

LA ENERGIA NUCLEAR Y LA DESALINIZACION DEL AGUA DEL MAR

Por FEDERICO GODED ECHEVERRIA

Catedrático de Física e Ingeniería Nuclear de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

CARMELO CHUECA GOITIA

Catedrático de Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Bilbao.

En las pasadas jornadas del Forum Atómico Español presentaron los autores el presente trabajo, en el cual se hace una puesta a punto del problema de la desalinización del agua de mar, exponiéndose brevemente los distintos métodos existentes. Después, los autores estudian las ventajas que se derivan de utilizar para este fin y como fuente de energía, la nuclear. Finalmente, los autores, y ante las numerosas peticiones de información que han recibido, incluyen una completa lista de referencias.

Introducción.

El problema de la desalinización del agua del mar ha adquirido una gran actualidad, debido fundamentalmente a los grandes avances técnicos conseguidos en los últimos años en este campo, avances que permiten ya la producción de agua potable y de riegos, a costos competitivos con los clásicos en numerosas áreas de diversos países. Conviene ya desde el comienzo, señalar el hecho de que en este campo los precios clásicos varían mucho más que en otras producciones, ya que en ciertas áreas la ausencia de agua es prácticamente total, y es preciso transportarla desde grandes distancias y, a veces, utilizando diversos y costosos medios.

Y, en algunos casos, como por ejemplo en los barcos y submarinos, el problema que se plantea inicialmente es ya el de la producción de agua desalinizada, ya que no se puede siquiera considerar el transporte o el almacenamiento.

Por todo ello, las sucesivas reducciones que el precio del metro cúbico de agua desalinizada va experimentando, amplían considerablemente el área de aplicación de sus diversos métodos de producción.

Notas históricas.

La desalinización por medio de la energía solar se ha utilizado desde hace mucho tiempo. La primera unidad de este tipo se puso en explotación en Chile en 1883. Aun hoy en día, se sigue utilizando la energía solar para conseguir pequeñas cantidades de agua

potable; pero la producción de agua a escala industrial es muy reciente y se efectúa por diversos métodos y utilizando otras fuentes de energía.

En la actualidad se produce más de 58×10^3 m.³ por día.

En la tabla siguiente se indica la situación y la producción diaria y la clase de las plantas más importantes del mundo.

UBICACION	Capacidad m. ³ /día	CLASE
1. Aruba (Caribe)	13.200	Evaporación. Tubo sumergido.
2. Welkom (Sud Africa)	11.300	Electrodialisis.
3. Kuwait	9.500	(Flash). Evaporación instantánea.
4. Kuwait	9.500	Flash.
5. Curaco (Caribe) ...	3.785	Tubo sumergido.
6. Nassau (Bahamas).	4.550	Evaporación. Tubo sumergido.

Además de las anteriores plantas de producción diaria relativamente elevada, existen otras muchas de menos capacidad instaladas en diversas islas, en zonas desérticas o en barcos. En Gibraltar, por ejemplo, existe una pequeña de 760 m.³/día, del tipo de evaporación instantánea (flash) y en la Isla de Lanzarote (Canarias) se encuentra en instalación otra pequeña planta. Pero el precio de producción del me-

tro cúbico de agua en todas estas plantas es muy elevado. Su construcción ha sido obligada, o bien por no existir otra alternativa, o bien por razones políticas. Para conseguir precios más aceptables se comenzó en el año 1958, en Estados Unidos, un programa de investigación, a largo plazo, suplementado por otro de mayor envergadura y a corto plazo, que compren-

día esencialmente la construcción de cinco plantas piloto, denominadas de "demostración", que utilizarían los métodos de desalinización que aparecían en aquel momento como más prometedores, de acuerdo con las investigaciones ya realizadas.

La situación actual de este programa de construcción de plantas piloto se indica en la tabla siguiente:

UBICACION	Capacidad m. ³ /día	CLASE	SITUACION
Freeport (Texas)	3.785	L. T. V. Se alimenta con agua de mar.	Inaugurada el 21 junio 1961.
San Diego (California)	3.785	Flash (efecto múltiple). Se alimenta con agua de mar.	Inaugurada el 10 marzo 1961.
Webster (South Dakota)	950	Electrodialisis. Se alimenta con agua artesiana (1.800 p.p.m. de sales).	Inaugurada el 20 octubre 1961.
Roswell (New México)	3.785	Circulación forzada. Compresión del vapor. Se alimenta con agua artesiana (24.000 p.p.m. de sales).	En construcción.
Wrightsville	950	Congelación. (Se alimentará con agua de mar.)	Contratada en julio 1963. Proyectada por Lummus Company. N. Y.

Pasemos ahora a reseñar la magnitud del problema a resolver, así como los métodos más importantes hasta ahora considerados.

El problema de la desalinización. — Puesto que el agua de mar contiene sales disueltas y el agua, tanto para beber como para usos industriales o agrícolas, debe poseer un contenido menor de sales, parece conveniente, para fijar los términos del problema, indicar los porcentajes de sales tolerables para cada uso y los que contiene el agua del mar. Estos porcentajes son los especificados en la tabla siguiente:

	PPM de sales disueltas
Condiciones mínimas requeridas al agua potable	1.000
Agua potable normal	500
Agua de riegos	1.200
Aguas artesianas	5.000 (aprox.)
Valores extremos en el agua del mar.	25.000 a 50.000
Valor medio en el agua del mar	35.000

Para completar el cuadro se debe señalar la magnitud de la energía necesaria para separar las sales del agua. En el caso del agua de mar normal, es decir, con una salinidad igual a la media, la energía que se necesitaría teóricamente es 0,74 kWh./m.³, suponiendo que el proceso pudiera realizarse en un tiempo infinito y en condiciones ideales. Como éste no es el caso en la realidad, y además es preciso consumir energía en bombas y otros requisitos, el consumo de energía mínimo teórico es de 1,19 kWh. por metro cúbico. Ahora bien, todos los métodos utilizados hasta ahora consumen una cantidad de ener-

gía mayor de esta cantidad mínima teórica. Un factor que influye en el consumo de energía es la composición de las sales disueltas. Por ello, conviene señalar que las cifras anteriores se refieren a un agua de mar media, con la siguiente composición de sus sales:

	PPM
NaCl	27.213
MgCl ₂	3.807
MgSO ₄	1.658
CaSO ₄	1.260
K ₂ SO ₄	863
CaCO ₃	123
MgBr ₃	76
	35.000

A continuación se describen esquemáticamente los procesos más simples y los más empleados para desalinizar el agua del mar.

Métodos de desalinización.

Destilización simple. — En este método una fuente de calor es aplicada a un tanque de agua de mar (figura 1.^a). Se produce así vapor de agua puro, el cual es posteriormente enfriado en un condensador para convertirlo en agua. Este proceso es poco conveniente, ya que se desperdicia una cantidad considerable de energía, por lo cual el consumo de energía en este proceso es unas 1.000 veces superior al calcu-

lado teóricamente, según las leyes de la termodinámica y anteriormente citado.

Varias modificaciones de este método han sido propuestas para reducir el consumo de energía. Algunas de las modificaciones propuestas reducen este consumo hasta unos 2,63-3,94 kWh./m.³.

Destilación múltiple.— Así, por ejemplo, en este

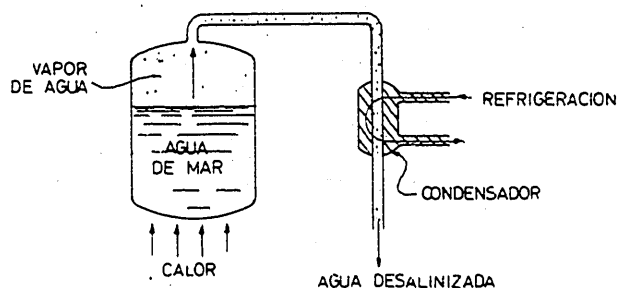


Figura 1.^a.

método, que se basa, como en el anterior, en separar las sales realizando el cambio de la fase líquida a la fase vapor, el proceso se realiza en varias etapas sucesivas (fig. 2.^a). De esta forma, el calor latente de condensación liberado al condensarse el vapor de agua es utilizado para la evaporación en la etapa siguiente. Consideremos la primera vasija A. El vapor de agua puro penetra por la parte superior.

