



Oportunidad para la energía solar en México

Tecnologías de desalinización de agua

García C.R. de J., Hernández R.I.P.

Las reservas de agua han disminuido a lo largo de los años debido al incremento de la población, aumento en la demanda del sector agrícola e industrial, por lo que la generación de tecnología de desalinización de agua de mar se encuentra en aumento. El objetivo del presente trabajo fue identificar la clasificación de los distintos procesos existentes desde las tecnologías convencionales a los procesos híbridos con asistencia de fuentes de energía renovable, el estudio arrojó un estado del arte donde se observa las características, costos y gastos energéticos por m³ de cada una de las tecnologías. La utilización de fuentes de energía convencionales ocasiona un impacto negativo al ambiente lo que altera el ciclo natural del agua. La aplicación de energía renovable presenta una oportunidad para la obtención de nuevas fuentes hídricas con bajo impacto ambiental. La destilación solar cuenta con grandes ventajas al ser aplicada a baja escala en zonas marginadas con alta disponibilidad de radiación.

La escasez de agua potable resulta ser la principal causa de hambre y sed en la población de muchas regiones del mundo, así como la falta de desarrollo tecnológico y social, el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) indica que un tercio de la humanidad vive en lugares con agua dulce suficiente para abastecer a la población mundial, sin embargo, la tendencia apunta que para el año 2025 dos

terceras partes de la población contará con problemas hídricos^[1]. Del agua presente en el mundo solo el 2% es agua dulce, no obstante la humanidad solo tiene acceso a menos del 30% debido a que la mayoría se encuentra en los casquetes polares formando parte de hielo y nieve. La mayor parte de las reservas se encuentra en ríos, lagos, lagunas y el subsuelo, fuentes que han disminuido y contaminado por el incre-

mento exponencial de la población a partir del siglo XX, el aumento en la demanda de agua de calidad ocasiona que las reservas hídricas disminuyan de manera considerable^[2].

SITUACIÓN DE LAS RESERVAS HÍDRICAS EN MÉXICO

Entre los principales problemas que cruza México, se encuentran la contaminación y disminución de las reservas hídricas, debido al incremento de

la población, falta de sensibilidad por parte de las personas, gobierno e industria por la calidad del agua, la falta de presupuesto para mantenimiento y cuidado de la infraestructura instalada ocasiona que el problema se incremente de manera exponencial, la sobreexplotación de las reservas ocasiona que existan regiones con poca o nula disponibilidad de agua.

En un estudio realizado por CONAGUA en 2012^[3] indica que México se encuentra en el lugar 86 en disponibilidad, y ocupa el octavo con mayor extracción de agua en el mundo con 80,6 km³, siendo el sector agrícola con mayor porcentaje de 77% y el industrial con el 9%. Con el incremento de la población de 48.225.238 en 1970 a 112.336.538 para el año 2010, la disponibilidad de agua disminuye de 9.880 m³ per cápita por año en 1970 a 4.312 m³ a 2007 y una proyección indica que habrá una población de 132.584.054 con 3.800 m³ per cápita para el año 2030^[4], en la figura 1 se observa una gráfica que muestra el incremento poblacional y la baja de las reservas hídricas por década.

El aumento demográfico y el incontrollado desarrollo industrial originan serios problemas en los recursos hídricos, al alterar la calidad del agua se buscan nuevas opciones de extracción y ocasionan el agotamiento de las reservas; las zonas áridas y semiáridas son los lugares con menor disposición de agua y por lo tanto las más afectadas, aunque en las regiones costeras se encuentra gran cantidad de agua se perjudican por las altas concentraciones de sal.

El consumo excesivo de agua en México per cápita es en gran parte uno de los principales causantes del agotamiento del recurso hídrico en el país, CONAGUA indica que para

