

Es una desgracia que el agua que cubre la mayor parte de la superficie de la Tierra no sea útil para la bebida. En el laboratorio se ha conseguido que una rata del desierto sobreviva bebiendo agua del mar, pero al hombre le resulta imposible. Una pequeña cantidad del agua del mar puede tragarse impunemente, pero en mayor proporción le haría morir por deshidratación. Los riñones no son capaces de purificar una solución tan concentrada de sal y el agua ha de extraerse de otras partes del cuerpo para diluir la orina al nivel en que pueda eliminarse.

LA ESCASEZ DE AGUA EN LA TIERRA

Por José Aguilar Peris

LA cantidad total de agua que recubre la Tierra es de unos 1.400 millones de kilómetros cúbicos, cantidad que permanece prácticamente constante en razón del ciclo hidrológico natural. Sin embargo, el 97,5 por ciento de esta enorme cantidad de agua es salada, agua del mar, no útil para el hombre. Sólo el 2,5 por ciento restante, equivalente a 35 millones de km³, es agua dulce y de ellos 26,6 millones forman los hielos y las nieves perpetuas de las altas montañas. Restan pues 8,4 millones de km³ de agua dulce distribuidos en lagos, ríos y aguas subterráneas para atender las necesidades de una población próxima a los 5.000 millones de habitantes.

Esta reserva mundial de agua dulce supone una capacidad próxima al doble del

mar Mediterráneo, pero está muy desigualmente repartida sobre la Tierra. Sólo el río Amazonas contiene 1,6 millones de km³ de agua dulce (1/5 del total mundial) y vierte tanta agua en el Atlántico que a más de 160 km de mar abierto, frente a la desembocadura del río, se puede beber agua dulce, potable, del océano; una cantidad semejante se almacena en el lago Baikal al este de Siberia.

La masa de precipitaciones acusadas no es nada despreciable: 114 m³ de agua por persona y por día. El flujo de los ríos totaliza un volumen impresionante de agua que se pierde en gran parte de los océanos.

El consumo de agua dulce por habitante incluyendo todos los usos (como la agricultura y la industria) varía ampliamente de un país a

otro según el grado de desarrollo, el modo de vida, la climatología, etc. En los países occidentales por término medio puede evaluarse en unos 500 litros/hab.día y en los países en vía de desarrollo en unos 50-100 litros/hab.día. Los países del Tercer Mundo suelen carecer de agua potable y su consumo medio es de 5-20 litros/hab.día.

El desarrollo acelerado de las grandes ciudades y el crecimiento demográfico de la población (con una tasa anual media del 1,9 por ciento) incrementan constantemente las demandas de agua dulce, problema que se agudiza en las regiones áridas y en los periodos prolongados de sequía. Por otra parte, el agua de ríos y lagos es contaminada por la presencia de nitratos, fosfatos, metales pesados y materias orgánicas, dificultando su potabilización; en consecuencia, muchos ecosistemas se encuentran en peligro de muerte y la desertización avanza constantemente en las zonas áridas y semiáridas del planeta.

Ante esta crisis del agua dulce, que puede tomar caracteres graves en las próximas décadas, el hombre ha puesto a punto diferentes métodos de reciclaje o de separación del agua de sus impurezas. Entre todos los procedimientos puestos en marcha por el hombre, los más utilizados son los destinados a desmineralizar al agua del mar y las aguas salobres a causa de su abundancia y de la facilidad de su aprovisionamiento.

Esencialmente el proceso de la desalinización consiste en convertir el agua del mar —que contiene unos 35 gramos por litro de sales minerales o el agua salobre (de 1 a 10 g/l) en agua potable, cuyo contenido en sales no debe sobrepasar medio gramo por litro.

