

sinopsis

En este trabajo se intenta actualizar una cuestión ya tratada (en colaboración) por el autor en 1960. Con ello se pretende poner al día un tema de gran interés para arquitectos, urbanistas, sociólogos, técnicos municipales y, en general, para el público interesado, cual es la disponibilidad de agua abundante y pura allí donde se necesite.

Se hace una revista a los avances producidos últimamente en las técnicas de desalinización y se incluyen datos sobre costes y consumos, así como una extensa tabla que puede servir como directorio para los técnicos que se enfrentan con problemas de este tipo.

J. M. TOBIO

Profesor de Investigación (Del Instituto Eduardo Torroja)

393-1

Introducción

Hace muy poco más de diez años apareció una publicación del Instituto Eduardo Torroja (1), en la que se recogían, al lado de algunas experiencias llevadas a cabo en Costillares sobre destilación solar, los datos más importantes —en aquellas fechas— relacionados con el estado científico-técnico-económico de la potabilización del agua. Hemos de reconocer que aquella publicación fue pionera en su género.

El tiempo transcurrido desde entonces parece un plazo razonable para volver sobre el tema, mucho más si se tienen en cuenta algunos hechos importantes.

Cuando en 1960 se hablaba del problema del agua y se apuntaban soluciones al mismo, estábamos lejos de pensar que, diez años más tarde, la cuestión habría de saltar a las páginas de los medios informativos, a los comités técnicos asesores de la investigación y desarrollo y a los dirigentes máximos de la política mundial.

Bien recientes están las declaraciones del Presidente Nixon cuando afirmó que una importantísima parte de los recursos federales iban a canalizarse a resolver problemas de contaminación, higiene y salubridad en U.S.A., con mención especial al problema de los recursos hídricos.

En la misma línea se pronuncian, con cierta periodicidad, las figuras más representativas de los países, a escala municipal o nacional, con el denominador común de la contaminación del medio ambiente y su obligada secuela: la escasez de agua pura o potable.

Se ha llegado a un punto en el que el problema del abastecimiento de agua ha dejado de ser motivo de discusiones y polémicas, más o menos brillantes, para convertirse en una inmediata y aterradora realidad. La creciente impurificación de ríos y mares a causa de los contaminantes (industrias y navegación), la industrialización incesante y el crecimiento demográfico, combinado con una elevación en el nivel de vida —y de higiene—, convierten al problema

del agua en primordial, en cuestión de vida o muerte para la Humanidad.

El presente artículo no pretende ser más que una actualización de algunas de las cuestiones tratadas ampliamente en (1), y sobre las que sería ilógico volver.

Por otra parte, y desde hace unos años, se ha creado en España un «Centro de Estudios, Investigaciones y Aplicaciones del Agua», con sede en Barcelona, que a través de sus publicaciones (en especial la revista bimestral «Agua»), viene realizando una excelente labor divulgadora en este campo.

Siempre en el plano nacional, cabe señalar, como acontecimiento reciente, el III Coloquio de Investigaciones sobre el agua (Sevilla, mayo 1969) y los cursos de Hidrogeología (Madrid, febrero y marzo de 1971), así como el V Curso Internacional de Hidrología subterránea que se anuncia en Barcelona para los meses de enero a junio de 1971.

El acontecimiento mundial más importante relacionado con la potabilización del agua, ha sido el III Simposio Internacional sobre obtención de agua dulce a partir de agua de mar, celebrado en Dubrovnik (Yugoslavia), en septiembre de 1970. En esta reunión se han presentado 75 ponencias y se describieron instalaciones y realizaciones actualmente ejecutadas, discutiendo su funcionamiento y los problemas surgidos en su explotación.

Participaron en estas reuniones del III Simposio unos 350 especialistas de todo el mundo.

Algunos datos estadísticos

2.1. Las fuentes de agua

En la mayoría de los países desarrollados, el agua está considerada como derecho natural del hombre. La principal fuente de abastecimiento es, por supuesto, el mar.

Pero, paradójicamente, el hombre aún no ha sido capaz —desde el punto de vista económico— de imitar a la Naturaleza en su conocido proceso de proporcionarnos agua de lluvia purísima a partir del agua salada marina.

La cifra media mundial de precipitaciones viene a ser de 760 mm/año. Un 30 % de esta cantidad vuelve a la atmósfera por evaporación. Los otros 2/3 contribuyen a abastecer las dos fuentes comunes de agua: las aguas de superficie y las aguas subterráneas. Todo ello sin que el «gran embalse», el mar, se inmute en sus $1,2 \times 10^{18}$ m³ de capacidad.

El agua es una de las sustancias más difundidas en el globo, pero también de las peor aprovechadas. De la cantidad caída sobre un país cuyos recursos hídricos estén bien aprovechados, puede calcularse que solamente un 16 % se utiliza de la forma siguiente:

	%
Riegos	9,7
Industria	5,0
Usos domésticos	1,3

En lo que se refiere a los ríos, principales abastecedores de nuestros pantanos, las cifras relativas pueden ser:

	%
Aprovechamiento total	32,7
Riegos	21,6
Industria	8,1
Usos domésticos	3,0

Si pensamos que la población del mundo se duplica cada cuarenta años y que puede ser de 6.000 millones en el año 2000, debe aterrarnos la idea de que, en dicha fecha, la cantidad de agua disponible de ríos y fuentes ¡será la misma que ahora! No es preciso ningún comentario.

2.2. Consumos

No es fácil cifrar el consumo de agua para cualquier país. El consumo doméstico puede oscilar entre 100 y 200 litros/persona/día (lpd) (2). El consumo agrícola puede ascender a 35 litros/día/Ha y, en cuanto a las aguas para usos industriales, el cálculo es extremadamente difícil, dado que muchas industrias recuperan su propia agua. En Estados Unidos, por ejemplo, la relación entre los tres consumos es (3):

Regadíos	6
Industrial	7
Doméstico	1,2

Como resulta muy difícil el desglose de estos consumos, parece razonable suponer, con nuestro querido amigo el Prof. Othmer (4) que, teniendo en cuenta toda el agua necesaria a la comunidad, el consumo puede cifrarse entre 2.000 y 7.000 lpd.

Cierto es que estas cifras tienen sólo un valor indicativo y varían considerablemente de país a país y de región a región. Así, en comarcas muy áridas y ciertas islas se llega a consumos totales bajísimos, algo así como 10 lpd.

Como en tantos otros campos de la técnica, el consumo no es una magnitud objetiva. Es, simplemente, función de las disponibilidades.

2.3. Producción y transportes. Costes

No es preciso decir que las dos «fuentes naturales» de agua, los ríos o aguas de superficie y las aguas subterráneas, no son gratuitas. Hay que embalsarlas, bombearlas y, en último término, transportarlas. Todo ello incide en el coste y precio de venta al consumidor. Pero el mencionado coste no es una cosa definida. Depende de muchísimos factores.

En muchas comarcas rurales españolas el agua es casi gratuita. En algunas islas italianas (5) se paga a 2.000 pesetas/m³. Y no digamos el agua mineral —que no es más que agua para beber— que se llega a pagar a 10.000 pesetas/m³.

En algunas regiones turísticas españolas (estamos pensando en Canarias), algunas de ellas muy escasas de agua, es evidente que el precio que podría pagarse por el m³ debería ser muy superior al que se cobra en Madrid o Barcelona. (En contrapartida, tienen más barato el whisky.)

Pero veamos el asunto desde otro punto de vista. Pensemos en lo que representa el agua potable respecto al precio de habitación de cualquier hotel. En efecto, si calculamos que el suministro por habitación (dos personas) es de 800 litros/día, y que el coste de desalinización actual del agua marina puede ser de 35 ptas./m³ (muy elevado, por supuesto), no parece que el «canon agua» resultante de 14 ptas./persona/día, pueda llegar a ser un factor limitativo, sobre todo en hoteles de cierto lujo. En el apartado 5 volveremos sobre este tema.

Los precios del agua convencional van constantemente en aumento, aunque no demasiado, tal como muestran las gráficas de Carr (fig. 1). Estas curvas, que cubren el período 1952-1980, muestran el lento pero sostenido incremento de costes del agua convencional, al mismo tiempo que indican el profundo descenso en los precios del agua procedente de desalinización, sobre todo en el período 1952-1962.

La extrapolación para las décadas de los 70 y 80, bastante razonable por otra parte, pone claramente de manifiesto que, a partir de 1972 el agua potabilizada procedente de aguas salinas estará en línea de precio con el agua natural. Esta es, por otra parte, una de las razones que nos ha animado a escribir este artículo.

Se piensa (6), para resumir, que para 1980 el agua potabilizada costará de 9 a 5 ptas./m³, mientras que el agua convencional resultará, para el usuario, de 16 a 5 ptas./m³. Creemos que, en un plazo de 10 años o menos, ambas aguas se igualarán en las 5 ptas./m³, siempre con base a precios americanos.

Aun cuando en el apartado 3 veremos con algún detalle cómo inciden en el coste el método de desalinización, el tamaño de la planta y el precio de la energía, conviene decir aquí que, entre otras, la solución de las plantas mixtas energía eléctrica-agua potable parece la más conveniente.

En efecto, si se montase una planta combinada para la producción de 120.000 kW de potencia y 100.000 m³/día de agua potable, el agua podría venderse a unas 2 ptas./m³ y el kWh a 0,50 ptas. Para ello es condición indispensable que la energía no cueste más de 3 ptas. las 100.000 kcal, lo cual es, evidentemente, un precio muy bajo para el combustible. En condiciones más reales de mercado energético, estas cifras, tanto para el kWh como para el agua, deberían ser multiplicadas por un factor 2.

