

Experiencias, necesidades y perspectivas en torno a la desalinización nuclear

Una reseña sobre las plantas de demostración y los estudios recientes

por A. Barak, L.A. Kochetkov, M.J. Crijns y M. Khalid

El crecimiento de la población mundial, que para el año 2050 debe ascender a 11 000 millones de personas, aumentará la presión sobre los recursos hídricos. Se necesitan grandes cantidades de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales, sobre todo en los países en desarrollo donde ya existen déficit en el abastecimiento. La necesidad de agua es particularmente aguda en los países productores de petróleo, donde se siguen haciendo fuertes inversiones e ingentes esfuerzos para industrializar más la economía. Sin embargo, las proyecciones indican que para el año 2000 la región del Mediterráneo experimentará un déficit de agua dulce de unos 10 millones de metros cúbicos diarios.

En términos relativos, sólo una pequeña parte de los recursos hídricos mundiales puede ser utilizada en su estado natural. Por lo general, el agua superficial con salinidad inferior a 500 partes por millón (ppm) puede usarse como agua potable. En el caso de determinados productos agrícolas es posible utilizar para el riego agua con salinidad de 500 a 1000 ppm. Otros recursos hídricos disponibles —como el agua salobre (las aguas subterráneas, las superficiales o las aguas residuales con salinidad superior a 1000 ppm) y el agua de mar— no pueden usarse tal como se presentan. Afortunadamente, existen procesos tecnológicos para desalinizar el agua de modo que se pueda utilizar, incluso el agua de mar, que constituye una fuente casi inagotable.

Se han elaborado diversos procesos para la desalinización del agua de mar, pero los más promisorios son la destilación de efectos múltiples —o etapas múltiples— en tubo horizontal a baja temperatura (LT-HTMED), la comprensión del vapor (CV) y la osmosis inversa (OI).

Hoy día se construyen plantas más grandes que consumen cantidades considerables de calor, lo que plantea la cuestión de disponer de una fuente de suministro de calor que sea fiable, constante y costeable. Actualmente, la principal fuente de energía que se utiliza en los procesos de desalinización es el petróleo. Empero, la subida de los precios de este combustible, unida a la tendencia a construir plantas de desalinización más grandes y que consumen más energía, están impulsando la búsqueda de otras fuentes. Entre las opciones que se están estu-

diando para un futuro mediano está la de acoplar las centrales nucleares con el proceso de desalinización. Tales complejos de "doble finalidad" suministrarían electricidad para ayudar a satisfacer la demanda energética y el calor necesario para ayudar a desalinizar grandes volúmenes de agua.

Si bien en todo el mundo se han puesto en servicio numerosas plantas de desalinización convencionales, la experiencia con la desalinización nuclear es más limitada, ya que sólo se ha utilizado en la Unión Soviética. En los últimos decenios también se ha estudiado la viabilidad de la tecnología en los planos nacional e internacional, incluida la labor realizada por intermedio del OIEA. (Véase el recuadro.)

En este artículo se examinan las experiencias de la URSS en materia de desalinización nuclear, así como un proyecto conjunto de los Estados Unidos e Israel y estudios recientes realizados en los Estados Unidos, el Japón y Alemania.