La reserva mundial de agua dulce supone una capacidad próxima al doble del Mar Mediterráneo, pero está muy desigualmente repartida sobre la Tierra. Sólo el río Amazonas contiene 1,6 millones de km³ de agua dulce (1/5 del total mundial)

CONTENIDO EN SALES DE DIVERSOS TIPOS DE AGUA

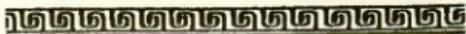
Tipo de agua	Sales (g/l)
Mar Mediterráneo	40
Golfo Pérsico	42
Océano Atlántico	35
Mar Caspio	13
Mar Muerto	270
Agua salobre	1-10
Salmuera	40-200
Agua potable	< 0,5

Sin embargo, todos los procesos de destilación ideados por el hombre vienen frenados por el elevado coste de su explotación, en especial, si el agua potable obtenida ha de utilizarse en usos agrícolas o industriales.

Antecedentes históricos

Ya en la Biblia se menciona la destilación como un fenómeno natural que produce la lluvia. En el libro de Job, 36-27 se dice: «... pues El absorbe las gotas de agua y condensa en neblina su vapor. Las nubes luego la derraman y destilan sobre el hombre a raudales». El mismo Aristóteles escribió: «Cuando el agua del mar se evapora, se convierte en agua dulce y su sabor, una vez condensada, deja de ser salado».

Plinio el Viejo (23-79 d.C.) en su Historia Natural se refiere a los métodos de destilación del agua del mar. Uno de ellos dice así: «Para obtener agua dulce del mar basta colgar lana de oveja del lado de un buque, de modo que quede justo sobre la superficie del agua; si la operación se prepara por la noche, la lana se saturará del vapor de agua y al día siguiente podrá exprimirse dando lugar a agua dulce».

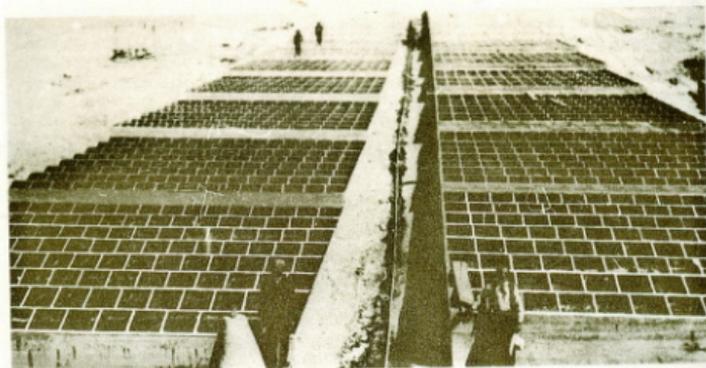


Destilación a bordo, según S. Basilio.

A la izquierda: Aparato de destilación de Della Porta.



Abajo: Destilador solar Las Salinas (Chile).



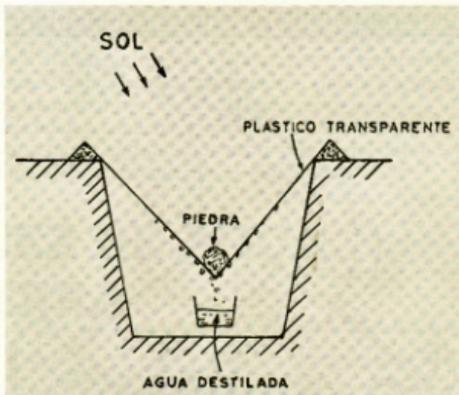
San Basilio (s. IV d.C.) describe un método usado por los marinos que consiste en hervir agua del mar a bordo del buque y situar una esponja natural sobre la boca de la vasija. El vapor de agua se condensa en la esponja y escurriendo ésta se obtiene agua líquida apta para beber.

Muy posterior es el destilador de Della Porta (1569-1608). El agua salobre contenida en vasijas de vidrio se exponía al sol y el vapor producido se condensaba en vasos dispuestos a la sombra en un plano inferior.

El primer intento serio de destilación solar fue diseñado y fabricado en 1872 en el desierto de Atacama, cerca de la localidad de Las Salinas en el Norte de Chile por Carlos Wilson, un ingeniero suizo. El área total del destilador cubierto de vidrio era de 4.700 m² (semejante a la superficie de un campo de fútbol) y se construyó para tratar agua inservible por su alto contenido en sales (140 g/l, es decir, cuatro veces superior a la del agua del mar) en una mina de nitrato sódico. Consistía simplemente en tejados de vidrio inclinados sobre una balsa

Ciencia y Tecnología

Destilador tierra-agua para uso en el desierto.