Una planta como la descrita sería suficiente para abastecer de electricidad y agua potable a una comunidad de cerca de un millón de habitantes. Su coste total vendría a ser de 1.500 millones de pesetas.

Se ha pensado, en esta línea, en plantas aún más grandes y se citan las cifras siguientes (7): Una planta nuclear capaz de producir una potencia eléctrica de 300.000 kW y 545.530 m³/día de agua potable, podría proporcionar el agua a unas 5 ptas./m³, lo cual, si comparamos con las cifras antes dadas, muestra, una vez más, que la energía nuclear aún no es competitiva con las fuentes clásicas (8).

En la misma opinión abunda el ya mencionado Prof. Othmer cuando afirma que: «La energía nuclear no parece ser una fuente posible de energía de bajo coste, ni para la producción de agua potable solamente ni para la fabricación combinada de agua/energía eléctrica».

Por otra parte, y siempre con la idea de aclarar conceptos a la hora de juzgar sobre la conveniencia —o no— de una planta potabilizadora, convendrá decir algunas palabras respecto a los costes del transporte del agua natural.

Ahora que se habla tanto de los acueductos y trasvases —sobre todo en España—, no estará de más poner de manifiesto algunos hechos que creemos importantes. Así, en un elaborado análisis del problema llevado a cabo por Louis Koenig (9) para las Naciones Unidas, hace unos 10 años, ya se decía que, cuando la distancia a las fuentes aumenta o el volumen de agua disminuye, puede resultar más barato, para zonas costeras, desalinizar el agua del mar que traerla de lugares lejanos.

Una planta desalinizadora puede resultar más económica que un trasvase si la cantidad de agua necesaria y la distancia a la fuente están en los límites marcados en la tabla I.

TABLA I

Caudal (m ³ /día)	Distancia mayor que, (km)
4.000	65
12.000	160
40.000	320
200.000	480

Hay unos cuantos hechos en relación con el estudio comparativo transporte/desalinización, que no deben pasarse por alto. En primer término debemos pensar que los costes de embalsar agua, bombearla, transportarla por tuberías o canales y, en su caso, purificarla, han de ir en aumento incesante. Ya se da la cifra de 5 a 8 ptas./m³ por cada 100 km de distancia (10), en lo que se refiere al transporte en grandes tuberías. Debe pensarse también en la importante cuestión de las pérdidas (evaporación, filtración, etc.) que algunos autores cifran en un 30-45 %.

En el caso del sistema que lleva el agua a la Baja California desde las fuentes situadas a 1.200 km de distancia, se da la cifra de 10 ptas./m³ para el agua situada en Los Angeles, teniendo en cuenta los gastos de instalación, amortización y explotación. Piénsese que esta cifra es comparable, e incluso más elevada, que el coste de la desalinización.

Pero hay otros factores a considerar. Así, las innovaciones técnicas en el campo de la destilación reducen de año en año, como se ve en la figura 1, el coste del agua potabilizada. Este es un factor digno de consideración.

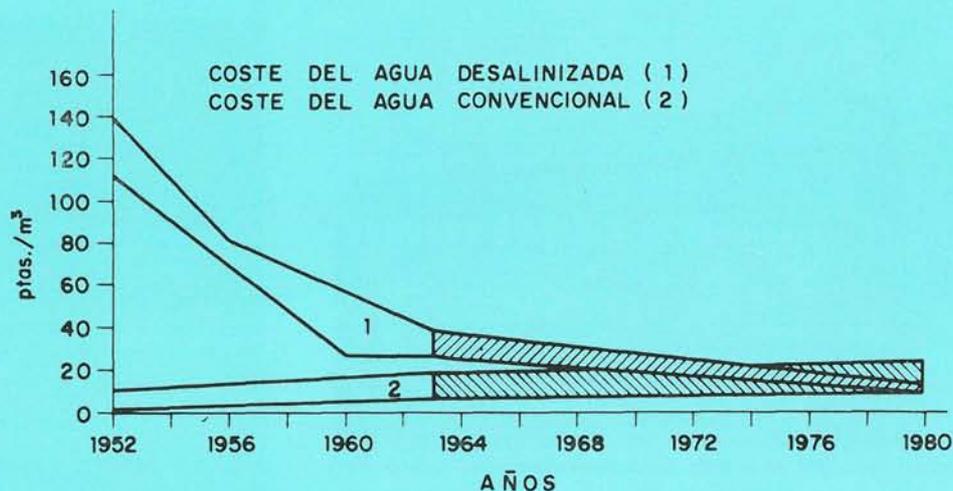


Fig. 1. Evolución de costes del agua natural y de la potabilizada. (La zona rayada es el valor estimado).

Por otra parte, el montaje de una planta potabilizadora puede resultar más racional en el caso de una comunidad en desarrollo, cual ocurre con la mayoría de las zonas turísticas españolas. No es posible, en efecto, proyectar un abastecimiento clásico con previsiones a 15 ó 20 años, puesto que el coste de primera instalación sería elevadísimo y el coeficiente de utilización muy bajo.

Pero sí pueden montarse unidades potabilizadoras, a medida que el consumo se va incrementando, con la gran ventaja de que cada nueva unidad que se monte, en el transcurso del tiempo, será más moderna que la precedente y más económica en su instalación y explotación. En suma, se trata de acompasar la producción al consumo, a medida que éste crece, sin necesidad de proyectar obras gigantescas para el futuro.

2.4. Evolución en la capacidad de las plantas

Puede decirse que las primeras plantas potabilizadoras se construyeron en 1633, año en que Samuel Pepys hizo experiencias con destiladores en barcos de vela de la armada inglesa. La primera planta comercial de potabilización de agua del mar se montó en 1884 en Aruba, con una producción de 1 m³/día. En 1956, después de 72 años de funcionamiento continuo, la capacidad de la planta se había elevado a 6.500 m³/día.

El año 1956 fue crucial para los procesos de destilación térmica, ya que, en dicha fecha, la firma americana Westinghouse puso en marcha una planta de destilación rápida multietapa (ver apartado 3.1) capaz para 2.275 m³/día, con un consumo energético alto, 180 kcal/kg de agua.

En 1958 una firma inglesa ya ofrecía plantas completas con capacidad para 4.500 m³/día, con 40 etapas de destilación y un consumo de 50 kcal/kg. Del mismo orden de producción y consumo es la planta que Westinghouse montó en San Diego en 1962.

Las dos plantas más grandes y recientes, construidas y en funcionamiento, son las de Bengasi (electrodialisis) para 19.200 m³/día y la del gobierno de Abu-Dhabi (desti-

lación) para 27.000 m³/día. Ambas fueron terminadas en 1969-1970. Para 1972 se pondrá en marcha, en Malta, una planta de destilación de 27.280 m³/día.

Existen proyectos para plantas de hasta 500.000 m³/día, pero, hasta la fecha, puede decirse que la capacidad mundial total de producción de agua potable a partir del agua marina es de un millón de m³ diarios.

La figura 2 muestra la planta de destilación rápida para 4.500 m³/día que Weir está a punto de terminar en Guernsey.

Las curvas de George Löf, tomadas de un trabajo de Delyannis (11), muestran (fig. 3) cómo evoluciona el precio del agua potabilizada: Las curvas (a) y (b) se refieren a los métodos de destilación que utilizan el vapor como fuente de energía; la curva (c) corresponde a la destilación solar, mientras que la (d) es la misma que la (c), pero sin tener en cuenta los gastos de explotación; finalmente, la curva (e) corresponde a un destilador de efecto múltiple, con el cual, si el diagrama es cierto, pueden conseguirse pequeñas unidades (40 m³/día, por ejemplo) que proporcionen el agua a unas 7 ptas./m³.

Todos estos datos han sido deducidos por el señor Delyannis a partir del funcionamiento de pequeñas unidades repartidas por las islas del mar Egeo.

2.5. Potabilización y riego

Una de las más importantes limitaciones que se enuncian al hablar de los métodos de potabilización, es su incapacidad para proporcionar agua en condiciones económicas para regadíos (ver, Laorden y Tobío, loc. cit., págs. 11 y 55).

Sin embargo, trabajos recientes indican que ya se están usando plantas desalinizadoras para alimentar cultivos hidropónicos en Aruba (melones, tomates, pepinos, habichuelas, etc.), con excelentes rendimientos económicos.

En la isla de Guernsey también se emplean plantas de destilación multietapa para proporcionar agua a los culti-

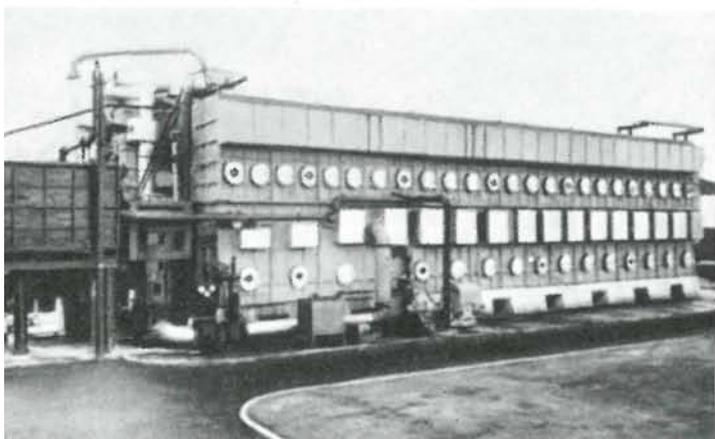


Fig. 2. Planta MSF de la Weir, en Guernsey (capacidad, 2.275 m³/día).