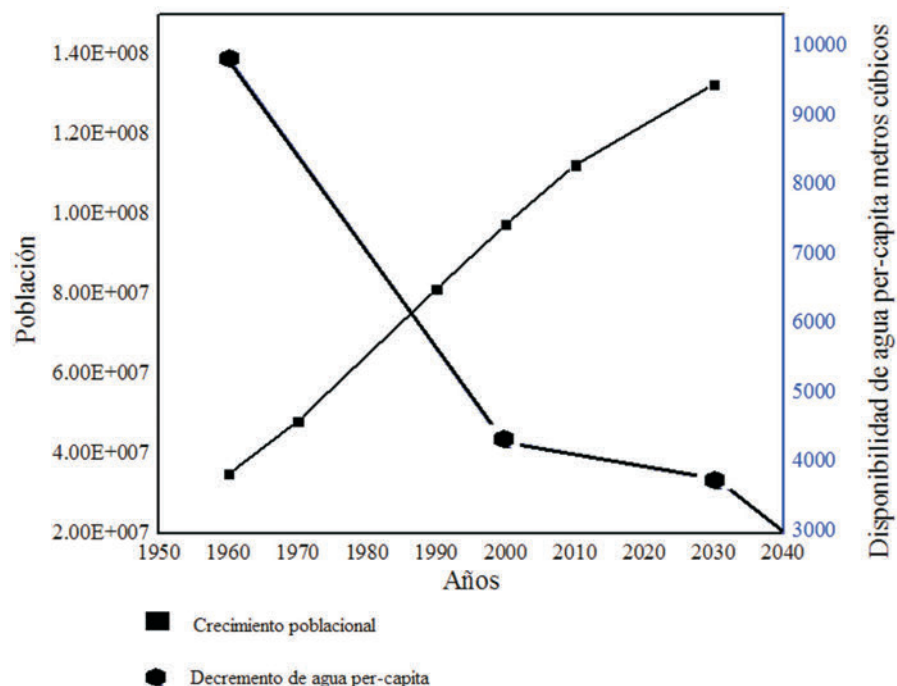


Figura 1.- Incremento poblacional y reservas hídricas per-cápita en México.

2012 existe un gasto de agua por persona de 320 litros lo que es cuatro veces mayor de lo recomendable lo que no debe ser mayor a los 80 litros por persona por día^[3].

TECNOLOGÍAS DE DESALINIZACIÓN DE AGUA SALADA Y SALOBRE

Con el fin de proporcionar nuevas fuentes hídricas y disminuir con ello la problemática que se genera a partir de la escasez de agua, han surgido tecnologías para la desalación de agua de mar y salobres, estas consisten en un proceso con una corriente de entrada de agua salada a un sistema desalinizador para obtener una corriente de agua limpia y otra de salmuera, existe una gran variedad de técnicas que van desde los procesos con membranas con energía convencional hasta procesos con energías alternativas como lo son las renovables, los dispositivos a base de radiación solar son los mayores exponentes en este ámbito. Las tecnologías de desalinización se clasifican de acuerdo al tipo de pro-

ceso que emplean, como lo son los térmicos a partir de energía calorífica elevan la temperatura del agua y la llevan a una fase gaseosa, por medio de membranas que separan los efluentes salinos por lo que se obtiene una corriente de agua limpia, procesos de congelación y a partir de tecnologías renovables como lo es la destilación solar.

PROCESOS TÉRMICOS

Las tecnologías de desalinización con energía térmica se han desarrollado en gran medida a partir de los años 60^[5] y cerca del 35% de la producción de agua desalinizada es a partir de procesos térmicos, estas tecnologías tienen el fin de imitar el ciclo natural del agua para cambiar de fase líquida una corriente de agua a una fase gaseosa, para después ser condensada y obtener así un líquido libre de contaminantes.

Los procesos térmicos de desalinización se clasifican en: Multi etapa flash, Múltiple efecto y compresión mecánica.

Multi etapa Flash

La destilación por multi etapa flash (MSF) se ha convertido en la tecnología con mayor aplicación a nivel mundial dentro de los procesos térmicos con un 56%^[6] es un proceso confiable, de fácil manejo y su eficiencia ha aumentado, no obstante es una tecnología con alto consumo de vapor y baja eficiencia energética^[7]. El proceso consiste en una serie de etapas donde la presión disminuye a cada paso lo que provoca la ebullición, este paso se repite en una serie de etapas, la reducción de la presión en cada evaporador hace que la ebullición se lleve a cabo en menor temperatura, el vapor generado se condensa como el producto final del proceso^[8].

A nivel mundial la tecnología por MSF cuenta con una capacidad instalada de 75.000 m³ alrededor del 25% de producción de agua desalinizada, la región de medio oriente es quien cuenta con mayor instalación y el agua obtenida por este proceso es del 80%, esto gracias a su alto potencial energético por sus altas reservas de combustibles fósiles, la tecnología cuenta con costos de operación bajos de 0,5 dólares y un gasto energético de 5 a 8 kWh por metro cubico.