Estudios e informes técnicos

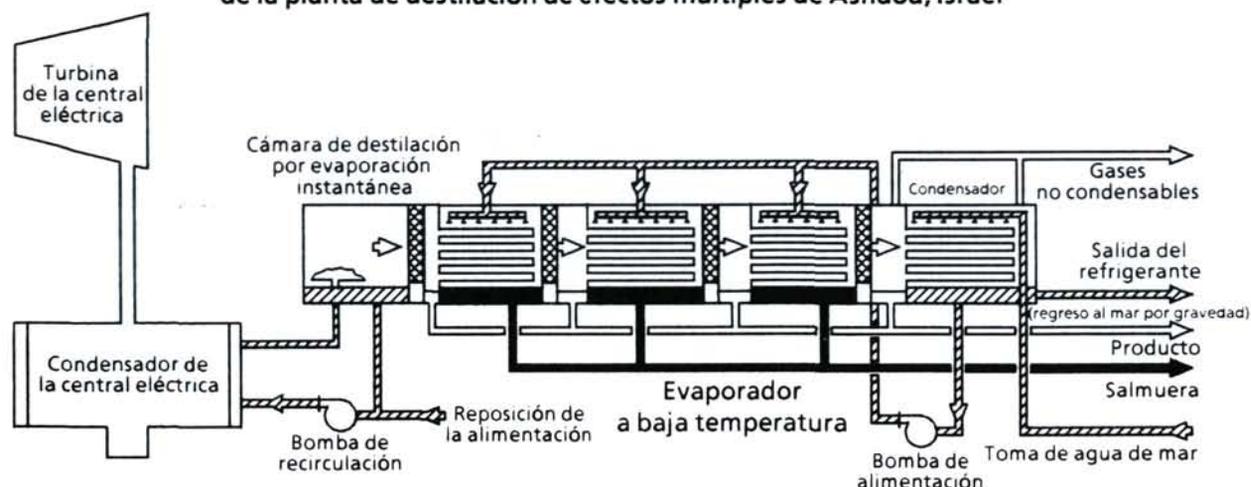
El OIEA ha venido estudiando la viabilidad de la desalinización nuclear desde los años sesenta. El interés de los Estados Miembros en esa tecnología se renovó recientemente, luego de una resolución aprobada en 1989 por la Conferencia General del Organismo. En esa resolución, patrocinada por los Estados árabes, se subraya la realidad de la escasez nacional y regional de agua, así como la creciente necesidad de agua potable, y, entre otras cosas, se pide al Organismo que prepare un informe sobre el desarrollo y el papel potencial de la desalinización nuclear para ayudar a encarar esos problemas. Se está preparando un estudio técnico que se presentará a la Conferencia General del OIEA en septiembre de 1990.

Anteriormente el OIEA publicó varios trabajos técnicos sobre esta tecnología, entre los que figuran:

- *Desalination of Water Using Conventional and Nuclear Energy*, Colección de Informes Técnicos N° 24 (1964).
- *Guide to the Costing of Water from Nuclear Desalination Plants*, Colección de Informes Técnicos N° 80 (1967 y 1973).
- *Heat Utilization from Nuclear Reactors for Desalting of Sea Water*, IAEA-TECDOC-206 (1978).

El Sr. Barak es funcionario de la Comisión de Energía Atómica de Israel, y el Sr. Kochetkov trabaja en el Instituto de Investigación y Desarrollo de la Ingeniería Eléctrica de la URSS. Los Sres. Crijns y Khalid son funcionarios de la División de Energía Nucleoeléctrica del OIEA.

Diagrama esquemático de circulación
de la planta de destilación de efectos múltiples de Ashdod, Israel



Experiencias de la Unión Soviética

En la ciudad de Shevchenko se ha construido un gran complejo nucleoelectrico de finalidad múltiple que abastece de agua, electricidad y energía térmica a la población del lugar y a sus empresas industriales. El complejo incluye el reactor reproductor rápido (FBR) BN-350, tres centrales termoeléctricas y una planta de desalinización dotada de equipo para la destilación térmica, así como unidades que producen agua potable a partir del agua de mar desalinizada.* Se han realizado actividades de investigación y desarrollo sobre diferentes procesos de desalinización, como la evaporación de efectos múltiples en tubo vertical (VTE), la destilación por evaporación instantánea de etapas múltiples (MSF), la electrodiálisis y el intercambio de iones.

El FBR fue seleccionado como una de las principales fuentes de energía de este complejo. También se erigió en el mismo lugar otra fuente de energía en que se utiliza gas natural como combustible. Ambas instalaciones tienen una sala de turbinas común y, lo que es muy importante, un sistema unificado de preparación del agua de alimentación.

* Entre las referencias técnicas (en ruso) para esta sección figuran "Obzor razvitiya bystrykh reaktorov v SSSR" (Estudio de la evolución del reactor reproductor rápido en la URSS), por L.A. Kochetkov y Yu. E. Bagdasarov, actas de un simposio celebrado en Bolonia, OIEA, Viena (1978); "Itogi desyatiletnej ehkspluatatsii BN-350" (Diez años de explotación del BN-350), por D.C. Yurchenko y otros, *Atomnaya ehnergiya* 55 (1983); "Osnovnye itogi ehkspluatatsii opytno- promyshlennykh AEhS s bystryimi reaktorami BN-350 i BN-600" (Principales resultados obtenidos en la explotación de centrales nucleares experimentales equipadas con reactores BN-350 y BN-600), por L.A. Kochetkov, actas de un simposio celebrado en Lyon, OIEA, Viena (1986); y "Vodno-khimicheskij rezhim ehnergeticheskogo kompleksa s byстрыm reaktorom" (Tratamiento químico del agua en una central eléctrica que emplea un reactor rápido), por R.N. Musikhin y otros, *Atomnaya ehnergiya* 55 (1983).