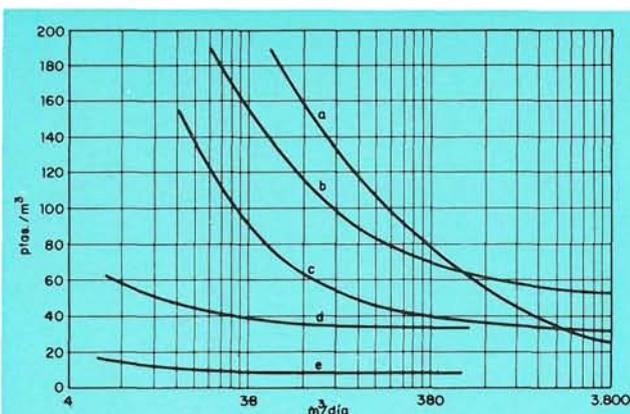


Fig. 3. Precio del agua potabilizada en función del tamaño de la planta (según Löf).

vos hortícolas y florales. En Israel se está empleando el agua potabilizada, principalmente por electrodiálisis (12), para el riego de los cultivos de agríos (ver apartado 7).

2.6. Bibliografía sobre potabilización

Aun cuando es normal incluir las cuestiones bibliográficas al comienzo o al final de un trabajo, no queremos terminar este resumen estadístico sin unas palabras sobre las fuentes de información que, referentes al tema, pueden encontrar nuestros lectores.

Una información bastante completa, hasta 1960, puede encontrarse en la mencionada obra de Laorden y Tobío. Casi todo cuanto se ha publicado hasta 1965 puede hallarse en el libro de Girelli (editado por Pergamon Press, Tamburini, Via Pascoli, 55, Milano), que incluye exactamente 821 citas, algunas de ellas, a su vez, refiriéndose a trabajos de revista, muchos de los cuales han sido encargados por las Naciones Unidas.

Millares de referencias sobre procesos y aparatos para electrodiálisis pueden encontrarse en (13) y (14) y, como decíamos al comienzo de este trabajo, los lectores interesados en estas cuestiones pueden obtener la más valiosa y puesta al día información en el «Centro de Estudios del Agua» (15).

Lo último, en cuanto a fechas, es la magnífica obra de McDermott (16) que recoge los más variados detalles de las técnicas de destilación, entre otras cosas los textos de las patentes más destacadas en este campo que han sido tomadas en U.S.A. en los últimos dos o tres años.

3 Estado actual de los sistemas de potabilización

Desde un punto de vista verdaderamente práctico, solamente tres sistemas —destilación, congelación y electrodiálisis— están «maduros técnicamente» para acometer el problema de la potabilización del agua salina. Hay otros, como la destilación solar, ósmosis inversa, intercambio iónico, etc., que, hasta el momento, se encuentran en fase experimental o de planta piloto y no resultan por ahora aptos para tratar cantidades considerables de agua.

En los apartados siguientes daremos, brevemente, las particularidades más destacadas de cada uno de estos sistemas, bien entendido que, en las obras especializadas ya citadas, y en muchas otras, pueden encontrarse toda clase de datos técnicos sobre los diversos equipos.

De los diferentes métodos, los de destilación y congelación llevan consigo un cambio de estado del agua, de tal modo que la energía necesaria para este cambio de estado es grande, en comparación con la energía teórica de separación del agua pura a partir de una disolución 0,6 M (unos 35 g/l de ClNa).

Así, la energía para calentar 1 g de agua de mar desde 20 a 100,7° C y hacerla evaporar a 100,7° C, es de 618,5 cal/g, mientras que la energía precisa para separar el agua de la solución salina es de solamente 0,77 cal/g.

A pesar de esto, los métodos de destilación gozan de preferencia respecto a los isotérmicos (electrodiálisis y ósmosis) por dos razones principales: a) Emplean energía calorífica, que es más barata que la mecánica o eléctrica; b) parte del calor necesario para el cambio de estado (unas 1.000 veces el calor teórico de separación), puede ser recuperado en el proceso de condensación del vapor a 100° C.

En cualquier caso debe tenerse en cuenta que, cuando se habla de desalinización, no se trata de separar el agua de la sal según el esquema

Agua salada \longrightarrow sal + agua dulce,

sino de un proceso parcial que responde a:

Agua salada \longrightarrow salmuera concentrada + agua dulce.

El grado de concentración de la salmuera es uno de los parámetros del proceso y, un valor típico es 2:1, es decir, el volumen de agua dulce recuperado es la mitad del volumen de agua de mar inicial.

3.1. Destilación rápida multietapa (MSF)

Responde al esquema de la figura 4. El agua salada entra caliente en una cámara a presión reducida y parte del agua se evapora inmediatamente, condensándose sobre unos tubos enfriados por agua de mar que fluye hacia la sección de entrada de calor, que recibe el vapor a una temperatura no superior a 120° C. Hay tantas cámaras como etapas (hasta 40 en algunas instalaciones), de presión progresivamente decreciente.

El vapor se recoge, condensado, en bandejas y sale por el conducto de la derecha. Hasta el momento, el MSF ha demostrado ser el método más seguro y satisfactorio (pero no el más económico) para la conversión del agua de mar.

La figura 5 muestra una de las unidades más grandes (6.820 m³/día) construidas por Weir en Jersey. Esta misma firma tiene proyectos para instalaciones con una capacidad superior a los 250.000 m³/día. El coste más bajo logrado (o previsto) para este tipo de unidades es de 5 ptas./m³.

3.2. Evaporación por efecto múltiple (MEE)

Es un proceso de destilación pero que utiliza vapor para evaporar parte del agua de mar en su primer efecto (figura 6), condensándose en el segundo, de temperatura inferior al primero, y así sucesivamente. Generalmente, la evaporación se hace en tubos verticales construidos en aleaciones especiales (Cu-Ni de alto contenido en Fe y Mn), así como aleaciones aluminio-latón.

La figura 7 muestra una de estas unidades, en funcionamiento en Freeport (Texas) y construida por W. L. Badger. Tiene una capacidad de conversión de 3.800 m³/día y su coste total fue de 100 millones de pesetas. Se erigió en un año.

Su coste de funcionamiento parece que se desglosa así (17):

Gastos fijos... ..	1,23 ptas./m ³
Energía	2,50 kWh/m ³
Vapor	60.000 kcal/m ³

3.3. Evaporación por compresión (VCE)

El diagrama de la figura 8 corresponde al sistema de evaporación por compresión, en el cual, el vapor que despiden la salmuera hirviendo se comprime por medios mecánicos para aumentar su presión, condensación y temperatura. Se lleva este vapor al haz de tubos del evaporador, donde se condensa en forma de agua dulce. La salmuera concentrada sale por la parte inferior.

Los problemas más importantes del proceso derivan —por supuesto— del compresor, que debe ser capaz de manejar grandes cantidades de vapor húmedo. Hasta ahora el VCE se ha utilizado en pequeñas unidades (unos 500 m³/día) y exige un bajo consumo de energía.

La figura 9 muestra uno de estos equipos, construido por Aiton, capaz para 55 m³/día. Parece que, en cuanto a consumos, se ha llegado a 13 kWh/m³, contando calor y energía del compresor.

3.4. Congelación

Dado que el calor de fusión del hielo es mucho menor que el de evaporación del agua (están en la relación 1 : 10) parece, a primera vista, que este sistema debería desplazar a los de destilación MEE, VCE y MSF, por dos razones principales: a) Economía en el proceso energético de cambio de estado del agua; b) posibilidad de trabajar a temperaturas muy inferiores a los 100° C, con las consiguientes ventajas respecto a la corrosión por salmueras calientes.

En la monografía de Laorden y Tobío (pág. 21) ya se mencionaba este interesante proceso, haciendo ver sus dificultades. Desde entonces se ha desarrollado un sistema verdaderamente ingenioso, que responde al esquema funcional de la figura 10. Un hidrocarburo líquido, tal como el butano, se vaporiza en contacto directo con el agua salada. Se provoca así la formación de una papilla de cristales de hielo en el seno de una salmuera.

La papilla pasa a una columna de lavado para separar la salmuera y, a continuación, a una columna de fusión donde se encuentra con vapor de butano (gas) que, al enfriarse, vuelve a convertirse en líquido, entrando otra vez en el sistema.

Hay ciertos inconvenientes derivados del incompleto lavado de los cristales de hielo, de que hay que eliminar el butano del agua y otros, pero el sistema es, indudablemente, atractivo por la escasa demanda de energía.

Hasta ahora (1971), la planta más interesante es la que Simon-Carves (fig. 11) tiene montada en Stockport (Inglaterra), capaz para 45 m³/día.

Parece que se ha llegado a consumos del orden de 10.000 kcal/m³, es decir, unos 12 kWh/m³, lo cual es un valor muy bajo.

3.5. Electrodialisis

Es un método excelente para separar sales del agua. Pero, dado que hasta el momento sólo es aplicable a aguas salitrosas que no contengan más de 5.000 p.p.m. de sal (0,5 %) (el agua de mar contiene 35.000 p.p.m.), su utilidad resulta ciertamente restringida. Lo cual no obsta para que una de las mayores potabilizadoras del mundo, la de Bengasi (ver 2.4), funcione por este sistema y dará agua potable a toda esta importante población de Libia. El agua de alimentación es salitrosa con unas 5.000 p.p.m.

