de ósmosis inversa?

El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y para quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, los pirogénicos, la materia coloidal micro organismos, virus y bacterias del agua. El proceso se llama ósmosis inversa cuando se requiere la presión para forzar el agua pura a través de una membrana provocando que las impurezas salgan detrás. La ósmosis reversa es capaz de quitar 95%-99% de los sólidos disueltos totales (TDS) y el 99% de todas las bacterias, de esta manera se proporciona agua segura, pura.

En proceso de la ósmosis inversa el agua es forzada a cruzar una membrana para dejar las impurezas atrás. La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus son separados del agua.

2.4.2.3. Principio de la Ósmosis Inversa

El solvente (no el soluto) pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada a través de una membrana semi-permeable. Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía originada en la diferencia de concentraciones. El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Si se agrega a la solución más concentrada energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la presión osmótica aparente entre las dos soluciones. Esta presión osmótica aparente es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones. Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso. Se trata de la ósmosis inversa. El flujo de solvente es una función de la presión aplicada de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada.





2.4.2.4. Componentes de la ósmosis inversa

Los componentes básicos de una instalación típica de ósmosis inversa se realizan en un tubo de presión conteniendo la membrana, aunque normalmente se utilizan varios de estos tubos ordenados en serie o paralelo. Una bomba suministra continuamente el fluido a tratar a los tubos de presión, además, es la encargada en la práctica de suministrar la presión necesaria para producir el proceso. Una válvula reguladora en la corriente de concentrado es la encargada de controlar la misma dentro de los elementos.

2.4.2.5 Características de la ósmosis inversa

Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua (hasta el 99%).

Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.

Realiza el proceso de purificación en una sola etapa y en forma continua.

Es una tecnología extremadamente simple que no requiere de mucho mantenimiento y puede operarse con personal no especializado.

El proceso se realiza sin cambio de fase, consiguiendo ahorro de energía.

Es modular y necesita poco espacio, lo que le confiere una versatilidad excepcional en cuanto al tamaño de las plantas: desde 1 m³/día, a 1, 000,000 m³/día.

2.4.2.6 Definiciones y Nomenclaturas

Los conceptos más importantes y su nomenclatura en los procesos de ósmosis inversa son:

Aportación: Es la solución que llega a las membranas de ósmosis inversa. Otras denominaciones son aporte, solución de aporte, alimentación, solución a tratar. Al compartimento que contiene esta solución se le llama de 'alta presión' y a la cara de la membrana en contacto con este compartimento se le conoce como 'lado de alta'.

La nomenclatura utilizada para esta solución:

Q_a = Caudal C_a = Concentración

P_a = Presión hidráulica π_a = Presión osmótica

Permeado: Es la solución que atraviesa la membrana. También se denomina producto. Al compartimento que contiene esta solución se le llama de 'baja presión' y a la cara de la membrana en contacto con él, 'el lado de baja'.



La nomenclatura utilizada:

Q_p = Caudal C_p = Concentración

P_p = Presión hidráulica π_p = Presión osmótica

Rechazo: Es la solución concentrada que no puede atravesar la membrana.

También se le llama concentrado o salmuera de rechazo.

La nomenclatura utilizada es:

Q_r = Caudal C_r = Concentración

P_r = Presión hidráulica π_r = Presión osmótica

Coeficiente de permeabilidad: Es el volumen de solvente (agua en este caso) que atraviesa la membrana por unidad de superficie, unidad de tiempo y de presión a temperatura y salinidad determinadas y constantes.

Suele expresarse en $\frac{m^3}{m^2 \cdot dia \cdot bar}$ o también $\frac{m}{dia \cdot bar}$ y se representa por A

Porcentaje de recuperación: Es el cociente en tanto por ciento, entre el caudal de permeado y el caudal de aportación que llega a las membranas. También se denomina factor de conversión y se representa por Y.

$$Y = 100 \cdot Q_p / Q_a$$

Se llama conversión al porcentaje de recuperación expresado en tanto por uno, y se representa por 'y':

$$y = \frac{Q_p}{Q_a}$$

Porcentaje de rechazo de sales: Es el cociente entre la concentración de la solución de aporte menos la del permeado y la concentración de la solución de aporte, expresado en tanto por ciento. Se representa por R.

$$R = 100 \cdot \frac{C_a - C_p}{C_a}$$

El rechazo en tanto por uno será:

$$r = \frac{C_a - C_p}{C_a} = 1 - \frac{C_p}{C_a} \text{ por lo que}$$

$$C_p = (1 - r)C_a$$



Porcentaje de paso de sales: Es el cociente entre la concentración de sales en el permeado y en la solución de aporte en tanto por ciento y se representa por PS.

$$PS = 100 * \frac{C_p}{C_a}$$

El paso de sales en tanto por uno es: $p = \frac{C_p}{C_a}$

La relación que se obtiene entre el rechazo de sales y el paso de sales viene dada por: $r = 1 - p$

Factor de concentración: Expresa el número de veces que se concentran las sales en el rechazo de la ósmosis inversa. Su valor es igual al cociente entre las concentraciones de sales en el rechazo y en el aporte

$$F_c = \frac{C_r}{C_a}$$

2.4.2.7 Relación entre parámetros

Considerando constante la densidad de las distintas soluciones, a partir del proceso industrial de ósmosis inversa presentado en la figura anterior, se pueden establecer las siguientes relaciones:

Conservación del solvente (balance de masa):

$$Q_a = Q_p + Q_r$$

Conservación del soluto (balance por componente):

$$Q_a * C_a = Q_p * C_p + Q_r * C_r$$

Expresando todo en función de la conversión 'y' y el rechazo de sales 'r'

$$Q_p = y * Q_a$$

$$Q_r = (1 - y)Q_a$$

$$C_r = \frac{1 - (1 - r) * y * C_a}{1 - y}$$

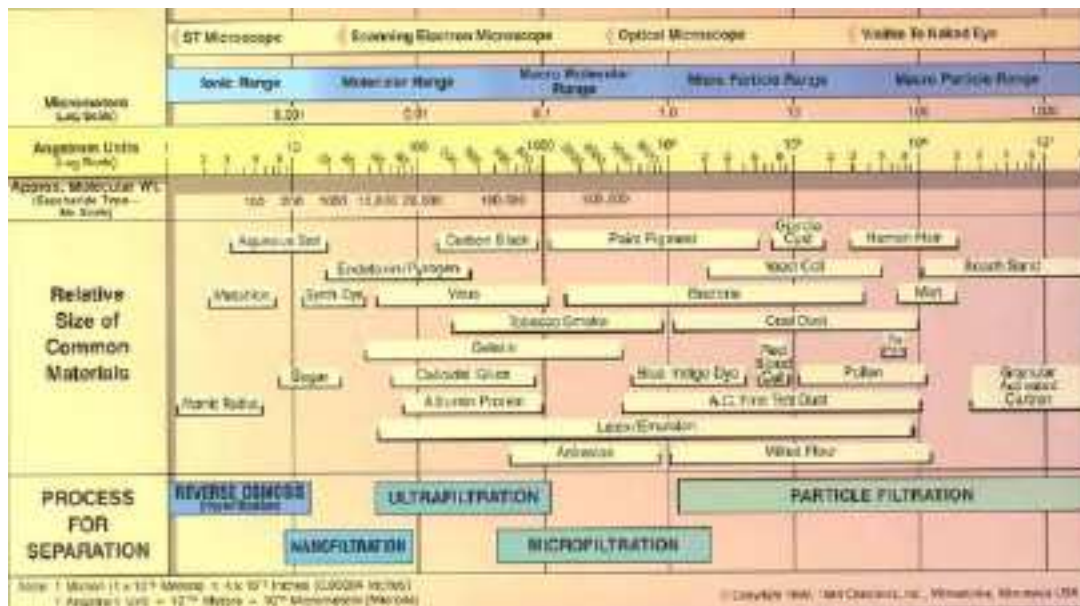
$$F_r = \frac{1 - (1 - r) * y}{1 - y}$$



3. MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

3.1. Introducción y clasificación de las membranas

Los procesos de membranas se diseñan atendiendo a la calidad del agua a tratar y a su posterior uso. Así, se pueden clasificar estos procesos en función de la energía requerida y la calidad del agua a tratar, distinguiéndose dos tipos de membranas: las que se usan para separar sólidos disueltos (ósmosis inversa OI y nanofiltración NF) y las que se emplean para separar sólidos suspendidos (microfiltración MF y ultrafiltración UF). En la siguiente figura se puede observar el rango de aplicación de cada uno de estos procesos:



A su vez, dentro de los procesos de separación de sólidos disueltos, donde se enmarca la ósmosis inversa, existen distintos tipos de membrana. La clasificación más común es según material y configuración:

Material:

-Poliamida aromática PA

-Acetato de celulosa CA

Configuración:

-Placa

-Tubular



-Fibra hueca HF

-Arrollamiento en espiral SW

3.2. Factores que afectan al comportamiento de las membranas

El comportamiento de las membranas de ósmosis inversa viene determinado por cierto número de variables que se recogen en 3 grupos:

Variables que afectan a la membrana

Variables que afectan al agua de alimentación

Variables que afectan a las condiciones de operación

Los parámetros que determinan el mecanismo de ósmosis y su eficiencia son:

Permeabilidad hidráulica de la membrana

Selectividad de la membrana

Configuración estructural

Características químicas del polímero

A continuación se detallan las variables que afectan al comportamiento de la membrana:

Efecto de la presión:

La presión del agua de alimentación a las membranas afecta tanto al flujo de permeado (expresado como cantidad de permeado transportado por unidad de área de membrana) como al rechazo de sales.

El proceso de OI implica una presión de alimentación superior a la osmótica a fin de conducir el flujo del lado de mayor concentración al de menor.

Como se muestra en la figura 2 el flujo de permeado a través de la membrana aumenta directamente proporcional al incremento de la presión de alimentación, pero también lo hace el rechazo de sal de forma menos directa. Esto implica, que siendo las membranas barreras imperfectas para las sales disueltas en el agua de alimentación, el rechazo de sales aumentará también por la sencilla razón de que el agua a través de la membrana pasa a una velocidad mayor que la que permite el transporte de sales. Pero existe un límite superior a la cantidad de sales que son retenidas, como se muestra en la gráfica, de forma que aunque se aumente la presión de alimentación por encima de dicho nivel, no logra un aumento en el rechazo de sales y algunas pasan a través de la membrana con el permeado.



Efecto de la presión:

La presión del agua de alimentación a las membranas afecta tanto al flujo de permeado (expresado como cantidad de permeado transportado por unidad de área de membrana) como al rechazo de sales.

El proceso de OI implica una presión de alimentación superior a la osmótica a fin de conducir el flujo del lado de mayor concentración al de menor.

Como se muestra en la figura 2 el flujo de permeado a través de la membrana aumenta directamente proporcional al incremento de la presión de alimentación, pero también lo hace el rechazo de sal de forma menos directa. Esto implica, que siendo las membranas barreras imperfectas para las sales disueltas en el agua de alimentación, el rechazo de sales aumentará también por la sencilla razón de que el agua a través de la membrana pasa a una velocidad mayor que la que permite el transporte de sales. Pero existe un límite superior a la cantidad de sales que son retenidas, como se muestra en la gráfica, de forma que aunque se aumente la presión de alimentación por encima de dicho nivel, no logra un aumento en el rechazo de sales y algunas pasan a través de la membrana con el permeado.

Efecto de la temperatura:

Como se aprecia en la figura 3 las membranas de OI son muy sensibles a los cambios en la temperatura del agua de alimentación. A medida que la temperatura aumenta, el flujo de permeado también lo hace debido al alto ratio de difusión a través de la membrana, pero sin embargo, también implica un descenso paulatino en el rechazo de sales (o un aumento del paso de sales al permeado) debido también al elevado ratio de difusión de las sales a través de la membrana.

La capacidad de la membrana para soportar altas temperaturas mejora el rango de operación de la misma y además favorece los procesos de limpieza y la posibilidad de usar productos más efectivos y rápidos.

Figure 2. Effect of Feedwater Pressure on Flux and Salt Rejection

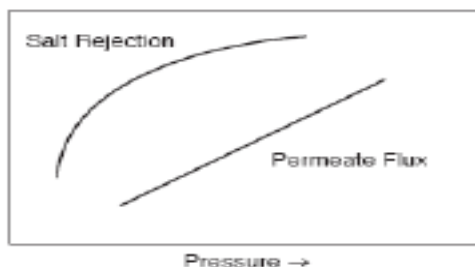
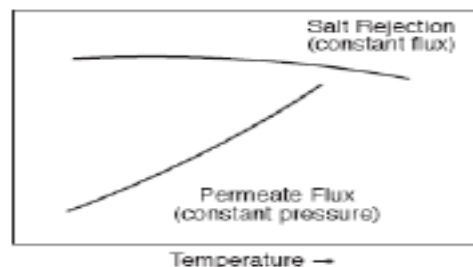


Figure 3. Effect of Feedwater Temperature on Flux and Salt Rejection





Efecto de la concentración de sales:

La presión osmótica es una función del tipo y concentración de las sales y los componentes orgánicos del agua de alimentación. Si aumenta la concentración también lo hace la presión osmótica, y por tanto la presión necesaria para el agua de alimentación. De la figura 5, observamos que si la presión de alimentación se mantiene constante y se eleva la concentración de sales disminuye el flujo de permeado a la vez que aumenta el paso de sales a través de la membrana.

