

Ings. Joaquín Tello Z.<sup>2</sup> y Humberto Gómez V.<sup>3</sup>

*Experimentos realizados en el laboratorio central de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria de la Secretaría de Salubridad y Asistencia de México indicaron que el procedimiento de desalinación del agua mediante evaporación solar no resultaba económico, pero también mostraron que el de intercambio iónico permite obtener agua potable de la salobre a un costo 30% menor que el procedimiento de electrodiálisis, considerado por mucho tiempo el más económico.*

En México son numerosas las fuentes de agua para abastecimiento que contienen cloruros y sulfatos en exceso. De las muestras de agua que se remiten para su análisis al laboratorio central de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, el 26% requieren tratamiento para eliminar el exceso de iones, cuya presencia en el agua puede afectar la salud pública.

Los programas de obras que realiza la Comisión se llevan a cabo, principalmente, en el medio que convencionalmente se ha denominado "rural," en el que vive y trabaja aproximadamente uno de cada dos habitantes del país y en el que, por otra parte, se presenta un panorama de mayores necesidades insatisfechas de servicios sanitarios.

En esos programas se toma en cuenta la disponibilidad actual de recursos y se procura que los criterios de diseño se ajusten a las características de la situación que se va a modificar. En el caso de exceso de sales en el agua disponible para el abastecimiento de poblados campesinos, no sería conveniente pensar en instalaciones "convencionales" para disminuir el contenido de aquellas, sino

que lo procedente es adoptar criterios de diseño orientados hacia lo sencillo y práctico en los que los procesos físicos de tratamiento se aprovechen al máximo, dentro de lo posible. En algunos casos es indispensable acudir a procesos químicos, pero siempre se ha de buscar la máxima sencillez de operación a la vez que procurar el menor costo posible, tanto de mantenimiento como de funcionamiento.

## Procesos de desalinación

La densidad pluviométrica de México define la existencia de tres zonas: húmeda, que comprende el 6.8%; semi-húmeda, el 10.5%; semi-árida y árida el 82.7% de la superficie. Según esta clasificación, los regímenes hidráulicos del país son, por lo general, pobres para la agricultura, la industria y, en algunos casos, hasta para el suministro de agua potable a centros de población. Todo esto es razón obvia para insistir en la importancia que tiene para México el aprovechamiento del agua salobre y, como consecuencia, su desalinación. Es ésta acción importante y trascendental ya que de su correcta formulación depende la conservación de la salud y otros factores que se entrelazan indefectiblemente con el desarrollo social y económico del país.

Las técnicas para convertir el agua salobre en potable son diversas; algunas de ellas ya se aplican en la operación de plantas de tipo

<sup>1</sup> Trabajo presentado en la XXVI Reunión Anual de la Asociación Fronteriza Mexicana-Estadounidense de Salubridad, celebrada en Tampico, Tamaulipas.

<sup>2</sup> Jefe del Departamento de Asesoría, Supervisión y Programas Experimentales de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, Secretaría de Salubridad y Asistencia de México.

<sup>3</sup> Jefe del Laboratorio para Análisis de Aguas de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, Secretaría de Salubridad y Asistencia de México.

convencional; otras se encuentran en proceso de investigación en etapa de plantas piloto y, por último, otras más a nivel de investigación de laboratorio.

Se puede asegurar que es posible la potabilización de aguas salobres con procesos sencillos; la única limitación es de orden económico. La conversión de aguas salobres en agua potable, se puede realizar, entre otros, por los procesos de evaporación solar, ósmosis inversa e intercambio iónico.

#### *Evaporación solar*

El proceso de evaporación del agua por el calor solar, cuando está en contacto con superficie libre, puede lograrse a temperatura inferior a la de su punto de ebullición y depende de la humedad relativa existente entre el aire, la superficie y la temperatura del agua. Se realiza en un aparato llamado destilador solar.