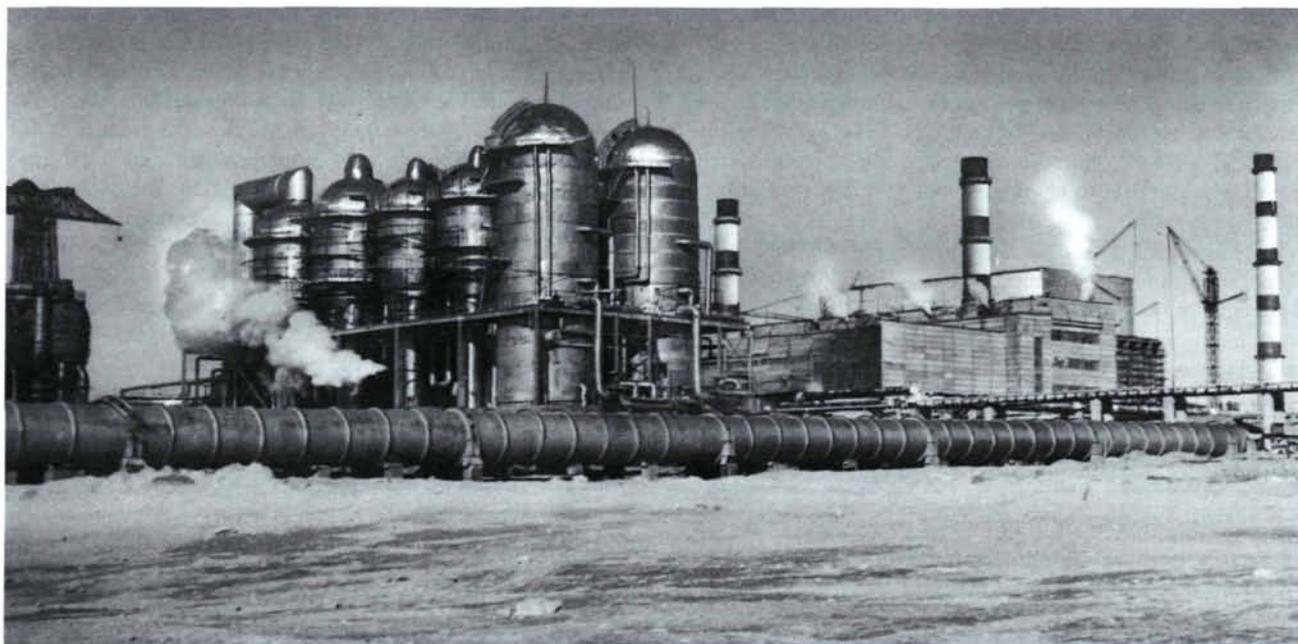
Desde el punto de vista de su régimen hidráulico, el complejo es excepcionalmente complicado. El vapor generado se utiliza para producir energía, desalinizar agua de mar y atender diversas necesidades industriales. El destilado se utiliza para producir agua potable, agua para procesos industriales y agua para la producción de calor, y también para compensar las pérdidas irre recuperables de agua de alimentación.

El reactor nuclear, la central eléctrica y las instalaciones de desalinización constituyen un complejo tecnológico único, cuyos componentes se complementan entre sí, y que ofrece una serie de evidentes ventajas.

La existencia de instalaciones que emplean calor a baja presión y baja temperatura —las unidades de desalinización— permite estabilizar los niveles de extracción de calor que se requieren en diferentes estaciones. En invierno el complejo funciona como una central para calefacción urbana, mientras que en verano casi todo el calor se emplea en la desalinización. El nivel casi constante de extracción de calor significa que hay un bajo insumo de calor específico para la producción de energía eléctrica.