Efecto de la conversión (cantidad de permeado obtenido a partir de la alimentación):

Por lo general, al aumentar la conversión, manteniendo la presión de alimentación constante, el agua de alimentación residual (que alimenta a los siguientes módulos de ósmosis) va aumentando su concentración, y con ello su presión osmótica hasta el punto de alcanzar a la presión de la alimentación. Esto puede incidir en el efecto conductor de la presión de alimentación, disminuyendo o incluso invirtiendo el proceso de ósmosis y originando que el flujo de permeado y el rechazo de sales vayan disminuyendo e incluso se paren.

La máxima conversión depende de la concentración de sales del agua de alimentación (y su presión osmótica) y su tendencia a precipitar sobre la superficie de la membrana.

Figure 5. Effect of Increasing Salt Concentration on Flux and Salt Rejection

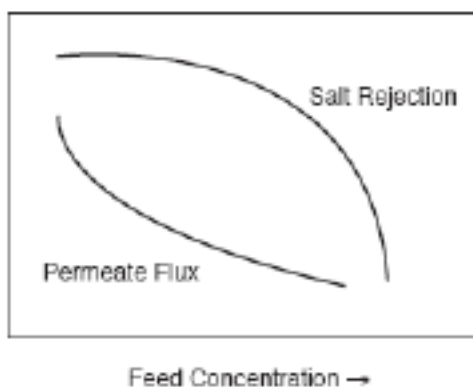
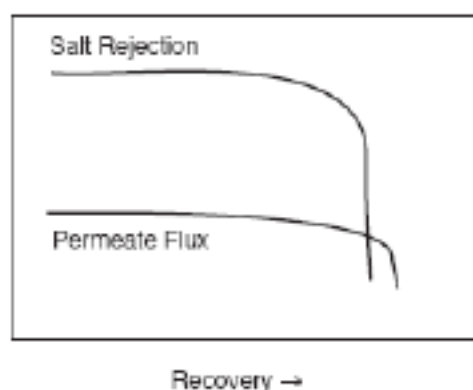


Figure 6. Effect of Increased Recovery on Flux and Salt Rejection





Efecto del pH:

Como se discutirá más adelante, el rango de pH en el que trabajan las membranas de poliamida aromática es mucho mayor que el de las de acetato de celulosa, presentando un comportamiento más estable y unas mejores condiciones de operación. El rechazo de sales depende del pH, y el flujo de permeado también se ve influenciado por éste, aunque para las membranas de PA son prácticamente estables en casi todo el rango de pH.

3.3. Comparación entre membranas

En los procesos de ósmosis inversa ha habido todo un desarrollo en cuanto a las membranas que producen la separación de las sales. En los comienzos de la investigación, a partir del año 1936, se barajan materiales constituyentes como ferrocianuro de cobre, mallas metálicas, membranas de cobre porosas, membranas naturales y de acetato de celulosa. En todas ellas aunque el transporte de agua era aceptable, el rechazo de sales era aún muy limitado.

A partir de los años 50 y 60 se llegan a desarrollar membranas de acetato de celulosa planas con rechazos superiores al 98% pero con flujos pequeños, y tras trabajos de investigación en los que se mezclaron acetato de celulosa y triacetato de celulosa se consiguieron membranas con importantes rechazos y caudales aceptables que permitían una utilización comercial con rendimientos económicos aceptables.

Desde el punto de vista químico, las membranas todavía tenían limitaciones en cuanto a hidrólisis de la capa activa, por lo que hacia la década de los 70 se cambió de material base: de celulosa a poliamida aromática, consiguiéndose una mejora sustancial en el rechazo y en cuanto a rango de pH aunque no eran resistentes al cloro. Estas primeras membranas de poliamida aromática se produjeron inicialmente en forma de fibra hueca.

La mayor superficie de la fibra frente a la membrana plana que se había venido fabricando, permitió unas producciones importantes en relación al espacio ocupado y su comercialización fue muy rápida. No fue hasta el año 1972 cuando apareció la primera membrana de poliamida aromática para agua de mar en fibra hueca, y a partir de ahí, se empleó dicho material para la fabricación de membranas

A partir de este momento es cuando comienza realmente la expansión de la tecnología de membranas a gran escala. Así pues, aunque a lo largo de los años la investigación y fabricación de membranas ha ido sufriendo modificaciones, se observan dos tipos bastantes diferenciados que se han mantenido desde el principio tanto en material como en configuración:



Material: Poliamida aromática, Acetato de celulosa

Configuración: Fibra hueca, Arrollamiento en espiral.

En cuanto a la configuración, se trata de dos estructuras que realmente se podrían definir como fibrilar y laminar respectivamente. El proceso de fabricación de ambas tiene lugar a partir de una solución viscosa de polímeros de cadena larga, pero la forma en que se realiza una y otra es bien diferente. Actualmente, la configuración y el material base más usual para la desalación de agua de mar es la de arrollamiento en espiral por poliamidas aromáticas.

A continuación se detallan las características de ambos tipos de materiales y ambas configuraciones a fin de justificar la tendencia actual hacia las membranas de poliamida aromática de arrollamiento en espiral:

MATERIAL:

Acetato de Celulosa (CA): El polímero de acetato de celulosa es un material poroso, de forma que la permeabilidad de la membrana es función del tamaño de poro e incide en una alta compactación y por tanto una disminución del flujo de permeado (Jw).

El rango de operación de dicho material para temperatura y pH es estrecho:

Temperatura:

La exposición de la membrana de CA a temperaturas de alimentación superiores a 30° provocan una disminución del rechazo de sales. Además la contracción térmica de la membrana provoca un descenso del permeado y un aumento del rechazo.

pH:

El rango de operación del pH es de 4.5 a 6.5. Funcionamientos de la membrana fuera de dicho rango producen disminución en el rechazo de sales así como la necesidad del reajuste del mismo - para grandes instalaciones dicho reajuste requiere de algunas horas con dosificación de ácido-.

También se produce un descenso en el RS tras la limpieza química de las membranas para recuperar el permeado.

Presión: Las membranas de CA suelen trabajar en un rango de operación de 350-450 psi.



Poliamidas Aromáticas (PA): Las poliamidas son materiales no porosos cuya permeabilidad es función de la difusión de las distintas especies. Así tienen menores problemas de compactación y contracción.

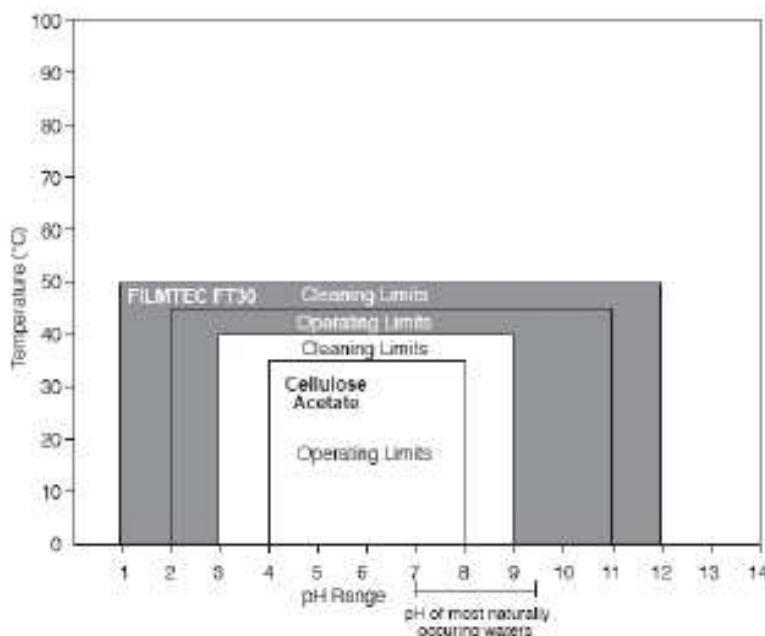
Temperatura y pH: Trabajan en un amplio rango de pH y temperatura frente al material anterior como se muestra en la siguiente gráfica, lo cual permite un comportamiento más estable ante cambios del sistema.

Presión: Operan en un rango de presión de 200-225 psi, lo que hace disminuir el consumo energético en casi un 40%.

No presentan tolerancia al cloro ya que ataca al material: el cloro libre induce a la disolución – oxidación de la capa delgada dañando la membrana y disminuyendo su selectividad. Debe neutralizarse antes de su entrada en la unidad de ósmosis.

Actualmente la poliamida aromática ha sustituido al acetato de celulosa en los procesos de desalación por membranas por su mejor comportamiento térmico, mecánico y frente a ensuciamiento; por su reducción del consumo energético y por tanto de dicho coste (mayor vida útil, menor reemplazamiento de membranas).

Figure 4. Comparison of Operating and Cleaning Parameters for FT30 Thin-Film Composite Membrane and a CA Membrane





COFIGURACION:

La membrana encargada de realizar la separación de sales no es más que una lámina delgada que por sí sola no soportaría los esfuerzos que se aplican en este tipo de procesos. Además produce caudales unitarios muy reducidos. Por todo esto es necesario integrarla en una estructura que le confiera la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos a la vez que contenerla en el menor volumen posible.

De las cuatro configuraciones señaladas previamente, las que se utilizan actualmente son sólo dos: Fibra hueca (HF: hollow fiber) y Arrollamiento en Espiral SW: spiral wound). Normalmente, para desalación de agua de mar se utilizan las de arrollamiento en espiral de capa delgada (TFC: thin film composite) frente a las de fibra hueca, más usada cuando la fuente de alimentación es agua salobre.

Fibra hueca (HF): Están constituidas por un haz de millones de tubos capilares del tamaño del cabello humano, huecos interiormente. Inicialmente el material base fue el acetato de celulosa y aunque fue sustituido por la poliamida aromática, los modelos actuales han vuelto al material de origen.

La delgadez de los tubos capilares le permiten el empaquetamiento en poco espacio, un tubo de PRFV que constituye la carcasa protectora y permite la circulación de la solución a desalar. Dado el material base y el tipo de configuración, dichas membranas presentan las siguientes características:

Al ser el material constituyente el acetato de celulosa, estas membranas necesitan operar a altas presiones lo cual produce una progresiva compactación y reducción del flujo de permeado.

Se ven muy afectadas por el bioensuciamiento, reduciendo igualmente el flujo de permeado y el rechazo de sales.

La limpieza química de las membranas sólo recupera parcialmente el rechazo de sales, y tras ésta es necesario realizar un post-tratamiento para regenerar la capa activa. El retrolavado o backwash necesario en estas membranas tras la limpieza química, también influye en que no se restablezcan los valores de diseño de los parámetros del sistema – rechazo de sales o J_w -, afectando a la vida útil de las membranas.



Arrollamiento en espiral (SW): Este tipo de membranas está formada por varias láminas rectangulares, enrolladas en torno a un eje cilíndrico provisto de perforaciones que permiten recoger el agua producto.

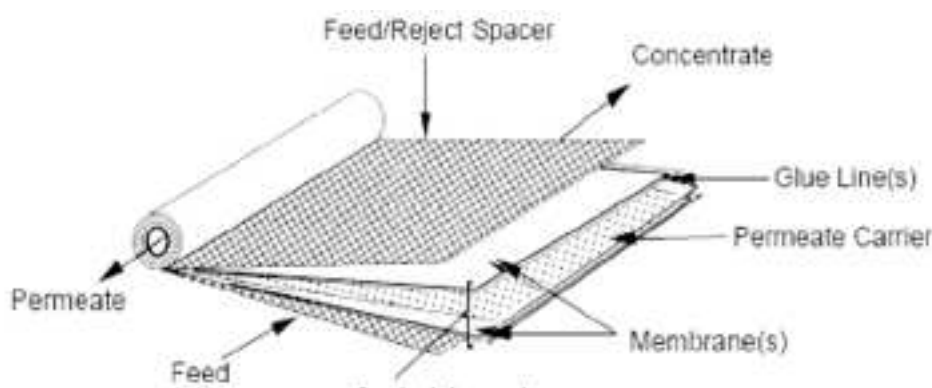
La forma de enrollar dichas láminas es alternándolas con un separador impermeable y una malla. Existen tantas láminas como separadores y mallas.

La malla plástica fija los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar, y su forma cuadriculada garantiza un régimen turbulento que reduce las posibilidades de obstrucción por elementos extraños.

El separador impermeable aísla el caudal que pasa por cada una de las láminas separándolo de la salmuera.

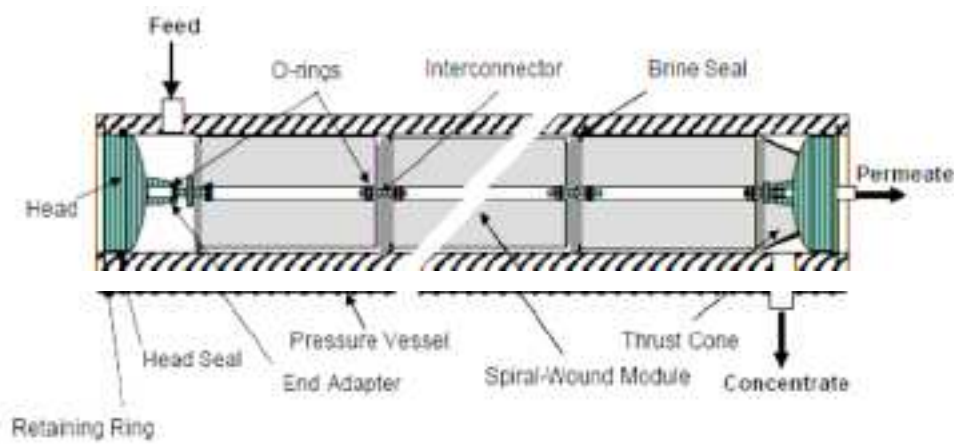
El conjunto de membrana, malla y separadores se sella mediante pegamento por 3 de los lados, de forma que el cuarto lado constituye la única salida posible para el agua que ha atravesado la membrana y va a parar al eje perforado.