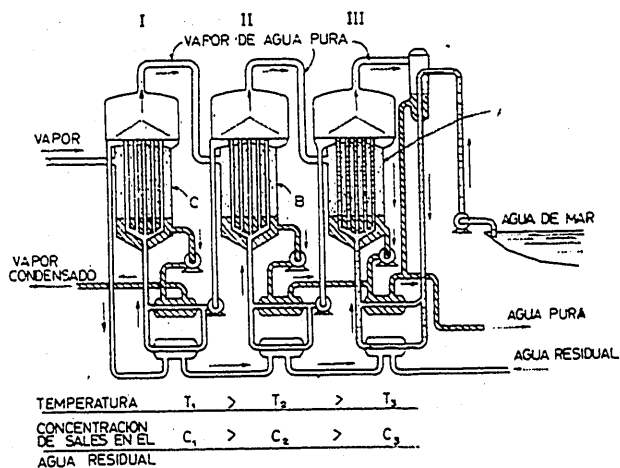


Figura 2.^a.

se condensa, y el agua desalinizada es extraída por la parte inferior. Una serie de tubos atraviesan la parte central, por los cuales asciende el agua salina, la cual absorbe el calor liberado por el agua desalinizada al condensarse. Al llegar a la parte superior de la vasija, parte de ella se evapora, separándose así las sales, y la parte de ella no evaporada y, por consiguiente, con mayor concentración de sales, es extraída para ser introducida en la vasija siguiente. El agua residual se indica en la figura con una intensidad de color creciente con la concentración de sales que contiene.

Para realizar este proceso es preciso instalar bombas de vacío, para mantener la presión de cada evaporador a presión ligeramente inferior a la del anterior, de forma que el agua hierva en el conjunto de la vasija B, a una temperatura ligeramente inferior a la de ebullición en el evaporador de la A, y así sucesivamente.

Para terminar, conviene señalar que la temperatura en la vasija A, así como en el evaporador, debe ser siempre inferior a 121° C., pues a esa temperatura comienzan a formarse depósitos en las paredes de la vasija y del evaporador.

Destilación con compresión.— El sistema ha sido muy usado para producciones a escala relativamente pequeña, principalmente en submarinos, ya que

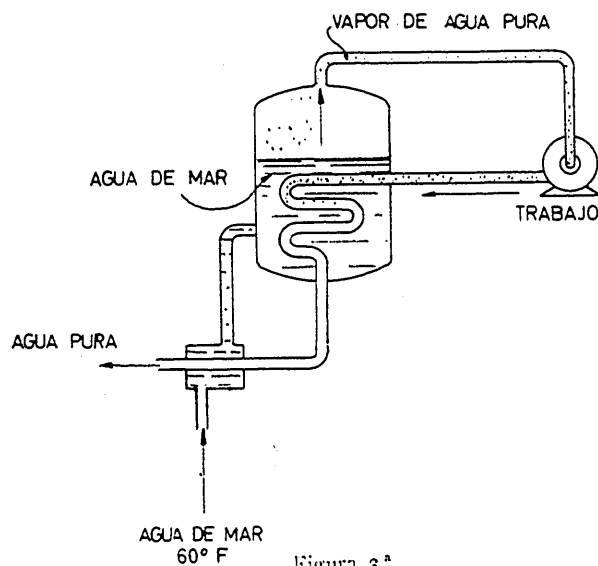


Figura 3.^a.

en barcos de superficie, que generalmente requieren producciones mayores, se usa frecuentemente el método de evaporación instantánea *flash evaporation* que se describe posteriormente.

Si en la vasija que contiene el agua salina y el vapor de agua pura (fig. 3.^a) se realiza una pequeña compresión, la temperatura subirá ligeramente y el calor así producido puede utilizarse para evaporar más agua salina. Así puede incrementarse la cantidad total de vapor producida sin añadir calor al sistema, aunque, desde luego, es preciso consumir energía en efectuar la compresión del vapor. La energía consumida en este método es del orden de unos 52,6 kWh. por metro cúbico.

Desde luego, hasta ahora solamente ha sido usado en instalaciones pequeñas, a pesar de ser bastante antiguo, pues fué presentado por primera vez en 1840.

Sin embargo, recientemente una nueva versión de este proceso, a la que se suele diferenciar de la anterior denominándola destilación con compresión a baja temperatura, presenta perspectivas más atractivas para ser desarrollada a gran escala.

En esta nueva versión, y con el objeto de aumentar la velocidad de transmisión del calor al agua, ésta se extiende en una capa delgada. Para ello se utilizan tambores rotativos de grandes dimensiones y en la superficie interior de los mismos se extiende el agua pulverizada a unos $51,5^{\circ}\text{C}$.

Posteriormente se efectúa una compresión del vapor de agua formado, el cual se hace circular sobre la superficie exterior del tambor con el fin de calentarla.

Este sistema, a causa de las bajas temperaturas

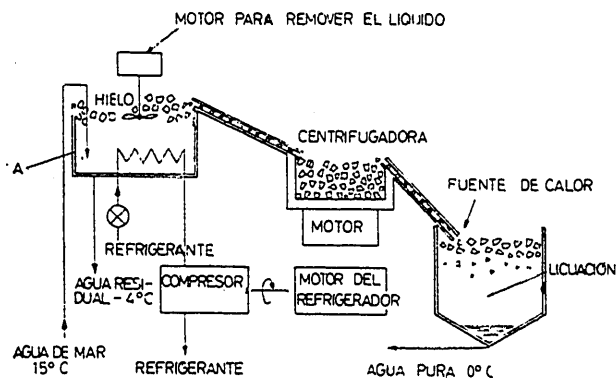


Figura 4.^a

utilizadas, parece que presenta pocas dificultades para ser utilizado en grandes instalaciones.

Evaporación instantánea. — Este sistema, relativamente moderno, y uno de los de mejores perspectivas, en vez de utilizar calor para realizar la evaporación emplea una reducción rápida de la presión. Así, pues, en este procedimiento, el agua salada se introduce en una cámara a menor presión de la atmosférica, en la cual parte del agua se evapora instantáneamente, puesto que la cantidad de vapor de agua que el aire puede tener depende de la presión y crece al disminuir ésta.

Este método, para ser eficaz, requiere el empleo de sucesivas etapas, y por ello, prácticamente todas las plantas de este tipo poseen sucesivas cámaras en serie.

Destilación a presión crítica. — El método está basado en el hecho de que si una solución salina es calentada al mismo tiempo que su presión es aumentada hasta la presión crítica, aparecen simultáneamente los dos estados, líquido y de vapor, permaneciendo las sales en el líquido de modo que su separación es llevada a cabo lo mismo que en los anteriores métodos, por separación de los dos estados.

Por el hecho de operar en la región crítica, la entalpía del vapor es pequeña y la mayor parte del calor puede recuperarse transmitiéndole a la solución salina que alimenta la instalación. La dificultad principal del método consiste en que la presión y temperaturas críticas de la solución salina son muy altas y no es posible alcanzarlas en la práctica. Sólo

es posible, pues, aproximarse a ellas elevando la presión por medio de bombas hasta unas 238 atmósferas y la temperatura hasta unos 321° ó 454°C . con objeto de obtener dos estados líquidos de alta y pequeña densidad. El contenido de sales de cada uno de ellos está entre 20 : 1 y 200 : 1, de modo que, como se ve, se consigue reducir el contenido de sales apreciablemente en cada operación; pero, como siempre, son precisas sucesivas etapas para alcanzar los porcentajes de sales admisibles anteriormente mencionados.

