

Simulación del pretratamiento de agua de mar para su desalación

Simulation of sea Water Pretreatment for Desalination

Ing. Yuliet Gómez-Rojas, yuliet@almest.gae.com.cu, Dra. Luisa Mayra Vera-Cabezas, mayrav@uclv.edu.cu

Facultad de Química Farmacia, Universidad Central Martha Abreu, Las Villas, Cuba

Hoy en día la desalación de agua de mar es una alternativa viable para su utilización, si se tiene en cuenta la disminución de su precio y la escasez de agua. La desalación del agua de mar mediante membranas de Ósmosis Inversa constituye un proceso ciertamente exigente a la hora de definir la calidad del agua de alimentación al mismo, en función de la calidad del agua que llega a la planta desaladora, será el pretratamiento. Para la realización de este trabajo, se diseñó un plan experimental que contempla la captación del agua de mar y su caracterización, los métodos utilizados para el análisis del agua de mar, están basados en lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas, seguidamente se pasa al proceso de simulación del pretratamiento del agua de mar, utilizando un filtro convencional de lecho mixto de arena sílice y arena, luego por membranas de micro y ultrafiltración. Con los resultados obtenidos se pudo afirmar que el pretratamiento del agua de mar con tecnologías de membranas es mucho más factible que el pretratamiento con filtros convencionales puesto que la calidad del agua obtenida es mucho mayor. Por último se llevo a cabo el proceso de simulación utilizando el Software Rosa con el que podemos obtener a partir de las características del agua de mar un diseño de lo que sería el paso por una membrana de osmosis inversa y se realizó una comparación de los resultados con la planta de Jibacoa perteneciente al turismo.

Palabras clave: *pretratamiento, desalación, ósmosis inversa, membrana.*

Today, seawater desalination is a viable alternative for use taking into account the decline in the price and scarcity of water, sea water desalination by inverses osmosis membranes is a process demanding mind some time to define the quality of feed water to the same, depending on the quality of water coming into the desalination plant will be the pretreatment. To carry out this work, we designed an experimental plan that includes taking seawater and its characterization, methods used for the analysis of sea water are based on the provisions in current regulations on water, then process is passed to the simulation of seawater pretreatment using a conventional mixed bed filter of sand and silica sand, then for micro and ultrafiltration membranes. With the results obtained could say that pretreatment of seawater membrane technology is much more likely that pretreatment with conventional filters because the resulting water quality is much higher. Finally, we carried out the simulation process using the Software Rosa with which we can obtain from the characteristics of sea water a design of what would be the passage through an inverses osmosis membrane and a comparison of the results Jibacoa to the plant belonging to tourism.

Key words: *pretreatment, desalination, inverses osmosis, membrane.*

Introducción

El agua que abastece los centros turísticos de la Cayería Norte de Villa Clara, tiene alto contenido de sales que obstruyen las tuberías y se abastecen por una conductora que atraviesa grandes distancias que sufren cambios de temperatura. Por lo que se analiza si sería factible utilizar la desalación del agua de mar para el consumo en la

Cayería. La primera interrogante es sobre el sistema de pretratamiento que se utilizaría en la planta desaladora.

La desalación del agua de mar mediante membranas de ósmosis inversa constituye un proceso ciertamente exigente a la hora de definir la calidad del agua de alimentación al mismo, en función de la calidad del agua que llega a la planta desaladora, será el pretratamiento, es una parte

esencial para el proceso de desalinización mediante membranas de ósmosis /1, 2/ éstas requieren unas condiciones tanto físicas como químicas del agua para su correcto funcionamiento.

Se debe partir inicialmente de la selección del sistema de captación que puede ser de toma superficial o pozos playeros, significa el primer factor en la determinación del sistema de pretratamiento. Existen dos tipos de tratamientos, uno químico donde se pueden agregar productos químicos antiincrustantes y otro físico de filtración donde se emplea pretratamiento convencional de filtración con arena o por microfiltración (MF) /3, 4/ que es la tecnología de membrana diseñada para remover sólidos suspendidos o ultrafiltración (UF) diseñada para remover macromoléculas disueltas (contaminantes orgánicos) /5/.

Fundamentación teórica

El objetivo de este trabajo es el análisis y evaluación del sistema de pretratamiento a través de filtro convencional o membranas para lograr una protección a las membranas de osmosis inversa utilizadas en las plantas desalinizadoras.