El conjunto se cierra con un envoltorio exterior de PRFV que permite una gran estanqueidad. El enrollamiento de las láminas permite obtener una gran superficie en un espacio reducido. La configuración se observa en la siguiente figura:





En la siguiente figura se presenta un tubo de presión tipo para membranas de arrollamiento en espiral:



Usualmente estas membranas están constituidas por poliamida aromática, compuestas de capa delgada (thin film composite:TFC) y presentan las siguientes características:

- Se ven menos afectadas por el bioensuciamiento, que únicamente actúa sobre el flujo de permeado reduciéndolo.
- Una adecuada limpieza química es más eficiente para la recuperación de la membrana en este tipo de configuración. Tras ésta no hay que realizar un post-tratamiento ya que la capa activa no ve afectada su estabilidad. La configuración SW no permite el retrolavado.
- Al estar constituidas por poliamida aromática requieren menores presiones de operación, incidiendo positivamente en el comportamiento mecánico de la membrana y reduciendo el consumo energético.



VENTAJAS DE LAS MEMBRANAS DE SW,PA (TFC) FRENTE A HF, CA:

Dada la importancia en la elección de la membrana dentro del diseño de un proceso de ósmosis inversa, se presentan una serie de conclusiones sobre las ventajas de una configuración frente a la otra – y su material constituyente- que muestran las causas de la tendencia hacia la configuración de arrollamiento en espiral frente a la de fibra hueca.

Pretratamiento:

Las membranas de arrollamiento en espiral compuestas de capa delgada presentan una amplia tolerancia química y rango de pH entre 2-11, por lo que requieren un pretratamiento de la alimentación sencillo y barato frente a las otras

Buen comportamiento a altas temperaturas: permiten aumentar el flujo de permeado.

Tolerancia a altos valores del SDI: bajos requerimientos del agua producto.

Las membranas de TFC combaten mejor el ensuciamiento y alcanzan la viabilidad efectiva de la planta debido a la mayor resistencia mecánica de la configuración de arrollamiento en espiral y la resistencia del material de poliamida a la biodegradación frente a los problemas de hidrólisis del acetato de celulosa y la compactación térmica y mecánica de la configuración de fibra hueca

Ratio de conversión del proceso:

El máximo porcentaje de conversión alcanzable en una planta es función de la composición del agua, pero con las membranas de TFC,PA de alto rechazo de sales se consigue la mayor eficiencia del proceso y de conversión.

Esto se debe a que las membranas de alto rechazo de sales poseen una mayor resistencia a la compactación a muy altas presiones y además para sistemas diseñados en dos etapas son capaces de tratar con la salmuera para producir un mayor caudal de agua producto.

Costes:

El menor consumo energético de las membranas de arrollamiento en espiral de TFC, PA debido a presiones de trabajo más bajas inciden en una disminución de los costes energéticos, que suponen aproximadamente un 33% de los costes totales.



La mayor estabilidad en el comportamiento de dichas membranas aumenta la vida de las mismas y el tiempo entre reemplazamientos, por lo que también disminuye el coste de reemplazamiento de las membranas que supone en torno a un 3%.

3.4. Unidad de ósmosis inversa

La agrupación de módulos en un sistema de ósmosis puede ser en serie o en paralelo.

La agrupación en paralelo se da en el caso de módulos de tipo plano, o de fibra hueca, mientras la agrupación en serie es propia de la configuración de arrollamiento en espiral.

Se llama **etapa**, al conjunto de tubos contenedores (o tubos de presión) que trabajan en paralelo, a la misma presión y alimentados desde la misma línea. Para el caso de configuraciones de módulos de fibra hueca el tubo contenedor y el módulo coinciden en número. Sin embargo, para la configuración de arrollamiento en espiral, un tubo de presión o contenedor suele contener de 6 a 8 módulos de membrana, por tanto no todos los módulos trabajarán a la misma presión.

El número de etapas y módulos viene determinado por:

- Conversión de la planta
- Calidad del agua producto y del agua de alimentación
- Comportamiento de las membranas ante ensuciamiento e incrustaciones (según configuración y material de la membrana).
- Presión

Las plantas desaladoras de ósmosis inversa con agua de mar como alimentación, suelen trabajar con conversiones en torno al 55% y la mayoría son de una etapa y 6 elementos (o módulos) por tubo de presión. Las razones de esta disposición tipo son:

Presión: La caída de presión a lo largo de un tubo para disposiciones en una etapa es de aproximadamente 1,1 bar, frente a 3,4 bar para dos etapas. Esto supone un 2,5% de la energía requerida para un sistema de dos etapas. Si se adoptan dos etapas en instalaciones de agua de mar, la única justificación es el empleo de un dispositivo elevador de presión intermedio entre etapas, pero esto incide en un aumento de los costes de equipos sin unos beneficios significativos ni una reducción en el consumo energético.



Calidad del permeado: El uso de membranas de alto rechazo de sales para agua de mar hace innecesario el uso de 2 etapas para la obtención de una mayor calidad de permeado, puesto que dichas membranas por sí mismas obtienen concentraciones inferiores a los 500 ppm en el agua producto. Así mismo, el agua de mar tiene menores problemas frente a ensuciamiento de las membranas que el agua salobre.

La tendencia en la desalación de agua de mar es a la disposición en una etapa y al aumento del número de elementos por tubo: Esta medida es más económica puesto que se reducen el número de tubos de presión, y más eficiente puesto que se reduce el número de primeros elementos de membrana que son los que más sufren el ensuciamiento permitiendo también un tiempo mayor entre limpiezas o reemplazamientos.

3.5. POLARIZACIÓN DE LA MEMBRANA

A la membrana de ósmosis llega el flujo de solvente, que se divide en dos flujos o corrientes: uno sobre la superficie de la membrana – que pasa de ser la corriente de aporte a ser la de rechazo-, y otro a través de ella – la corriente de permeado. Conforme el permeado atraviesa la membrana, las sales disueltas que contenía van quedando en las proximidades de la superficie, y estas deben ser arrastradas por la corriente de rechazo. Sin embargo, la velocidad de la corriente de rechazo cerca de la superficie es prácticamente nula por lo que las sales deben salir de esta zona para pasar a la corriente rápida del rechazo mediante difusión (retrodifusión), generando una región en la que la concentración de sales es mayor que en el resto de la solución: la capa límite.

Esto es lo que se conoce como polarización de la membrana, y al aumento de la concentración que sufre la solución en contacto con la superficie de la membrana se le llama concentración por polarización. Existe también desigualdad en la velocidad con que se difunden las sales desde la superficie hacia la corriente principal, ya que esta velocidad depende del tamaño del ión o partícula, de su carga y de su concentración – los iones monovalentes se difunden más rápidamente que los multivalentes-.



La polarización de la membrana produce los efectos siguientes:

- A presión constante, reduce el flujo de solvente y por tanto el de permeado: al aumentar la concentración en la superficie, aumenta la presión osmótica de la solución y por tanto, disminuye la presión neta efectiva a través de la membrana – ecuación (1) del transporte de solvente-.
- Al aumentar el gradiente de concentraciones, aumenta el flujo de soluto a través de la membrana – el paso de sales- y con éste, la concentración del permeado.
- Aumenta el riesgo de precipitación e incrustación de las sales poco solubles sobre la superficie de la membrana, si su concentración en la capa límite excede la saturación incrementando la frecuencia e intensidad de las limpiezas.

Existe un factor de polarización de la membrana, β , que mide el incremento de la concentración de iones en la capa límite y que se define como

$$\beta = C_m / C_{ma}$$

siendo C_m la concentración máxima de soluto en la superficie de la membrana, y C_{ma} la concentración media de la solución de aporte.

El factor β es función de distintos parámetros como permeabilidad de la membrana, el tipo de flujo (laminar o turbulento), la disposición geométrica de las membranas, el porcentaje de rechazo de sales, la naturaleza de dichas sales de rechazo, etc. y viene determinado por los fabricantes de membrana. Conviene limitarlo a un valor de 1,15.

3.6. ENSUCIAMIENTO DE LAS MEMBRANAS

El agua de alimentación a las membranas de ósmosis inversa contiene una serie de componentes orgánicos y no orgánicos que deben ser controlados dentro de unos límites para que pueda acceder directamente a unos elementos tan sensibles como son las membranas.

Mediante el acondicionamiento del agua – pretratamiento-, se pretende la prevención y el control de tres aspectos fundamentalmente: las incrustaciones (scaling), el ensuciamiento (fouling) y el ataque químico (biofouling).



3.6.1. Incrustaciones

La incrustación en las membranas se produce como consecuencia de la precipitación de las sales que se encuentran disueltas en el agua de alimentación, por lo que se debe tener especial cuidado en no sobrepasar los límites de solubilidad de las sales problemáticas.

Este hecho repercute en el control de la conversión del sistema, puesto que a medida que aumentamos la conversión, se incrementa la concentración de las sales en las últimas membranas del proceso y con ello el riesgo de precipitación e incrustaciones.

El primer síntoma de un problema de incrustaciones es una reducción notable en el rendimiento de la planta o un aumento de la presión de operación. Se debe a que las capas de incrustaciones son muy impermeables y ofrecen una gran resistencia al paso del producto. Si el problema no es resuelto de inmediato, el depósito de sales incrustantes (principalmente situado en las últimas membranas) puede obstruir los canales de salmuera, incidiendo en un aumento de la presión diferencial necesaria y un peligro potencial en el daño a los elementos de membrana.

3.6.2. Ensuciamiento

El ensuciamiento o fouling puede ser de 3 tipos: coloidal, biológico u orgánico; y se produce cuando quedan atrapadas sustancias en el interior de los módulos por los sistemas y mallas distribuidoras.

Ensuciamiento coloidal: Este tipo de ensuciamiento proviene de la deposición de partículas de gran tamaño sobre la superficie de la membrana, y de partículas coloidales, que coagulan perdiendo su carga eléctrica y finalmente floculan – se aglomeran- en las proximidades de la superficie de la membrana. Ambos tipos de partículas permanecen en los poros de las membranas obstruyendo los canales hidráulicos de las mismas.

Es un ensuciamiento típico de todos los procesos de filtración por presión y su control pasa por un sistema de filtración previo al sistema de membranas.

Ensuciamiento biológico: Puede producirse bien porque la solución de aporte contenga suficientes elementos nutritivos como para favorecer el rápido desarrollo de microorganismos dentro de los módulos o bien porque se haya eliminado la cloración del agua de alimentación.



Pueden afectar al rendimiento de la instalación de 3 formas:

Destrucción de la capa activa: En el caso de membranas de acetato de celulosa los desarrollos biológicos pueden ingerir enzimáticamente la capa activa afectando a las características de la membrana.

Ensuciamiento de las membranas: Forman una película o biofilm que tiene el mismo efecto que los atascamientos por partículas coloidales.

Aparición de bacterias en el permeado: Las características de rechazo de las membranas no permiten el paso de bacterias ni virus de la solución aporte al permeado. En los tubos de presión o módulos, el permeado está separado del rechazo mediante juntas teóricas, de forma que un pequeño fallo en éstas permitiría el paso de bacterias al permeado contaminándolo.

Ensuciamiento orgánico: Consiste en la absorción de componentes orgánicos sobre la superficie de las membranas. Ocurre cuando compuestos orgánicos solubles se adhieren a la superficie de las membranas o reaccionan con otros aditivos o componentes presentes en el agua de entrada – absorción de surfactantes catiónicos en membranas de poliamidas y formación de precipitados por reacción entre antiincrustantes de poliacrilato y metales pesados o coagulantes orgánicos -. Forman incrustaciones pegajosas. Se controla con una adecuada selección de los aditivos químicos, el tipo de membranas y limpiezas químicas. El ensuciamiento orgánico se producirá por un mal pretratamiento

3.6.3. Limpieza química de las membranas

Las membranas de ósmosis inversa pierden sus características básicas de funcionamiento con el tiempo: propiedades de rechazo y de caudal. Las causas pueden ser naturales (características del agua a tratar) o derivadas de un mal funcionamiento de la instalación. Las primeras producen un deterioro de carácter temporal que puede corregirse mediante un tratamiento adecuado de las membranas, mientras que una mala operación de la instalación conduce a un deterioro de la membrana sin capacidad de recuperación.

El ensuciamiento o necesidad de una limpieza se detecta por la variación de parámetros como: salinidad del agua producto, pérdida de carga a lo largo del tubo de presión, caudal de agua producto. Prolongar el funcionamiento de la instalación cuando estos parámetros indican la necesidad de una limpieza implica unas consecuencias económicas negativas ya que sobre las membranas se produce:



- Compactación
- Ensuciamiento
- Pérdida de carga

La compactación de las membranas y el ensuciamiento de las mismas permiten la recuperación total o parcial de las características de funcionamiento de las membranas mediante su lavado. Las consecuencias de la pérdida de carga son irreversibles. Existen tres tipos de lavado de membranas: lavado mecánico, lavado con permeado a presión (flushing) y lavado químico.

El primero no es aplicable a la configuración de arrollamiento en espiral. El lavado con permeado a presión tiene como misión el desplazamiento de agua de mar de los equipos y las membranas tras paradas de la instalación o bien, el desplazamiento de productos químicos tras las secuencias de lavado químico de las membranas.

El lavado químico de las membranas consiste en recircular una serie de productos químicos a través de los módulos, capaces de disolver las precipitaciones o de eliminar los depósitos existentes sobre las membranas.