Las unidades de desalinización, que proporcionan agua desalinizada sumamente pura a la central eléctrica y al reactor, ayudan en gran medida a reducir los gastos de capital y de explotación que requiere el tratamiento de agua de alimentación para el generador de vapor. Esta es una característica especialmente valiosa en un sistema de abastecimiento de agua caliente y calor porque permite que las calderas funcionen sin formar costras y reduce la cantidad de calor requerido por unidad de destilado (el destilado caliente se bombea hacia el sistema de suministro de calor).

Además, la disponibilidad de volúmenes considerables de agua desalinizada permite destinar parte de esta agua a las empresas locales para su uso en los procesos industriales. Gracias a ello dichas empresas no se ven en la necesidad de construir pequeñas instalaciones de desalinización particulares. No es necesario que los usuarios del vapor devuelvan el condensado de vapor al ciclo del reactor de la central nuclear.



La central nuclear de Shevchenko en la URSS

El reactor reproductor rápido (FBR) BN-350 y los generadores de vapor asociados comenzaron a funcionar en 1973. En la Unión Soviética, este fue el primer diseño de FBR grande de finalidad múltiple destinado a pruebas, experimentos y usos industriales, simultáneamente. Este reactor de 150 megavattios eléctricos (MWe) fue diseñado para producir 120 000 m³/día de destilado. Cuando comenzó a funcionar, se convirtió en la principal fuente de destilado de la región al producir cerca del 80% del total. También generó hasta el 25% de la energía eléctrica de la región. Así, desde el principio al BN-350 correspondió una importante responsabilidad en cuanto a las condiciones normales de vida y de trabajo en las industrias de la región.

La estabilidad de la explotación de todo el complejo depende de varios factores y, en particular, de la fiabilidad de la instalación del reactor y de los generadores de vapor asociados. Al principio, los generadores de vapor resultaron ser el talón de Aquiles de la planta. Durante los seis meses siguientes a la puesta en marcha fallaron cinco de los seis generadores de vapor. Se han escrito informes bastante pormenorizados sobre las causas de esos fallos y sobre el trabajo de reparación que se emprendió para subsanarlos. Los errores cometidos en la fabricación de la pieza final del sistema de tuberías, y una soldadura defectuosa (del componente final y las tuberías) fueron la causa de que se filtrara agua en la zona de circulación del sodio de los generadores de vapor. La reparación se efectuó en el lugar sin desmontar los evaporadores, y se terminó en 1975.

Otra fuente de inestabilidad operacional en la unidad del reactor fue el fallo de un gran número de elementos combustibles. Esto se debió al espacio de compensación demasiado pequeño para acumular los fragmentos gaseosos de la fisión que se dejó entre el combustible y la vaina, lo cual provocó un aumento de la presión del gas debajo de la vaina, mayores tensiones y, finalmente, el fallo de la vaina. Las mejoras que se introdujeron en el diseño eliminaron virtualmente estas pérdidas de la integridad del elemento combustible y dieron por resultado un valor de quemado mayor que el previsto en el

diseño. Finalmente se logró también estabilizar la explotación del generador de vapor, aunque fue preciso reducir la potencia inicial del reactor de 1000 MWt a 750 MWt.

Al principio los diseñadores y explotadores tuvieron muchas dificultades con el sistema hidráulico de este reactor. El agua de alimentación procedente de las unidades de destilación estaba contaminada por los productos de la corrosión, y en situaciones de accidente también por las sales del agua de mar; en consecuencia, fue sometido a una purificación química adicional en la instalación alimentada con gas, para lo que se utilizaron filtros mecánicos y de acción mixta. Con todo, durante el período inicial ni el destilado ni el agua de alimentación tenían una calidad satisfactoria. Se introdujeron mejoras en la planta de desalinización y se instaló un nuevo equipo de desalinización química para purificar el destilado que pasaba a través de los generadores de vapor del BN-350.

Con objeto de encontrar las soluciones técnicas de diseño óptimas para las instalaciones de desalinización térmica, se efectuaron experimentos en una serie de variantes del proceso.

En todas las instalaciones de desalinización se aplicó un método basado en el uso de cristales seminales, creado en su totalidad en la Unión Soviética, para prevenir la formación de costras. Los cristales seminales —una tiza natural pulverizada— se introdujeron en el sistema durante la puesta en marcha mediante una inyección única y luego se recircularon utilizando un dispositivo clarificador (tanque de asentamiento) y una bomba centrífuga.