Destilación por múltiple efecto (MED)

Los procesos de desalinización MED son utilizados principalmente por el sector industrial en la producción de azúcar y obtención de sal, es una tecnología con menor consumo energético, gasto de operación y emisiones de CO₂ que la MSF, no obstante cuenta con una capacidad instalada menor la que suma a 7.000 m³. El proceso consiste en una serie de condensadores instalados de manera vertical u horizontal, estos constituyen los dife-

rentes efectos, al sistema se le proporciona vapor el cual se condensa al ser rociado con el agua de alimentación, en la cámara se genera nuevo vapor que pasa al siguiente efecto, en cada etapa se repite el mismo proceso lo que logra una obtención de vapor y condensado de agua limpia.

La eficiencia de los sistemas MED se basa en el caudal de recirculación, el cual estará en función del calor aportado por la fuente exterior. La relación de alimentación será menor cuanto mayor sea la corriente y el evaporador cuenta con una mayor cantidad de etapas. El costo de operación suma a 1,5 dólares y un consumo energético de 3,4 a 4 kWh por metro cubico, el estudio de esta tecnología tiene un auge en el año 2000 pero es a partir del año 2009 que es aplicada al sector industrial, lo que se demuestra en el incremento en el mercado^[9].

Compresión Mecánica de Vapor

La compresión mecánica de vapor (MVC) es una tecnología que tiene su origen en los procesos de destilación al haber generación de vapor y condensado de agua en el sistema que consiste en la compresión del gas generado hasta alcanzar el nivel energético necesario para la condensación, los sistemas MVC son atractivos para la producción a pequeña, mediana y grande escala y generalmente se utilizan en la combinación con otros procesos^[10], la energía necesaria para la condensación de agua proviene de la compresión de vapor y no del intercambio de calor por una fuente externa.

Los procesos por MVC son adaptables a cualquier tipo de flujo lo que los posiciona con grandes ventajas sobre otras tecnologías, no obstante se aplica a pequeña o mediana esca-

la, con una capacidad instalada a nivel mundial de 5.000 a 6.000 m³ por día, los gastos energéticos son bajos y van de los 7 a los 12 kWh por metro cubico^[11].

PROCESOS POR MEMBRANAS

Las tecnologías de desalinización por membranas se originan en la década de 1960, estos procesos consisten en sistemas que permiten la separación de agua salina en dos corrientes donde la primera es agua limpia con concentraciones bajas de sales, la segunda corriente es de salmuera concentrada^[12], las tecnologías por membranas se clasifican en Ósmosis Inversa (RO), electrodiálisis (ED) y destilación por membranas (MD). El transporte a través de las membranas se da según el tipo de conducción del material, por presión RO, por temperatura MD y por potencial eléctrico ED^[13].

Ósmosis Inversa

La tecnología de ósmosis inversa (RO) se caracteriza por su operación a temperatura ambiente y el uso de energía en forma de trabajo mecánico, la principal característica de la tecnología es la implementación de una membrana semipermeable donde la corriente de agua es empujada para alcanzar la separación de iones de sal presentes en el agua de alimentación^[14]. Actualmente la RO es la tecnología de desalinización con mayor aplicación a nivel mundial, cuenta con una capacidad instalada de 16.000.000 m³ por día con más del 50% de la producción de agua desalinizada^[15].

La RO ofrece grandes ventajas por encima de las demás tecnologías lo que la hace un proceso atractivo y viable para la obtención de agua de calidad, además representa una al-

ternativa para el tratamiento de aguas residuales, la principal característica es el uso de energía eléctrica para su funcionamiento lo que la coloca como la candidata ideal para la asistencia de energías renovables, cuenta con un costo de 0,6 dólares y un gasto energético de 3,5 kWh por 1 m³ de agua obtenida^[5].

Electrodialisis (ED)

La electrodialisis gana cada vez más terreno al ofrecer alternativas viables y perspectivas prometedoras como lo es la recuperación de iones en forma de una corriente concentrada y la posibilidad de reutilizar compuestos valiosos de corrientes salinas mediante el uso de membranas bipolares^[16]. El proceso por ED se basa en la separación electroquímica donde los iones son transferidos a través de membranas de intercambio iónico a un campo de corriente continua. Las sales disueltas ionizadas atraviesan las membranas para eliminar las partículas cargadas eléctricamente^[17].