Dichos productos van en función del agente causante del ensuciamiento, y la cadencia y el tiempo de duración es distinto según el tipo de ensuciamiento presente. Hay 3 tipos principales de lavado químico: lavado ácido para la eliminación de precipitados orgánicos; lavado alcalino para ensuciamiento por materia orgánica; y lavados especiales para ensuciamientos biológicos. Aunque el lavado que se hace es el específico para cada situación, cuando no se conoce la causa exacta del ensuciamiento es recomendable realizarlo en dos fases: un lavado alcalino seguido de uno ácido.



4. DESCRIPCIÓN DE INSTALACIONES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DESALADORA DE ÓSMOSIS INVERSA.

4.1 Datos de partida

La planta será instalada en la zona de El Aaiún, una de las provincias en que Marruecos dividió el Sahara Occidental. El agua de mar que alimenta las instalaciones procede del Océano Atlántico, y sus características son:

Temperatura media del agua de mar: 21 °C

Temperatura mínima: 18 °C

Calidad del agua de mar (ver siguiente apartado)

- TDS: 37.600 ppm

- pH: 7,2

- NTU: <1

- SDI: <2

Se adjunta una tabla con la composición química y bacteriológica del agua de mar, según datos facilitados por el Instituto Tecnológico Canario (ITC):

	pH	7,22
μS/cm	Conductividad	51400
μS/cm	Turbidez	<1
NTU	CO32-	140,3
mg/L	TDS	37900
mg/L	SDI	<2
mg/L	Mg2+	1522
mg/L	K+	548
mg/L	Na2+	10150
mg/L	Ca2+	518
mg/L	NH3+	<0,05
mg/L	F-	1,98



mg/L	Cl	20945
mg/L	SO ₄ ²⁻	3100
mg/L	Br ⁻	65
mg/L	NO ₃	4,2
mg/L	SiO ₂	30
mg/L	B ²⁺	4,7
mg/L	TOC	<1
mg/L	Cu	0,09
mg/L	Zn	0,08
mg/L	Fe	0,023
µg/L	Sr	9743

4.2. CAPTACIÓN DE AGUA MARINA.

Una buena captación puede reducir significativamente el coste de mantenimiento y explotación de la instalación (pretratamiento y ósmosis inversa). Las diferentes captaciones de agua se pueden dividir en:

- Captación abierta.
- Captación por medio de cántara.
- Drenes Horizontales.
- Pozos.

4.2.1. CAPTACIÓN ABIERTA.

Se suele utilizar cuando las condiciones del terreno no permiten otro tipo de captaciones y el caudal requerido es muy elevado. La toma abierta se realiza directamente del mar y presenta las siguientes desventajas:

- Actividad biológica y orgánica elevada.
- Contenidos en sólidos en suspensión importante y variable.



- Contenido más elevado de oxígeno disuelto.
- Amplio margen de variación de temperaturas.

Una captación abierta está compuesta por los siguientes elementos:

TORRE DE TOMA.

Consiste en una torre de hormigón armado con huecos en distribución radial a la profundidad deseada. Evita la vegetación submarina. Debe ser diseñada para resistir las corrientes y el oleaje.

EMISARIO SUBMARINO.

Es la conducción que parte de la torre de toma hacia el depósito de impulsión.

Suelen estar contruidos de los siguientes materiales: PRFV, PE, hormigón armado. El sistema de anclaje debe resistir las corrientes y el oleaje y el diámetro del emisario debe tener la capacidad hidráulica adecuada.

DEPÓSITO DE IMPULSIÓN.

Se puede descartar del diseño si las condiciones lo permiten. Puede actuar a modo de decantador y de depósito regulador.

BOMBAS.

Pueden ser sumergidas o en seco de aceros especiales para evitar la corrosión y la abrasión.

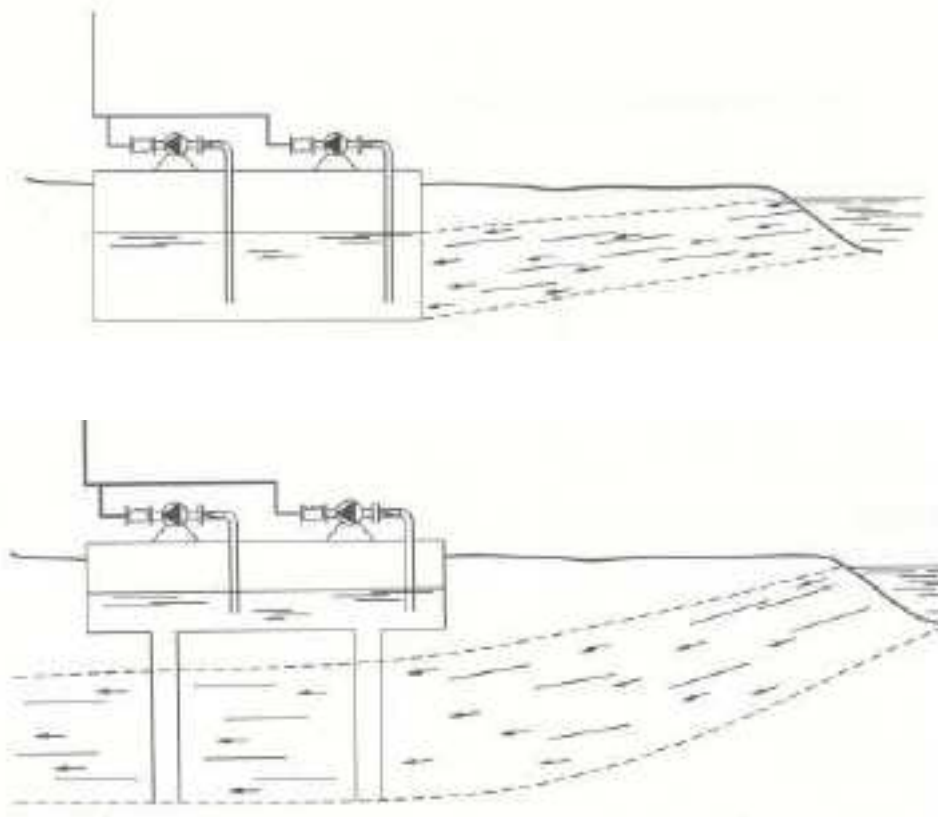
EQUIPOS AUXILIARES Y DE MEDIDA.

- Control de presión (manómetro – presostato).
- Regulación del caudal (variador de frecuencia o válvula).
- Control de nivel (transductor – boya).
- Control de temperatura en bobinado y rodamientos cuando $P > 200$ Kw.
- Toma de muestras para medición del índice de colmatación de membranas (SDI).



4.2.2. CAPTACIÓN POR MEDIO DE CÁNTARA.

Consiste en un depósito excavado por debajo de la cota del agua en el terreno. Sus paredes son impermeables y cuenta con sondeos verticales en la base. El agua es extraída de la cántara mediante bombas. Se trata de una toma cerrada al captarse el agua de mar en el subsuelo. A nivel de diseño es importante la determinación de las cotas, para que se respeten los valores de altura de aspiración y sumergencia. Se ha de tener en cuenta el caudal demandado y producido y el cono de depresión, para evitar el achique o vaciado de la cántara. En la figura siguiente se muestran las diferentes configuraciones para el diseño de una captación por medio de cántara:



Figuras. Diferentes configuraciones de la captación por medio de cántara.



Presenta las siguientes ventajas:

- Filtrado natural en el terreno. Turbidez (NTU) y colmatación (SDI) bajos.
- Ausencia de actividad orgánica y biológica.
- Bajo contenido en oxígeno disuelto.
- Baja contaminación.
- Temperaturas bastantes estables.

Inconvenientes:

- Pueden aparecer contenidos importantes de elementos secundarios como el hierro, aluminio, sílice, flúor,...
- Contaminación por nitratos, pesticidas,...
- Requiere la permeabilidad adecuada del terreno.
- La línea de bajamar no puede estar muy por debajo de la línea del terreno.

Los elementos básicos de una cántara son:

BOMBAS.

Pueden ser sumergidas o en seco de aceros especiales para evitar la corrosión y la abrasión. Es importante el sistema de cebado.

EQUIPOS AUXILIARES Y DE MEDIDA.

- Control de presión (manómetro – presostato).
- Regulación del caudal (variador de frecuencia o válvula).
- Control de nivel (transductor – boya).
- Toma de muestras en bobinado y rodamientos cuando $P > 200 \text{ Kw}$.
- Toma de muestras para determinación de SDI.
- Conducción de vertido para el rechazo.
- Instalación eléctrica.
- Sistemas de cloración.



4.2.3. CAPTACIÓN MEDIANTE POZOS.

Para la instalación y explotación de plantas desaladoras de agua con alta salinidad, se hace imprescindible el contar con pozos de captación que nos aporte el caudal necesario, con la calidad adecuada para realizar el proceso de OI.

Los pozos de captación, son una solución con menor coste en su construcción que las tomas abiertas de agua de mar con el agravante que el agua obtenida en las tomas abiertas tienen la posibilidad de contaminarse por bacterias ya que el agua está expuesta a la luz y al sol, siendo el medio ideal para que proliferen las bacterias.

Para ejecutar un buen proyecto y posterior desarrollo de un pozo es recomendable realizar un estudio hidrogeológico de la zona donde se prevea construir el pozo, con el fin de que el acuífero nos aporte la cantidad y calidad del agua necesaria, que no contenga sedimentos finos ni de que exista aportación de aguas salobres de filtraciones no deseables.

Los elementos más destacados para un buen diseño de los pozos de captación son los siguientes:

DIÁMETRO DEL POZO.

En función de los caudales a obtener previstos, se debe ser generoso al tomar la decisión de que diámetro deseamos construir el pozo, no sólo debe ser lo suficientemente grande para alojar la bomba sino que también hemos de contemplar el que a mayor diámetro se tiene mayor capacidad de filtración. En muchos casos será el diámetro del tubo de revestimiento el que nos indicará cual será el diámetro nominal de la broca a emplear en la construcción del pozo. Mientras más grande sea el área abierta total del mismo, menor será la resistencia del flujo dentro del pozo. La velocidad de entrada a través de una mayor área de admisión, es también más baja y lo mismo sucedería con la pérdida de carga resultante al paso del flujo a través de las rejillas de filtración.

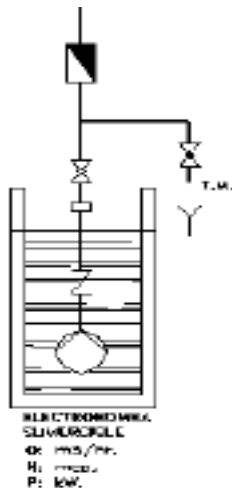
BOMBAS.

Una vez definido el caudal a extraer, se elegirá el modelo de la bomba que cumpla con las necesidades y características técnicas adecuadas. La bomba elegida tendrá un diámetro determinado, normalmente es el cuerpo hidráulico el que tiene mayor diámetro que el motor, este diámetro será el que nos indicará el diámetro mínimo que ha de tener el pozo, (ya con el tubo del revestimiento), se recomienda tomar como norma elegir dos o tres tamaños nominales mayor que el máximo diámetro del grupo sumergible. El entubado debe ser lo suficientemente grande para alojar la bomba con la holgura suficiente para hacer fácil la instalación y un funcionamiento eficaz de la misma.



La calidad de los materiales de las bombas ha de ser en 904L, o en fundiciones especiales que hacen que la máquina tenga una mayor durabilidad en el tiempo.

En el bobinado del motor, se recomienda que su aislamiento sea de doble capa, lo que nos permitiría que el bobinado pueda trabajar a mayor temperatura y así obtener mayor potencia del motor y darle mayor tiempo de funcionamiento.



TUBOS DE REVESTIMIENTO.

Actualmente, dado los continuos aumentos del precio del níquel, la elección del inoxidable como material para los tubos se hace muy costosa, por esta razón se está utilizando el PVC con excelentes resultados con el lógico menor coste económico de la instalación.

REJILLA.

Hacer una buena elección de la sección de admisión de la rejilla. Este es el factor más influyente en la eficiencia de un pozo. Una rejilla con un buen diseño puede combinar un alto porcentaje de área abierta para el flujo dentro del pozo, con resistencia suficiente para soportar las fuerzas a que pueda estar sometida la rejilla dentro del mismo, tanto durante la instalación de la misma como durante su funcionamiento.

Las aberturas de la rejilla deben tener una forma que facilite el flujo dentro del pozo, al tiempo que obstaculice el alojamiento de partículas que ocasionarían un menor flujo.



5 PRETRATAMIENTOS

El pretratamiento en una planta desaladora por OI consiste en los procesos que sufre el agua de alimentación con objeto de su acondicionamiento tanto físico como químico, para obtener de las membranas su máximo rendimiento en producción y su máxima duración. Su misión consiste en suprimir o reducir los atascamientos que sufren las membranas debido a la incrustación y ensuciamiento de las mismas. Si no se utiliza el pretratamiento adecuado para el tipo de instalación diseñada pueden ocurrir las siguientes consecuencias:

- Aumento de la polarización por concentración, ya que, las partículas depositadas en la superficie de la membrana retardan la retrodifusión de las sales hacia el seno de la solución concentrada.

- Disminución del caudal del permeado.

- Aumento de la salinidad del permeado.

- Reparto irregular de flujos a través de las membranas, que ocasiona su deterioro prematuro.

5.1. PRETRATAMIENTOS QUÍMICOS

5.1.1. Cloración del agua de mar

Si la captación de agua se realiza mediante pozos, no es precisa la dosificación de hipoclorito sódico (NaClO) debido a que la actividad biológica es muy reducida por la filtración natural del terreno. En otras ocasiones es el primer pretratamiento utilizado para oxidar la materia orgánica que contenga el agua bruta e interrumpir los posibles desarrollos bacteriológicos tanto en las conducciones y equipos como en las membranas. Las soluciones comerciales de hipoclorito sódico se caracterizan por su contenido en cloro activo.