Congelación. — Todos los métodos hasta aquí mencionados producen la separación de las sales, llevando la solución salina del estado inicial líquido a otro final en el que coexisten el líquido y el gaseoso. En este método se hacen coexistir los estados líquido y sólido. Las sales permanecen en el líquido, y el sólido, es decir, el hielo debe estar libre de sales. La principal dificultad del método de congelación consiste en que, aunque el hielo formado no contiene sales disueltas, éstas aparecen en oclusiones en el interior del mismo, así como adheridas a su superficie. Así, pues, al congelarse la solución salina, aunque el hielo formado es de agua pura, permanecen en realidad sales, tanto en el interior como en la superficie del mismo, sales que es preciso separar posteriormente.

Conviene señalar que los costes de refrigeración son mayores que los de vaporización, pero ello está compensado en parte por el hecho de que los requerimientos de calor latente son siete veces menores cuando se usa congelación que cuando se usa vaporización.

En la figura 4.^a se indica el esquema teórico a usar. La solución salina original se introduce a unos 15°C . en una cámara A, donde se la enfría por medio de un circuito de refrigeración.

El hielo formado se acumula en la superficie de la cámara cuyo contenido se mantiene homogéneo, gracias a la acción de un motor que mantiene en movimiento la solución.

El hielo formado es extraído por la parte superior de la cámara A y enviado a una centrifugadora con objeto de eliminar las sales salinas que se han incorporado al mismo en oclusiones. El método de centrifugación para eliminarlas es el más empleado, pero no es el único, ya que también se eliminan a veces por filtración.

El contenido de sales del hielo después de la centrifugación es aproximadamente 1/20 del contenido original, por lo cual, si se detuviera aquí el proceso no podría usarse con agua de mar, cuyo contenido de sales debe reducirse, como hemos visto, en una proporción mayor.

Para continuar la reducción y bajar a menos 500 p.p.m. el contenido de sales es preciso eliminar más sales, haciendo pasar el hielo a través de una corriente de agua que circula en sentido contrario.

Con objeto de mejorar el rendimiento termodinámico del sistema, eliminando pérdidas de calor, se

utiliza el agua producida como refrigerante de la solución salina.

La energía total consumida en este proceso puede bajar hasta unos 2,1-2,63 kWh./m.³, lo que prueba que este método es de los más prometedores.

Extracción por disolventes.— Este método está basado en el hecho de que ciertas sustancias, como alcoholes, ácidos orgánicos, etc., son capaces de extraer agua pura de la solución salina. El esquema del proceso se indica en la figura 5.^a. Este sistema es, en general, menos eficiente que los procesos descritos, que utilizan la formación simultánea de los estados líquido y sólido o líquido y vapor, porque suele necesitarse gastar más energía en separar el agua del disolvente que en separarla de la solución salina y, además, es preciso tener en cuenta las pérdidas normales de disolvente. Como es preciso utilizar cantidades muy grandes del disolvente, incluso un porcentaje muy pequeño de pérdidas, se traduce al final en una pérdida importante.

Como se indica en la figura 5.^a, el disolvente se inyecta en la cámara A, en la cual entra simultáneamente la solución salina. El disolvente que contiene el agua pura se lleva a un intercambiador de calor, y posteriormente al separador B. Tanto el agua que sale del separador como la solución residual que se extrae de la cámara A contienen cantidades apreciables del disolvente que es preciso recuperar.

Absorción por sólidos.— Estos procesos sólo los mencionaremos, porque son similares al anterior pero más costosos, dado que requieren el uso de sólidos en vez de líquidos, y éstos, en general, son más caros.

Procesos osmóticos.— El uso de una membrana osmótica que permita el paso del agua, pero no el

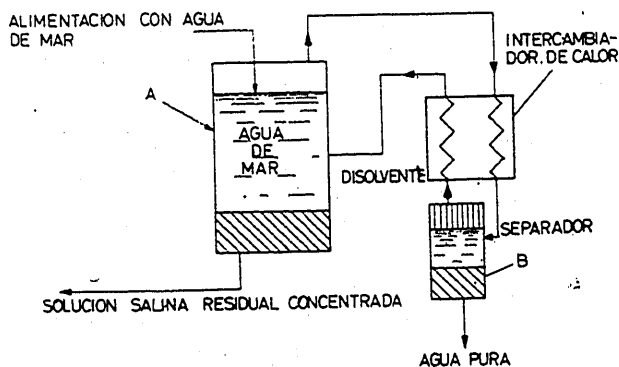


Figura 5.^a.

de la sal, permitirá también la producción de agua pura. Si se aplica una presión a la solución salina situada en la cámara (fig. 6.^a) el agua pura tenderá a pasar a la cámara, variando así la concentración de sales en ambos lados de la membrana. Pero si se aplica una diferencia de presión del orden de 23,8 atmósferas, el proceso se invierte y el agua pura saldrá de la solución. El principal problema aquí es

encontrar la membrana más apropiada desde el punto de vista económico. Parece ser que las mejores membranas se fabricarán a base de acetato de celulosa, ya que las experiencias hasta ahora efectuadas han mostrado que con membranas de este tipo en una sola etapa, es decir, en un solo paso de la solución a través de la membrana, se ha conseguido quitar a ésta un 95 por 100 de las sales contenidas.

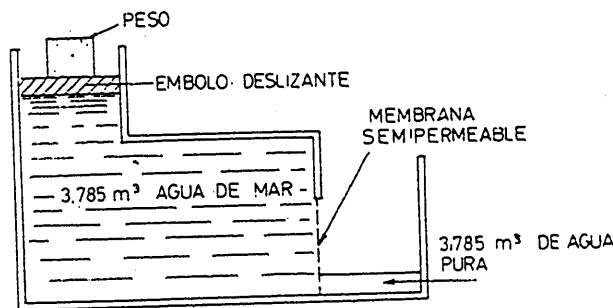


Figura 6.^a.

Intercambio de iones.— Este método es importante, entre otras razones, porque permite producir agua de una gran pureza. Hasta ahora se ha usado sólo en instalaciones de pequeña magnitud.

En este método la solución salina es puesta en contacto con resinas u otras sustancias en las cuales los iones de las sales son reemplazados por otros iones aceptables para el uso a que se destina el agua purificada así obtenida.

Las resinas usadas deben ser regeneradas, y una gran parte del coste total es debido a la gran cantidad de productos químicos consumidos en este proceso de regeneración de las resinas.

Electrodialisis.— Sin duda alguna, éste es uno de los más importantes métodos de producción de agua pura. También a veces se la denomina método de la membrana eléctrica.

El esquema de una instalación que haga uso de este método es el indicado en la figura 7.^a.

Merced a la existencia de membranas que son impermeables, o bien a los iones positivos, o bien a los iones negativos, es posible separar las sales del agua. Para ello bastará hacer pasar una corriente eléctrica por el recipiente A, el cual está dividido en compartimientos por membranas dispuestas de tal forma, que las permeables a los iones positivos alternen con las permeables a los iones negativos, como se indica en la repetida figura. De esta forma, los iones de las sales se reunirán en los compartimientos I, III, V y VII, y en los restantes compartimientos, o sea, el II, IV y VI, quedará agua desalinizada.

En este proceso se consumirá energía en los siguientes fines:

- Producción de iones positivos y negativos.
- En hacer circular la corriente.

c) En hacer circular la solución salina y el agua pura.