Eencialmente el proceso de la desalinización consiste en convertir el agua del mar —que contiene unos 35 gramos por litro de sales minerales o el agua salobre (de 1 a 10 g/l) en agua potable, cuyo contenido en sales no debe sobrepasar medio gramo por litro.

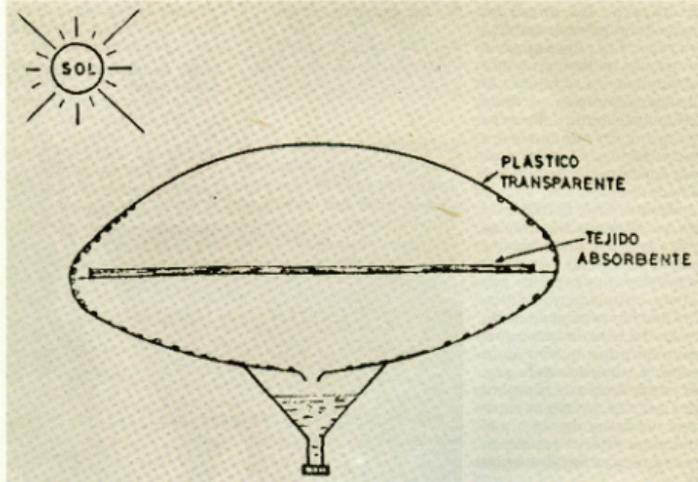
de agua salobre poco profunda. El sistema producía 23.000 litros de agua diarios que servían de bebida a las 4.000 mulas que transportaban el nitrato. Funcionó durante 40 años hasta que un ferrocarril sustituyó a las mulas y finalmente la mina fue abandonada.

Las primeras instalaciones industriales de destilación de agua del mar surgieron en los primeros buques de vapor. El agua salada se calentaba en un recipiente mediante un haz de tubos por los que circulaba vapor procedente de la caldera del buque. El agua contenida en

la disolución salina se evaporaba y el vapor se conducía a otro recinto donde se condensaba por la acción de otro haz de tubos por los que circulaba agua fría del mar. El proceso exige un mínimo de 6.000 kcal por kilogramo de agua, calor que se cede en el proceso de condensación y se disipa en el agua de refrigeración. En este caso existe un solo destilador y por ello el proceso se llama de efecto simple.

Destiladores solares de emergencia

Los viajeros del desierto y los naufragos en el océano encuentran frecuentemente dificultades en obtener agua potable para beber. Este problema podría resolverse si dispusieran de dispositivos para producir agua potable a partir de agua del mar, aguas salobres o residuales, utilizando energía solar, casi siempre abundante en estos lugares. A conti-



Destilador solar de salvamento.



Destilador solar U.S. Navy.

De todos estos procesos el más utilizado es el método de destilación de múltiples etapas por evaporación súbita. El 68 por ciento de las plantas desalinizadoras de todo el mundo siguen este proceso, cuyo mayor inconveniente es el gran consumo de energía que lleva consigo

nuación se describen algunos de estos dispositivos.

Destilador tierra-agua

En muchos terrenos, incluso áridos, se acumulan grandes cantidades de humedad durante la estación de las lluvias. Un destilador de emergencia para aprovechar esta agua es el siguiente. Una lámina de plástico transparente cubre una cavidad abierta en la arena. Como indica la figura, se coloca una piedra en el centro para dar a la tela la forma de un cono invertido y una vasija se dispone en el fondo bajo el vértice del cono. De este modo cuando los rayos solares atraviesan el plástico, la humedad de la

arena pasa al estado de vapor y se condensa sobre el plástico recogiéndose en la vasija.

Destilador solar de salvamento

Fue diseñado para uso de la U. S. Navy durante la II Guerra Mundial. El aparato carece de partes metálicas o rígidas y puede guardarse plegado en un pequeño volumen (1 dm³), no superando su peso a 1/2 kg. En la parte central dentro de la envoltura plástica transparente, está suspendida una almohadilla porosa y negra que se empapa con agua del mar. Sometida a la radiación solar, los vapores se condensan en la superficie inte-

rior de la envoltura de plástico y el líquido gotea y se recoge en un colector situado en la parte inferior. Así, lo único que hay que hacer es hinchar el destilador, mojar la almohadilla con agua del mar y dejarlo que flote al sol atado a la balsa. Hoy forma parte del equipo de emergencia de aviadoreos y marinos en muchos países.