Para la realización de la investigación, se diseñó un plan experimental que contempla captación, caracterización del agua de entrada, análisis del pretratamiento y utilización del Software Rosa, donde:

- La captación del agua de mar, por no contar con pozos profundos, se realizó de forma

superficial, en Punta Madrugilla ubicada en la Cayería Norte de Villa Clara.

- Medición de parámetros químicos, físicos y microbiológicos de las aguas de mar a la entrada y salida de cada proceso basados en *Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters*.
- La simulación del pretratamiento utilizando un filtro de arena y grava, y membrana de microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF).
- Caracterización del agua de mar a la salida del filtro y las membranas.
- Utilización del software Rosa para la simulación del sistema de Ósmosis Inversa comparándolo con la planta desalinizadora de Jibacoa.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

El agua se tomó de forma superficial por no poseer un pozo que cumpliera con las características necesarias; en la tabla 1, se reflejan los resultados de la caracterización del agua de mar.

Los métodos utilizados para el análisis del agua de mar, están basados en *Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters*. Edición No. 20. 2005, *Manual del Instituto de Oceanología* y lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas. Los equipos y cristalería utilizados en las determinaciones, están debidamente verificados por la Oficina Territorial de Normalización (OTN) de Villa Clara.

Tabla 1
Caracterización del agua de mar

| Parámetros | Método utilizado | UM | Captación | Parámetro NC.827:2010 |
|-------------------------------|-------------------|------------------|-----------|-----------------------|
| pH | Potenciométrico | U | 8,10 | 6,5-8,5 |
| Conductividad | Potenciométrico | $\mu\text{S/cm}$ | 51 000 | - |
| SiO ₂ | Colorimétrico | mg/L | 1,14 | - |
| NH ₄ ⁺ | Colorimétrico | mg/L | <0,04 | No Presencia |
| NO ₂ ⁻ | Colorimétrico | mg/L | <0,01 | - |
| HCO ₃ ⁻ | Volumétrico | mg/L | 0,00 | - |
| CO ₃ ²⁻ | Volumétrico | mg/L | 0,00 | - |
| Cl ⁻ | Volumétrico | mg/L | 23 937,26 | 250 mg/L |
| SO ₄ ²⁻ | Gravimétrico | mg/L | 14 978,60 | 400 mg/L |
| Ca ²⁺ | Volumétrico | mg/L | 391,16 | - |
| Mg ²⁺ | Volumétrico | mg/L | 1 464,78 | 0,4 |
| Na ⁺ | Absorción Atómica | mg/L | 11 085,11 | 200 mg/L |
| K ⁺ | Absorción Atómica | mg/L | 418,00 | - |
| NO ₃ ²⁻ | Colorimétrico | mg/L | <0,01 | - |
| Salinidad | - | ‰ | 39 | - |
| DQO | - | mg/L | 0,38 | - |

Si comparáramos los valores de la caracterización del agua de mar con la NC.827:2010. Agua potable-Requisitos sanitarios, claramente podemos ver que no es apta para el consumo humano.

Simulación de los diferentes pretratamientos

Filtro convencional: Se comienza la simulación del pretratamiento utilizando una cámara de 17,50 cm con un diámetro del cilindro de 6,33 cm. El filtro de lecho mixto de arena sílice de espesor de 10 cm, con diámetro de partícula 0,7 mm y de arena de espesor de 4,0 cm con diámetro de partícula 0,5 mm,

donde se caracterizó el agua de mar a su salida y se procedió con la separación por membranas con la utilización de membranas de MF y UF. Para el cálculo del flujo de operación se midió el volumen de filtrado recogido en un tiempo establecido, luego tenemos que el filtro operó a un flujo de 0,3 L/s.

En el Laboratorio de Operaciones Unitarias de La Universidad Central de Las Villas se construyó un banco de pruebas como se muestra en el esquema de la figura 1 y fotografía de la figura 2 para la utilización de un micromódulo de Ultra filtración y Microfiltración para evaluar las membranas en el proceso de pretratamiento.