Evidentemente, en este método el consumo de energía es casi proporcional a la cantidad de sales presentes en la solución. El orden de magnitud de este consumo es de 2,63-5,26 kWh./m.³.

bajo la forma de energía eléctrica, y los costes, como vamos a ver en seguida, son muy distintos en uno y otro caso. Pero como se desprende claramente de lo expuesto en la parte II, algunos de los métodos allí descritos requieren una clase de energía determinada y no dejan opción alguna a este aspecto. Eso sucede,

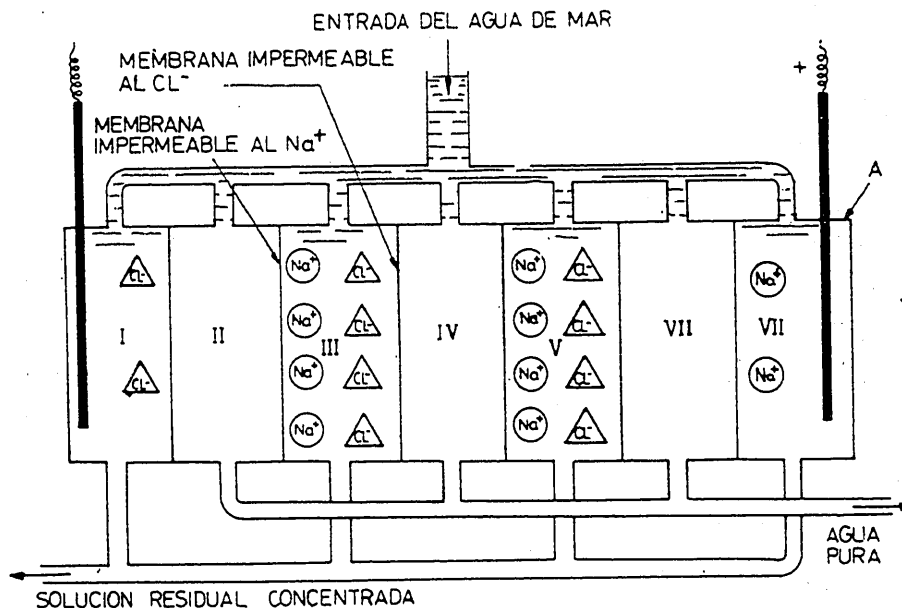


Figura 7.^a.

El problema de la energía.

Todos los métodos descritos requieren un cierto consumo de energía. Consideremos, para fijar ideas, una planta de $3,785 \times 10^6$ m.³/día. Como el consumo mínimo teórico es de 0,74 kWh./m.³, resultará que la planta considerada necesitará una potencia mínima de $0,74 \times 3,785 \times 10^6 / 24 = 116\,500$ kilovatios. Este es el mínimo teórico, pero todos los procedimientos considerados requieren, como hemos visto, al menos 2,63 kWh., con lo cual, la potencia real necesaria sería del orden de $3\,785\,000 \times 2,63 / 24 = 415\,000$ kW.

De las cifras anteriores se deduce que cualquiera que sea la clase y la forma de energía usadas en la planta — problemas a los que en seguida dedicaremos nuestra atención —, una central de producción de energía deberá ser construida aneja a la planta y prácticamente, para su uso exclusivo.

Además, la gran magnitud de la energía consumida eliminaría en este ejemplo prácticamente todas las posibles fuentes de energía distintas de la nuclear o el gas natural.

Ahora bien, es preciso examinar con atención cuál es la forma de energía más económica para la planta, pues ésta se puede consumir bajo la forma calor o

por ejemplo, con el método de las electrodialisis, el cual requiere evidentemente energía eléctrica.

Si la planta puede utilizar energía bajo la forma de calor, el precio de coste final de la energía consumida será más barato, ya que como media puede suponerse que el kilovatio-hora de energía eléctrica es cuatro o cinco veces más caro que el kilovatio-hora de energía calor. Así, por ejemplo, en U.S.A. el primero oscila entre 5 y 6 milésimas de dólar según la región, y el segundo, utilizando gas natural, puede bajar hasta una milésima de dólar.

En otros lugares, como por ejemplo España, la diferencia no es tan grande, ya que es preciso usar en vez de gas natural, carbón, uranio o, finalmente, petróleo importado.

Como consecuencia de todo lo anterior, se desprende que la situación geográfica de una planta de desalinización puede determinar sin ambigüedad el tipo de la misma o, dicho de otra forma, un cierto tipo de planta puede ser el más conveniente en un cierto sitio y no serlo en otro país o en otro sitio del mismo país.

Conviene puntualizar que el precio de la energía consumida es un sumando ciertamente importante del precio total del metro cúbico de agua producida, pero

no el único. En efecto, el precio del metro cúbico del agua producida en la planta, dependerá, como el de todo producto industrial, de cómo influyan en el mismo los siguientes costes:

- a) Coste de construcción de la planta.
- b) Coste de la energía consumida.
- c) Coste de las materias primas utilizadas.
- d) Coste de la mano de obra y mantenimiento.

En consecuencia, no pueden de antemano rechazarse métodos como el de la electrodiálisis, simplemente porque el coste del apartado b) sea mayor, pues lo que interesa es el coste final del metro cúbico de agua desalinizada producida teniendo en cuenta todos los sumandos que influyen en el mismo.

No obstante, es preciso, antes de seguir adelante, insistir sobre un punto sumamente importante: cómo repercute la escala de la instalación en el precio final.

Existen métodos que, como se indicó en la parte II, no son adecuados para la producción industrial a gran escala de agua desalinizada. Como el consumo de energía es un sumando importante del precio final del metro cúbico de agua desalinizada, y el coste de la energía disminuye, como es bien sabido, al aumentar la potencia de la Central, de aquí se sigue que el precio del metro cúbico de agua desalinizada bajará al aumentar el tamaño de la planta. En consecuencia, y cualquiera que sea el combustible que se utilice —carbón, petróleo o uranio— y cualquiera que sea el método de desalinización que se emplee, el precio del metro cúbico de agua desalinizada disminuirá con el tamaño de la planta.

Ahora bien, esta tendencia general será más o menos acentuada, según sea el método de desalinización y la clase de energía usados.

Este punto se estudia en la parte IV, en la cual se pone de manifiesto que la energía nuclear, para la producción de grandes volúmenes, es la más conveniente. En tal medida es así que, como dijo Mr. A. Weinberg recientemente en Madrid (1), es prácticamente la única energía posible a utilizar, monopolizando así este tipo de energía un campo de enorme interés en el futuro, especialmente en nuestro país.

La evaporación usando energía nuclear.

Aspectos generales del problema. — Conviene en este momento puntualizar que los únicos métodos de desalinización a considerar para producciones en gran escala son los que utilizan la energía-calor. Las razones de ello han sido suficientemente señaladas en los apartados anteriores, por lo que ahora sólo nos bastará recordar que al transformar la energía calor en eléctrica, el rendimiento, como es sabido, es del orden de un 30 por 100 en la actualidad y no podrá pasarse en muchos años del 40 por 100.

(1) Coloquio celebrado en la J.E.N. en octubre de 1962.

De aquí se deduce que, cuando, como en el caso presente, existen varias alternativas y algunas de ellas permiten la utilización de la energía en su forma más barata, es decir, bajo la forma calor, no puede haber duda en la elección. Por todo ello, aquí sólo se considera la aplicación de la energía nuclear en la desalinización por vaporización.

De la misma forma que el kilovatio-hora resulta más barato al aumentar el tamaño de la Central, debido a una serie de factores bien conocidos; la caloría resulta también más barata al crecer la potencia del reactor. Pero el hecho decisivo que determina el monopolio de la energía nuclear en este dominio es que esta tendencia continúa mucho más allá de las máximas potencias consideradas hasta la fecha en reactores nucleares y que estas enormes potencias sería posible alcanzarlas por medio de un solo reactor nuclear.

En primer lugar, existen mercados posibles tan amplios como se quieran en numerosas partes del mundo, desde los U. S. A. a ciertas áreas de nuestro país. No existe, pues, por ahora ningún techo fijado por el mercado, en lo que respecta a la potencia a instalar.

Cuando se considera la producción de energía eléctrica nuclear, son varios los factores que limitan la potencia máxima de la Central. En primer lugar, el mercado posible, con su curva de consumo, fija claramente un límite máximo a esta potencia. En segundo lugar, los productos fabricados, es decir, la energía eléctrica producida, no es posible almacenarla, y de aquí se sigue la necesidad de hacer funcionar en la base del diagrama de carga a las centrales nucleares y reservar las puntas a las hidráulicas con embalse.

Finalmente, en lo que a la potencia máxima a instalar se refiere, también es preciso considerar el efecto que sobre la red produciría la súbita puesta fuera de servicio de la Central.

Todos estos problemas cambian de aspecto en el caso que nos ocupa, porque aquí sí que es posible almacenar los productos fabricados, es decir, el agua; bien en embalses adecuados cercanos a la Central, bien en depósitos.

Pero queda entendido que en este caso los embalses sólo deben cubrir las paradas de la central, por avería, carga de combustible o inspección.

