

### 3. Situación global del agua de mar

El mayor porcentaje de agua en el planeta es salada, la cual se encuentra en mares, océanos y lagos salados, la cual es aprovechada en diferentes proporciones debido al costo del proceso de desalinización. A pesar del elevado costo de los procesos actuales, este recurso es una fuente potencial de agua fresca que puede subsanar las carencias actuales.

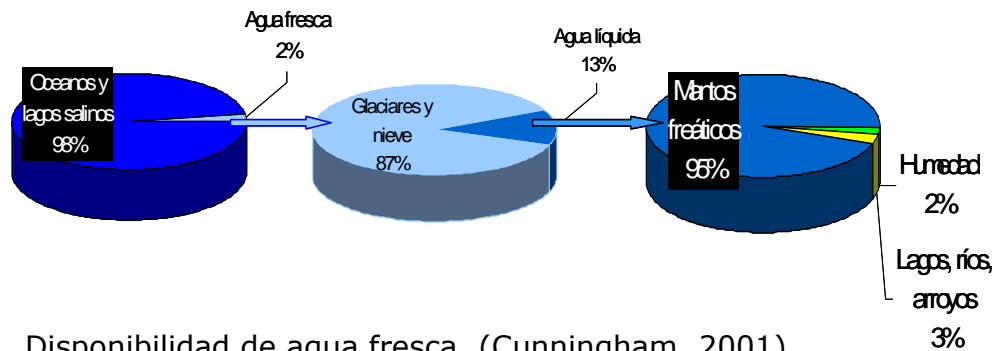
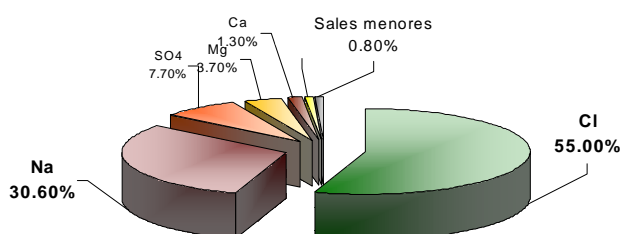


Fig. 3.1. Disponibilidad de agua fresca. (Cunningham, 2001)

La tecnología de desalinización ha sido desarrollada extensamente en los últimos 40 años hasta el punto donde se ha hecho factible el uso de ésta para la producción de agua fresca a partir de fuentes salinas. El costo de desalinización puede ser mayor que la extracción de pozos debido al intenso uso de energía. Sin embargo, en muchas de las zonas áridas del mundo, el costo para desalinizar agua de mar es menor que cualquier otra alternativa que pueda existir o sea considerada en el futuro (Moreno, R.M. 1998 )

### 3.1 Composición del agua de mar

El agua de mar se encuentra constituida por diversas sales disueltas en ella, siendo la salinidad promedio de 35 000 ppm. Los principales elementos que constituyen el 99% de las sales marinas son cloro( $\text{Cl}^-$ ), sodio( $\text{Na}^+$ ), azufre( $\text{SO}_4^{-2}$ ), magnesio( $\text{Mg}^{+2}$ ), calcio( $\text{Ca}^{+2}$ ) y potasio( $\text{K}^+$ ). Siendo los más abundantes cloro y sodio:



**Fig. 3.2.** Proporción de elementos en agua de mar

Tabla 3.1 Las concentraciones promedio de los componentes del agua de mar son las siguientes:

ELEMENTO	AGUA DE MAR
Calcio	272.23 mg/l
Magnesio	1,044.86 mg/l
Potasio	352.97 mg/l
Sodio	8,347.31 mg/l
Cloruro	11,712.13 mg/l
Bromuro	26.73 mg/l
Fluoruro	0.85 mg/l
Dureza $\text{CaCO}_3$	3000-4,982.53 mg/l
Alcalinidad $\text{CaCO}_3$	65.33mg/l
Oxígeno Disuelto	5.53 mg/l

La cantidad de calcio que contienen las aguas oceánicas es menor que la de los elementos cloro y sodio y su relación con el cloro permanece relativamente constante(<http://omega.ilce.edu.mx:3000>).