Este método de limitar la formación de costras mediante la recirculación de cristales seminales de tiza garantizó el funcionamiento libre de costras de los evaporadores en una instalación de evaporación en tubo vertical de 10 efectos durante un año de explotación continua. El ritmo de crecimiento lineal de las costras en las superficies de calentamiento es diferente en los diversos evaporadores: 0,6 a 0,8 mm/año en el primer evaporador; 0,3 a 0,4 mm/año en el segundo; 0,2 a 0,3 mm/año en el tercero; 0,1 a 0,2 mm/año en el cuarto; y 0,05 mm/año

en todos los demás. La instalación de 10 efectos produce el destilado de mayor calidad.

El destilado obtenido en las instalaciones de desalación térmica se convierte entonces en agua potable que satisface los requisitos de reglamentación del Gobierno de la Unión Soviética (GOST 2874-82). El costo de producción del destilado en la instalación de 10 efectos era de unos 50 kopeks por metro cúbico.

Así, de Shevchenko se ha obtenido material técnico y experiencia práctica muy abundantes y valiosos relacionados con el abastecimiento de agua de alta calidad. Si la experiencia allí acumulada se utilizara ampliamente en futuros planes de desalinización y en la tecnología destinada a producir agua potable "artificial", los problemas asociados con la creación de condiciones de vida confortables en las regiones áridas y semiáridas del mundo —como Kazajstán— podrían resolverse no sólo de manera satisfactoria, sino también con rapidez.

La experiencia de Israel: Proyecto conjunto Israel-Estados Unidos de América

A principios de los años ochenta, Israel y los Estados Unidos comenzaron a producir conjuntamente grandes módulos para el proceso de desalinización conocido como LT-HTMED. En Ashdod, Israel, se construyó una planta diseñada de manera que pudiera integrarse con un reactor de agua ligera (LWR).

El número y la dimensión de los efectos de la LT-HTMED se determinaron de modo tal que la planta pudiera absorber el calor de escape procedente de la central eléctrica sin la costosa complicación de cambiar la turbina de vapor nuclear. El sistema de suministro de calor de la central eléctrica (convencional) al evaporador simula el acoplamiento de una central nuclear de doble finalidad previsto en el diseño, para lo cual se utiliza una barrera de inversión de la presión a fin de evitar posibles fugas del ciclo de vapor del LWR a la planta de desalinización. Ello se logró condensando el vapor de escape de la turbina en un termocondensador tubular a una temperatura de 65°C, aproximadamente. Como agua refrigerante de recirculación se utilizó agua de mar concentrada con 5,7% de sólidos totales disueltos (a una temperatura de 55,5°C a la entrada y de 62°C a la salida). El agua refrigerante penetra en el evaporador y libera el calor cuando se evapora súbitamente y en parte se convierte en vapor. El agua refrigerante en el condensador está sometida a una presión mayor que el vapor condensador, de modo que si ocurre una fuga el vapor no puede penetrar en el sistema de desalinización. El tamaño de la planta fue el mayor posible para este tipo de evaporadores. Para una central nuclear grande se instalarán varios módulos en forma paralela.

El evaporador de la LT-HTMED, cuyo ritmo de producción es de 725 m³/hora, se acopló en 1982 a una unidad energética alimentada con petróleo de 50 MW que producía unas 120 toneladas de vapor por hora. La planta comenzó a funcionar en 1983. Tras un breve período de puesta en servicio, funcionó satisfactoriamente durante un año. La explotación se detuvo después de haberse obtenido suficientes datos operacionales y porque los precios del petróleo eran demasiado altos.

No ha surgido ningún problema operacional respecto del control de la planta, su estabilidad, puesta en marcha y parada, ni respecto del seguimiento de carga o del cambio de la "modalidad" de doble finalidad a la de una sola finalidad, es decir, a la de generación de electricidad. La planta funcionó de manera estable en todas las condiciones. El tiempo de puesta en marcha, o sea, el paso desde la inactividad en que los evapora-

dores se mantuvieron vacíos a la presión atmosférica, hasta la operación normal, fue de 3 a 3,5 horas. El tiempo de puesta en marcha, luego de una parada breve debida a un fallo determinado (mientras se mantuvo el vacío), fue de 30 minutos. El tiempo de parada para permitir el enfriamiento gradual de la unidad energética fue de unos 20 minutos. El cambio de una "modalidad" a otra, en uno u otro sentido, fue sencillo y demoró unos 15 minutos. El seguimiento de carga se demostró con éxito sin que surgieran problemas entre el 35% y el 110% de la producción nominal.