Finalmente, en este caso puede hacerse siempre funcionar al reactor en base, o sea, a su potencia nominal, durante las veinticuatro horas del día, obteniéndose así el máximo rendimiento de la instalación, y la súbita puesta fuera de servicio del reactor, no tendría más efecto que la interrupción de la producción, que gracias a las reservas previstas antes mencionadas no afectaría a los usuarios del agua.

Precios. — Los precios del agua en U. S. A. oscilan entre 60 y 20 céntimos de dólar para 1 000 galones en el momento actual. El precio del metro cúbico de agua en Madrid es actualmente de 1 peseta

por metro cúbico, pero este precio deberá aumentarse próximamente para poder hacer frente a las ampliaciones previstas.

En el estudio de P. H. Hammond (1) se deduce la ley de variación del precio del metro cúbico de

Capacidad de la planta en miles de galones/día	15		100		1.000	
	Con.	Nuc.	Con.	Nuc.	Con.	Nuc.
(en centavos de dólar)						
Coste de 1 m. ³	7,9	17,1	9,5	5,5	9,25	2,64
(en pesetas)						
Coste de 1 m. ³	4,74	10,26	5,70	3,30	5,55	1,58

Se ve aquí claramente que el tamaño de la instalación no afecta apenas al precio cuando se utiliza energía convencional, como carbón, petróleo o gas, y en cambio éste se reduce muy sensiblemente cuando se trata de la energía nuclear.

Conviene aquí insistir en un aspecto particularmente favorable a la energía nuclear y que no se refleja en el cuadro anterior. En todo reactor nuclear que utilice como combustible uranio, bien natural, bien enriquecido, se produce Pu.

En el momento actual el precio del Pu-239 fijado por la AEC americana es de 9 dólares/gr.

La cantidad de Pu producido en el reactor es variable con la clase de reactor y es máxima en los reproductores, los cuales producen más Pu que uranio 235 consumen. Por consiguiente, en el presente caso, aunque el Pu producido sea efectivamente un subproducto, éste no es ciertamente despreciable. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta el valor del Pu producido al evaluar el precio del metro cúbico de agua desalinizada, que figura en el cuadro anterior.

Para fijar ideas en lo que respecta al orden de magnitud de la producción de las plantas consideradas en el susodicho cuadro, conviene dar algunas cifras. El caudal de 3 785 000 m.³/día que permitiría obtener un precio de 2,64 centavos/m.³, que es equivalente a 44 000 litros/seg., es el caudal medio que se utilizó para abastecer Nueva York en 1950. (El caudal medio fué exactamente 3 720 000 m.³/día.) La conducción desde el río Colorado para abastecer el área metropolitana de San Diego y Los Angeles, es de 3 785 000 m.³/día. El consumo medio actual de Madrid es de 733 000 m.³/día. Si el destino del agua es para regadíos y se supone que se consumen 5,7 acre-feet al año, resultará que 3 785 000 m.³/día permitirán regar 81 000 Ha., o sea, aproximadamente la superficie de un cuadrado de 28 Km. de lado.

Clases de reactores posibles. — Conviene señalar desde el comienzo que puesto que el problema esencial aquí no es sino obtener del combustible la mayor

agua en función de la capacidad de la instalación, utilizando o bien energía nuclear con un reactor reproductor rápido, o bien energía convencional.

Estos precios son los indicados en la tabla siguiente:

cantidad posible de calor, será esencial que el reactor posea un factor de conversión alto, con el fin de que la producción de nuevo combustible permita compensar el consumo de uranio.

De aquí se sigue que los reactores ideales para esta función serán los reproductores, rápidos o térmicos.

Los primeros se encuentran actualmente en un estado de desarrollo más avanzado y, en consecuencia, los cálculos económicos basados en ellos ofrecen mayores garantías.

Un aspecto importante a considerar y sumamente favorable en lo que respecta a las posibilidades de la energía nuclear en este campo, es el hecho de que no es preciso alcanzar ni grandes presiones ni grandes temperaturas, como sucede en las centrales nucleares. En las que para aumentar el rendimiento termodinámico es preciso lograr las más altas temperaturas y presiones posibles.

Aquí, por el contrario, las presiones no crean problema alguno, puesto que prácticamente son inexistentes, como vimos, y las temperaturas tampoco son elevadas, puesto que han de permanecer siempre por debajo de 120° C., como se indicó en la parte II, ya que a esa temperatura comienzan a producirse depósitos en las superficies de los evaporadores y en las cámaras A, B y C de la figura 2.^a

Otro tipo de reactor muy conveniente para este fin sería, como señala Hammond (1), el de agua pesada y uranio natural. Las razones de ello son obvias: el combustible es el más barato posible y el factor de conversión con agua pesada el más alto posible.

Dado, además, que las temperaturas de trabajo aquí son considerablemente inferiores a las máximas tolerables por este combustible, es evidente que este tipo de reactor es también muy indicado para el presente fin. Otras ventajas adicionales de este tipo de reactor son el estado sumamente avanzado de su tecnología y la considerable experiencia práctica que se

(1) *Nucleonics*. Diciembre 1962.

(1) Ref. pág. 17.

posee de ellos. Es preciso, sin embargo, tener en cuenta que la potencia del reactor debe ser considerablemente superior a las consideradas hasta la fecha, pues para producir $3\,785\,000\text{ m}^3/\text{día}$ a $2,64\text{ centavos}/\text{m}^3$ se necesitará un reactor de unos $2,5 \times 10^4$ Mwc., es decir, de una potencia unas 25 veces mayor que el de Bodega Bay, que es el de mayor potencia hasta ahora en construcción en los U. S. A.

El problema de extraer el calor producido al ritmo a que es generado es, indudablemente, aquí el más importante si se considera un solo reactor y, evidentemente, razones de economía aconsejan uno en

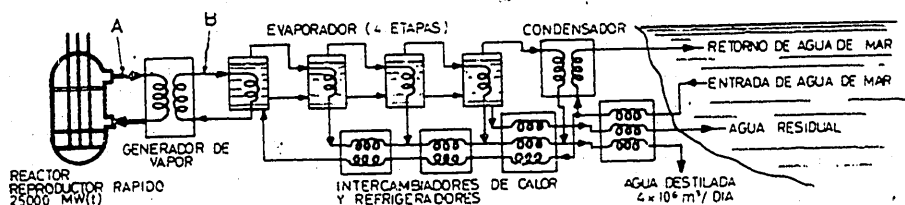


Figura 8.^a

vez de varios. Ello implicará el que este reactor tenga una forma geométrica que se aleje de la óptima desde el punto de vista nuclear, lo cual, por otra parte, no será grave inconveniente, dado que el uso de combustible natural o muy poco enriquecido, exigirá ya tamaños considerables, sobre todo usando formas geométricas alejadas de la esférica.

Así, pues, la forma geométrica del reactor vendrá determinada por el problema de la extracción del calor producido, no por consideraciones nucleares.

Esquema de la instalación. — Como ya hemos señalado, el uso combinado del método de destilación múltiple con la energía nuclear, permite evitar las pérdidas de energía inherentes al paso de la forma calor a la forma electricidad, y además, aprovechar el bajo precio de la caloría de origen nuclear, cuando se consideran producciones de calor muy elevadas.

Pero para que esta combinación sea verdaderamente interesante es preciso resolver satisfactoriamente todos los problemas termodinámicos y de transporte de calor que se presenten.

En la figura 8.^a se indica la instalación proyectada por R. P. Hammond para la producción de $3\,785\,000\text{ m}^3/\text{día}$ de agua desalinizada.

Lo expuesto en la parte II nos dispensa de insistir sobre los principios básicos de este esquema general y, por ello, ahora sólo nos detendremos en dos aspectos de esta instalación. Primeramente hemos de señalar la ausencia de presiones en toda instalación de este tipo.