La experiencia con agua de mar indica una mayor efectividad cuando se dosifica de forma discontinua a bajas dosis (del orden de 2 ppm), aunque es recomendable tener previstas dosis más altas por si fuese necesario de forma que se obtenga una cantidad residual de 0,5 ppm. Otra consideración a tener cuenta es que su acción bactericida aumenta con el tiempo de contacto entre el agua y el reactivo.

5.1.2. Coagulación

En el caso del proyecto de una captación en pozo, no suele ser necesaria la coagulación pero es recomendable prevenir un sistema de dosificación de coagulante porque el agua, a pesar de su filtrado, sigue llevando una gran cantidad de partículas coloidales, que por sus especiales características de tamaño y carga eléctrica tienden a mantenerse indefinidamente en suspensión.

Para impedir el atascamiento de los módulos de ósmosis inversa por la formación de depósitos de partículas coloidales, se procede a su eliminación



Al efectuarse la coagulación, se desestabilizan las micelas iónicas neutralizándose su carga eléctrica y al estar neutralizados, los coloides tienden a formar pequeñas aglomeraciones neutras y así se facilita su decantación.

Los factores que influyen para la dosis y tipo de coagulante a dosificar son los siguientes:

- Composición química del agua.
- Cantidad de materia coloidal presente.
- pH.
- Temperatura.

Los coagulantes más utilizados son las sales minerales de cationes de valencia elevada, de entre las cuales las más usadas son el sulfato de alúmina ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y el cloruro férrico (FeCl_3) hidratados. Normalmente el más utilizado para instalaciones de agua de mar suele ser el cloruro férrico, ya que al utilizar sulfato de alúmina puede dar lugar a concentraciones de aluminio y este provocar atascamientos en las membranas prácticamente irreversibles.

Las dosis de coagulante a tratar dependen de los factores anteriormente citados pero para este tipo de instalaciones suelen oscilar entre 5 y 30 ppm.

5.1.3. Ajuste de pH

Normalmente, es necesaria la acidificación del agua bruta para evitar la precipitación de carbonato cálcico (CaCO_3) y de óxidos metálicos, especialmente el $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La acidificación puede realizarse por adición de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

5.2. PRETRATAMIENTOS FÍSICOS

Es fundamental que las membranas trabajen en condiciones óptimas para alcanzar los objetivos de producción y calidad requeridos, por esta razón es el pretratamiento es crítico para una buena operación del sistema. Depende de la calidad y cantidad del agua a tratar y la mejor base para su diseño es una analítica representativa.

Los principales objetivos del pretratamiento físico son:

- Eliminar los elementos sólidos del agua:
- Arenas
- Algas
- Coloides
- Materia orgánica
- Evitar el Fouling o ensuciamiento:
- $\text{SDI} < 3$ en las membranas



Etapas que componen un pretratamiento estándar

1. Filtración natural del terreno

La filtración natural del terreno sucede en captaciones cerradas. Es ideal por su bajo coste. La calidad de filtrado es mayor en pozos profundos o alejados de la costa.

2. Decantación

Se suele utilizar cuando el agua de alimentación está muy cargada, circunstancia poco frecuente en desalación de agua de mar.

La decantación permite espaciar los tiempos de limpieza de los filtros y se suele acompañar de floculación-coagulación, aunque puede presentar problemas.

3. Filtros de arena y filtros de cartucho

Es la configuración más habitual

4. Filtros precapa y membranas de micro y ultrafiltración

Sólo se utilizan en aplicaciones especiales.

5. Filtración por arena

La filtración no es diferente a la que se emplea en cualquier instalación de tratamiento de aguas.

Los filtros consisten en depósitos cilíndricos, dispuestos de manera horizontal o vertical, rellenos de un medio filtrante donde el movimiento del agua es siempre en sentido vertical. Los utilizados en desaladoras de tamaño medio suelen ser cerrados o de presión.

6. Dimensionamiento del filtro

Al dimensionar el filtro se debe tener presente proporcionar el agua exigida por las membranas. Los ciclos de funcionamiento tienen que ser lo más largos posible y el lavado permitir las condiciones de funcionamiento.

Para el cálculo de la superficie filtrante se tiene en cuenta la carga hidráulica dependiendo de la calidad del agua:

Buena calidad del agua: $15-20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

Agua con muchas impurezas: $10-15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

La presión de trabajo debe ser inferior a $6-7,5 \text{ Kg}/\text{cm}^2$

Características del lecho filtrante

Puede tratarse de una o de varias capas de material filtrante, o incluso de dos etapas con distintas granulometría. Su objetivo es conseguir una buena distribución de los sólidos retenidos



Los materiales típicos utilizados son:

- Antracita. Más ligera, porosa y angulosa que la arena, elimina las partículas gruesas eficazmente
- Arena silíceas. Se suelen utilizar capas de distinta granulometría. Entre 0,5 y 0,8 mm de tamaño medio. La de granulometría más gruesa al fondo para facilitar la recogida del agua

Materiales recomendados

- Metálicos: Recubiertos internamente con una película (ebonita, goma, pintura epoxi) que aisle el hierro del agua.
- Plásticos: PRFV, PE, PVC. Para filtros de menor tamaño

Filtros abiertos y cerrados

Los filtros de presión tienen una limitación de tamaño (espesor de la chapa en relación al diámetro).

En desaladoras de gran capacidad se utilizan filtros abiertos de hormigón armado, para evitar un excesivo número de filtros.

En los filtros abiertos las velocidades de filtración son más bajas (menos de $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$)

Equipos de medida

En pequeñas instalaciones toda la operación suele ser manual. En instalaciones de más tamaño, aumenta el grado de automatización

7. Filtración por cartuchos

Se componen de depósitos de presión con una cantidad variable de cartuchos (elemento filtrante). Los cartuchos eliminan las partículas de más de 5/10 micras, protegiendo las membranas.

Si la pérdida de carga derivada de las partículas retenidas alcanza un valor determinado se sustituyen los cartuchos (no son limpiables).

El material del cuerpo suele ser de PRFV, PVC y acero inoxidable

Tipos de cartuchos

Formados por un alma o eje hueco con perforaciones laterales. El eje debe ser de un material resistente a la corrosión (plásticos o aceros inoxidables).

Existen dos opciones para recubrir el eje y garantizar el tamaño del poro:

- Cartuchos bobinados: con un hilo arrollado. Suele ser de polipropileno.
- Cartuchos aglomerados: con una capa de material filtrante homogénea.



Figura 15. Esquema de funcionamiento de un filtro de arena.

5.3. MÓDULO DE ÓSMOSIS INVERSA.

El módulo de ósmosis se encuentra entre los filtros cartucho y salidas de agua producto y salmueras.

5.3.1. CONDUCTO DE ALIMENTACIÓN A BOMBAS DE ALTA PRESIÓN.

Es el tramo de colector que va desde la salida de filtros cartucho hasta la entrada de las bombas de alta presión. El material a utilizar dependerá del diámetro del conducto.

Diámetros:

- Pequeños: PVC o Polietileno.
- Grandes: PRFV por precio y resistencia.

La presión de trabajo oscilará entre 0-4 bar. El criterio utilizado para dimensionamiento del conducto es el mismo que para cualquier tubería de impulsión.

EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL COLECTOR DE ALIMENTACIÓN.

Si siguiendo el sentido de flujo desde los filtros cartucho hasta la bomba de alta se deben incorporar los siguientes elementos:

- Punto de toma de muestras para equipos de medida en continuo.
- pH
- Redox
- Temperatura
- Conductividad
-



By-pass general a red de drenaje: permitirá el flujo de agua por el tratamiento sin que esta tenga que entrar necesariamente al módulo de membranas.

- Manual

- Automática: accionamiento eléctrico o neumático.

- Caudalímetro de alimentación: nos da el valor de caudal que está entrando al módulo de membranas. Estará situado posterior al by-pass.

Válvula de corte en la aspiración de la bomba de alta.

- o Manual

- o Automática: accionamiento eléctrico o neumático.

Transductor depresión anterior a la válvula de corte y opcionalmente presostato de seguridad: la presión mínima de aspiración de la bomba de alta deberá ser de 2 bar.

5.3.2. BOMBEO DE ALTA PRESIÓN.

Bombas de alta presión: su función es elevar la presión del agua de alimentación hasta el valor requerido para el proceso de desalación. Para su dimensionamiento se deben considerar los siguientes datos:

- Caudal obtenido de la proyección.
- Presión obtenida de la proyección.
- Presión de entrada a bomba.
- Pérdida de carga desde la bomba a las membranas.
- Presión de descarga del producto.
- Coeficiente de seguridad (5-10%): este coeficiente es para compensar pérdidas de rendimiento de membranas o bombas, ensuciamiento de la membrana y cambios de temperatura.

Se suelen utilizar los siguientes aceros: dúplex o superduplex.

TIPOS DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN.

- Bombas centrífugas de cámara partida.

- o Son las más utilizadas.

- o Presentan rendimientos aceptables.

- o Su mantenimiento es bastante simple.

- o Coste de inversión elevado.

- o Poca flexibilidad a la hora de modificar sus características hidráulicas y punto de trabajo.



- Bombas centrífugas segmentadas o multietapa.
 - o Menor rendimiento que las bombas de cámara partida.
 - o Mantenimiento y reparación más complejo.
 - o Coste de inversión más bajo.
 - o Bastante flexibilidad a la hora de modificar sus características hidráulicas y punto de trabajo.
- Bombas de pistón.
 - o Rendimiento muy alto > 90%.
 - o Mantenimiento y reparación más complejo.
 - o Sólo para plantas pequeñas (caudal máximo en torno a $65 \text{ m}^3/\text{h}$).
 - o Flexibilidad a la hora de modificar sus características hidráulicas y punto de trabajo.

En nuestro caso se usará una bomba de pistón ya que las bombas de pistón o émbolo están especialmente indicadas cuando se precisan altas presiones de trabajo, operándose con líquidos poco viscosos y con caudales no muy excesivos. Al ir provista la bomba de dichos pistones con sus tiempos de aspiración y expulsión intercalados, se consigue aumentar el número de pulsaciones y por tanto un flujo de salida constante.

5.3..3. CONTROL DEL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN.

En general la bomba de alta presión se habrá dimensionado para un caudal y una presión superior a la teóricamente requerida, por lo que será necesario incorporar algún sistema de control de caudal.

Para un buen control del caudal de alimentación se deben incluir los siguientes los siguientes elementos:

VÁLVULA DE AGUJA O DE BALÓN.

Válvula de accionamiento eléctrico situada entre la bomba y la entrada al módulo de membrana. El estrangulamiento de la válvula provoca una pérdida de carga adicional que se traduce en un incremento del consumo energético de la instalación.

Normalmente se utiliza en instalaciones donde los caudales a bombear aconsejan utilizar para las bombas de alta motores que trabajen a 6.000 V.

VARIADOR DE FRECUENCIA.

Acoplado al motor eléctrico permite regular el caudal bombeado modificando las revoluciones de giro del motor. Optimizan de forma más adecuada el consumo energético de la instalación. Suelen emplearse asociadas a bombas de alta presión que trabajan a 380 o 1000 V.



5.3.4. ALIMENTACIÓN AL MÓDULO DE MEMBRANAS.

Debe ser de materiales como acero 904L, SMO 254 u otros. Es aconsejable provocar la menor pérdida de carga posible. El incremento de coste asociado a los incrementos de diámetro hace que se suela dimensionar a velocidades de flujo de entre 2,5-3 m/seg. La presión de trabajo debe ser la obtenida en la proyección y debe calcularse para una prueba de presión de 100 bar. Una vez el colector llega al módulo es importante garantizar un correcto reparto hidráulico entre todas las membranas. En la medida de lo posible deben evitarse las uniones con bridas siendo preferibles las soldaduras.

EQUIPOS ASOCIADOS.

Es aconsejable instalar un manómetro en la descarga de la bomba, ya que será esta presión la que nos permita estudiar rendimientos. En caso de que la descarga sea hacia arriba deberá instalarse en el punto más alto un tubo de venteo con válvula de presión. Se instalará una válvula de control de caudal de alimentación si procede y justo a la entrada al módulo de membranas un transductor de presión que nos dará el valor de la presión de entrada a las membranas. En el punto más alto de colector de alimentación a la entrada al módulo de membranas, debe instalarse otro venteo con su correspondiente válvula.

5.3.5. MÓDULO DE MEMBRANAS.

Como resultado de la proyección realizada, necesitaremos instalar un número determinado de membranas que irán colocadas dentro de un determinado número de contenedores y dichos contenedores tendrán que estar soportados por una estructura y conectados cada uno hidráulicamente al resto de la instalación. Esto junto con otros elementos compone lo que denominamos módulo de membranas.

CONTENEDORES DE PRESIÓN.

- Longitud: depende del número de membranas que admita.
- Materiales: PRFV.
- Diámetro: 8"
- Presión de diseño: 1200 PSI.
- Alimentación:
- Lateral: Se conectan lateralmente a través del tubo.



Figura Estructura de un tubo de presión.

ESTRUCTURA SOPORTE DEL MÓDULO DE MEMBRANAS.

La construcción debe ser realizada por acero al carbono o materiales poliméricos de alta resistencia y debe tener una muy buena protección contra la corrosión.

Su geometría dependerá del número de tubos y su disposición pero en general tendrán una geometría externa de forma más o menos cúbica.