El agua de mar contiene pequeñas cantidades de gases disueltos (nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono), en la superficie se encuentra saturada con gases de la atmósfera. Incrementando la temperatura o la salinidad se reduce la cantidad de gas que puede disolverse en el agua (<http://www.usask.ca/geology/classes/geol206/geol206rr2.html>).

### **3.2 Métodos utilizados actualmente para desalinizar agua de mar**

En muchos países con acceso a masas de agua salada, la tecnología de la desalinización ha beneficiado a las comunidades permitiendo la obtención de agua potable para su desarrollo, dado es el caso de países de medio oriente, norte de África e islas del Caribe (Buros O. K., Segunda edición).

Las unidades de mayor capacidad de producción de agua por medio de este tipo de tecnologías se encuentran en Arabia Saudita, 25% del total, principalmente usan los procesos térmicos. Los Estados Unidos de América son el segundo país en capacidad total, con aproximadamente un 12%, principalmente utilizando ósmosis inversa (Jofre, A. M. 2001)

En la actualidad los métodos comerciales más comúnmente utilizados para la desalinización se encuentran contenidos en dos categorías principales:

### 3.2.1 Procesos mayores

a) Procesos térmicos: el 50 % del agua obtenida por desalinización es conseguida por estos procesos, siendo los principales la destilación multi etapa y destilación multi efecto, del total del agua obtenida por procesos térmicos el 67% es por destilación multi etapa.

Los proceso térmicos son la réplica del ciclo natural del agua, el agua es calentada hasta alcanzar el punto de ebullición para producir la máxima cantidad de vapor.

Por medio de la evaporación de agua, se obtiene un flujo con un contenido 100 % agua y 0% de sales, para hacerlo económicamente viable, la ebullición es controlada disminuyendo la presión con lo cual la temperatura de ebullición decrece, con esta reducción en el punto de ebullición de igual manera decrece la formación de incrustación (Buros O. K., Segunda edición)

Para llevar a cabo la ebullición se requieren dos condiciones importantes: proveer la temperatura necesaria a la presión establecida y la energía de vaporización. Cuando el agua es calentada hasta su punto de ebullición continuará hirviendo por poco tiempo si le es retirada la fuente de calor debido a que requiere energía adicional (calor de vaporización) para continuar en ebullición. Una vez que el agua deja de hervir puede ser reiniciado el proceso transfiriendo calor o reduciendo la presión. Si se produce mayor cantidad de vapor con la menor cantidad de calor, entonces el proceso tiende a ser más eficiente (Buros O. K., Segunda edición)

✓ En la destilación multi etapa (MSF), el agua de mar es calentada en un tanque pasa a otro tanque, denominado etapa, donde la presión es tal que el agua hierve inmediatamente, la cual pasa rápidamente a vapor. Sólo un pequeño porcentaje del agua se vaporiza. Esta evaporación continuará hasta que la temperatura del agua descienda por debajo del punto de ebullición para esta presión.

El vapor generado se convierte en agua potable por condensación en las tuberías del intercambiador de calor que pasan a través de cada una de las etapas. Estas tuberías se enfrían por la acción del agua de alimentación que va hacia el calentador. Este calienta el agua de alimentación de forma que la cantidad de energía térmica que necesita el calentador para elevar la temperatura del agua salada se reduce ([www.iter.web-iter.dptosi~1/docva~1/desalt~1.htm](http://www.iter.web-iter.dptosi~1/docva~1/desalt~1.htm)).

✓ La destilación multi efecto, (MED) al igual que en el caso de la MSF la destilación se lleva a cabo en una serie de tanques en los que se va reduciendo progresivamente la presión. Esto permite al agua de mar hervir múltiples veces sin la necesidad de aportar nuevamente calor cada vez que pasa a otro de los tanques. En estas plantas el agua de mar entra en el primer tanque y se lleva al punto de ebullición después de haber sido precalentada en tuberías. Posteriormente el agua se distribuye sobre la superficie del evaporador en una película fina con el objetivo de provocar que hierva rápidamente. Las tuberías se calientan por medio de vapor de agua

proveniente de una caldera, u otra fuente, el cual se condensa en el otro lado de las tuberías. Esta condensación se devuelve a la caldera con el fin de reutilizarlo ([www.iter\web-iter\dptosi~1\doc-va~1\desalt~1.htm](http://www.iter\web-iter\dptosi~1\doc-va~1\desalt~1.htm))..