En la tabla siguiente se indican las temperaturas a que aparecen burbujas en el agua pura a las distintas presiones:

Presión sobre la superficie en el agua	Temperatura
0,02 veces la atmosférica normal	15° C.
0,06 » » » »	38° C.
0,3 » » » »	65° C.
0,5 » » » »	82° C.
1,0 » » » »	100° C.
1,22 » » » »	102° C.
4,60 » » » »	149° C.
17,0 » » » »	204° C.
46,0 » » » »	260° C.
105,0 » » » »	315° C.
211,0 » » » »	372° C.

Cuando en vez de agua pura se usa agua de mar, la temperatura de ebullición se eleva uno o dos grados solamente. Por consiguiente, la diferencia desde este punto de vista es apenas apreciable.

Como por las razones antes apuntadas de evitar la formación de depósitos la temperatura ha de ser inferior a 121°C ., la presión, como se ve en la tabla, ha de ser casi la atmosférica, o menos si se trabaja en varias etapas.

No existirán, pues, aquí problemas derivados de la existencia de presiones elevadas, y como es bien sabido, estos problemas son particularmente importantes cuando a ellos se les añaden los producidos por las exigencias de tipo nuclear que limitan extraordinariamente el número de materiales a usar, así como sus cantidades, es decir, los espesores. Este aspecto, de suma importancia práctica, ha de repercutir muy favorablemente en el desarrollo de instalaciones de desalinización con energía nuclear.

Desde luego, el circuito A primario de refrigeración del reactor, si éste es distinto del B como en el caso de la instalación que comentamos, tendrá que tener una temperatura algo superior, pero claramente se ve que en ningún caso ésta supondrá problemas de presiones en este circuito, máxime si no se utiliza agua.

Por otra parte, si se desea recuperar la mayor parte del calor contenido en el vapor de agua, y aumentar el rendimiento termodinámico de una instalación de destilación, en vez de instalación simple, se debe usar una múltiple como la indicada en la figura 2.^a de la parte II o en la figura 9.^a

En esta última figura se indican las presiones y temperaturas de las etapas.

En la instalación de la figura 8.^a se siguen, como se ve, idénticos principios. Las presiones han de ser necesariamente del mismo orden y estar comprendidas entre 1,22 y 0,5 atmósferas.

El número de etapas a considerar influye mucho

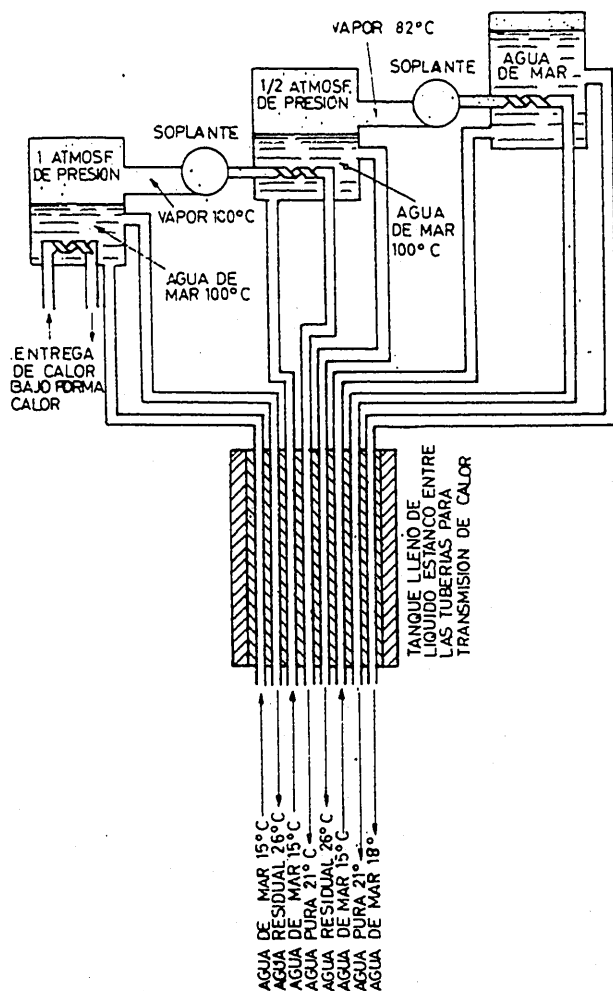


Figura 9.^a.

en el coste del metro cúbico de agua producido, como pone de manifiesto la figura 10, de la cual se deduce que el número óptimo es 4, aunque quizá posteriores perfeccionamientos en los evaporadores (1) exijan aumentar este número a cinco o seis.

La energía eléctrica como subproducto. — **Consideraciones finales.** — La producción de agua desalinizada ha entrado en un período de actualidad en los dos últimos años, y probablemente las investigacio-

(1) F. C. Standifort y H. F. Bjork: "Evaporation of sea water in ling-tube vertical evaporator", en *Saline water conversion*, pág. 115. Advances in Chemistry series núm. 27 (1961).

nes y experiencias en curso actualmente en diversos países se incrementarán en intensidad en el futuro, y ello por una razón muy simple; las necesidades de agua crecen geométricamente en todas las zonas industrializadas, y por primera vez en la historia de la humanidad va a ser posible próximamente producir agua desalinizada por medio de la E.N. y a precios asequibles. Cuando se consideran potencias tan elevadas como las mencionadas aquí, es decir, del orden de 10^4 ó 10^5 MWC, dos posibilidades nuevas aparecen. La primera y menos importante es la de proyectar y construir la instalación de tratamiento de combustible usado *in situ*, evitándose así el transporte de materiales radiactivos y adecuando la instalación de tratamiento a la clase especial de combustible a usar en la Central.

La segunda y mucho más importante es la de producir energía eléctrica como subproducto y a precios verdaderamente revolucionarios, del orden de 2 a 3 mill./kWh., precios que han atraído inmediatamente la atención de las grandes empresas tradicionalmente interesadas en este problema de producción de energía (1).

Esta perspectiva, por no ser todavía inmediata, no es menos trascendental, sobre todo para los países como el nuestro, pobres en recursos energéticos y con extensas zonas necesitadas de agua, que podrían industrializarse y transformarse profundamente si dis-

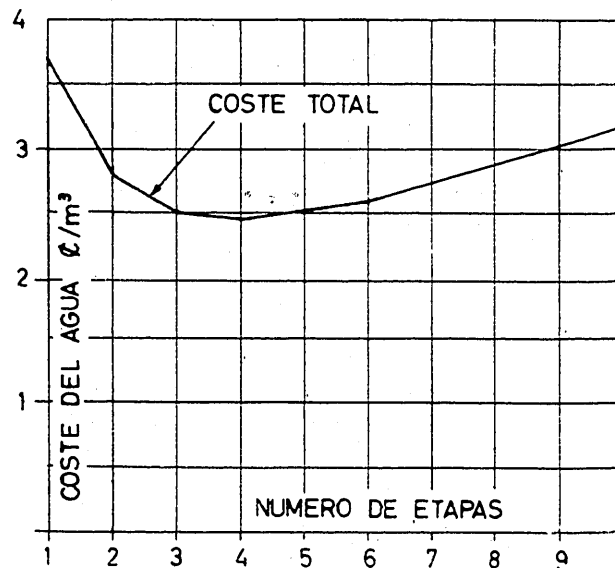


Figura 10.

pusieran simultáneamente de energía y agua baratas y en grandes cantidades.

Situación del problema en España. — En nuestro país los precios son también muy variables. En Madrid, el precio actual para todos los usuarios es de

(1) Nuclear Power. Noviembre 1962, pág. 42.

1 pta./m.³, pero con este precio será difícil financiar las importantes obras de ampliación que son precisas, por lo que este precio será considerablemente aumentado en un próximo futuro. En el precio del agua para riegos no pesa la distribución por tuberías enterradas ni los depósitos, y por ello es más barata, cuando la hay. Así, por ejemplo, en Valencia, se les entrega a algunas comunidades de regantes a 0,187 pesetas/m.³, siendo por cuenta de éstas los gastos de distribución. Pero extensas zonas, potencialmente regables, no disponen de agua alguna o consumirían mucha más si pudieran disponer de ella.