Uno de los equipos convencionales consta de un depósito de bajo fondo (que puede ser de material plástico, fibra de vidrio, hierro o mampostería) pintado de negro y una cubierta de vidrio o plástico transparente e incolora. Los rayos del sol atraviesan la cubierta y hacen que se evapore el agua de la solución salina y se condense en gotas de agua potable, que se colectan en unas canaletas colocadas interiormente a los lados del destilador. Una parte del vapor se condensa al incrementarse la razón de evaporación, debido a la disminución de humedad relativa.

La energía calorífica que está en contacto con la superficie se transmite en varias formas: una parte se absorbe; otra se refleja hacia fuera del equipo y la otra se transmite a través de la superficie. La superficie negra absorbe la mayor parte de la energía, las blancas o metálicas brillantes la reflejan y las transparentes transmiten una gran parte de ella.

#### *Osmosis inversa*

Si una solución salina se separa, por medio de una membrana semipermeable, de agua

pura o de otra solución más diluida, el agua se difunde a través de la membrana hacia la solución más concentrada: el agua atraviesa la membrana con mayor rapidez que los iones de la solución salina, hasta que se establece un equilibrio. Este fenómeno se conoce como proceso de ósmosis. La fuerza que obliga al agua pura a pasar la membrana se conoce como presión osmótica, cuya magnitud depende de las características de la membrana, temperatura del agua y concentración de la solución salina. Al ejercer una presión mayor sobre la solución salina, el proceso de ósmosis es inverso, puesto que el flujo adquiere una dirección contraria y será posible obtener agua potable a partir de la solución.

En un proceso de aprovechamiento, la solución salina pasa primero a través de un filtro en que se detienen las partículas sólidas que puedan dañar la membrana. Por medio de una bomba se eleva la presión de la solución y se introduce al equipo; una parte de la solución fluye a través de la membrana, con lo que se obtiene agua potable y la salmuera se desecha por la parte superior del aparato. La presión osmótica del agua potable sobre la de la solución es  $24.8 \text{ kg/cm}^2$  y para producir un flujo razonable se deben aplicar presiones del orden de  $100 \text{ kg/cm}^2$  o superiores en el lado de la solución, lo cual requiere materiales muy resistentes. La membrana más adecuada que se ha encontrado es la de acetato de celulosa, a la que se le da consistencia formándola sobre un sustrato de perclorato de potasio.

#### *Intercambio iónico*

A pesar de que el intercambio iónico se conoció hace más de un siglo, no se comenzó a aplicar su tecnología, en forma realmente amplia, hasta 1942. La posibilidad de disponer de resinas sintéticas de intercambio iónico con una extensa gama de propiedades abrió nuevos campos en la aplicación de gran número de procesos químicos hasta el

grado de que, en la actualidad, el proceso de intercambio iónico se considera ya como operación unitaria.

Sussman definió el intercambio iónico como un fenómeno reversible entre un sólido y una fase líquida, sin que sufra la estructura del sólido otra modificación que la que consiste en la clase de iones que el sólido pueda fijar al paso del líquido en un momento dado.

No existe propiamente una clasificación de los intercambiadores de iones. Sin embargo, tomando su composición química como base, se pueden agrupar de la siguiente manera:

- cambiadores de cationes
  - a) inorgánicos (silicosos)
    - 1) naturales (arcillas, glauconitas)
    - 2) recursos sintéticos (geles, zeolitas sintéticas)
  - b) orgánicos
    - 1) carbonáceos (derivados del carbón, lignita)
    - 2) resinosos (derivados del ácido fenol sulfónico, ácido carboxílico)
- cambiadores de aniones
  - a) inorgánicos naturales (dolomita)
  - b) orgánicos resinosos (derivados del amonio cuaternario y amínicos)

Con respecto a la composición química de los cambiadores de iones son dos los factores determinantes: a) una red de cadenas atómicas que le confieren la propiedad de insolubilidad en el agua, electrólitos y disolventes; y b) un grupo iónico activo que le proporciona a su estructura propiedad de permutación.

Los modernos cambiadores de iones son estructuras altamente polimerizadas que pertenecen a la familia de las resinas sintéticas plásticas cuya familia de resinas se divide en tres ramas: a) termofijas, b) termoplásticas y c) especiales.