**b) Procesos de membrana:** Principalmente la ósmosis inversa y electrodiálisis.

✓ La ósmosis inversa para desalinizar agua de mar es una de las aplicaciones mas exitosas, el desarrollo de membranas con un rechazo de sales del 99.4 al 99.6% permite obtener agua de baja salinidad de una manera eficaz y económica.

El agua de mar es tomada mediante una bomba de alimentación para ser impulsada a las unidades de pretratamiento que incluyen pretratamiento químico mediante dosificación de los componentes apropiados para cada caso, y pretratamiento físico, que básicamente consiste en una o dos etapas de filtración (filtración de arena multicapa y filtración fina mediante filtros de cartucho).

Una vez pretratada el agua de mar es impulsada mediante una bomba de alta presión hacia las membranas, donde se lleva a cabo la ósmosis inversa, separándose una corriente de agua de baja salinidad o permeado y otra de alta concentración o rechazo (<http://www.tyedesalacion.com/catalogo3.html>).

✓ En la electrodiálisis la sal se disuelve en agua, se separa en iones positivos y negativos, que se extraen pasando una corriente eléctrica a través de membranas aniónicas y catiónicas (<http://www.educastur.princast.es/>).

c) Ventajas y desventajas de procesos térmicos y procesos de membrana:

La Osmosis Inversa se ha convertido en el sistema más difundido por ser el que presenta un balance económico más ajustado. Su mayor ventaja es su bajo consumo de energía y que además, es dependiente de la salinidad del agua. Sus puntos más conflictivos consisten en el control del agua de entrada y del mantenimiento de las membranas.

El sistema necesita un suministro estable de energía eléctrica y un control total de los parámetros de entrada del agua a tratar con un sistema eficaz de pre tratamiento del agua.

El sistema de destilación multi etapa MSF es el más antiguo de los sistemas y se caracteriza por un alto consumo de energía. Alrededor de 4 o 5 kWh/m<sup>3</sup> de electricidad para mover todos los equipos auxiliares y un consumo térmico no inferior a los 50kWh/m<sup>3</sup> a un nivel de temperatura de entre 100 y 110°C.

Aproximadamente la mitad de las plantas mundiales de desalinización se han construido por este método. Sin embargo, su utilidad está limitada a plantas de muy gran tamaño y a lugares que dispongan de una fuente de energía térmica muy abundante y barata.

El método de destilación multi efecto es la variante moderna del MSF en cuanto a que presenta todas las ventajas del MSF y solventa algunos

inconvenientes como el alto consumo de energía y la capacidad de construir plantas más pequeñas.

Las plantas multi efecto necesitan un consumo eléctrico de entre 2 y 3 Kwh./m<sup>3</sup> y otro térmico de entre 30 y 50 Kwh./m<sup>3</sup> lo que las acerca a la eficiencia de las plantas de Osmosis Inversa, especialmente si el agua a desalinizar es directamente agua de mar, su mayor ventaja consta de la fiabilidad de la operación, de un mantenimiento menos sofisticado y de ser mas independientes en cuanto a la calidad del agua a tratar (<http://www.geohabitat.es/castell/pdf/fundamentos.PDF>).

### **3.2.2 Procesos menores**

Son los procesos que hasta hoy en día no son muy utilizados debido a su elevado costo o su complejidad, siendo los más importantes el congelamiento, destilación por membrana y destilación solar.

✓ El congelamiento es un método alternativo que se basa en los diferentes puntos de congelación del agua dulce y del agua salada. Los cristales de hielo se separan del agua salada, se lavan para extraerles la sal y se derriten (<http://www.educastur.princast.es/>).

✓ Para la destilación solar se requieren recipientes poco profundos conteniendo el agua salina, en una cubierta transparente con una determinada inclinación y un recipiente que recoge el del agua condensada.



En estos sistemas, la energía solar que atraviesa la cubierta transparente es absorbida por el agua salada que llena el recipiente, calentándola y desprendiendo una cierta cantidad de vapor en forma de humedad, que cuando se pone en contacto con la superficie interior de la cubierta, condensa parcialmente en forma de gotas de agua.