Métodos actuales de desalinización

El número de procedimientos hoy conocidos para desmineralizar el agua del mar o las aguas salobres es muy grande, pero pueden

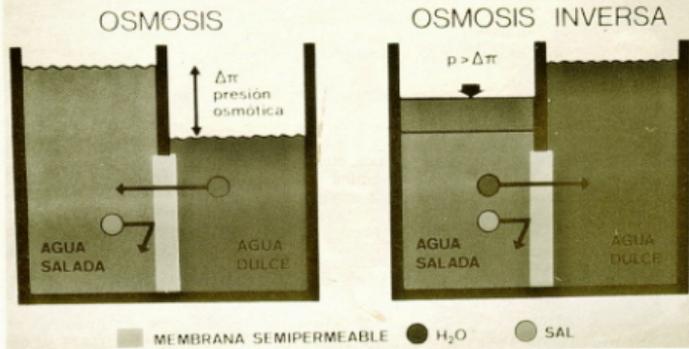
agruparse del modo siguiente:

- Procesos que utilizan un cambio de fase: destilación, compresión de vapor, congelación, etc.

- Procesos que utilizan las propiedades de las membranas selectivas: ósmosis inversa, electrodiálisis, etc.

- De todos estos procesos el más utilizado es el método de destilación de múltiples etapas por evaporación súbita. El 68 por ciento de las plantas desalinizadoras de todo el mundo siguen este proceso, cuyo mayor inconveniente es el gran consumo de energía que lleva consigo; además, la alta

DESALINIZACIÓN DE AGUAS: PROCESOS DE MEMBRANA



La mayor planta de desalinización de agua del mar por ósmosis inversa se encuentra en la isla de Key West (Florida, EE.UU.) y funciona según el sistema «permasep»

temperatura de funcionamiento plantea problemas de corrosión e incrustaciones. Le sigue la *ósmosis inversa* con un 25 por ciento de instalaciones que funcionan a la temperatura ambiente y consumen menos energía. El restante 7 por ciento está formado por diversos sistemas de uso más limitado que incluyen la *electrólisis* y otros destiladores que se encuentran en fase experimental.

En el proceso de destilación súbita, el agua del mar caliente por la acción de una caldera (o de un cambiador que suministra la energía de una central térmica, nuclear o solar), se evapora en parte instantáneamente. El vapor de agua formado se condensa en contacto con las tubuladoras fijas por las que circula el agua salobre en fase de calentamiento a una temperatura algo inferior a la del vapor. De esta forma se aprovecha el calor de condensación del vapor para calentar el agua salobre circulante (etapas de recuperación). Por otra parte, la

salmuera evaporante pasa a la cámara siguiente donde la presión es inferior a la temperatura de saturación de la misma y el proceso se repite. Una instalación completa consta de más de 30 cámaras en las que se hace el vacío a presiones sucesivamente más bajas.

Ósmosis

En la ósmosis natural (o directa), el agua fluye de una solución de menor concentración situada a un lado de una membrana semipermeable a otra solución más salina situada al otro lado de la membrana. Este flujo iguala las concentraciones a ambos lados y no produce agua potable.

Sin embargo, en la ósmosis inversa la presión osmótica normal puede contrarrestarse con una presión mecánica superior, de signo opuesto. Esto fuerza a que el agua se desplace a través de la membrana desde el lado de la salmuera al lado del agua menos concentrada,

acentuando las diferencias iniciales de concentración y produciendo agua pura.

La presión osmótica natural del sistema agua del mar-agua pura es ~ 25 atm. Por ello deben usarse membranas capaces de resistir estas presiones. El flujo medio de agua desmineralizada en la ósmosis inversa es aproximadamente igual a 1 m³ por día y m² de superficie de membrana y la energía total consumida es de 5 a 10 kWh/m³.