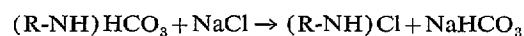
Este proceso se basa principalmente en el uso de resinas de intercambio aniónico débilmente básico y de intercambio catiónico débilmente ácido. Las aniónicas pueden

absorber el bióxido de carbono para formar sales de bicarbonato con un coeficiente de selectividad cloruro-bicarbonato, descubrimiento que indicó la posibilidad de emplearlas en un sistema reversible de desalinación (intercambio aniónico seguido por intercambio catiónico). Estas resinas tienen capacidad para reaccionar no solamente con la solución de bióxido de carbono; es tal su selectividad bicarbonato-ácidos minerales, que las sales presentes en el agua salobre pueden convertirse en alcalinidad con insignificantes fugas de cationes.

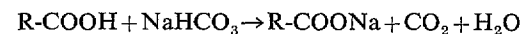
Para eliminar la alcalinidad es necesario una resina de intercambio catiónico débilmente ácida, con lo que se realiza una operación completa de la desalinación del agua salobre. Sin embargo, como la alcalinidad presente en la solución es de sodio, no todas las resinas de ese tipo son útiles. Se requiere una resina específica con alta eficiencia con respecto a capacidad y regeneración.

Para la investigación, se colocaron las resinas en tres columnas transparentes:

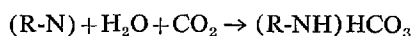
1) La primera para alcalización, contenía resina aniónica débilmente básica en su forma de bicarbonato. Cuando pasa el agua salobre a través de ella, todos sus constituyentes aniónicos se convierten en bicarbonato de sodio, calcio y magnesio según la reacción siguiente:



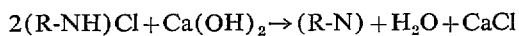
2) La segunda unidad para desalcalinización, contenía resina catiónica débilmente ácida. En esta, todas las sales de los bicarbonatos son convertidas en ácido carbónico, como se ilustra en la siguiente reacción:



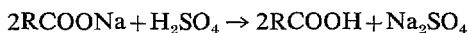
3) La tercera unidad, que es para carbonatación, contiene también resina aniónica débilmente básica, pero en base libre. En esta forma absorbe el ácido carbónico del efluente de la segunda unidad como se observa en la reacción:



Al finalizar el ciclo de operación, o sea al agotarse la capacidad de las resinas, la unidad de alcalización se convierte en base libre con hidróxido de calcio, sodio y amoníaco, efectuándose la siguiente reacción:



La unidad de desalcalinización se convierte en ciclo hidrógeno con ácidos sulfúrico, clorhídrico, nítrico o sulfuroso, según esta reacción:



Puesto que la unidad de carbonatación está en forma de carbonato, para el siguiente ciclo se invierte el flujo del agua salobre, con lo que se convierten la primera y la tercera unidad de alcalinización en unidad de carbonatación.

Una de las principales ventajas de este proceso es que las resinas usan para su regeneración cantidades estequiométricas de regenerantes. En sistemas convencionales de deionización se necesitan de 200 a 300% de cantidades estequiométricas. Por lo tanto, este proceso es económico con respecto al costo de regeneración.

Debido a la flexibilidad de este proceso se pueden considerar varias posibilidades para proyectar los sistemas: dos o cuatro unidades con inyección directa de bióxido de carbono; tres, cinco o seis unidades sin inyección de  $\text{CO}_2$ , y así sucesivamente.

Para que las resinas funcionen satisfactoriamente, es necesario que el agua por tratar contenga cierta concentración de bicarbonatos de sodio, calcio o magnesio. Si la concentración no es suficiente, se inyecta bióxido de carbono al agua, hasta lograr una concentración de bicarbonatos adecuada para la operación.

Con respecto a las propiedades de las resinas, se puede afirmar que la resina aniónica es una resina sintética de intercambio aniónico débilmente básica que contiene únicamente grupos funcionales amino-terciario en forma de cuentas esféricas con una alta porosidad, gran capacidad de inter-

cambio y buena estabilidad química, física y térmica. Por otra parte es resistente a las impurezas que puede contener el agua de la fuente.