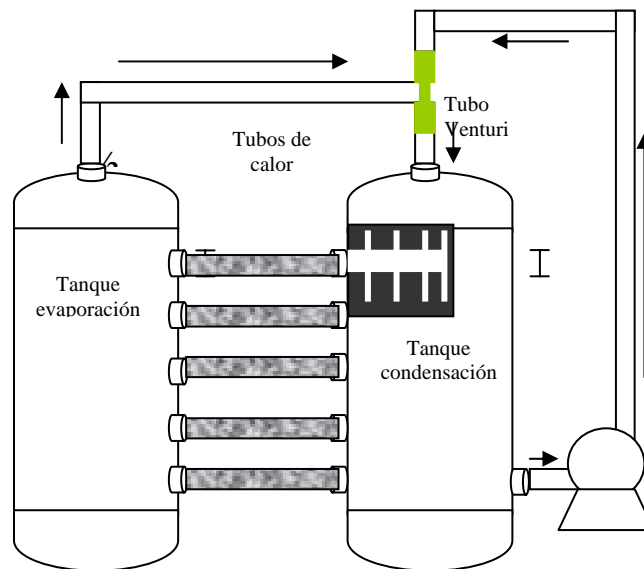
La inclinación de la cubierta, permite que estas gotas resbalen hasta su parte inferior, donde se encuentra el recipiente de recolección del agua destilada (<http://www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMEN/g05/d05104/d05104.htm>).

Los sistemas de destilación solar han demostrado tanto su fiabilidad como sus limitaciones. Desde la primera planta construida en el desierto de Atacama en el norte de Chile a mediados del siglo IXX, hasta las últimas experiencias llevadas a cabo a finales de siglo XX, los informes hablan de plantas fiables, de bajo costo, de reducido mantenimiento, pero de una producción que oscila entre 1 y 4 litros día/m<sup>2</sup> de colector lo que implica unas extensiones muy grandes o unas producciones demasiado bajas para las expectativas de la comunidad (<http://www.geohabitat.es/castell/pdf/fundamentos.PDF>).

### **3.3 Diseño de equipo desalinizador**

El diseño del equipo desalinizador, en el cual serán utilizadas las aletas tipo radial, se basa en la evaporación a baja presión de agua salada en tanque de acero inoxidable, a una temperatura fijada por la reducción de presión

causada por un tubo Venturi. El vapor capturado en el Venturi se dirige al tanque de condensación, el cual se encuentra a presión atmosférica obteniéndose agua pura. Un arreglo de tubos de calor con aletas tipo radial se colocará entre los tanques para mantener el mayor tiempo posible la temperatura de ebullición deseada con el menor suministro energético. El objetivo de la colocación de las aletas al tubo de calor es aumentar el área de transferencia y con ello la capacidad de transferencia de calor, disipándolo en el tanque de evaporación y recuperándolo en el tanque de condensación. La determinación de la potencia de bomba y diseño de tubo venturi se encuentran en el anexo 4.



**Figura 3.3** Equipo de Destilación a Baja Presión

### **3.4 Implementación de superficies extendidas (aletas) a tubo de calor**

Con el fin de aumentar el rendimiento de la transferencia de calor desde el tubo de calor al medio en el extremo evaporador se propone la colocación de aletas a los extremos del tubo de calor. Las aletas son superficies adicionales o extendidas que se instalan para incrementar el flujo calorífico desde un determinado componente hacia el medio que le rodea, ya que es posible aumentar la transferencia de energía entre una superficie y un fluido adyacente si se aumenta la cantidad de área superficial en contacto con el fluido (Welty y Colaboradores, 2001), sobretodo se utilizan cuando el coeficiente de convección ( $h$ ) entre el sólido y el medio fluido es bajo, especialmente cuando se utiliza la convección natural. El bajo coeficiente de película se compensa con un aumento en el área expuesta al fluido.

Al colocar aletas sobre una superficie primaria, la temperatura superficial media del conjunto resulta ser menor, por lo que al reducir la diferencia media de temperatura entre la superficie y el fluido, puede ocurrir que el aumento de superficie no produzca un incremento notable en el flujo de calor disipado o incluso que éste disminuya, es decir, que las aletas aíslen térmicamente la superficie.