Los interesados en este tema pueden consultar las obras de Wilson y Rickles, ya mencionadas, que contienen extensísima información bibliográfica. También son importan-

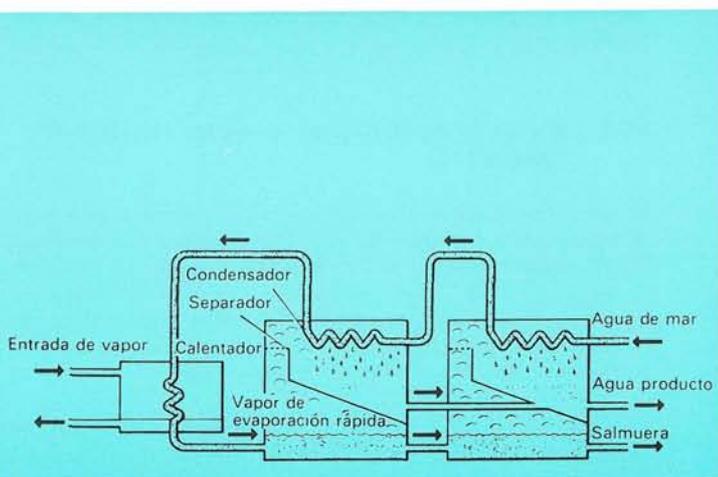


Fig. 4. Destilación rápida pluri-etápica.

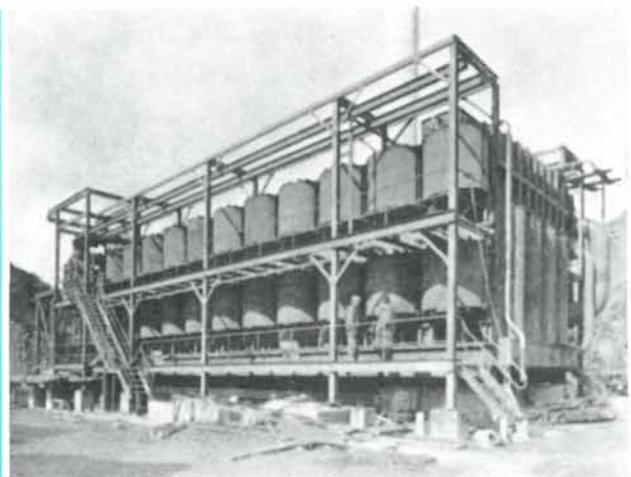


Fig. 5. Planta MSF de Weir, con capacidad para 6.820 m³/día (Jersey).

tes los trabajos de Tallmadge (18), Vromen (19) y Farrell (20), a los que remitimos a nuestros lectores.

3.6. Osmosis inversa

Es, hasta el momento, uno de los más interesantes procesos, puesto que su fundamento es muy sencillo y no presenta las complicaciones ni las limitaciones de la electrodialisis.

Se trata, en definitiva, de **forzar**, mediante una presión superior a la presión osmótica de la disolución, el paso del agua a través de una membrana semipermeable, que suele ser de acetato de celulosa. La figura 12 muestra esquemáticamente el proceso, en el cual el agua salada, a una presión de 100 atmósferas (la presión osmótica del agua de mar es de 25 atmósferas), pasa por unos tubos con membranas y sale al sumidero.

El agua dulce «colada» por las membranas se recoge por la parte inferior. El consumo de energía para la conversión es de unos 4,75 kWh/m³, valor extremadamente bajo. En la práctica el proceso no resulta tan económico, dado que las membranas y su soporte son muy caras puesto que deben resistir altas presiones sin romperse.

Existe una intensa actividad investigadora en el campo de las membranas, principalmente por parte de las firmas americanas Aerojet, General Atomics y otras; todas ellas

Fig. 9. Planta VCE para 55 m³/día, construida por Aiton.

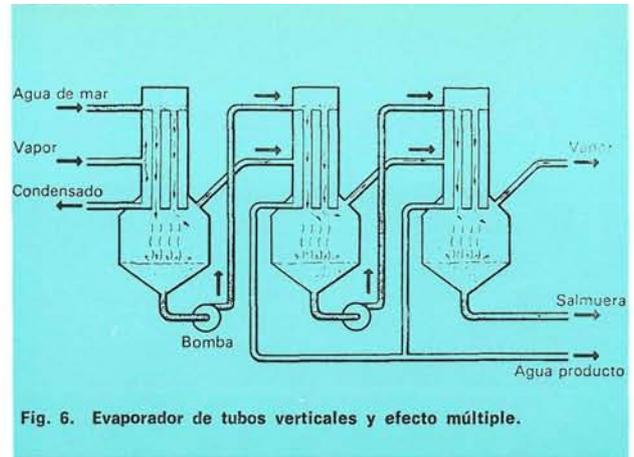
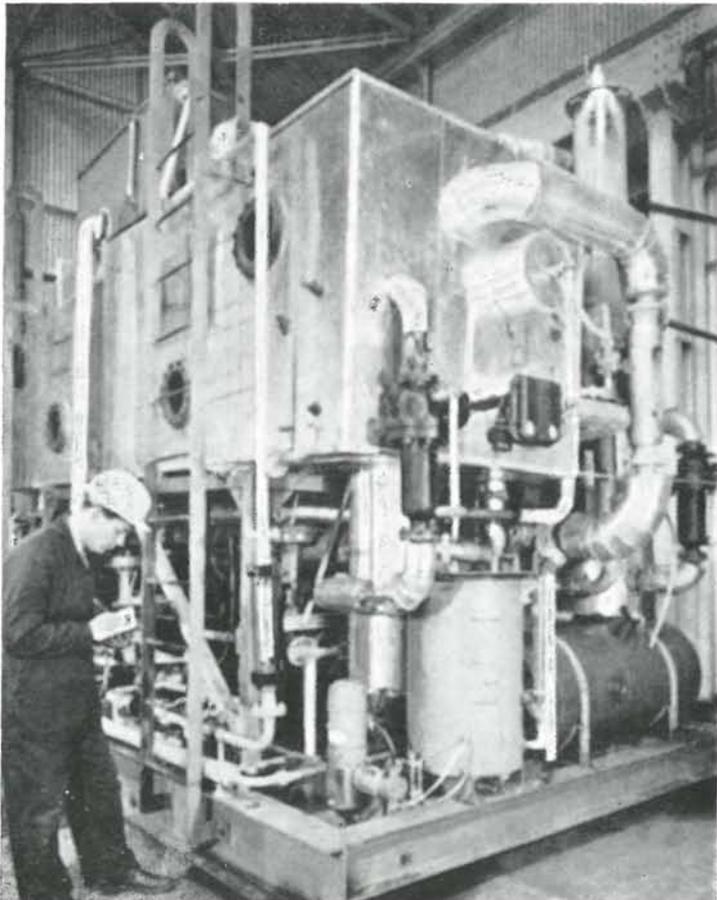


Fig. 6. Evaporador de tubos verticales y efecto múltiple.

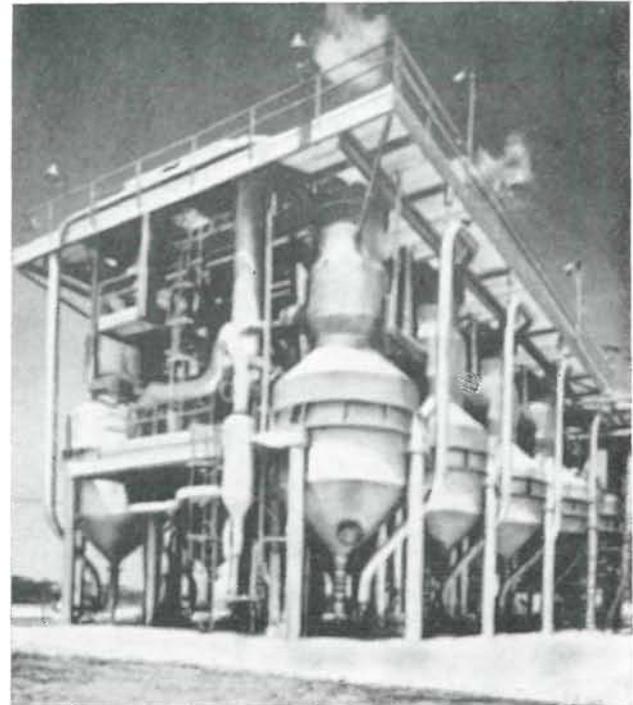


Fig. 7. Destilador MEE, en Freeport (Texas), para 3.800 m³/día.

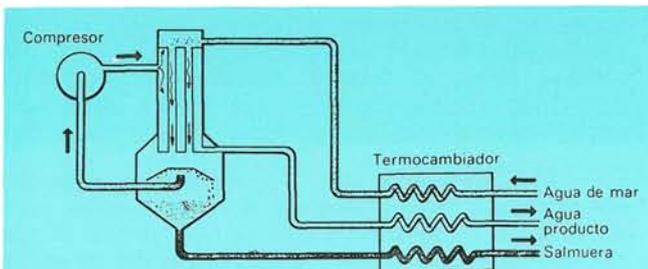


Fig. 8. Evaporación por compresión de vapor.

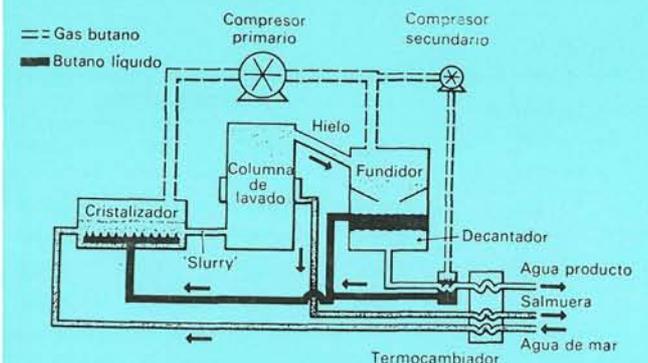


Fig. 10. Desalinización por congelación.