Cuando la resina funciona en su forma de bicarbonato, su capacidad tiende a variar con la concentración del effluente.

Su nivel de regeneración es el siguiente:

Con hidróxido de amonio 110% teóricamente, con solución al 4%

Con hidróxido de sodio 110% teóricamente, con solución al 4%

Con óxido de calcio 110% teóricamente, con solución al 2%

Se requiere de 3.3 a 10 m<sup>3</sup> de agua por metro cúbico de resina para su limpieza.

Por otra parte, la resina catiónica es una resina de intercambio catiónico débilmente ácida con grupos carboxílicos, con una capacidad teórica de aproximadamente 4.5 miliequivalentes/ml, o sea como 96 kg de carbonato de calcio por pie cúbico de resina, cuando trabaja en ciclo hidrógeno. Es estable en presencia de ácidos y bases fuertes.

La capacidad de esta resina varía según la relación dureza/alcalinidad del agua por tratar. En general es más conveniente para dureza baja y alcalinidad alta. Opera en el rango de 20 kg por pie cúbico; sin embargo, cuando disminuye la relación, su capacidad llega a valores tan altos como de 50 kg por pie cúbico para aguas con un contenido mínimo de 500 mg/1 de sales.

Su nivel de regeneración es:

Con ácido sulfúrico 110% teóricamente, con solución al 0.5%.

Con ácido clorhídrico 110% teóricamente, con solución al 4%.

Para su limpieza se requiere, igualmente, de 3.3 a 10 m<sup>3</sup> de agua por metro cúbico de resina.

### Experiencias en México

En el laboratorio central de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, ubicado en la ciudad de México, se han realizado algunas experiencias con aparatos sencillos de evaporación solar y con columnas de

resinas. Al agua que se trató en el aparato de evaporación se le hizo variar en cuanto a su concentración de sal. En las columnas se trataron aguas provenientes de Puerto Cortés y de San Juan de los Planes, ambas en el territorio de Baja California.

Por lo que se refiere a la evaporación solar, los estudios se realizaron con un volumen de 10 litros de agua, que alcanzó un tirante de 1.5 a 2 cm en la zona de evaporación cuya área era de 0.80 m<sup>2</sup>. A intervalos de tiempo se registraba la temperatura del agua contenida en el módulo, la temperatura ambiente y el volumen de agua destilada.

Se observaron estos resultados:

a) La temperatura ambiente a la sombra, registrada en todos los experimentos, osciló entre 10 y 25°C. No modificó sustancialmente los rendimientos de agua destilada, excepto cuando la temperatura del espejo de agua fue relativamente alta y la ambiente relativamente baja.

b) No hubo diferencias apreciables en el rendimiento al destilar agua de la llave, obteniéndose agua con 2,243 ppm de sólidos totales y 30,000 ppm de cloruro de sodio, respectivamente.

c) Al precalentar el agua a 55°C se notó un descenso rápido en la temperatura, debido a lo frío del aparato; después se alcanzó más rápidamente la destilación, en comparación con los experimentos en que no se precalentó, con lo que se obtuvo un 20% de mayor volumen de destilado.

d) Cuando la temperatura en el tirante de agua fue mayor a lo largo del experimento, se obtuvieron mejores rendimientos. Esto, desde luego, es completamente lógico e indica que a mayor radiación o absorción de calor, habrá mayor evaporación; por lo mismo, es de esperarse un mayor rendimiento de agua destilada en zonas de mayor insolación.

e) Los rendimientos por metro cuadrado de superficie de evaporación y con luz directa hasta las 15:30 horas fueron, en la serie de

experimentos que nos ocupa, de 1,250 a 1,530 ml por día.

Según los resultados expuestos, se puede recomendar una instalación de suministro de agua para beber, para poblaciones de no más de 500 habitantes.