Es posible volver a poner en marcha la planta de desalinización aún después de muchos meses de inactividad; en ocasiones esto se ha hecho durante unas horas para ofrecer demostraciones a los visitantes. En 1986 funcionó durante tres meses sin interrupción a causa de una severa sequía. Las paradas imprevistas durante el primer año ascendieron a 749 horas, y las planificadas a 2665 horas. Se espera que en condiciones normales una planta-turbina combinada tenga una disponibilidad de por lo menos el 88%.

Al principio, la calidad del agua producida era aceptable (280 ppm), aunque no tan buena como su valor de diseño. Posteriormente, en condiciones de funcionamiento con cargas nominales, la salinidad del producto se ha reducido a 40-80 ppm. La cantidad producida ha estado por encima del nivel previsto en el diseño de la planta, y ha dependido de la temperatura del agua de mar. Cuando ésta excede del valor de diseño en más de 4°C, la cantidad del producto disminuye al 92%.

En la planta de Ashdod se empleó a 14 personas. En una planta normal se necesitarán menos, ya que en Ashdod fue preciso realizar por primera vez muchas actividades, incluida la reunión de datos.

El condensador de la unidad energética se mantuvo más limpio que en la operación de una sola finalidad. Se observó una lenta formación de costras en los efectos calientes (0,1 mm de espesor al cabo de un año). No se detectaron costras en los efectos más fríos ni indicios de corrosión.

Estudios recientes

Estudio realizado en California meridional. La empresa de suministro de agua, Metropolitan Water District of Southern California, y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (USDOE) han realizado un estudio con miras a evaluar la viabilidad técnica y económica del empleo de calor nuclear para desalinizar el agua de mar. El informe final, preparado por la General Atomics Company, se publicó en diciembre de 1988.* En este estudio se seleccionó el reactor modular de alta temperatura refrigerado por gas (MHTGR) como fuente de calor y la LT-HTMED como proceso de desalinización.

Se seleccionó el MHTGR porque su tamaño pequeño y configuración modular son más compatibles con las aplicaciones de la desalinización que los conceptos actuales vinculados al reactor refrigerado con agua, y el efecto sobre la producción de electricidad es menor cuando el reactor se utiliza en la modalidad de cogeneración. Además, puede emplazarse cerca de los sistemas de distribución de agua debido a sus características de seguridad pasiva y al pequeño tamaño de la unidad.

* MHTGR Desalination for Southern California, GA-A19476, General Atomics Co., San Diego, California (diciembre de 1988).

Con respecto al proceso de desalinización, se hizo una comparación entre los procesos demostrados comercialmente, como la destilación MSF, la VTE y la LT-HTMED.

El sistema estudiado consistía en cuatro módulos de reactor de 350 MWt, dos sistemas de conversión de energía por turbina de vapor de 273 MWe y ocho unidades LT-HTMED de 50 000 m³ día cada una. La producción neta de energía eléctrica de la planta era de unos 460 MWe y la producción neta de agua, de unos 400 000 m³/día. Los costos nivelados del agua oscilaban entre 0,44 y 0,49 dólar/m³, según la hipótesis de la que se partiera.

Estudio alemán. La Howaldtswerke Deutsche Werft AG y la Interatom GmbH de la República Federal de Alemania estudiaron recientemente la viabilidad técnica y económica de un MHTGR instalado en una barcaza para la desalinización de agua de mar mediante el proceso de osmosis inversa (OI).* El MHTGR es un reactor de lecho de guijarros refrigerado por helio, capaz de proporcionar energía entre 400 MWt (con dos módulos) y 1600 MWt (con ocho módulos).

Para este estudio se utilizó una central eléctrica de doble finalidad, capaz de producir 152 MWe de electricidad y 100 000 m³/día de agua desalinizada, con una salinidad en el producto de 450 ppm (sólidos totales disueltos). El consumo de electricidad de la planta es de sólo 30 MWe, de modo que los restantes 122 MWe pueden venderse a otros consumidores de energía.