Fig. 11. Planta de congelación para 45 m³/día. Constructor, Simon-Carves.

de primera línea en lo que se refiere a investigación de nuevos procesos (21).

Aparte de las membranas de acetato de celulosa antes mencionadas, se está experimentando con otras de etil-celulosa, poliacrilato-celulosa, poliacrilonitrilo e, incluso, de naturaleza inorgánica como vidrio fritado, placas cerámicas, carbón y otras.

La relación entre la presión y el rechazo de sales para una membrana típica de acetato de celulosa, puede verse en la figura 13. La energía mínima para desalar el agua del mar es función de la temperatura y del porcentaje de recuperación, tal como muestra la tabla II; pero, en todo caso, muy baja si se la relaciona con otros sistemas de potabilización. Las cifras vienen dadas en kWh/m³.

TABLA II

Temperatura (°C)	% DE RECUPERACION			
	25	50	75	100
25	0,814	0,987	1,342	2,910
50	0,884	1,073	1,463	3,190
75	0,984	1,151	1,571	3,450
100	1,006	1,222	1,667	3,690

En cuanto a los caudales disponibles con las membranas actuales, se da la cifra de 500 litros/día por m² de membrana, con presiones de 100 kp/cm².

Se augura un brillante futuro para este género de procesos. La figura 14 muestra una planta, construida por Pater-son Candy, capaz para 25 m³/día de agua dulce.

Otro modelo de pequeña producción es el de la figura 15, de la casa Aerojet, que puede dar 38 m³/día y resulta sumamente compacto.

Respecto a los gastos de instalación y entretenimiento de una gran unidad proyectada por General Atomics, para ósmosis inversa en dos etapas, la tabla III ilustra sobre este tema (Precios U.S.A., 1968).

TABLA III

Tratamiento	Agua marina (35.000 p.p.m.)
Producción (2 etapas)	3.800 m ³ /día
Recuperación por etapa	50 %
Recuperación de energía	75 %
Coste de instalación	2.800 ptas./m ²
Coste membranas	350 ptas./m ²
Vida de las membranas	10 m ³ /m ²
Presión	70 kp/cm ²
Caudal	570 litros/día/m ²
Coste total	56.000.000 ptas.
Consumo de energía	4,20 ptas./m ³
Mano de obra	0,35 ptas./m ³
Explotación	0,185 ptas./m ³
Membranas	3,70 ptas./m ³
Gastos generales	0,44 ptas./m ³
Amortización, tasas y segu-ros	5,15 ptas./m ³

Como puede apreciarse, los capítulos energía, membranas y amortización son los de más peso en el coste del m³ de agua potable, que viene a salir a un precio casi el doble del que puede esperarse de una instalación de destilación moderna.

Para un agua que sólo contuviese 5.000 p.p.m. de sales (agua salitrosa), las cifras de la tabla III podrían reducirse a menos de la mitad.

3.7. Otros sistemas

Existen otros procesos de potabilización, pero su interés, por el momento, aún no ha salido del campo experimental. Cabe citar, el intercambio iónico (útil para agua con 1.000 p.p.m. de sales), purificación con ultrasonidos, con campos electromagnéticos y, por supuesto, la destilación solar.

Este último procedimiento, que tanta literatura científica y técnica ha hecho surgir, no parece que pueda competir, hasta ahora, con los métodos antes descritos, sobre todo en producciones de cierta cuantía. En el apartado 5 mostraremos algunas unidades de pequeña producción.

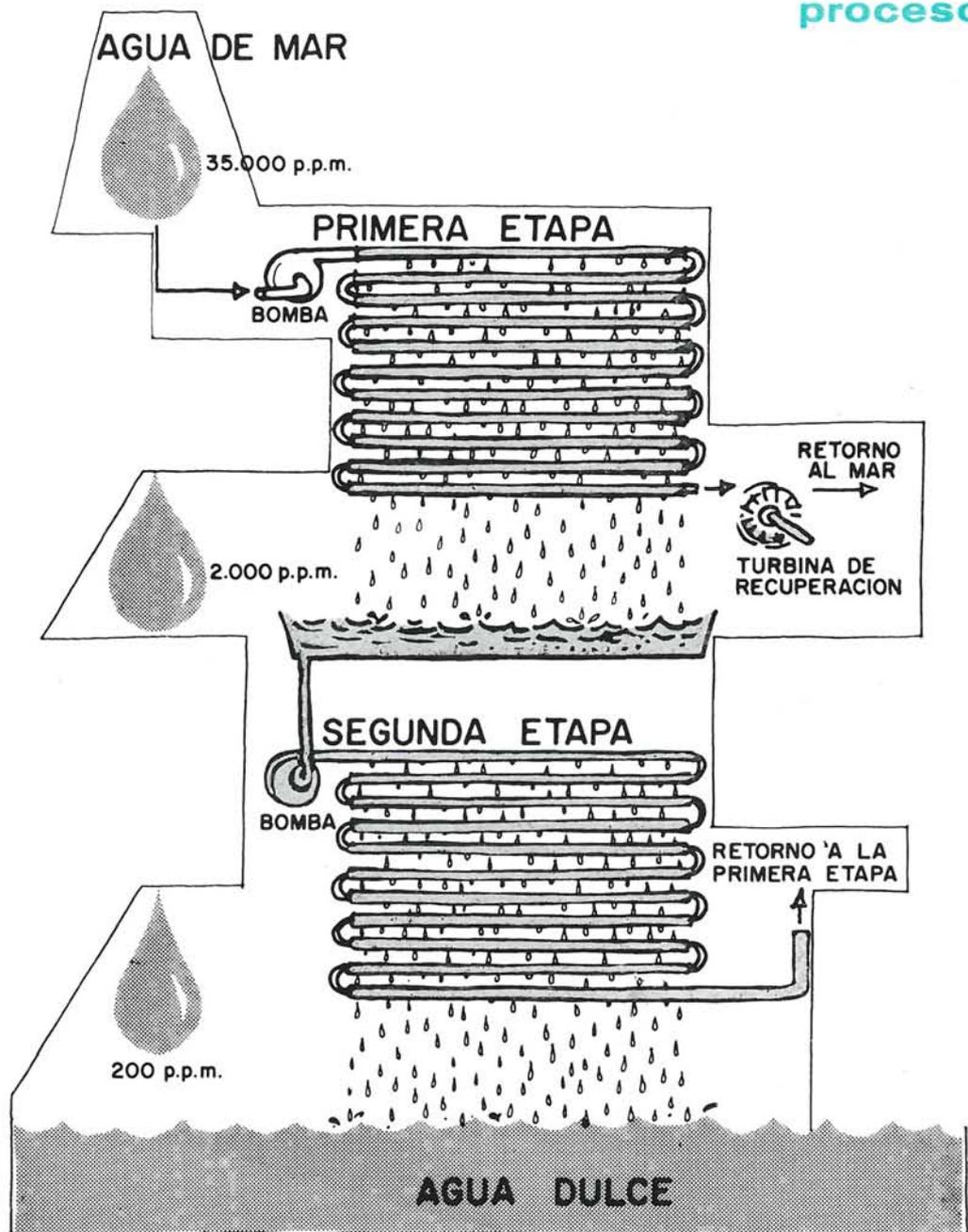


Fig. 12. Proceso de potabilización por ósmosis inversa (según Haven).

4 Datos económicos de una gran unidad

Antes de exponer algunas consideraciones respecto al posible empleo de pequeñas unidades para abastecer comunidades aisladas, e incluso hoteles y residencias individuales, parece útil hacer el detalle completo de instalación y funcionamiento de una unidad de destilación de tamaño

medio (4.580 m³/día), del tipo multietapa (ver 3.1), construida (y en funcionamiento) por una empresa americana para la ciudad de Tarento en Italia. La tabla IV resume los datos más interesantes (22).

Aun cuando las cifras de la tabla IV se refieren al mercado italiano de energía eléctrica, vapor, etc., no parece difícil adaptar estos costes a las condiciones españolas.

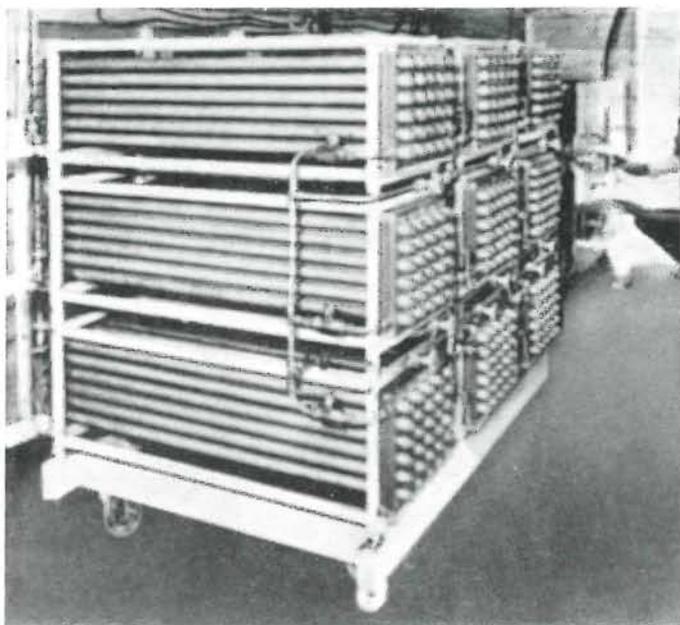
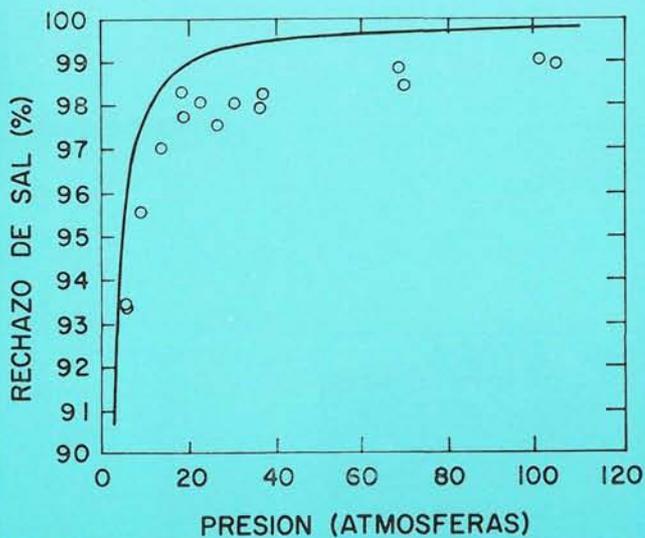