En cuanto a la investigación sobre intercambio iónico, el agua que se trató fue de una muestra de la noria "El Ranchito", de Puerto Cortés, Baja California Sur. El método empleado para las determinaciones del contenido de cationes y aniones en el agua es el recomendado por los Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas de Desecho. Los excesos encontrados alcanzaron los siguientes valores: sólidos totales, 4,350 unidades de sílice; dureza total, como carbonato de calcio, 1,076 mg/1; alcalinidad total, como carbonato de calcio, 730 mg/1; cloruros, como ion cloro, 1,580 mg/1; sulfatos, como ion sulfato, 810.0 mg/1.

Como las resinas se proporcionan de origen en base libre, es necesario que tengan la base de operación para que se realice el proceso de intercambio. Así, pues, la técnica seguida consistió en hacer que la resina en dos de las columnas (de las tres utilizadas) tuviera base bicarbonato, lo que se logró saturando de CO<sub>2</sub> el agua por tratar antes de pasarla por la primera columna; a la resina de la segunda se le pasó solución al 6% de ácido sulfúrico, quedando así en base hidrógeno. Únicamente se lavó con agua destilada, hasta que el efluente no dio reacción ácida. Después, el agua salobre saturada de CO<sub>2</sub> se pasó a través de la primera columna y de esta a la segunda. Con objeto de aprovechar el CO<sub>2</sub> que se formó, el efluente de la segunda columna se pasó a través de la tercera (base libre) convirtiéndola en base bicarbonato, quedando así lista para el siguiente ciclo de operación. Este se realizó en dirección opuesta, regenerándose, antes de la operación, la resina de la primera columna con lechada de cal al 2% para hacerla base libre, y la segunda columna con una solución de ácido sulfúrico al 4 por ciento.

De estos ciclos de operación se observaron los resultados siguientes:

a) Para aguas salobres con un contenido de sales como en este caso, el proceso de intercambio iónico es adecuado. Esto se puede aplicar tomando en cuenta que, hasta el decimoquinto litro de agua, las columnas experimentales absorbieron únicamente los iones cloruro, sulfato, calcio y magnesio, obteniéndose agua de muy buena calidad. A partir del siguiente litro, el contenido de iones eliminados comenzó a aparecer en el efluente, aumentando gradualmente la concentración en los siguientes litros de agua tratada. Esto se debió a la disminución gradual en la capacidad de intercambio de la resina.

b) En los ciclos siguientes sucedió lo mismo que en el primero, observándose una disminución en la capacidad de intercambio de un ciclo a otro, ocasionado por la fuga de cationes y aniones de la resina.

c) El agua tratada se obtiene exenta de bióxido de carbono que, en caso de encontrarse presente, sería una de las limitaciones de este proceso.

## Conclusiones

Al finalizar la investigación sobre los procesos descritos se pudo llegar a diversas conclusiones:

### A. Evaporación solar

1) La principal ventaja de este proceso es que la energía necesaria para la conversión proviene del sol.

2) La limitación de la eficiencia depende de las condiciones climatológicas locales (intensidad solar, estaciones del año, densidad de nubes, altitud y situación geográfica) tirante de agua y superficie de exposición.

3) Para obtener volúmenes considerables de agua potable, se necesitan instalaciones que ocupan superficies muy grandes.

4) El costo del agua obtenida no es económico. Este proceso debe considerarse como de emergencia únicamente.

### B. Intercambio iónico

1) El proceso es el más adecuado de los que se conocen para la potabilización del agua salobre dentro de los límites que acusan las aguas en el país, de 500 a 5,000 mg/l de sales. Su empleo resulta el más recomendable para pequeños sistemas de abastecimiento de agua en México.

2) Se obtiene una economía del 30% aproximadamente en el costo del agua tratada por este proceso en comparación con el de electrodiálisis, que se consideraba el más económico para aguas de este tipo.

3) Los reactivos que se necesitan para realizar la regeneración son ácido sulfúrico e hidróxido de calcio, cuyo costo es bajo. Además se requieren cantidades estequiométricas de ellos, por lo que se necesitan cantidades menores que en un sistema convencional de desmineralización.