El estudio se basó en el contenido de sal del agua de mar en el Golfo Árabe. Primeramente, el agua de mar se calienta hasta 38°C en el condensador. Luego, tras el tratamiento preliminar, pasa a la primera etapa del proceso de osmosis inversa (OI). (La primera etapa consiste en 45 trenes de 40 módulos de OI cada uno.) Al concluir la primera etapa, el contenido de sal del agua se reduce a 1470 ppm y seguidamente pasa a la segunda etapa, que consiste en 9 trenes, de 60 unidades de OI cada uno. El agua producida en esta etapa, que contiene 190 ppm de sal, se mezcla con el producto de la primera etapa para mantener un contenido final de sal de 450 ppm. El consumo total de sustancias químicas para el tratamiento preliminar asciende a unas 5500 toneladas anuales; se requieren 250 toneladas adicionales de sustancias químicas para la limpieza (de cuatro a seis veces por año) de las dos etapas de OI.

El costo de producción del agua potable depende de la relación electricidad/agua potable que se seleccione. Cuando el concepto operacional es generar electricidad como producto principal (y producir agua potable en períodos de baja demanda de electricidad), los costos de producción de agua potable fluctúan entre 3,81 y 4,69 marcos alemanes por metro cúbico. Se partió del supuesto de que el tiempo de operación sería de 8000 horas anuales.

Estudio japonés. El Instituto Central de Investigaciones de la Industria Eléctrica (CRIEPI) del Japón ha comenzado un estudio que tiene por objeto ayudar a prevenir la desertificación**, y que puede aplicarse también para la producción en gran escala de agua potable a partir del mar.

El estudio consiste en el acoplamiento de un reactor reproductor rápido refrigerado por metal líquido (LMFBR) con el proceso de desalinización del agua de mar por osmosis inversa para producir agua desalinizada a un ritmo de 300 000 m³/día. El reactor es de tipo modular, con una capacidad de producción térmica de 125 MWt; su diseño preliminar se caracteriza por ser compacto, seguro y sencillo, razón por la cual se le llama reactor "4S" (superseguro, pequeño —en inglés "small"— y sencillo). El núcleo consiste en conjuntos sin conductos con agujas de combustible metálico. Según el diseño, el núcleo tiene una vida de 10 años sin necesidad de recarga.

Se seleccionó el proceso de OI por su bajo consumo de energía, operación sencilla, mantenimiento mínimo, breve período de puesta en marcha y fácil explotación a capacidad parcial. Según este estudio, el consumo de energía es de unos 4,1 kWh/m³ de agua producida si se excluye la energía necesaria para las bombas de distribución del agua producida.

Necesidades y perspectivas en los países en desarrollo

En los países en desarrollo, donde las necesidades son apremiantes y los recursos escasos, la introducción de las tecnologías de desalinización y nucleoelectrónica tropieza con dificultades. Ambas requieren fuertes inversiones, son complejas y avanzadas, y económicas principalmente si se utilizan en gran escala.

En consecuencia, antes de optar por la desalinización de agua de mar en gran escala, los países en desarrollo necesitan de agua potable deben analizar primero otras medidas entre las que figuran las siguientes: 1) el aprovechamiento de todos los recursos hídricos naturales, a menos que haya que transportar el agua a grandes distancias, lo cual también entraña grandes gastos; 2) la recuperación de la mayor cantidad posible de aguas cloacales para el riego y otras aplicaciones; y 3) la desalinización del agua salobre disponible —la cual es menos salina que el agua de mar— empleando la osmosis inversa o la electrodiálisis.

Estas medidas son menos costosas que la desalinización de agua de mar, pero sólo permiten obtener cantidades limitadas de agua. Si las necesidades son mayores y hay disponibilidad de agua de mar, la desalinización debe introducirse gradualmente comenzando con unidades de una sola finalidad. De esta forma se adquirirá la experiencia e infraestructura necesarias para la desalinización y se facilitará el siguiente paso para la desalinización nuclear. Ahora bien, las primeras unidades nucleares sólo deberían generar electricidad, de modo que también se adquieran infraestructuras y la experiencia nucleares. Más tarde, las unidades nucleares podrán funcionar como plantas de doble finalidad.

También cabría considerar otras dos variantes. Una es construir al inicio una planta de desalinización nuclear (probablemente también para generar electricidad) con arreglo a un contrato llave en mano, o a uno de construcción y explotación de la planta. Conforme a este último contrato, el proveedor asume la plena responsabilidad de la construcción y de la explotación y el mantenimiento de la planta durante un período limitado. De esta manera, el cliente pagará el costo del agua y no el de la planta.