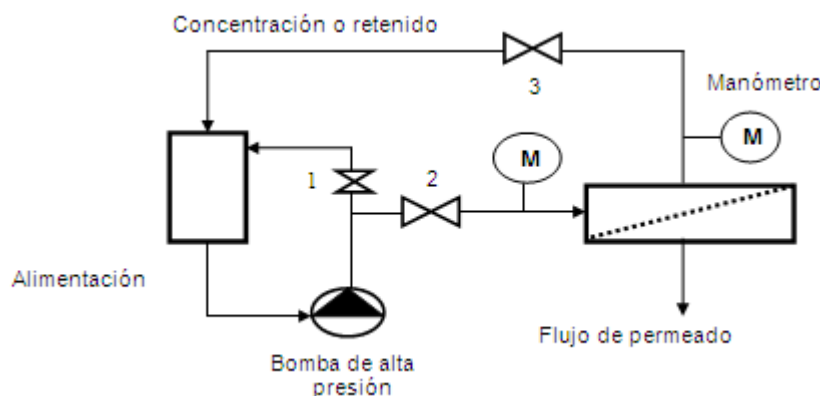


Fig. 1 Esquema del módulo de ultra filtración y microfiltración.



Fig. 2 Fotografía del esquema del módulo de ultrafiltración y microfiltración.

Bomba: Compuesta por un motor eléctrico de 1 700 rpm y 0,8 kW de potencia acoplada a una bomba de desplazamiento positivo dosificadora – mezcladora Milton Roy modelo CEGA10P1T9 la cual es capaz de bombear 12 L/min y permite trabajar con flujos variables, según se requiere.

Módulo de alimentación: Permite mantener la alimentación a la bomba cuya capacidad puede ser variable en dependencia de los requerimientos de la experimentación. En este caso se utilizó un recipiente de 5 L de capacidad para su alimentación.

Módulo de membranas: Se dispone de un módulo tubular con membranas de óxido de zirconio soportadas en carbón (grafito) y se utilizaron para el proceso de microfiltración, una membrana de un umbral de corte de 30 000 Dalton y otra de 45 000 Dalton y para la ultrafiltración se contó con una

membrana de iguales características pero con umbral de corte menor de 10 000 Dalton. El módulo opera con una sola membrana de 0,299 m de longitud; 0,01 m de diámetro exterior y 0,006 m de diámetro interior que le confiere un área de 0,005 1 m².

Válvulas auxiliares: Permiten mantener los flujos y presiones deseadas dentro del sistema. La válvula 1 permite hacer desvíos del caudal en caso de que la presión exceda los límites del tipo de filtración que se realiza y las válvulas 2 y 3 permiten controlar la presión antes y después del módulo de las membranas respectivamente.

Manómetro: Se utiliza un manómetro que indica al operador los valores de presión que rigen la operación y permite registrar la diferencia de presión del sistema.

El primer paso para evaluar la factibilidad de la aplicación de una operación con membranas lo constituye la caracterización de las corrientes de alimentación y permeado, así como la determinación de la efectividad del proceso de separación donde en la tabla 2 se muestran los resultados de la caracterización del agua de mar a la salida del filtro convencional y del paso por las membranas.

Resultados

En la tabla 2 se muestran los resultados de la caracterización del agua de mar a la salida del filtro convencional y después del paso por las membranas.

Tabla 2
Caracterización del agua de mar después de la simulación del pretratamiento

| Parámetros | Método utilizado | UM | Salida del filtro | 30 000 Da | 45 000 Da | 10 000 Da |
|-------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| pH | Potenciométrico | U | 7,70 | 7,05 | 7,17 | 7,04 |
| Conductividad | Potenciométrico | $\mu\text{S/cm}$ | 50 600 | 50 200 | 49 800 | 48 400 |
| SiO ₂ | Colorimétrico | mg/L | 0,43(<1) | 2,38 | 1,81 | 0,90(<1) |
| NH ₄ ⁺ | Colorimétrico | mg/L | <0,04 | <0,04 | <0,04 | <0,04 |
| NO ₂ ⁻ | Colorimétrico | mg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| HCO ₃ ⁻ | Volumétrico | mg/L | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CO ₃ ²⁻ | Volumétrico | mg/L | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Cl ⁻ | Volumétrico | mg/L | 23 233,28 | 23 233,22 | 23 233,22 | 22 763,86 |
| SO ₄ ²⁻ | Gravimétrico | mg/L | 14 916,86 | 13 509,55 | 14 731,70 | 13 509,55 |
| Ca ²⁺ | Volumétrico | mg/L | 391,18 | 352,06 | 391,18 | 312,92 |
| Mg ²⁺ | Volumétrico | mg/Ll | 1 440,76 | 487,99 | 464,38 | 1 511,62 |
| Na ⁺ | Absorción Atómica | mg/L | 11 070,55 | 10 178,58 | 11 207,38 | 10 619,34 |
| K ⁺ | Absorción Atómica | mg/L | 417,03 | 410,70 | 414,97 | 396,19 |
| NO ₃ ⁻ | Colorimétrico | mg/L | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Salinidad | - | % | 37 | 36 | 37 | 35 |
| DQO | - | mg/L | 0,58 | 0,54 | 0,58 | 0,32 |