4) Se puede usar agua cruda para la limpieza de la resina y preparación de regenerantes. En otros procesos se requiere un volumen determinado de agua tratada con lo que se aumenta el costo del agua. Tal es el caso del proceso de congelación, donde se necesita el 5% del agua tratada para lavar los hielos formados.

## Resumen

Las fuentes de agua que contiene cloruros y sulfatos en cantidad excesiva son numerosas en México (26% de las muestras analizadas en el Laboratorio Central de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria revelan un exceso de iones que puede afectar la salud humana). A fin de someter el agua a tratamiento para eliminar ese exceso y transformarla en potable se ensayaron diversos métodos en los que se aprovechan procesos físicos compatibles con la economía y simplicidad necesarias para resolver el problema en el medio rural mexicano.

El método de evaporación solar se ensayó con un equipo sencillo compuesto de un depósito pintado de negro, con una cubierta incolora y transparente que deja penetrar los

rayos solares, que evaporan el agua separándola de las sales que contiene y, en definitiva, la transforman en agua potable.

El método de ósmosis inversa consiste en separar una solución salina del agua pura mediante una membrana semipermeable, con lo que el agua se difunde hacia la solución más concentrada atravesando la membrana con mayor rapidez que los iones de la solución salina hasta que se establece un equilibrio. Si se ejerce una presión mayor sobre la solución salina, el proceso de ósmosis se invierte y el flujo se produce en dirección contraria permitiendo obtener agua potable a partir de la solución.

El intercambio iónico es un fenómeno reversible entre un sólido y una fase líquida en el cual la única modificación en la estructura

del sólido consiste en la clase de iones que puede fijar al paso del líquido en un momento dado. El procedimiento de desalinación de agua mediante intercambio iónico se basa principalmente en la utilización de resinas de intercambio aniónico y catiónico, débilmente básicas y ácidas, respectivamente.

Los experimentos realizados en México con los procedimientos descritos indicaron que el de evaporación solar no es económico y debe utilizarse sólo en situaciones de emergencia y que el de intercambio iónico es el más adecuado para las necesidades de México y puede utilizarse en pequeños sistemas de abastecimiento con ventaja (el costo del agua resulta un 30% menor) sobre el de electrodiálisis que hasta ahora se había considerado el más económico. □

### Mexican Experiment in Water Desalination (Summary)

Mexico has numerous water sources containing excess amounts of chloride and sulphate (26% of all samples tested at the central laboratory of the Sanitary Engineering and Building Commission revealed a sufficient excess of ions to affect human health). Several means were tested to eliminate the excess by treating water to make it potable. The means had to be simple, compatible with Mexican rural life, and economical.

Solar evaporation was tested with only simple equipment, such as a container painted black, topped by a colorless and transparent cover, which permits the sunrays to shine through and thus evaporate the water separating it from its saline content; that is to say, making it potable.

The method of reverse osmosis consists in separating the saline solution from pure water through a semipermeable membrane, whereby water spreads more rapidly towards the more concentrated solution than do the ions of the saline solution, until a balance is established.

If pressure is greater on the saline solution, the process of osmosis is reversed and the flow takes place in the opposite direction, making it possible to obtain potable water from the original solution.

An ion exchange is a reversible phenomenon between a solid and a liquid phase in which the only change in the solid structure consists in the kind of ions it is able to absorb as the liquid passes at a given moment. Desalination through ion exchange is based on the use of anionic and cationic exchange resins, which are weakly basic and acid, respectively.

The tests made in Mexico using the described methods indicated that solar sunshine was not an economic system and should be used in emergency cases only, whereas the ionic exchange was better suited to the needs of the country and could be used in small water supply systems (resultant cost of water 30% less) in preference to electrolysis, which until now was considered the most economical method.