TABLA IV

Producción	1,52 × 10 ⁶ m ³ /año (190 m ³ /hora)
Coste total	60.000.000 ptas.
Intereses	7 %
Amortización	15 años
Consumo de vapor, 2 atmósferas, 150° C	36.000 kg/hora
Coste del vapor (recuperación)	25 ptas./t
Vapor eyectores, 21 atmósferas, 365°C	870 kg/hora
Coste vapor eyectores (perdido)	100 ptas./t
Potencia eléctrica	49 kW
Horas de funcionamiento	8.000/año
Consumo energía eléctrica... ..	392.000 kWh/año
Coste energía eléctrica	0,6 ptas./kWh
Consumo productos químicos... ..	1 kg/hora
Coste productos químicos	50 ptas./kg
Entretienimiento	1 % del coste total
Personal	600.000 ptas./año
Intereses capital	6.600.000 ptas./año
Vapor	7.900.000 ptas./año
Energía eléctrica	230.000 ptas./año
Productos químicos	400.000 ptas./año
Gastos varios	600.000 ptas./año
Coste del agua... ..	10 ptas./m ³

5 El problema de las pequeñas comunidades

Existe un campo de acción bien definido para las pequeñas unidades de potabilización. Nos referimos a las pequeñas urbanizaciones, casi siempre de carácter turístico-residencial, que surgen a lo largo de nuestras costas, principalmente en zonas de escasas posibilidades de agua potable: Almería, Málaga, Canarias, Baleares, ciertas zonas de Alicante, etc. A este tema queremos dedicar el presente apartado, bien entendido que cada posible solución debe ser estudiada a la luz de un conjunto de factores muchos de ellos locales, que condicionan el abastecimiento.

Fig. 13. Rechazo de sal por una membrana de acetato de celulosa, en función de la presión.

Fig. 14. Planta de ósmosis inversa para 25 m³/día, proyectada y construida por Paterson Candy.

Fig. 15. Unidad osmótica de Aerojet para 38 m³/día.



Fig. 16. Destilador solar (Du Pont) para 2 m³/día.

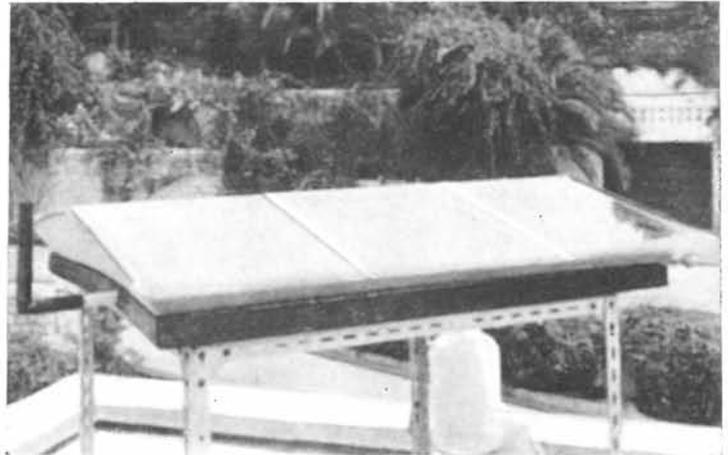


Fig. 17. Destilador solar para 20 litros/día.

5.1. Instalaciones fijas

Existen en el mercado internacional pequeñas unidades portabilizadoras, «llave en mano», que pueden resolver el problema de abastecer de agua potable a una serie de chalets, apartamentos u hoteles en zonas costeras.

Para mencionar sólo las últimas realizaciones, veamos en primer término la unidad solar Du Pont (fig. 16), construida en plástico, que puede, en regiones bien soleadas, proporcionar 2.000 litros de agua por día.

Una pequeñísima unidad es la mostrada en la figura 17, construida en Mylar W, un tipo de poliéster, que produce unos 20 litros/día. De esta unidad se están empleando cientos en Argelia.

De mucho mayor tamaño es el destilador solar de la figura 18, construido en la Universidad de Glasgow, del cual puede verse la armadura.

Para producciones de 900 y 6.000 litros/día pueden servir las unidades compactas de Braby (ver apartado 6), que son pequeños destiladores (figs. 19 y 20) que suministra la firma, «llave en mano», con todos sus accesorios.

Como ejemplo moderno de unidades de mayor capacidad puede servir el equipo «Aquafash», de Buckley & Taylor (fig. 21), capaz para 36.000 litros/día, que puede, sin duda, abastecer a un pequeño hotel. Es un destilador del tipo MSF.

La firma George Clark ofrece varias unidades de tipo MSF para 55.000 y 110.000 litros/día, que pueden verse en la

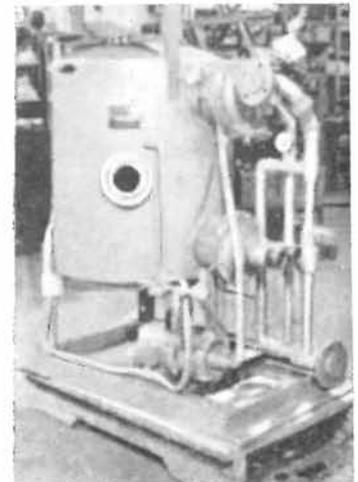


Fig. 18. Armadura para destilador solar de la Universidad de Glasgow.

Fig. 19. Pequeña unidad de destilación para 900 litros/día (De Braby).



Fig. 20. Destilador Braby para 6.000 litros/día.



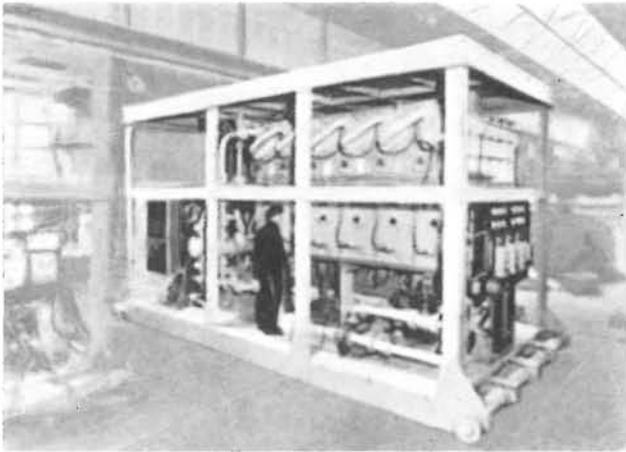


Fig. 21. Equipo «Aquafash» de Buckley & Taylor para 36 m³/día.

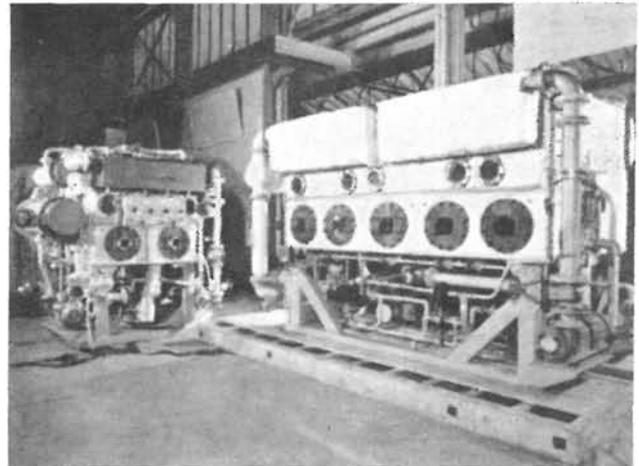


Fig. 22. Plantas de desalinización de George Clark, tipo MSF, para 110 m³/día (a la derecha) y 55 m³/día (a la izquierda).

figura 22 (la más pequeña a la izquierda), construidas con patentes de la American Machine.

Los equipos ilustrados en las figuras 9, 11, 14 y 15 constituyen, por supuesto, unidades de este género que pueden adquirirse en el mercado internacional.

La unidad mostrada en la figura 23 es una de las más compactas que se conocen. La fabrica la firma japonesa

Sasakura Eng. Co. y es de evaporación rápida monoetapa. Consume 2 kW de potencia y produce 1.000 litros/día. Sus dimensiones son de 100 × 40 cm.

Quisiéramos, por otra parte, hacer aquí algunas sugerencias respecto al abastecimiento de pequeñas zonas costero-turísticas, tendentes a la solución de sus problemas hídricos. Una posible alternativa podría ser el montaje de dos circuitos de agua independientes.