En cada uno de esos perfiles, en el punto donde apoyará el tubo se instala un soporte en forma de media caña revestido goma. Cada tubo irá sujeto a sus apoyos por medio de abrazaderas de acero fijadas a la mencionada pieza de apoyo

TAPAS DE LOS CONTENEDORES DE PRESIÓN.

Cada tubo lleva asociado dos tapas una frontal y otra posterior que deben garantizar la estanqueidad del sistema a la presión de trabajo.

Las tapas están compuestas por los siguientes elementos:

- Cuerpo principal de la tapa en aluminio.
- Disco interior en PVC con junta de goma.
- Conector de tapa en PVC.
- Anillo de cierre en acero.



CONEXIÓN DEL TUBO DE PRESIÓN AL COLECTOR DE ALIMENTACIÓN.

De cada uno de los tubos, bien de la tapa o bien del propio tubo, saldrá un tubo de acero de 1 ½" ranurado. Análogamente del colector general saldrá otro tubo también de 1 ½" y también ranurado. Bien directamente, o bien por medio de un tubo de conexión se hacen coincidir ambos extremos uniéndose por medio de una conexión tipo VICTAULIC que puede ser de hierro fundido o de acero.

CONEXIÓN DE LAS MEMBRANAS DENTRO DEL TUBO.

En caso de que se instalaran 6 o 7 membranas por contenedor, según el diseño, tendrían que estar conectadas entre sí y con las tapas del propio tubo. A los elementos utilizados para realizar esta interconexión se les denomina interconectores. Estos son pequeños tubos que se insertan en el colector de producto de las membranas que se quieren conectar. Dichos tubos llevan en sus dos extremos una o dos juntas tóricas para asegurar la estanqueidad. Existe otro conector denominado conector perimetral.

Su principal diferencia es que conecta las membranas entre sí no por el colector de producto, sino por el perímetro de la membrana. La principal ventaja de este conector es que reparte el esfuerzo en una superficie mayor, minimizando el riesgo de roturas.

REJILLAS DE PROTECCIÓN.

En el interior de los tubos vamos a tener una presión que en función del diseño puede ser del orden de 55–60 bar. Puede existir por tanto la posibilidad de que se produzca la proyección de algún elemento hacia el exterior.

Como medida de seguridad se instalan unas rejillas de protección tanto en la parte frontal, como posterior del módulo que debe cubrir toda la superficie del módulo hasta una altura igual o superior a una persona.



Figura Estructura y rejilla de protección del módulo de membranas.

5.3.6. COLECTOR DE AGUA PRODUCTO.

El agua producto obtenida, sale del módulo únicamente con la presión que le sea requerida para llegar al punto de descarga por tanto el material a utilizar normalmente es PVC y puede salir tanto de la tapa posterior como anterior, aunque en general se suele utilizar la tapa posterior.



La salida de cada uno de los tubos, se conecta a un colector general normalmente de PVC o PRFV.

De ser posible es aconsejable instalar válvulas de tres vías en la salida de cada tubo de forma que se pueda derivar el agua producida si su calidad no es la adecuada.

EQUIPOS ASOCIADOS AL COLECTOR DE AGUA PRODUCTO.

Las membranas de ósmosis están diseñadas para estar siempre húmedas, por tanto es muy importante que en caso de parada de la instalación el módulo de membranas no se vacíe de agua para lo cual es necesario que algún punto del colector este situado a una cota superior a la del tubo más alto instalado en el módulo. En dicho punto alto debe instalarse un venteo con válvula.

En algún punto del colector debe instalarse:

- Un medidor de caudal de producto.
- Una válvula de corte que permita aislar el módulo del resto de la instalación.

5.3 .7. VERTIDO DE SALMUERA.

La conexión entre el colector de salmuera y las membranas se realiza de forma análoga a la conexión realizada para el colector de alimentación.

El colector de salmuera conducirá la misma hasta la red de vertido de salmuera.

EQUIPOS ASOCIADOS AL COLECTOR DE SALMUERA.

- Transductor de presión de rechazo. La diferencia entre la presión de alimentación y la presión del rechazo nos dará la presión transmembrana o delta P que debe estar entre 1 y 3 bar y es un indicativo del estado de ensuciamiento de las membranas.
- En el punto alto debe existir una válvula de despresurización, que abre al parar la planta para liberar con rapidez la presión residual que queda en el módulo.
- En el punto alto del colector debe haber un venteo con válvula.
- Válvula de control de conversión. Dado que la membrana genera una importante pérdida de carga, si la salida por el colector de salmuera fuera libre, prácticamente toda el agua de alimentación saldría por él y no obtendríamos producto. Para obtener la conversión deseada debemos ir cerrando la válvula hasta crear la contrapresión suficiente como para obtener la conversión deseada.
- Como la salmuera mantienen una presión similar al agua de alimentación, debemos utilizar una válvula de aguja análoga a la utilizada para el control del caudal de alimentación.



5.4. POSTRATAMIENTOS.

El agua de salida de las membranas, normalmente tiene un pH bajo aproximadamente 5,5. Es pobre en calcio y de baja alcalinidad debido al elevado rechazo de estos iones por las membranas. Su baja alcalinidad la hace corrosiva, pudiendo afectar al sistema de tuberías de distribución de agua producto. Por tanto, en cuanto a cumplimiento de la normativa técnico sanitaria y eliminación del carácter agresivo debe regularse el pH del agua desalada hasta 6,5-8 y desinfectarse mediante dosificación de cloro.

Las concentraciones mínimas para las aguas potables de consumo público que hayan sido sometidas a procesos de ablandamiento o desalación de los siguientes parámetros según RD 1138/1990:

Ca	mg/l	no establece
Mg	mg/l	< 50
Dureza(Ca)	mg/l	<60
Alcalinidad (HCO_3)	mg/l	> 30

Por tanto, el post-tratamiento del agua de salida de las membranas tiene dos objetivos:

- 1) Regular el pH a 6,5 – 8 mediante la dicción de CaCO_3 que además proporciona los niveles de Ca que garantizan que el agua no sea corrosiva.
- 2) Desinfección y cumplimiento de la normativa técnico sanitaria mediante la adicción de hipoclorito sódico.

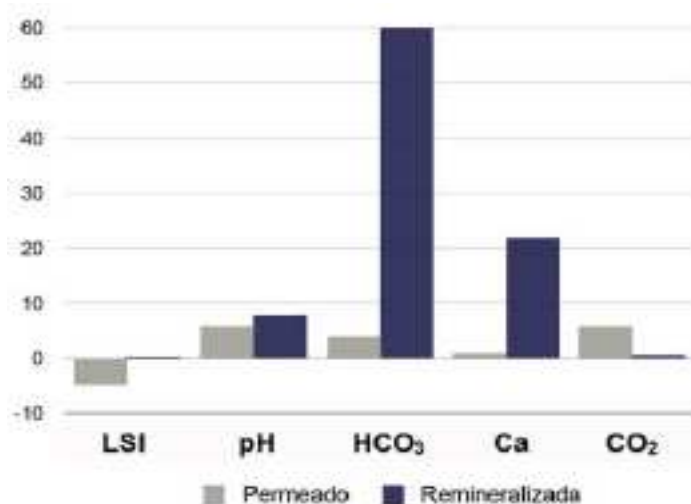


Figura 18. Objetivos del postratamiento



5.5. OTROS ELEMENTOS ASOCIADOS A UNA PLANTA DESALADORA.

EQUIPOS DE BOMBEO.

Equipos resistentes a la corrosión por si el agua no está remineralizada.

EQUIPOS AUXILIARES.

- Medidor de presión.
- Medidor de caudal.
- Medidor de pH.
- Variador de frecuencia.
- Valvulería.
- Colector de impulsión.
- Control de nivel en el depósito.

5.5.1. VERTIDO DE SALMUERA.

Es uno de los impactos ambientales locales más importantes y problemáticos. En plantas de pequeña capacidad el impacto no es significativo si se hace correctamente.

En plantas con gran capacidad la zona impactada es más amplia y debe estudiarse con detalle. Las diferentes opciones para el vertido de salmuera son:

POZOS FILTRANTES.

Presenta menor impacto sobre la biota marina pero precisa un estudio hidrogeológico para garantizar que no contamina el acuífero. A veces puede afectar a la captación.

CONDUCCIONES DE DESAGÜE.

Se vierte cerca de la costa con el objetivo de aprovechar la agitación por el oleaje para ayudar a diluir la salmuera.

EMISARIOS SUBMARINOS.

La mayor densidad de la salmuera hace que se extienda por el fondo del mar.

Hay que buscar zonas alejadas con poca actividad biótica.

Es una solución más costosa pero puede ser necesaria. Se utilizan mecanismos difusores. También se puede diluir previamente (con agua de mar o agua residual depurada).

Esta es la elección para este proyecto, la cual es explicada detenidamente en el Anexo de este proyecto referido al Impacto Ambiental.

OTRAS OPCIONES.

Hidroterapia, regeneración de humedales, acuicultura, balsas de evaporación, electrólisis, etc.



6.- DATOS DE PARTIDA.

La desalación se llevará a cabo mediante un proceso de ósmosis inversa. La producción de la planta será de 70 m³ diarios dados por una línea de proceso. El agua desalada se destinará a satisfacer las demandas hídricas de aquellas zonas del mundo donde la emergencia sanitaria sea urgente.

6.1. CAPACIDAD DE LA INSTALACIÓN.

- Producción de la instalación: 70 m³/día.
- Consumo medio para 3º mundo y situaciones de emergencia: 20 l/(hab y día).
- Grado de conversión: 55 %.

6.2. BALANCE DE MATERIA.

Sabemos que el Q_p (caudal producto es de 70 m³/día) , y que la conversión que vamos a realizar es del 55% por tanto el aporte con el que se debe alimentar la planta es de

$$Q_a = Q_p / \text{conversión} = 70 / 0.55 = 127 \text{ m}^3/\text{día}$$

Debido a que la planta no va a realizar el trabajo durante todo el día, sino que estará funcionando un determinado número de horas, que será las horas que poseamos de sol, en este caso 6, el cálculo del caudal ahora es:

$$Q_a = 127 \text{ m}^3/\text{día} = 21 \text{ m}^3/\text{h}$$

Y el

$$Q_p = 70 \text{ m}^3/\text{día} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

Balance:

$$Q_a = Q_p + Q_s$$

donde Q_s = caudal salmuera

$$Q_s = 9 \text{ m}^3/\text{h}$$

•Balance por componente:

$$Q_a \cdot C_a = Q_p \cdot C_p + Q_s \cdot C_s$$

Donde :

C_a = Concentración de sales de alimentación

C_p = Concentración de sales de permeado

C_s = Concentración de sales de salmuera



C_a esta obtenido de la tabla correspondiente (37.600 ppm), y para que el agua de mar este apta para el consumo humano se estipula que debe de tener una concentración <300 ppm, en consecuencia

$$C_s = \frac{Q_a * C_a - C_p * Q_p}{Q_s} = \frac{21 * 37600 - 12 * 300}{9} = 83034.97 \text{ ppm}$$

Tenemos los siguientes parámetros:

Q alimentación	127 m ³ /día
Q .producción	70 m ³ /día
Q. Salmuera	57 m ³ /día
C.Alimentacion	37600 ppm
C.Sales permeado	300 ppm
C. Sales de Salmuera	83034.97 ppm

6.3 CARACTERISTICAS DE AGUA DE MAR

Datos aportados en el apartado 4.1

6.4. CALIDAD DEL AGUA DESALADA.

La salinidad del agua producto del bastidor de ósmosis inversa es <300 ppm, pero ha de ser sometida al proceso de remineralización para que sea apta para el consumo humano y cumplir con la normativa RD 140/2003 que hace referencia al agua potable.



6.5 CAPTACIÓN DE AGUA DE MAR.

6.5.1. CÁNTARA DE CAPTACIÓN.

Debido a la movilidad de la que se debe hacer uso esta planta de tratamiento a diferencia de las plantas comunes no es recomendado realizar pozos previos para la toma de agua dada la infraestructura que esto llevaría consigo.

Con lo cual, la solución que se ha adoptado es la de construir una cantara con el volumen necesario para producir la cantidad requerida de agua desalada.

Dicha cántara será construida con hormigón y un material resistente que flote y en el interior de ella se alojará la bomba sumergible. La cántara se introducirá en el mar a la profundidad requerida dependiendo de la zona costera donde se esté trabajando, así como para salvar la altura de la cántara de captación.

A dicha cántara se le añadirá una boya señalizadora para saber en todo momento donde se encuentra dicha cántara. La cántara será llevada a la profundidad necesaria mediante algún tipo de embarcación que facilite su transporte. Dado que la cántara va a estar continuamente llena de agua dado que se va a encontrar en el fondo del mar, para su diseño no será necesario suponer un tiempo asignado de retención, sino lo que debemos de asegurarnos es de que la bomba se encuentre totalmente protegida por la cántara y que no sobresalga por la parte superior de esta.

6.5.2. BOMBA DE CAPTACIÓN.

Se instalará una bomba de captación, la cual se introducirá en la cántara anteriormente calculada. Dicha bomba será sumergible, apta para estar en contacto con el agua salada y con capacidad suficiente para bombear el caudal requerido e incluso para el lavado de los filtros.

6.5.2.1. CAUDAL DE LA BOMBA DE CAPTACIÓN.

$$Q_{ali} = 21 \text{ m}^3/\text{h}$$

Capacidad de la bomba de captación: $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

6.5.2.2. ALTURA DE LA BOMBA Y NPSHd.

Para la selección de la altura a desarrollar por las bombas de captación se debe tener en cuenta las pérdidas de carga a lo largo del circuito hidráulico hasta las bombas de alta presión.