### Transformação da Água Salgada em Água Doce, no México (Resumo)

As fontes de água que contêm cloretos e sulfatos em quantidade excessiva são numerosas no México (26% das amostras analisadas no Laboratório Central de la Comisión Construc-

tora e Ingeniería Sanitaria revelam um excesso de iontes que pode afetar a saúde humana). A fim de submeter a água a tratamento para eliminar êsse excesso e transformá-la em água

potável, foram experimentados diversos métodos, aproveitando-se processos físicos compatíveis com a economia e simplicidade necessárias à solução do problema no meio rural mexicano.

O método de evaporação solar foi experimentado com um equipamento composto de um depósito pintado de negro, com uma cobertura incolor e transparente que deixa penetrar os raios solares, que fazem evaporar a água, separando-a dos sais que contém e transformando-a em água potável.

O método de osmose inversa consiste em separar uma solução salina de água pura mediante uma membrana hemipermeável, com o que a água se difunde rumo à solução mais concentrada, atravessando a membrana com maior rapidez que os íons da solução salina, até estabelecer-se o equilíbrio. Exercendo-se pressão maior sobre a solução salina, o processo de osmose inverte-se e o fluxo toma direção contrária, o que permite obter água potável da solução.

O intercâmbio de íons é fenômeno reversível entre um sólido e uma fase líquida, na qual a única modificação da estrutura do sólido consiste na classe de íons que pode fixar à passagem do líquido em dado momento. A transformação da água salgada em água doce mediante o intercâmbio de íons baseia-se principalmente na utilização de resinas de intercâmbio aniônico e catiônico, ligeiramente básicas aquelas e ácidas estas.

As experiências realizadas no México com os métodos descritos indicaram que a evaporação solar não é econômica e só deve ser utilizada em situações de emergência; e que o intercâmbio de íons é mais adequado para as necessidades do México e pode ser utilizado em pequenos sistemas de abastecimento, com vantagem (o custo da água é 30% menor) sobre a eletrodialise até agora considerada o método mais econômico.

### Experiences de dessalination de l'eau au Mexique (Résumé)

Les sources d'eau qui contiennent des chlorures et des sulfates en quantité excessive sont nombreuses au Mexique (26% des échantillons analysés dans le laboratoire central de la Commission de construction et de technique sanitaire révèlent un excès d'ions qui peut nuire à la santé humaine). En vue de soumettre l'eau à un traitement pour éliminer cet excès et la transformer en eau potable, on a essayé diverses méthodes utilisant des processus physiques compatibles avec l'économie et la simplicité nécessaires pour résoudre le problème en milieu rural mexicain.

La méthode de l'évaporation solaire a été vérifiée à l'aide d'un équipement comportant un bassin peint de couleur noire pourvu d'un couvercle incolore et transparent laissant pénétrer les rayons solaires qui évaporent l'eau en la séparant des sels qu'elle renferme et la convertissent finalement en eau potable.

La méthode de l'osmose inversée consiste à extraire une solution saline de l'eau pure au moyen d'une membrane semi-perméable, qui permet à l'eau de passer dans la solution la plus concentrée en traversant la membrane plus rapidement que les ions de la solution saline jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse. Si l'on

exerce une forte pression sur la solution saline, le processus d'osmose s'inverse et l'écoulement se produit dans le sens contraire, permettant d'obtenir l'eau potable à partir de la solution.

L'échange d'ions est un procédé réversible entre un solide et une phase liquide où la seule modification dans la structure du solide consiste en une catégorie d'ions que l'on peut fixer au passage du liquide à un moment donné. Le procédé de dessalination de l'eau au moyen d'un échange d'ions est basé principalement sur l'utilisation de résines d'échange anionique et cationique, faiblement basiques et acides, respectivement.

Les expériences effectuées au Mexique au moyen des procédés décrits plus haut font ressortir que la méthode de l'évaporation solaire n'est pas économique et ne doit être utilisée que dans des cas d'urgence, et que l'échange d'ions est la méthode qui répond le mieux aux besoins du Mexique et peut être utilisée dans les systèmes d'adduction d'eau plus avantageusement (le coût de l'eau est environ 30% inférieur) que celle de l'électrodialyse qui était considérée jusqu'à présent comme la plus économique.