La empresa multinacional *Du Pont* introdujo en 1969 un sistema de permeadores osmóticos denominado «permasep» que actualmente se utiliza en miles de instalaciones. La mayor planta de desalinización de agua del mar por ósmosis inversa se encuentra en la isla de *Key West* (Florida, EE.UU.) y funciona según el sistema «permasep». En la costa noroeste de Gran Canaria, región donde el agua potable era un bien escaso, funciona desde 1989 una planta de desalinización por ósmosis inversa, tipo «permasep»

que produce 3.500 metros cúbicos de agua dulce al día a partir de agua del mar. Para los habitantes de estos pueblos canarios, ha terminado una de sus mayores pesadillas.

Electrodiálisis

La electrodiálisis es un proceso de separación iónica basado en la migración de iones en una disolución bajo la influencia de un campo eléctrico en presencia de membranas selectivas semipermeables.

La unidad de electrodiálisis está formada por un conjunto de membranas paralelas, alternativamente permeables a los aniones y a los cationes, que se suceden a pequeños intervalos (algunos milímetros). La solución a desmineralizar, en virtud del campo eléctrico establecido en sus extremos, expe-

rimenta el proceso de migración de iones y estos se concentran en compartimientos alternos, mientras que en los restantes se acumula el agua desmineralizada.

Independientemente de como se manifiesta la energía en un sistema particular de desmineralización del agua del mar—calor en la destilación, electricidad en la electrodiálisis, energía mecánica de compresión en la presión osmótica, etc.—la teoría termodinámica prescribe una energía mínima para la separación del agua y la sal, mínimo que se incrementa con la salinidad del agua tratada. En la práctica todos los sistemas de desmineralización requieren energía en cantidad muy superior al mínimo termodinámico, pudiendo en algunos casos llegar hasta 1.000 veces este límite. Esto es debido a que el agua del mar no es una solución ideal, los procesos

son irreversibles, se producen incrustaciones y depósitos en calderas y condensadores y se producen pérdidas energéticas de tipo mecánico, eléctrico y térmico. Además se consume energía en el funcionamiento de elementos auxiliares como motores, bombas, etc.

Para rebajar estas cifras es fundamental la investigación básica. El uso de nuevos materiales, diseño de nuevos métodos y características podrían mejorar el rendimiento de los procesos ahora en desarrollo y disminuir su costo. El futuro de las regiones áridas y semiáridas con problemas de agua potable depende de que el hombre alcance a corto o medio plazo un costo de producción del agua desmineralizada del orden de 4 a 5 veces el mínimo termodinámico. ■

José Aguilar Peris, es profesor emérito de la Universidad Complutense.

En la práctica, todos los sistemas de desmineralización requieren energía en cantidad muy superior al mínimo termodinámico, pudiendo en algunos casos llegar hasta 1.000 veces este límite

IMPUESTO SOBRE VEHICULOS DE TRACCION MECANICA

PARA MEJORAR LA CIRCULACION

PODEMOS HACER MAS

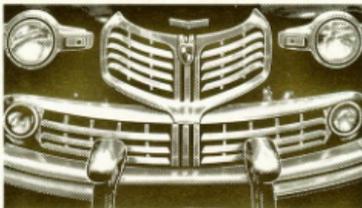
CON TU COLABORACION

Con los Impuestos Municipales se atienden las necesidades de una gran ciudad.

Mejorar nuestra ciudad es algo que tenemos que hacer entre todos.

El pago de este impuesto podrá hacerlo efectivo en las Cajas de Ahorros y Entidades Bancarias autorizadas, previa presentación de la impresos que hemos remitido a su domicilio.

Los contribuyentes que no tengan domiciliado el pago y no reciban los expresados impresos o los extravían, podrán solicitarlos en cualquier Junta Municipal de Distrito.



El Plazo voluntario de pago comienza el día 1 de Marzo y finaliza el 30 de Abril.

Se atenderán en las Oficinas Municipales del Impuesto (Sacramento, 5) Sentadísimo o llamando al teléfono

900-190190



Ayuntamiento de Madrid

Area de Hacienda y Economía