Pasando a considerar las necesidades de agua de las regiones españolas que por su carencia casi absoluta o por su escasez, unida a la buena calidad de sus tierras, merecen toda nuestra atención y, por tanto, la consideración de la energía nuclear como medio para ofrecerles ese don del que hoy carecen.

El problema agobiante de Almería es la falta de agua, y sus ríos son, las más veces, ramblas, es decir, vaguadas secas por las que se transita como si fuesen caminos. Sólo tres ríos merecen especial mención: el Almanzora, nacido en la sierra de Baza; el Almería, constituido por dos ramas procedentes del Norte y del Sur de Sierra Nevada, que se llaman ríos Nacimiento y Andarax, respectivamente, y el río Grande de Adra, que viene de Sierra Nevada. Se busca agua procedente del subsuelo y existe un proyecto de transvase de parte del caudal de los ríos Castril y Guardol, de la cuenca del Guadalquivir, que convertiría en un vergel parte de la provincia; pero todavía queda una gran extensión que podría ser regada con el agua procedente del mar una vez desalinizada.

Al sur de la huerta murciana, regada por el Segura, se encuentra el Campo de Cartagena; aquí existen todavía unas 50 000 Ha. de terreno, aparte de otras 50 000 Ha. a regar del Segura, adecuadas para el laboreo que podrían beneficiarse del agua de mar desalinizada. Se estima que las necesidades de agua para riego en esta zona son de unos 250-300 millones de metros cúbicos por año.

En la parte del Mar Menor existe también un grave problema de agua; en este caso el interés principal por el agua no es debido al regadío, sino al creciente interés turístico de la zona, donde se proyecta una zona turística de 20-30 mil personas, con un consumo promedio de unos 200 litros/día por persona, como mínimo.

En Mallorca la escasez de agua es también notable, pues la escasez de precipitaciones acuosas hace imposible la existencia de ríos, llegando a pagar los hoteles hasta 30-40 ptas./m.³ de agua destilada en plantas pequeñas y 15-20 pesetas en las grandes.

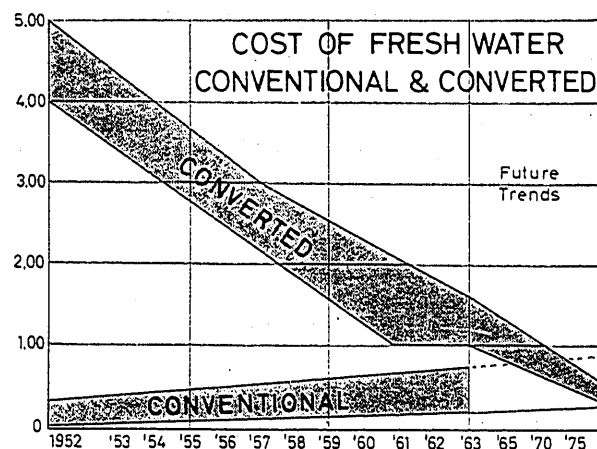
En Canarias el problema es más grave, las lluvias son escasas y presentan el índice característico de los países tropicales. Si a éstos se une la topografía quebrada del terreno y la naturaleza porosa del suelo volcánico, quedará explicado por qué no existen ver-

daderos ríos ni auténticos arroyos, sino únicamente efímeras corrientes de agua.

En la isla de Fuerteventura se pasan años enteros sin que llueva ni una gota, y varias veces ha tenido que ser abandonada la isla por hacerse imposible la vida a personas y animales. Aunque la escasez de aguas superficiales se compensa, en parte, con la abundancia de aguas subterráneas, cuyo aprovecha-

\$/1000 gal.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR



(Tomada del "SALINE WATER CONVERSION REPORT" del UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, Enero 1963)

Figura 11.

miento es objeto de las mayores atenciones, se da el caso de que se gasta más agua que la que llueve y, por consiguiente, el agua almacenada en el subsuelo tiende a agotarse.

Como dato final referente a Canarias, diremos que se llega a pagar por el agua de 10 a 20 ptas./m.³.

Otra zona española que ocupa nuestro interés es Ceuta, que con unos 70 000 habitantes, recibe su suministro de agua del territorio marroquí. Sus necesidades son de unos 2 000-4 000 m.³/día como mínimo para no tener necesidad del suministro marroquí.

Como se sabe, en Ceuta y en Lanzarote es donde más estudios se han hecho para instalar una planta de desalinización. La de Ceuta está siendo estudiada con la asistencia técnica de la Casa Werkspoor, con la colaboración de General Eléctrica Española y Baccok & Wilcox, y se cree que será de unos 9 000 m.³ por día. La de Lanzarote está siendo proyectada por Thermoflash.

En las demás provincias españolas, por existir ríos con caudales apreciables, resulta hoy día más económico traer el agua de ellos; pero los crecimientos del consumo son tales que en un futuro más o menos próximo se agotarán en todas ellas las disponibilidades de aguas utilizables fluyentes.

En lo que se refiere a U. S., la figura 11 refleja

claramente cómo el agotamiento de las reservas de agua naturales hará que en un porvenir inmediato los precios del agua desalinizada sean competitivos. Es evidente que las tendencias reflejadas en la anterior figura 11 serán aquí las mismas, por lo cual, en un porvenir próximo el uso del agua desalinizada se hará, necesariamente, cada vez más extenso.

Para terminar señalaremos que parece existe cierta dificultad en encontrar bibliografía sobre el tema, puesto que hemos recibido numerosas consultas en este sentido, tanto de nuestros alumnos como de compañeros de profesión. Por ello, incluimos a continuación una lista bibliográfica que aunque no pretende ser exhaustiva es bastante completa, pues incluye los libros, revistas y estudios fundamentales sobre esta cuestión, y que esperamos sirva a los interesados para ampliar los puntos que más les interesen.

Bibliografía.

1. *Production of Fresh Water from Sea Water*, Hearings before the Subcommittee on Irrigation and Reclamation of the Committee on Interior and Insular Affairs, House of Representatives, Eighty-Second Congress, Second Session on H. R. 6, H. R. 7, H. R. 6578, H. R. 6704 and H. R. 7185. June 19, 20, 22, 1951, and March 11, 1952. Serial número 15; U. S. Government Printing Office, Washington: 1952.
2. *Research Program on Conversion of Saline Water to Fresh Water*, Hearings before the Subcommittee on Irrigation and Reclamation of the Committee on Interior and Insular Affairs, House of Representatives, Eighty-Fourth Congress, First Session on H. R. 2104 and H. R. 2126. February 16 and 17, 1955. Serial No. 3; U. S. Government Printing Office, Washington: 1955.
3. *Saline Water Research Program*, Hearings before the Subcommittee on Irrigation and Reclamation of the Committee on Interior and Insular Affairs, House of Representatives, Eighty-Fifth Congress, First Session for the Purpose of Reviewing Progress Made Under the Saline Water Research Program. March 7 and 8, 1957. Serial No. 5; U. S. Government Printing Office, Washington: 1957.
4. *Saline Water Research Program* (Committee Print número 4). Report of Interior and Insular Affairs Committee, House of Representatives on Hearings for the Purpose of Reviewing Progress Made Under the Saline Water Research Program. April 1957; U. S. Government Printing Office, Washington: 1957.
5. *Saline Water Conversion*, Hearings before the Subcommittee on Irrigation and Reclamation of the Committee on Interior and Insular Affairs, United States Senate, Eighty-Fifth Congress, Second Session on S. J. Res. 135 and S. 3370 (Bills Pertaining to Saline Water Conversion Plants). March 20 and 21, 1958; U. S. Government Printing Office, Washington: 1958.
6. *Saline Water Program* (Research and Development), Hearings before a Subcommittee of the Committee on Government Operations, House of Representatives, Eighty-Fifth Congress, Second Session. April 15, 16, 17 and 18, 1958. U. S. Government Printing Office, Washington: 1958 (26941).
7. *Saline Water Program* (Research and Development), Thirty-First Report by the Committee on Government Operations, Eighty-Fifth Congress, Second Session. Union Calendar No. 1069, House Report No. 2551. August 12, 1958. Committed to the Committee of the Whole House on the State of the Union and ordered to be printed. U. S. Government Printing Office, Washington: 1958.
8. *Potential USE of Converted sea Water for irrigation in parts of California and Texas*, United States Department of the Interior; by the Bureau of Reclamation for Saline Water Conversion Program. Saline Water Research and Development Progress Report No. 3. April 1954. Interior-Duplicating Section, Washington, D. C. (61093).
9. *Demineralization of Saline Water With Solar Energy*, United States Department of the Interior; by George O. G. Lof for Saline Water Conversion Program (Under Contract No. 14-01-001-55). Saline Water Research and Development Progress Report No. 4. August 1954. Interior-Duplicating Section, Washington, D. C. (67289).
10. *Saline Water Conversion Report for 1956*, United States Department of the Interior. Washington, D. C. January, 1957 (10353).
11. *Saline Water Conversion. Annual Report of the Secretary of the Interior for 1955*, United States Department of the Interior. Washington, D. C. January 1956. Int-Dup. Sec., Washington D. C. (91703).
12. *Second Annual Report of the Secretary of the Interior on Saline Water Conversion*, January 1954.
13. *Third Annual Report of the Secretary of the Interior on Saline Water Conversion*, January 1955. Int-Dup. Sec., Washington D. C. (71407).
14. *Public Law 448*. Eighty-Second Congress, Chapter 568. Second Session, H. R. 6578; *An Act to provide for research into and development of practical means for the economical production from sea or other saline waters, of water suitable for*