Uno de ellos, de agua de mar filtrada, podría servir para usos de lavado, baldeamiento (no olvidemos que en los barcos se emplea el agua de mar para esta finalidad), cisternas de water (que se llevan un 20 % del consumo doméstico), etc. Dado que las nuevas tuberías de plástico, grifos y accesorios son inmunes al agua de mar, este circuito «salino» no presentaría problemas. Otra ventaja, en este sentido, sería el empleo de los nuevos detergentes compatibles con el agua marina.

El otro circuito de agua para beber, cocinar y servicios higiénicos podría alimentarse con agua potabilizada artificialmente. Un sistema así concebido es indudable que presentaría ventajas desde el punto de vista económico.

5.2. Instalaciones móviles

La conocida firma inglesa Weir Westgarth, una de las más importantes del mundo en el campo de la potabilización, ha concebido una unidad flotante muy adecuada para abastecer zonas costeras que carezcan de agua y no tienen posibilidades de montar una planta de potabilización.

La solución propuesta (fig. 24) es una planta MSF para 900 m³/día que puede llevar 12 litros de agua diarios a cada una de las 60.000 personas que viven en 12 comunidades aisladas. El coste total del buque es de 140 millones de pesetas y el agua podría suministrarse a 48 céntimos el litro (23).

El buque es de doble hélice, con 48,8 m de eslora, 10,4 m de manga, 3,67 m de calado y un desplazamiento de 1.371 t. La planta MSF es de 31 etapas.

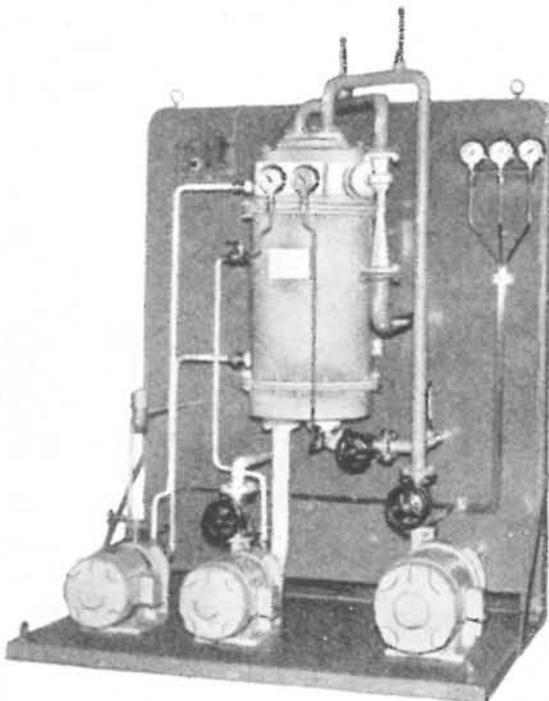


Fig. 23. Pequeña unidad de destilación monoetapa para 1.000 litros/día. (Fabricación Sasakura Eng. Co.).

Navegando entre 8 y 10 nudos, el barco prestará servicio durante 48 turnos de una semana de duración, permaneciendo medio día en la mar y 6 1/2 días amarrado para producir agua dulce y bombearla a tierra, lo que permitiría abastecer cuatro veces por año a las 12 comunidades de 5.000 almas cada una.

6 Firmas y entidades activas en potabilización

Creemos prestar un buen servicio a nuestros lectores, resumiendo en la tabla V algunas particularidades referentes a los fabricantes más importantes de equipos, organizaciones de investigación en desalinización y otros datos de interés.

Con ello contestamos a las numerosas consultas que hemos tenido por parte de arquitectos, ingenieros y contratistas, enfrentados con la decisión de abastecer de agua potable a una determinada zona y que no tienen a mano un catálogo de equipos ni las señas de entidades consultivas en este campo.

7 Perspectivas

Nada más difícil —y comprometido— que futurizar sobre un tema tan debatido como el de la potabilización con sus casi infinitas implicaciones de orden técnico, económico e incluso político.

El problema del agua potable es de tal magnitud que, en el fondo, interesa a todas las ramas de las ciencias experimentales, a los gobiernos y a las propias Naciones Unidas. Es uno de los retos de nuestro tiempo, frente al que sería poco ético inhibirnos.

A nuestro modo de ver, tres son los factores, efectivos o psicológicos, que frenan el desarrollo de las técnicas de potabilización: a) El elevado coste del agua desalinizada; b) la creencia de que **nunca** podrá obtenerse agua potabilizada en condiciones económicas para fines de irrigación; c) la esperanza de que se produzca un «milagro técnico» que nos proporcione agua dulce al mismo precio que el agua de lluvia.

Aun cuando los tres puntos tienen un fondo común, el precio, los analizaremos brevemente y por separado.

Ya hemos intentado demostrar a lo largo de este artículo que el agua potabilizada no es tan cara como se cree. Una planta MSF moderna, de gran tamaño, puede proporcionar agua a 5-6 ptas./m³ (datos de 1970), lo cual puede parecer elevado a primera vista.

Pero las comparaciones con el coste del agua natural convencional no son tan sencillas. En la mayoría de los casos, los precios del agua al consumidor no son precios reales, son «precios políticos». No reflejan el verdadero coste del producto. No tienen en cuenta la mayor parte de los gastos de amortización de las gigantescas obras realizadas y no digamos nada de las servidumbres de pantanos, presas, conductos, etc., que se resuelven por el



Fig. 24. Potabilizadora flotante para 900 m³/día, proyectada por Weir y UKAEA.

sencillo expediente de la expropiación por «utilidad pública».

Si, efectivamente, la planta desalinizadora ha de ser juzgada —desde el punto de vista económico— por un rasero diferente del de los abastecimientos convencionales, no cabe comparación lógica alguna. Imaginemos, por ejemplo, qué sucedería si la Campsa entregase el fuel-oil a las potabilizadoras a precio de coste.

Tampoco es rigurosamente cierto que el agua potabilizada no pueda emplearse en riegos. Israel está dando buenos ejemplos de ello. Hay que tener en cuenta que el agua potabilizada, más pura que la natural (o que la mayoría de las naturales), es mejor para el riego y su empleo supone un fuerte ahorro.

Así (24), para regar 500 Ha de naranjal con agua que contenga 400 p.p.m. de sales, se necesitan 7 millones de m³. Si el agua contiene solamente 100 p.p.m. de sólidos, esa cifra se rebaja a 3,9 millones. El ahorro es evidente.

En cuanto a esperar que se invente algo, en potabilización, radicalmente diferente de lo actual, y por supuesto más barato, creemos que esto, en el fondo, no es buena táctica. No hace más que retrasar los posibles futuros avances, puesto que no es lógico separar el aspecto comercial del técnico. Sin un mercado activo —con los equipos de que se dispone **ahora**— no es fácil esperar grandes avances.

La demora en adquirir equipos, esperando esa radical disminución de precios, no hará más que retrasar el desarrollo y contribuir a que los costes sigan siendo altos.

No queremos terminar sin mencionar un trabajo de Mawer y Sherriff (25) sobre el uso conjunto de los recursos del Llobregat y plantas potabilizadoras, que reduciría los costes del abastecimiento en más de 5.000 millones de pesetas.

Esta solución podría retrasar casi indefinidamente la traída de aguas del Ebro a Barcelona.

En suma, la potabilización es una técnica bien establecida y resultaría ilógico, casi suicida, volverle la espalda.

TABLA V

FIRMA	SEÑAS	NOTAS
Weir Westgarth	Edinburgh House; Princes Square, Glasgow, G. B.	Una de las más importantes en el campo MSF. Fabrica y monta equipos desde 1.000 a 27.000 m ³ /día. Suministra plantas para 27.500 m ³ /día por unos 500 millones de pesetas.
Aiton & Co. Ltd.	Stores Road; Derby, G. B.	Ofrece instalaciones desde 200 a 5.000 m ³ /día, MSF, MEE y VCE.
Auto Diesels Braby, Ltd.	Cowley Mill Road Uxbridge, Midd. G. B.	Fabrica unidades pequeñas, «llave en mano», para servicio inmediato. Capacidades de 450 litros a 13 m ³ /día.
British Aqua-Chem.	P. O. Box 4, Motherwell (Escocia), G. B.	Plantas MSF desde 114 a 9.100 m ³ /día (patentes americanas). Ofrece 6,35 kg de agua dulce por kg de vapor. Instalaciones listas para funcionar.
Buckley Taylor	Castle Iron Works Oldham, Lanc. G. B.	Instalaciones terrestres y marítimas MSF y VCE, con capacidades desde 4,5 a 5.400 m ³ /día. Su unidad de mayor éxito (y venta) es la «Aquaflash», de 36 m ³ /día.
Cair Rayner Ltd.	777 Commercial Road Londres E. 14 G. B.	Plantas marinas MSF, con las marcas «Vaflash», «Vavac» y «Movac», de 30 a 200 m ³ /día. Las «Movac» consumen calor residual de refrigeración de motores diesel.
George Clark & Sons.	Hawthorn Avenue Hull, G. B.	Plantas MSF hasta 1.150 m ³ /día. Especialista en equipos que aprovechan el calor residual de instalaciones diesel. También fabrica equipos «compactos» de 14 m ³ /día.
Cleaver Brooks	225 N. Gran Ave. Waukesha, Wis. U.S.A.	Plantas MSF y VCE de cualquier tipo y capacidad.
W. L. Badger	New York, U.S.A.	Plantas de destilación, incluso gigantes, de todo tipo.
Westinghouse	Pittsburgh Penn. U.S.A.	(Asociada con Weir en las actividades de destilación.)
Aerojet Corp.	Azusa, Calif. U.S.A.	El principal fabricante de plantas de ósmosis inversa, hasta 500 m ³ /día. También vende pequeñas unidades de 30 m ³ /día.
General Atomics	San Diego, Calif. U.S.A.	Está construyendo plantas de ósmosis de hasta 40 m ³ /día y trabaja en colaboración con la OSW.
Havens Inc. Richfield Oil	San Diego, Calif. U.S.A.	Ha desarrollado un nuevo tipo de tubo-membrana para equipos osmóticos. Fabrica unidades pequeñas (1.000 litros/día).
E. I. Du Pont	Wilmington, Delaware, U.S.A.	Activa en el campo osmótico desde 1966. Posee la patente U.S.A. 3.246.764 sobre tubos porosos de alta producción. También fabrica pequeñas unidades de destilación solar.