Altura de la bomba de Baja Presión:

Altura Manométrica Total = Aspiración altura geométrica pérdidas de carga + Impulsión altura geométrica pérdidas de carga.

En nuestro caso, al ser la bomba sumergible, despreciamos la aspiración en el cálculo y sólo calculamos la impulsión.

Altura Geométrica	5 m
Longitud de tubería	100 m
Válvula de retención ($\varnothing = 65$ mm)	8 m
Válvula de compuerta ($\varnothing = 65$ mm)	0,5 m
Codo 90° (depósito intermedio)	0,9 m
Total	109,4 m
Pérdidas de Carga 109,4 m x 0,6 %	0,65 m
Altura Manométrica Total de Impulsión	5,65 m

Los metros asignados a las válvulas y al codo corresponde a la longitud equivalente para una tubería recta en metros. $\varnothing = 50$ mm, corresponde al diámetro interior del tubo de PVC que enlaza la bomba de baja presión con el filtro de arena.

NPSH:

Para que una bomba funcione correctamente ha de cumplirse la condición que el NPSH disponible sea mayor al NPSH requerido.

Como medida preventiva y de seguridad se recomienda añadir 0,5 m al valor de NPSH requerido, quedando:

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr} + 0,5$$



Cuando la bomba opera con una aspiración excesiva se desarrolla una presión de succión baja en la entrada de la misma, la presión disminuye hasta que puede crearse un vacío y el líquido se convierte en vapor. Esta formación de burbujas, que colapsa en la entrada del impulsor, conduce al proceso de cavitación, que genera graves consecuencias en las partes mecánicas de la máquina. Los males comunes derivados de la cavitación son picaduras, vibraciones y ruidos. Una cavitación severa viene generalmente acompañada por un ruido excesivo y daños a la bomba; una cavitación moderada no puede producir más que una pequeña reducción del caudal, altura, rendimiento y un desgaste prematuro.

El NPSH (Net Positive Suction Head) o altura neta positiva de aspiración (ANPA) es la diferencia entre la presión del líquido referido al eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

Se consideran dos tipos de NPSH:

NPSH disponible: Es una particularidad de la instalación e independiente del tipo de bomba se deduce aplicando el principio de conservación de la energía entre superficie libre del líquido y la aspiración:

$$\text{NPSHd} = \frac{10Pa}{\gamma} - H_{ca} - P_{ca} - \frac{10T_v}{\gamma}$$

NPSH requerido: Es una característica de la bomba, siendo un dato a facilitar por parte del fabricante y responde a la expresión:

$$\text{NPSHr} = H_a + \frac{v_a^2}{2g}$$

Siendo:

H_a : Altura geométrica de aspiración en metros. Lleva signo positivo cuando el nivel del líquido está por debajo del eje de la bomba y negativo cuando está por encima.

· $H_a = -2 \text{ m}$

P_a : Presión atmosférica o presión en el depósito de aspiración, en kg/cm².

P_{ca} : Pérdidas de carga en aspiración (tuberías, válvulas, curvas y accesorios, etc.), en m.



· $P_{ca} = 0$. La aspiración es a cota cero.

T_v : Tensión de vapor del líquido a temperatura de bombeo, en kg/cm^2 .

· T_v (agua a 20°C) = $0,0238 \text{ Kg/cm}^2$

γ : Peso específico del líquido, en kg/cm^2 .

· γ (agua a 20°C) = $0,9982 \text{ Kg/dm}^3$

$V_a \text{ } 2/2g$: Altura dinámica correspondiente a la velocidad de entrada del líquido en la bomba, en m/seg.

H_z : Presión mínima necesaria en la zona inmediatamente anterior a los álabes del rodete, en m.

Tenemos por tanto:

$NPSH_d = 12,08 \text{ mca}$

Ahora podemos definir las necesidades de la bomba que necesitamos.

Especificaciones de la bomba de Captación:

· Tipo de bomba: Bomba Centrífuga de Eje Vertical Sumergible.

· Caudal: $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

· Potencia absorbida: 1 Kw

· Rendimiento: 85%

· $NPSH_r$: $NPSH_d - 0,5$

La bomba dispondrá de variador de velocidad para permitir la variación de altura de elevación y caudal.

El resto de las especificaciones técnicas del equipo, se redactan en el documento correspondiente a las especificaciones técnicas de los equipos.

6.6.- PRETRATAMIENTO.

El agua de mar previamente a su desalinización en la osmosis inversa será acondicionada con el fin de proteger la instalación y especialmente las membranas garantizando unas condiciones óptimas del agua de alimentación desde el punto de vista de sus propiedades físico-químicas.



Se instalarán aquellos tratamientos que son necesarios prácticamente en un 85 % de los casos. El proceso de pretratamiento antes de llegar a la bomba de alta presión que alimenta a los contenedores es el siguiente:

- Filtro de arena.
- Filtro de cartucho.
- Dosificación de antiincrustante.

Construida la toma y antes de arrancar la planta, se fijarán los parámetros de proceso requeridos para un correcto funcionamiento de la planta.

6.6.1.- FILTRACIÓN EN ARENA.

La filtración en arena se encuentra dentro de los pre-tratamientos físicos a los que es sometida el agua de mar antes de su acceso a los bastidores de ósmosis inversa.

Con ésta se consigue la eliminación de los sólidos suspendidos y la reducción de la concentración de coloides que pudiera portar el agua de mar (SDI).

El factor limitante de dicho proceso es la velocidad de filtración, que no deberá sobrepasar en ningún caso los 10 m/h con todos los filtros en operación. Para evitar turbulencias se opta por tomar velocidades entre 6 o 7 m/h.

Datos para el cálculo de la superficie filtrante (Sfilt):

- Caudal de alimentación: 7.2 m³/h.
- Velocidad de filtración: 7 m/h.
- N° de filtros: 1.

$$S_{filt} = \frac{Q_{alim} t}{v_{filt} * n^{\circ} filtro} = 1.2 \text{ m}^2$$

Superficie filtrante: 1.2m²



Las dimensiones del filtro de arena horizontal de la firma CALPLAS para esta superficie filtrante son de:

Sup. Filtrante	1.2 m ²
Longitud	1.35 m
Diámetro	1.26 m

6.6.2.- LAVADO DEL FILTRO DE ARENA.

Cuando la pérdida de carga a través del filtro de arena alcanza los 0,8 ó 1 kg/cm² de presión debe procederse a su limpieza. Para obtener unos resultados óptimos en el proceso de lavado se aplican alternativamente lavados a contracorriente de agua. La secuencia de lavado se tomará de forma automática y para ello se incorporará una válvula con accionamiento automático.

El lavado de los filtros de arena se realiza con agua de mar empleándose la misma bomba de captación de agua de mar.

6.6.3.- FILTROS DE CARTUCHO.

El segundo de los pretratamientos físicos es la filtración de seguridad o filtración por cartuchos. El cometido de ésta filtración es la de proteger a las membranas y las bombas de alta presión de partículas en suspensión, controlando que el SDI sea inferior a 3 (necesario para el correcto funcionamiento de las membranas). Cuando la pérdida de carga a través de dichos filtros alcanza 1 Kg/cm² se procede a la sustitución de los cartuchos por otros nuevos.

El caudal de alimentación a los filtros de cartucho es de 7.2 m³/h. Asumiendo caudales normales de operación de 0,68 m³/h por cartucho elemental de 248 mm, para unidades de 1.000 mm tendríamos:

$$QFC1 = 0,68 \text{ m}^3/\text{h} * 4 \text{ uds} = 2,72 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N^{\circ} \text{ uds.} = \frac{Q_{alimt}}{QFC1} = 2.79 \sim 3 \text{ ud}$$

Cada equipo de filtrado contiene como máximo 7 unidades, por lo que el número de equipos de filtrado será de:

$$N^{\circ} \text{ Uds.} = \frac{3 \text{ ud}}{7} = 0.5 \sim 1 \text{ equipo}$$



Las especificaciones de dichos filtros de cartucho (de la firma HARMSCO) son:

- Número de equipos de filtrado: 1
- Selectividad: 5 μm .
- Número de cartuchos: 3 Uds.
- Presión de diseño: 6 Kg. / cm^2
- Longitud unitaria de los cartuchos: 1.000 mm.
- Máxima pérdida de carga a través de F.C.: 1 Kg. / cm^2 .

A diferencia de los filtros de arena, la limpieza a contracorriente de los filtros de cartucho no es tan eficaz debido a que las partículas retenidas son muy pequeñas y quedan fuertemente atrapadas entre los hilos o fibras del cartucho, por lo que está prevista su sustitución periódica por colmatación.

6.6.4.-DOSIFICACIÓN ANTI-INCRUSTANTE. HEXAMETAFOSFATO SÓDICO.

Aunque para la instalación de agua de mar no es imprescindible dosificar dispersantes, inhibidores o anti-incrustantes, si se ha previsto la instalación de dosificación de dichos inhibidores para evitar la precipitación de sales incrustantes, como el sulfato cálcico (CaSO_4) o el sulfato de bario (BaSO_4) en las membranas como consecuencia del aumento de concentración de sales en el rechazo salino o cambios necesarios del pretratamiento.

El punto de dosificación del anti-incrustante será después del filtro de cartucho y antes de la bomba de alta presión, para evitar que el producto no disuelto pase a las membranas.

Si se producen depósitos de estas sales en las membranas causaría una disminución en el rendimiento de la instalación y un aumento en la presión de operación. El anti-incrustante más utilizado es el hexametáfosfato sódico, y su misión es doble: como retardador de la formación de los precipitados de sales, y como regulador de pH (que a su vez dificulta la precipitación de dichas sales).

La dosis media prevista del producto es 1,5 mg/l.

Datos:

- Disolución al 5 % de concentración.
- Densidad de solución: 1.010 g/l.



- Caudal a tratar: 7,2m³/h.
- Consumo de producto puro:
 $7,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,5 \text{ g}/\text{m}^3 = 9,3 \text{ g}/\text{h}.$
- Consumo de producto diluido:

$$\text{Consumo} = \frac{9,3}{0,5 \cdot 10^{10}} = 0,2 \text{ l/h}$$

El equipo de dosificación estará formado por los siguientes elementos:

- Depósito de almacenamiento.
- Material: Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) dotado de electroagitador de hélice, en el cual se preparará la concentración.
- Tiempo asignado de retención: 24 h.
- $V_{\text{dep}} = 0,18 \text{ l/h} \cdot 24 \text{ h} = 4,32 \text{ l}$

Volumen del depósito: 5 litros.

- Bomba dosificadora electromagnética tipo membrana con capacidad máxima de 2 l/h.
- Conducción de dosificación mediante tubería de PVC.
- Válvula de seguridad en la impulsión en caso de sobrepresión en el sistema de dosificación.

7. OSMOSIS INVERSA

Se ha previsto una instalación de ósmosis inversa compuesta únicamente por una línea de proceso con una capacidad máxima de producción 70 m³/día.

A continuación describiremos la ósmosis inversa propiamente dicha, la cual consta de tres partes esenciales:

- Bombeo de alta presión.
- Membranas de ósmosis inversa.
- Sistema de desplazamiento.

Las etapas de las que consta el proceso son:



7.1.- BOMBEO DE ALTA PRESIÓN

La instalación se ha proyectado con un grupo de alta presión para el único bastidor.

Dicho tren consta de:

- Bomba de alta presión, de pistón.
- Acoplamiento flexible con espaciador entre motor y bomba.
- Guarda-acoplamientos.
- Sellado e los ejes mediante cierres mecánicos simples y equilibrados.
- Tubería de inyección a los cierres.
- Lubricador por anillo de aceite, con aceitador de nivel constante.
- Termorresistencias en caja de cojinetes.
- Rotor equilibrado estática y dinámicamente.
- Bancada común de bomba, motor.

7.1.1.- BOMBA DE ALTA PRESIÓN.

Datos de partida:

Caudal unitario	7.2 m ³ /hora
Presión de alimentación a bastidor	62 bar
Tipo de bomba	pistón
NPSHd	9,08 m

Bomba de alta presión:

Caudal de alimentación	7.2 m ³ /hora.
Presión de entrada a la bomba	1 bar
Eficiencia de la bomba	86 %
Eficiencia del motor	95 %
Eficiencia ERT	86 %



7.2. MÓDULOS DE ÓSMOSIS INVERSA.

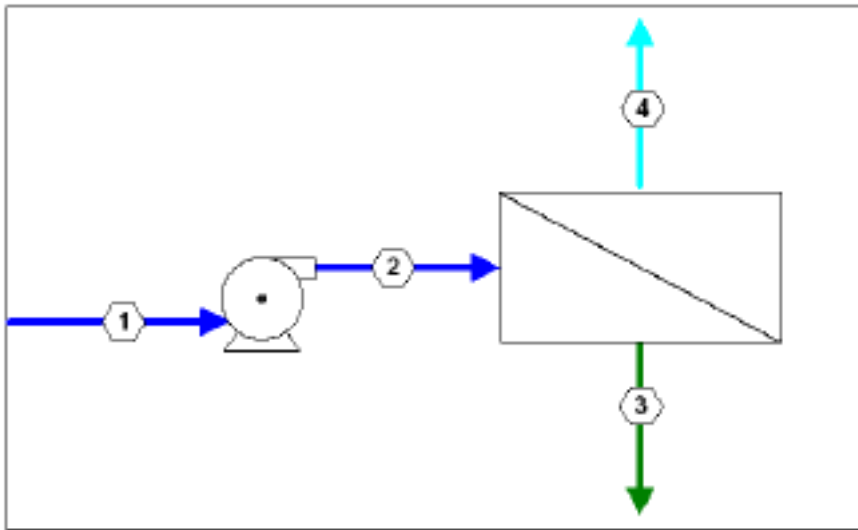
Las características más significativas de las membranas a instalar son las siguientes:

Configuración	Arrollamiento en espiral
Material	Poliamida.
Rechazo de sales mínimo	99,5%

La disposición y modelo de membranas es el siguiente:

Nº de bastidores	1
Disposición	1 paso y 1 etapa.
Conversión	55 %
Producción por bastidor	70 m ³ /día
Nº de contenedores de presión	6
Nº de membranas por contenedor de presión	1
Nº total de membranas	6
Marca y modelo de membrana	Hydranautic SWC4B
Material de membrana	Poliamida aromática
Configuración de membrana	De arrollamiento en espiral
Rechazo de sales	98 %
Presión de operación	62 bar

En la siguiente figura se puede observar los diferentes flujos de la instalación diseñada:



	1	2	3	4
Flujo (m ³ /h)	5.9	5.9	2.7	3.3
Presión (bar)	0	62.8	63	0

7.3.- DESPLAZAMIENTO.