agricultural, industrial, municipal, and other beneficial consumptive uses, and for other purposes, Approved July 3, 1952.

15. *Public Law 111*. Eighty Fourth Congress, Chapter 227. First Session, H. R. 2126; *An Act* to amend the Act of July 3, 1952, relating to research in the development and utilization of Saline waters. Approved June 29, 1955.
16. *Abstracts of Papers to be presented at the Symposium on Saline Water Conversion*, November 4-6, 1957. Conducted by the Office of Saline Water, U. S. Department of the Interior, National Academy of Sciences, National Research Council of the United States of America, Division of Physical Sciences, 2101 Constitution Avenue, Washington 25, D. C.
17. *Demineralization of Saline Waters*, A. Preliminary Discussion of a Research Program with an Outline and Description of Potential Processes and a Bibliography, United States Departments of the Interior, Bureau of Reclamation, Geological Survey, Bureau of Mines. Washington D. C. October 1952.
18. *Demineralization of Saline Waters. Progress and Current Research*, by Sheppard T. Powell; Prepared for presentation at the International Arid Lands Meeting, Albuquerque, New-Mexico, April 26-28, 1955, sponsored by the American Association for the Advancement of Sciences.
19. *A Working Plan for Appraising industrial Needs for Converted Saline Waters*, by Sheppard T. Powell; Prepared for Saline Water Conversion Program, United States Department of the Interior. January 1955.
20. *Conversion of Saline Water Into Fresh Water*, by Sheppard T. Powell; Prepared for Water and Power Resources Committee of the Los Angeles Chamber of Commerce. May 27, 1958.
21. *Potable Water Problem, St. Thomas, Virgin Islands*, Memorandum of the Chairman to the Members of the Committee on Interior and Insular Affairs, United States Senate. January 15, 1957. U. S. Government Printing Office, Washington: 1957 (86744).
22. *Saline Water Program, First Annual Report to the President and to the Congress*, United States Department of the Interior; Interior-Duplicating Section, Washington D. C. (34211).
23. *Saline Water Conversion Report for 1957*; United States Department of the Interior. January 1958.
24. *Results of Selected Laboratory tests of an Ionics Demineralizer*, by Ionics, Incorporated, Under Contract No. 14-01-001-52, For: Saline Water

Conversion Program, Research and Development. Report No. 1, United States Department of the Interior, April 1954.

25. *An Investigation of multiple-Effect Evaporation of Saline Waters from Solar Radiation*, by Battelle Memorial Institute, Under Contract No. 14-01-001-53, For: Saline Water Conversion Program, Research and Development Progress Report No. 2, United States Department of the Interior; December 1953.
26. *Solar Distillation of Sea Water in the Virgin Islands*, by George O. G. Lof; For: Saline Water Conversion Program, Research and Development Progress Report No. 5, United States Department of the Interior. February 1955.
27. *Research on Salt Water Purification by Freezing*, by Applied Science Laboratories, Inc., Under Contract No. 14-01-001-69; For: Saline Water Conversion Program, Research and Development Progress Report No. 7, United States Department of the Interior. September 1955.
28. *The Minimum Energy Requirements for sea Water Conversion Processes*, by George W. Murphy, Under Contract No. 14-01-001-58; for: United States Department of the Interior, Office of Saline Water, Research and Development Progress Report número 9. April 1956.
29. *Research and Development of Processes for Desalting Water by Freezing*, by University of Washington, Under Contract No. 14-01-001-73; For: United States Department of the Interior, Office of Saline Water, Research and Development Progress. Report No. 10. August 1956.
30. *Design, Construction, Field Testing, and Cost Analysis of an Experimental Electrodialysis demineralizer for Brackish Waters* by Ionics, Incorporated, Under Contract No. 14-01-001-66; For: United States Department of the Interior, Office of Saline Water, Research and Development Progress Report No. 11. December 1956.
31. *Research on and Development of Badger-Hickman Centrifugal Distillation Techniques and Equipments*, by the Badger Manufacturing Company, Under Contract No. 14-01-001-65 For: United States Department of the Interior, Saline Water Conversion Program, Research and Development Progress Report No. 12. November 1956.
32. *Research on Methods for Solar Distillation*, by New York University, Under Contract No. 14-01-001-68; For: United States Department of the Interior, Office of Saline Water, Research and Development Progress Report No. 13. December 1956.
33. *Research on and Analysis of Single-Effect low temperature Flash Evaporation Process*, by the Griscom-Russell Company, Under Contract No. 14-

01-001-90; For: United States Department of the Interior, Office of Saline Water, Research and Development Progress Report No. 18.

34. *Saline Water Program*. Mr. Anderson, from the Committee on Interior and Insular Affairs, submitted a Report to accompany S. J. Res. 135. U. S. Senate, Eighty-Fifth Congress, Second-Session, Calendar No. 1623, Report No. 1593. May 19, 1958.
35. *Proceedings of the Sixth Annual Water Symposium*, February 19-20, 1957; Sponsored by the College of Engineering and the General Extension Division of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, La. Engineering Experiment Station, Bulletin No. 59, 1957.
36. *Developments in Saline Water Conversion*, by David S. Jenkins, Director, Office of Saline Water, U. S. Department of the Interior. *Journal American Water Works Association*, vol. XLIX, No. 8, August 1957.
37. *Desalting the Pacific*, by Jack E. McKee, Professor of Sanitary Engineering, California Institute of Technology. *Engineering and Science Monthly*, February 1958; Published at the California Institute of Technology.
38. *The Facts About our Water Supply*, by Gilbert F. White. *Harvard Business Review*, March-April 1958, vol. XXXVI, No. 2.
39. *Some aspects of surface Water development in arid Regions*, by A. De Vajda, Agricultural Officer (Land and Water Use-Branch). Food and Agriculture Organization of the United-Nations. FAO Development Paper No. 21. Agriculture. Rome, Italy, November 1952.
40. *Progress in Conversion of Saline Water*, by Everett D. Howe, *Journal American Water Works Association*, March 1958.
41. *Fresh Water from the Sea*. *Popular Science Monthly*, March 1958.
42. *Fresh Water from Salt*, by David S. Jenkins. *Scientific American*, March 1957.
43. *A New Look at Sea Water Distillation*, Society of Naval Architects and Marine Engineers, Philadelphia, Pennsylvania, February 1958.
44. *Large Reactors May Distill Sea Water Economically*, by R. Philip Hammond, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico. *Nucleonics*, December 1962.
45. *A Large Desalinization Reactor Based on Current Technology*, Irving Spiewak, *Nucleonics*, July 1963.
46. *Fresh Water from the Ocean for Cities, Industry and Irrigation*, by Cecil B. Ellis. The Ronald Press Company. New York, 1954.