(Continúa)

FIRMA	SEÑAS	NOTAS
William Boby Co.	Rickmansworth. Hertfordshire. G. B.	Plantas de electrodiálisis desde 100 a 20.000 m ³ /día. Para aguas con 6.000 p.p.m. de sales (máximo).
Simon Carves	Cheadle Heath; Stockport. Cheshire. G. B.	Plantas de congelación desde 500 litros/día hasta 5.000 m ³ /día. Suministra generadores eléctricos para las plantas.
Babcock Wilcox	2-4 Fitzroy Street. Londres W1P 5AD. G. B.	Plantas de ósmosis inversa y membranas para depuración de aguas. Equipos portátiles en régimen de alquiler. Gama de 4 a 35 m ³ /día.
Paterson Candy	21 The Mall. Londres W5. G. B.	Ósmosis inversa. Fabrica plantas piloto en colaboración con UKAEA.
Bristol Aerojet	—	(Asociada a Aerojet Corporation).
American Machine	—	(Asociada a George Clark). Su unidad principal es la «Aquafresh» para 0,4 a 380 m ³ /día.
United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA)	11, Charles II St. Londres SW1. G. B.	Investiga cuatro procesos básicos: MSF, congelación, ósmosis inversa y electrodiálisis. Tiene en proyecto plantas mixtas nucleares de 300 MW y 540.000 m ³ /día.
National Eng. Lab. (NEL)	East Kilbridge. Escocia. G. B.	Estudia las propiedades del agua, vapor, condensación, viscosidad y bombas.
Office of Saline Water (OSW)	Departamento de Interior. Washington, D. C. U.S.A.	Entidad federal que centraliza todas las investigaciones sobre potabilización en U.S.A. Posee plantas de demostración en Texas, California, Dakota del Sur y Nuevo Méjico.
Water Research Association (WRA)	Ferry Lane. Medmenham. Marlow. G. B.	Entidad oficial. Optimización de costes del agua por empleo combinado de la desalinización y abastecimiento convencional. Ha realizado trabajos para la comarca de Barcelona.
Universidad de Glasgow	Glasgow W2. Escocia. G. B.	Estudia ósmosis, electrodiálisis y destilación solar (Profesor R. S. Silver).
Universidad de Birmingham	P. O. Box 363. Birmingham 15. G. B.	Ósmosis inversa (Doctores J. W. Carter y T. R. Bott). Departamento de Ingeniería Química.
Negev Inst. for Arid Zone Res.	Beersheva. Israel	Investigaciones sobre desalinización (electrodiálisis y MSF). Estudios sobre riegos agrícolas (Dr. R. Matz).
Instituto de Merceologia	Universidad de Bari. Italia	Destilación solar (Prof. G. Nebbia).
Huntingdon Research Centre	Dr. Lionel E. Mawdesley. G. B.	Entidad dedicada a estudios de polución del agua: petróleo, sales, detergentes, pesticidas, fungicidas. Ensayos de toxicidad. (Ver: «Spectrum», núm. 81, pág. 7, 1971).
Yale Applied Science	Yale University. U.S.A.	Investigaciones muy extensas sobre el agua de mar. Fórmulas y recetas para la obtención de «agua de mar sintética» para experimentación (Dr. Tallmadge).
Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua	Paseo de San Juan, 39. Barcelona. Serrano, 23. Madrid.	Entidad civil dedicada a promover investigaciones y estudios sobre el agua. Editor de la revista bimestral «Agua».
Firmas españolas	Algunas empresas españolas dedicadas al tratamiento de aguas potables son: Aguas de Levante, S. A. (Barcelona); Bastos Ingenieros (Madrid); Degremont, S. A. (Bilbao); Depuración de Aguas, S. A. (Bilbao); Infilco Española (Madrid); La Promotora Industrial, S. A. (Barcelona); Purificadores de Agua, S. A. (Barcelona); Astilleros del Cadagua (Bilbao).	

Bibliografía

- (1) LAORDEN, J., y TOBIO, J. M.: **Potabilización del agua de mar**. Monografía núm. 204 del I.E.T.c.c., 73 págs. Madrid, 1960.
- (2) **La desalinización ante los problemas de abastecimiento de agua**. Serv. Brit. Inf. Londres, 1970.
- (3) **Uso del agua en U.S.A. 1900-1980**. Depart. Comercio, 1960.
- (4) OTHMER, D. F.: **Desalination**. Chem. Proc. Eng., 120, marzo 1965.
- (5) GIRELLI, A.: **Fresh water from the sea**. Milán, 1965.
- (6) CARR, K.: **Chem. Eng. News**, 31, febrero 25, 1963.
- (7) **La desalinización ante los problemas de abastecimiento de agua**. Loc. cit., pág. 95.
- (8) BELL, D. A.: **Chem. Proc. Eng.**, 113, marzo 1965.
- (9) KOENIG, L.: **J. Am. Water Works Ass.**, 845, julio 1959.
- (10) BOZZA, G.: **Fresh water from the sea**, pág. XIX, Milán, 1965.
- (11) DELYANNIS, A.: **Chim. Ind.**, 363, abril 1964.
- (12) MATZ, R.: **Fresh water from the sea**, pág. 87, Milán, 1965.
- (13) RICKLES, R. N.: **Membranes. Technology and Economics**. Noyes Dev. Corp. New Jersey, 1967.
- (14) WILSON, J. R.: **Demineralization by electro dialysis**. Butterworths, Londres, 1960.
- (15) Paseo de San Juan, 39. Barcelona.
- (16) McDERMOTT, J.: **Desalination by distillation 1971. Recent developments**. Noyes. Dev. Corp., New Jersey, 1971.
- (17) JEBENS, R. H.: **Fresh water from the sea**. Loc. cit., pág. 117.
- (18) TALLMADGE, J. A.; BUTT, J. B., y SOLOMON, H. J.: **Minerals from sea salt**. Ind. Eng. Chem., 44, julio 1964.
- (19) VROMEN, B. H.: **Dialysis, a sleeper**. Ind. Eng. Chem., 20, junio 1962.
- (20) FARRELL, J. B., y SMITH, R. N.: **Process applications of electro dialysis**. Ind. Eng. Chem., 29, junio 1962.
- (21) RICKLES, R. N.: Loc. cit., págs. 79 a 131.
- (22) NEBBIA, G.: **Fresh water from the sea**. Loc. cit., página 77.
- (23) Investigación propuesta por la Atomic Energy Authority (UKAEA), Londres, 1970.
- (24) MATZ, R.: Loc. cit., pág. 106.
- (25) MAWER, P. A., y SHERRIFF, S. D.: **La desalinización como alternativa al abastecimiento de Barcelona**. Revista «Agua», 67, septiembre-octubre 1970. El trabajo fue realizado por la WRA (ver apartado 6).

résumé

Potabilisation de l'eau de mer

J. M. Tobío, Professeur de recherche (I.E.T.c.c.)

Dans ce travail, l'auteur essaie d'actualiser une question qu'il a déjà posée (en collaboration) en 1960. Il désire mettre à jour un sujet de grand intérêt pour les architectes, urbanistes, sociologues, techniciens municipaux et, en général, pour le public intéressé: quelle est la disponibilité d'eau abondante et pure là où elle est nécessaire.

L'auteur passe en revue les progrès dernièrement réalisés dans les techniques de dessalement et fournit des données sur les coûts et consommations, ainsi qu'un large tableau qui peut servir de guide aux techniciens pour qui se pose ce genre de problèmes.

summary

Sea Water Potabilization

J. M. Tobío, Research Professor (I.E.T.c.c.)

This paper aims to bring up-to-date a matter the author has already dealt with (with others) in 1960 and which is a topic of great interest for architects, urban planners, sociologists, specialized municipal personnel and, in general, the public interested in this matter: namely, the availability of large supplies of pure water wherever needed.

A review is made of the latest advances in desalination techniques and cost and consumption data is included along with a detailed table which can serve as a directory for specialists dealing with problems of this type.

zusammenfassung

Trinkbarmachung des Meerwassers

J. M. Tobío, Prof. für Forschung (im C.S.I.C.)

Mit dieser Arbeit unternimmt der Autor den Versuch, ein von ihm (und anderen Mitarbeitern) bereits 1960 behandeltes Thema auf den neuesten Stand zu bringen. Dieses Thema ist von grossem Interesse für Architekten, Städtebauer, Soziologen, Gemeindetechniker und allgemein für die betroffene Öffentlichkeit, denn es geht hierbei um die Verfügbarmachung von reinem und reichlichem Wasser dort, wo es benötigt wird.

Der Autor gibt einen Überblick über die jüngsten Fortschritte in den Verfahrenstechniken der Entsalzung und macht Angaben über Kosten und Verbrauch. Eine ausführliche Tabelle kann als Richtschnur dienen für jene Techniker, die sich mit dieser Art von Problemen konfrontiert sehen.