Para la eliminación del agua de mar dentro de la bomba de alta presión y membranas, en caso de parada en el tratamiento, se ha previsto un conducto de agua permeada que parte de la tubería de PVC que sale del último contenedor de presión y termina en la tubería de PVC antes de la bomba de alta presión.

El desplazamiento es una función de rutina que se realiza cuando la planta se pone fuera de servicio por un tiempo apreciable. Su objeto es reducir las altas concentraciones salinas existentes en las membranas, bomba y colectores de acero inoxidable, previniendo las posibles precipitaciones de sales y corrosiones que afectarían al rendimiento y vida de los equipos.

Para ello se dispondrá de una válvula que se manejará manualmente.



8.- POSTRATAMIENTO.

Tiene el fin de adecuar el agua permeada a la normativa vigente y reducir la agresividad del agua producida en la Osmosis Inversa y así proteger los elementos de conducción al abastecimiento.

8.1. REGULACIÓN DEL pH. CARBONATACIÓN

Se ha previsto una dosificación de cal con la cual se incrementará su pH hasta eliminar su agresividad. Dosis media de 20 g/m^3 y máxima de 30 g/m^3

Datos:

Concentración del producto	100 %.
Caudal a tratar	$70 \text{ m}^3/\text{día}$.
Densidad	$1 \text{ Kg/l} = 1000 \text{ g/l}$.
Dosis mínima:	$\text{m}^3/\text{h} \cdot 20 \text{ g/m}^3 = 65 \text{ g/h}$
Consumo de producto comercial (mínimo):	$= \frac{65 \text{ g/l}}{1000 \text{ g/l}} = 0.065 \text{ l/h} = 0.065 \text{ Kg/h}$
· Dosis máxima	$3,25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 30 \text{ g/m}^3 = 97,5 \text{ g/h}$.
Consumo de producto comercial (mínimo):	$\frac{97.5 \text{ g/l}}{1000 \text{ g/l}} = 0.0975 \text{ Kg/h}$

La cal se suministra en sacos de 25 Kg de polvo, por lo que con un saco tendremos:

$$\frac{25 \text{ g/l}}{2.34 \text{ g/l}} = 10.68 \sim 10 \text{ días}$$

El equipo de dosificación estará formado por los siguientes elementos:

- Depósito de almacenamiento.
- Material: PRFV.

En el depósito se preparará la dilución al 5,0 %, por lo que el caudal medio de solución a dosis media será de $1,3 \text{ l/h}$ y, el caudal medio de solución a dosis máxima será de $1,95 \text{ l/h}$.

- Tiempo asignado de retención: 24 h.
- $V \text{ dep} = 2 \text{ l/h} \cdot 12 \text{ h} = 24 \text{ l}$

Volumen del depósito: 25 litros.

- Bomba dosificadora electromagnética tipo membrana de caudal regulable, con una capacidad unitaria máxima de 5 l/h .



8.2. CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA TECNICO-SANITARIA.

CLORACIÓN

A fin de garantizar la eliminación de elementos patógenos y perjudiciales para la salud así como cumplir con la normativa sanitaria en cuanto a cantidad de cloro residual en la red, se requiere una dosificación de hipoclorito sódico.

Dada que la dosificación de hipoclorito sódico dependerá de las condiciones que existan una vez sale el agua de la planta de tratamiento y dado que dichas condiciones no las sabemos, en caso de que sea necesaria la dosificación, se recomienda lo siguiente:

La dosis a aplicar es de 5 ppm del producto puro. El producto comercial suministrado tiene una riqueza del 13 % y se diluye en concentraciones del 20%.

9.- ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA.

El agua permeada producto de la osmosis inversa sale de las membranas sin presión, por lo que será recogida en un depósito de almacenamiento.

Dicho depósito no será incluido en el contenedor marítimo en el cual se ubicará la planta de tratamiento.

10- TUBERÍAS.

Las tuberías de la instalación deben permitir el transporte del agua desde el punto de captación hasta el bastidor, así como de los dos flujos que se originan tras el proceso, el producto hasta el depósito de almacenamiento y la salmuera al punto de vertido.

Las tuberías empleadas en las diferentes partes del tratamiento se han previsto de los siguientes materiales:

- Agua de mar a baja presión: PVC.
- Agua de mar a alta presión: Acero Inoxidable AISI-904 L.
- Agua tratada: Poliéster con fibra de vidrio (PRFV) – PVC.
- Reactivos: PVC – polietileno.

10.1.- BAJA PRESIÓN.

La tubería de baja presión la forma primeramente la tubería de impulsión de la bomba sumergible de captación que se conecta directamente con el filtro de arena.

Datos:-

Caudal de agua	127 m ³ /día
Velocidad	0,8 m/s
Radio interior de la tubería	32 mm
Material	PVC flexible



En el filtro de arena se instalará un medidor de presión diferencial para comprobar el grado de colmatación

A continuación está el colector que une los filtros de arena con los filtros de cartuchos.

Datos:

Caudal de agua	7.2m ³ /h
Velocidad	0,8 m/s
Radio interior de la tubería	32 mm
-Material	PVC

Finalmente, está el colector desde los filtros de cartucho hasta la aspiración de la bomba de alta presión. A lo largo de este colector es donde se adiciona el antiincrustante. Un medidor de potencial redox, que compruebe la decoloración del agua de alimentación a las membranas, un medidor de pH y un medidor de conductividad.

Asimismo se ha instalado un medidor de caudal electromagnético que permite medir el caudal de agua de alimentación a las membranas.

La tubería de recogida del permeado del último tubo de presión.

Datos:

Caudal de agua	70 m ³ /d
Velocidad	0,8 m/s
Radio interior de la tubería	19 mm
Material	PVC

En dicha tubería se ha instalado un medidor de caudal electromagnético con totalizador con el fin de medir el caudal y volumen de agua producida. Así mismo se instalan un medidor de pH para comprobar la corrección del mismo y un medidor de conductividad para verificar la calidad del permeado.

10.2.- ALTA PRESIÓN.

Las tuberías de alta presión las forman principalmente la tubería que une la bomba de alta presión con las membranas.

Caudal de agua	70 m ³ /d
Velocidad	0,8 m/s
Radio interior de la tubería	32 mm
Material	AISI-904 L



En la tubería de alimentación a los bastidores se ha instalado una válvula de regulación automática, que permite regular el caudal de alimentación en función del ensuciamiento de las membranas.

También son de alta presión los colectores múltiples que distribuyen el agua de alimentación del bastidor entre cada uno de los tubos de presión de las membranas de ósmosis inversa.

Tal como se ha indicado anteriormente, el material de construcción de dichas tuberías es acero inoxidable AISI-904 L, debido a la corrosividad y alta presión.

Para facilitar el desmontaje para inspección, limpieza o recambio, se ha previsto que la unión de las membranas a los tubos de alimentación sea mediante juntas rápidas tipo VICTAULIC.

11.- APARATOS DE MEDICIÓN Y CONTROL.

El funcionamiento de la instalación precisa de unos elementos de medida para comprobar que la misma cumple con las prescripciones que ha sido diseñada. Es decir las especificaciones relativas al caudal y calidad del agua producida y al consumo energético y de reactivos de la instalación.

Pero también, teniendo en cuenta que las características del agua a tratar tienen una incidencia muy importante en el proceso, es muy importante controlar la misma a lo largo de las distintas fases del pretratamiento previas a su entrada a las membranas.

También una instalación de estas características cuenta con instrumentos que permiten comprobar si el funcionamiento de los distintos equipos instalados es correcto con el fin de prevenir fallos en las instalaciones y avisar sobre posibles averías que pueden ocasionar daños de importante repercusión económica.

Para el control y automatización de las diferentes fases del tratamiento se han incluido los siguientes instrumentos de medición y control:

CAUDAL

Medidor-Totalizador

- Bombeo de agua de mar.
- Alimentación agua de mar a pretratamiento y a lavado de filtros.
- Entrada de agua de mar a ósmosis inversa.
- Agua permeada de ósmosis inversa.

Indicador

- Caudal de aire a filtros.
- Caudal de agua de lavado de membranas.
- Caudal de distribución a filtros.



PRESIÓN.

- Transmisor de presión en alimentación a ósmosis inversa.
- Indicadores de presión en bombas y en filtros.

PRESIÓN DIFERENCIAL.

- Transmisión de presión diferencial entre alimentación y rechazo salino de la línea de ósmosis inversa.
- Transmisión de presión diferencial entre alimentación y rechazo salino de la línea de ósmosis inversa.
- Transmisor de presión diferencial en filtro de arena y de cartucho.

PRESOSTATOS

- Impulsión bombeo agua de mar.
- Alimentación bomba de alta presión.

TEMPERATURA.

- Agua pretratada.
- Alimentación a la línea de ósmosis inversa.

CONDUCTIVIDAD.

- Agua de mar en la entrada al tratamiento de ósmosis inversa.
- Agua permeada en la línea de ósmosis inversa.

pH.

- Agua alimentación a ósmosis inversa con regulación de la automática de ácido sulfúrico.
- Agua permeada en las líneas de ósmosis inversa.

REDOX.

- Agua de alimentación a ósmosis inversa con regulación para automática de bisulfito sódico.

NIVELES.

- Interruptor de mínimo en depósitos de reactivos.

ALARMAS

- Mínimo nivel en depósitos de reactivos.
- Alta temperatura bobinados bombas agua de mar y alta presión.
- Alta temperatura cojinetes bombas agua de mar y alta presión.
- Alta pérdida de carga en filtros de arena y cartuchos.



- Alto y bajo potencial redox agua pretratada.
- Baja presión aspiración bomba de alta presión.
- Alta presión de impulsión en bomba alta presión.
- Alta temperatura alimentación a ósmosis.
- Bajo caudal alimentación a ósmosis.
- Alta y baja presión de alimentación a ósmosis inversa.
-

12.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Dado el carácter portátil de la planta desaladora se ha dispuesto que para la alimentación eléctrica de los diferentes procesos de la planta de tratamiento se disponga de una instalación fotovoltaica ,pero por si fallara también le acoplaremos un grupo electrógeno con las características indicadas en el documento correspondiente

Todos los detalles de la instalación eléctrica se encuentra dentro de la memoria del proyecto

13- INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS.

Aplicamos el RD 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Según el Anexo I de la normativa anteriormente citada se decide que la instalación es del tipo C, ya que ocupa totalmente un edificio y, su distancia es mayor de 3 metros con el edificio más próximo.

La densidad de carga de fuego obtenida es $Q_s = 704 \text{ MJ/m}^2$, por lo que el Nivel de Riesgo Intrínseco (NRI) es BAJO.

Dado que el Anexo II se refiere a los requisitos constructivos de la planta y nuestra planta desaladora se limita al contenedor marítimo que la contiene pues, no aplicamos este Anexo a nuestro proyecto.

En cuanto al Anexo III, decidimos que colocaremos los siguientes extintores portátiles de incendio:

Zona 1: · 21A-113B de polvo ABC. 89B-Anhídrido Carbónico.

Zona 2: · 21A-113B de polvo ABC.



14.- CONSIDERACIONES SOBRE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

14.1.- SITUACIÓN DE LA PLANTA.

Dada la portabilidad de la planta desaladora el único requisito a tener en cuenta en lo que se refiere a situación es que el lugar donde vaya a ser ubicada deberá haberse limpiado y nivelado previamente para evitar el mal funcionamiento de la misma.

14.2.- EL INTERIOR DE LA PLANTA.

La implantación de los elementos se ha realizado buscando una buena viabilidad y un agrupamiento funcional de los distintos elementos.

El contenedor marítimo de 20 pies se ha dividido en dos zonas. En una zona se encuentra el filtro de arena, filtros de cartucho y por otra parte tenemos el grupo electrógeno, la bomba de alta presión, los tubos de ósmosis inversa y el postratamiento.

15.- PUESTA A PUNTO.

La Puesta a punto forma parte del período de construcción y se dará por finalizada cuando funcionen todos los elementos, automatismos y controles de la planta.

En este período se efectuarán las pruebas de los diferentes sistemas.

a) Personal Técnico.

La planta será puesta en marcha por técnicos expertos en instalaciones de Osmosis Inversa.

Estará asistido por oficiales especialistas en equipos mecánicos (bombas, válvulas, etc.) y eléctricos (motores, instrumentación, control, etc.).

b) Gastos de operación.

Los gastos de operación están incluidos en el Proyecto. Se han considerado costos correspondientes a:

- Personal
- Mantenimiento y conservación
- Energía eléctrica
- Reactivos químicos.
- Reposición de membranas
- Varios

Sevilla Junio de 2013

Manuel Cobos Ruiz