Como se puede apreciar en la tabla 2, mientras menor es el umbral de corte más se reducen los valores de pH, DQO. Solo con el paso por un filtro convencional, no es suficiente para reducir los contaminantes y pasar por las membranas de Osmosis inversa, antes de estas es necesario su paso por un módulo de membrana donde según los resultados mostrados las membranas de ultrafiltración reducen más los niveles de K⁺, Ca²⁺, SiO₂ pH, DQO que la membrana de microfiltración.

Simulación del sistema de Osmosis Inversa con la utilización del Software ROSA

Este proceso de simulación se lleva a cabo con el uso del Software ROSA, con la aplicación de este programa podemos obtener un análisis del sistema de ósmosis inversa, de acuerdo, con las características del agua de mar donde permite al usuario escoger tres sales diferentes para el análisis químico de agua de alimentación, en este caso se analizó en cada caso con el cloruro de sodio (NaCl).

Con los datos obtenidos después de la simulación del pretratamiento se introdujo en el Software ROSA obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 3, donde se escogió el análisis más satisfactorio.

Detalles del sistema

| | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------|
| Caudal de alimentación en la 1ª etapa | 22,00 m ³ /h | Presión osmótica: | |
| Caudal de agua bruta al sistema | 25,00 m ³ /h | Alimentación | 37,85 bar |
| Presión de alimentación | 70,00 bar | Concentrado | 52,85 bar |
| Fouling factor | 0,85 | Media | 45,35 bar |
| Área activa total | 371,60 m ² | Potencia | 91,57 kW |

| | |
|--|-------------------------|
| Clasificación del agua de mar (toma abierta) SDI < 5 | |
| Conversión del sistema | 41,27 % |
| Caudal de permeado paso 1 | 5,32 m ³ /h |
| Conversión paso 1 | 26,59 % |
| Temperatura de alimentación | 25,0 C |
| STD alimentación | 56 665,99 mg/L |
| Número de elementos | 10 |
| Flujo específico medio paso 1 | 14,31 m ³ /h |
| Flujo específico de mezcla del bypass | 5,00 m ³ /h |
| Energía específica | 3,80 kWh/n |

Tabla 3
Corrida del Software Rosa

| Corrientes paso (mg/L) | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|-------------|-----------|----------|----------|--------|
| Nombre | Alimentación | Alimentación ajustada | | Concentrado | | Permeado | | |
| | | Inicial | Después de reciclos | Etapas 1 | Etapas 2 | Etapas 1 | Etapas 2 | Total |
| NH ₄ ⁺ | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| K ⁺ | 413,24 | 413,24 | 427,68 | 523,70 | 563,08 | 2,17 | 5,08 | 2,86 |
| Na ⁺ | 10 619,34 | 11 087,88 | 11 332,83 | 16 130,89 | 18 102,84 | 69,00 | 161,17 | 100,96 |
| Mg ²⁺ | 1 423,87 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca ²⁺ | 5 953,66 | 0,10 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sr ²⁺ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ba ²⁺ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CO ₃ ²⁻ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HCO ₃ ⁻ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| NO ₃ ⁻ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cl ⁻ | 22 320,16 | 22 320,16 | 23 100,99 | 28 290,85 | 30 421,15 | 100,78 | 235,65 | 132,92 |
| F ⁻ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SO ₄ ²⁻ | 13 509,55 | 13 509,55 | 13 788,87 | 16 897,93 | 18 179,24 | 10,27 | 23,68 | 13,47 |
| B | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SiO ₂ | 1,06 | 1,06 | 1,09 | 1,34 | 1,44 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| CO ₂ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| STD | 54 520,57 | 56 665,99 | 58 651,61 | 71 844,88 | 77 267,94 | 182,23 | 425,60 | 240,21 |
| pH | 7,04 | 7,04 | 7,04 | 7,04 | 7,04 | 7,04 | 7,04 | 7,04 |