La otra variante es diseñar y construir una central nuclear destinada principalmente a un solo fin: la generación de electricidad, y en la que sólo se tomen en cuenta los requisitos mínimos para su conversión futura en una central de doble finalidad (por ejemplo, la planificación del emplazamiento, la selección

* "Autarke Barge-Montierte Energiestation mit Hochtemperaturreaktor-Module", Howaldtswerke Deutsche Werft AG e Intratom GmbH (julio de 1985).

** Use of Super-Safe, Small and Simple Liquid-Metal Reactors (LMRs) to create Green Belts in Desertification Areas", por S. Hattori y N. Handa, *Trans. ANS*, Vol. 60 (1989).

de las turbinas, y otros). Esta variante entrañaría un costo adicional de millones de dólares, pero tiene la ventaja de que permite acoplar la unidad con los sistemas de desalinización algunos años más tarde.

Los países productores de petróleo del Oriente Medio

Los países productores de petróleo del Oriente Medio cuentan ya con la infraestructura necesaria para desalinizar el agua y poseen una experiencia considerable. Además, tienen suficientes ingresos para costear el desarrollo de la desalinización. La única limitación potencial es la falta de infraestructura en materia de tecnología nuclear.

La necesidad de agua en esos países es grande y acuciante, lo cual explica por qué ya tienen tantas plantas de desalinización en funcionamiento; a principios de 1988 ya estaba instalada en esos países alrededor del 65% de toda la capacidad de desalinización mundial ($7,9 \times 10^6$ de un total de 12×10^6 m³/día), consistente principalmente en procesos de MSF y OI.

Se espera que las necesidades de agua aumenten a medida que crezca la población. Las tasas de crecimiento de la población de esos países son muy elevadas, y oscilan entre el 2,5% y el 5% anual, aproximadamente (en comparación con el 0,17% en los Estados Unidos y el 1,7% a nivel mundial, por término medio). En el próximo decenio, y más adelante, muchas de las unidades de desalinización existentes serán reemplazadas por tecnologías mejoradas. Para ello se deberá invertir en el próximo decenio unos 10 000 millones de dólares en los sistemas hidráulicos y miles de millones más en los sistemas de generación de energía necesarios.

Una de las cuestiones principales es determinar qué fuente de energía primaria se ha de utilizar para los sistemas de desalinización. Las dos opciones más atractivas son la energía nucleoelectrica y el petróleo.

Desde el punto de vista económico, los países productores de petróleo están más motivados que otros países para preferir

este último. Sin embargo, también se toman en cuenta otros aspectos como los ambientales, sociales y psicológicos. Un posible enfoque sería usar la misma fuente de energía que se prefiere para la producción de electricidad con carga básica. Las ventajas e inconvenientes de la energía nuclear en comparación con el petróleo son muy similares tanto si se trata de generación de electricidad como de desalinización.

Conclusiones

● La larga experiencia operacional que desde 1973 se viene acumulando en el empleo de un reactor reproductor rápido para la desalinización de agua de mar en la ciudad soviética de Shevchenko ha demostrado la viabilidad técnica y económica de la desalinización nuclear en esa región.

● El atractivo de la desalinización nuclear en comparación con la convencional viene dado por la relativa estabilidad a largo plazo de los precios del combustible, en contraste con la tendencia ascendente de los precios de los combustibles fósiles, los beneficios económicos derivados de un elevado factor de capacidad y una repercusión ambiental mínima.

● Gracias a las mejoras y adelantos que han experimentado los diferentes procesos de desalinización en los años ochenta, al parecer no habrá problemas técnicos especiales para efectuar el acoplamiento de estos procesos de desalinización avanzados con las centrales nucleares.

● Importantes estudios realizados recientemente en los Estados Unidos, la República Federal de Alemania y el Japón han demostrado el potencial técnico y económico de la desalinización nuclear, si bien en algunas de sus aplicaciones, como en la agricultura, por ejemplo, el agua desalinizada sigue siendo demasiado costosa. Es difícil predecir las perspectivas de la desalinización nuclear, sobre todo porque en las decisiones finales influyen factores y políticas oficiales ajenos a la posibilidades técnicas y económicas propias de esa tecnología.