Análisis de la planta desalinizadora Jibacoa, ubicada en La Habana

Detalles del sistema

| | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------|
| Caudal de alimentación en la 1ª etapa | 20,00 m ³ /h | Presión osmótica: | |
| Caudal de agua bruta al sistema | 20,00 m ³ /h | Alimentación | 37,85 bar |
| Presión de alimentación | 40,00 bar | Concentrado | 52,85 bar |
| Fouling factor | 0,85 | Media | 45,35 bar |
| Área activa total | 668,88 m ² | Potencia | 27,78 kW |

| | |
|--|-------------------------|
| Clasificación del agua de Mar (toma abierta) SDI < 5 | |
| Conversión del sistema | 38,39 % |
| Caudal de permeado paso 1 | 5,32 m ³ /h |
| Conversión paso 1 | 26,59 % |
| Temperatura de alimentación | 25° C |
| STD alimentación | 25 300,01 mg/L |
| Número de elementos | 10 |
| Flujo específico medio paso 1 | 11,48 m ³ /h |
| Flujo específico de mezcla del bypass | 5,00 m ³ /h |
| Energía específica | 3,62 kWh/n |

Tabla 4
Corrida del Software Rosa

| Corrientes Paso (mg/L) | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------|-------------|-----------|----------|----------|--------|
| Nombre | Alimentación | Alimentación ajustada | | Concentrado | | Permeado | | Total |
| | | Inicial | Después de reciclos | Etapas 1 | Etapas 2 | Etapas 1 | Etapas 2 | |
| NH ₄ ⁺ | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| K ⁺ | 0,00 | 413,24 | 427,68 | 523,70 | 563,08 | 2,17 | 5,08 | 2,86 |
| Na ⁺ | 9 952,38 | 11 087,88 | 11 332,83 | 16 130,89 | 18 102,84 | 69,00 | 161,17 | 90,96 |
| Mg ²⁺ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca ²⁺ | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sr ²⁺ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ba ²⁺ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CO ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HCO ₃ ⁻ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| NO ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cl ⁻ | 15 347,62 | 22 320,16 | 23 100,99 | 28 290,85 | 30 421,15 | 100,78 | 235,65 | 132,92 |
| F ⁻ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SO ₄ ²⁻ | 0,00 | 13 509,55 | 13 788,87 | 16 897,93 | 18 179,24 | 10,27 | 23,68 | 13,47 |
| B | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SiO ₂ | 0,00 | 1,06 | 1,09 | 1,34 | 1,44 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| CO ₂ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| STD | 25 300,00 | 56 665,99 | 58 651,61 | 71 844,88 | 77 267,94 | 182,23 | 425,60 | 240,21 |
| pH | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |

Al comparar los valores obtenidos en la simulación con el Software ROSA, con los de la planta de Jibacoa, se aprecia que los resultados obtenidos permiten definir el equipamiento necesario para lograr un agua apta para el consumo, y es conveniente la utilización de membranas para bajar los niveles de sales.

Conclusiones

- . En el pretratamiento con el empleo de membranas de Microfiltración y Ultrafiltración se pueden obtener mejores resultados de calidad de agua que con tecnologías convencionales.
- . Con la utilización de membranas para el pretratamiento se logra una mejor calidad del efluente que entra a las membranas de Ósmosis Inversa, dándole mayor vida útil.
- . Se puede concluir que la membrana con umbral de corte de 10 000 Dalton elimina una mayor cantidad de sales.
- . Con la utilización del Software ROSA se puede simular el proceso de Ósmosis Inversa.
- . Sin una buena selección del pretratamiento a utilizar se pueden afectar las membranas de Ósmosis Inversa.

Recomendaciones

- . Para el proceso de pretratamiento se recomienda utilizar membranas de ultrafiltración.

Bibliografía

- 1 CABALLERO., C. V. "Descripción del funcionamiento de la desalación de agua de mar del canal de alicante". *Dyna*. 2005.
- 2 CORRAL, M. T., "La desalación de agua de mar. ¿Recurso hídrico alternativo?", disponible en: <http://www.energy-recovery.com>, consultado el 7 de marzo de 2009. (2004)
- 3 GONZÁLEZ, M., "Desalación del Agua: Una alternativa para resolver la demanda de agua potable en el sur de la república mexicana". 1984. disponible en: www.hohcanarias.net, consultado el 9 de noviembre de 2007. (2003)
- 4 LYNN., E. A. "Membrane separation processed". *Chemical Engineering*: Págs. 64-89. 1984.
- 5 RIVERO, I. O. 1984. *Ósmosis Inversa; filtración por membranas semipermiables* (1984). from//ACQUAMATTER/web/fenómeno osmosis inversa. 2006.
- 6 ZÚÑIGA SANTANA Juan Francisco, I. O. R. y. E. C. M. "La desalinización del agua de mar y su tendencia actual". 2005.