La ED es una tecnología en expansión con una capacidad instalada de 1.262.929 m³ por día a nivel mundial con una distribución porcentual del 5,6%, los procesos ED trabajan en base a la energía eléctrica y cuentan con un consumo energético de 1,5 a

2,5 kWh por m³, el principal inconveniente es que se encuentra limitada para agua con bajas concentraciones de sal, el producto obtenido es de menor calidad que en los procesos por RO y térmicos. Los costos alcanzan los 58 dólares por m³ producido, esto la coloca entre las tecnologías de desalinización más caras^[17].

Destilación por membranas MD

La destilación por membranas consiste en un sistema de desalinización con membrana microporosa e hidrofóbica donde soluciones acuosas se separan por las diferencias de temperaturas y composiciones. Los procesos MD consisten en un corriente de agua de alimentación, donde una gran parte se evapora para atravesar la membrana hidrofóbica que por sus características no permite el paso del agua de manera líquida, el gas generado se condensa en el otro lado de la membrana, la tecnología cuenta con una alta eficiencia superior al 99,99%, esto indica un excelente potencial para la desalinización comercial donde se requiere un mínimo del 98%^[18].

La tecnología MD se encuentra en desarrollo por lo que no alcanza el sector industrial como lo hacen los procesos de RO, los procesos MD cuenta con una producción menor a

nivel mundial que los demás procesos convencionales por membranas, la principal desventaja del proceso es la corta durabilidad de las membranas las que se ven comprometidas por la contaminación, humedad de los poros y la inestabilidad térmica. El consumo de energía en el proceso la posiciona entre las tecnologías con mayor gasto energético^[19] con 100 kWh/m³.

PROCESOS POR CONGELACIÓN

Los procesos de desalinización por congelación han sido propuestos como una alternativa para los procesos de destilación y ósmosis inversa al presentar claras ventajas. Los costos de operación son bajos en comparación de la RO, sin embargo cuenta con un consumo considerable energético. La tecnología por congelación no presenta problemas de afectación esto gracias a que el sistema trabaja a nivel de temperatura inferior a los 0°C^[20].

Los procesos por congelación se clasifican en directo e indirectos. La congelación directa consiste en un proceso donde el refrigerante entra en contacto con la solución, enseguida el calor es eliminado por vaporización instantánea bajo un vacío parcial. Esto se conoce como "compresión de vapor de congelación al vacío". El enfriamiento se puede dar también por expansión de gas comprimido caliente que se inyecta directamente a la solución, esta técnica se conoce como "congelación refrigerante secundario". La desalinización por congelación indirecta es parte de los procesos de cristalización en estado fundido, la operación se lleva a cabo en dos etapas: la primera es la congelación que conduce a la formación de hielo en la superficie del intercambiador de calor y la



segunda del paso de sudoración, la cual se lleva a cabo después de la evacuación de la salmuera residual y consiste en la purificación de la capa de hielo de las zonas impuras^[20].

La desalinización por congelamiento toma un gran interés a finales de la década de 1930 y es en la de 1950 que se desarrolla el primer proceso por congelación comercial. Antes de estas fechas el proceso por congelamiento solo era posible en regiones frías y de temporal, pero en la actualidad cuenta con muchas aplicaciones en el sector industrial, como lo son la concentración de jugos de fruta, productos lácteos, lodos residuales y la desalación de aguas tanto de mar como salobres y en condiciones óptimas obtendrá un producto libre de sales^[21].

DESTILACIÓN SOLAR DS

La destilación solar utiliza la energía renovable de la radiación solar, con ella se impulsa la evaporación de agua salobre para la obtención de un destilado libre de sales por medio de un condensador, esta tecnología es ideal para disminuir la problemática de escasez hídrica en zonas marginadas, sin embargo con gran disponibilidad de insolación solar. La tecnología no es nueva aun así se encuentra en estudio con el fin de optimizar e incrementar la eficiencia del sistema, ya que hoy en día se enfrenta a grandes problemas al ser aplicada a grandes escalas^[22].

El proceso de desalinización DS consiste en llevar a cabo el ciclo natural del agua a pequeña escala, dentro de un sistema cerrado donde la radiación solar es aprovechada para elevar la temperatura del agua hasta llegar al cambio de fase, la tecnología consiste en un recipiente con una base rectangular o cuadrada

construida por un material con alta conductividad térmica, cuenta con una cubierta que permite la entrada de los rayos solares al sistema, esta puede ser un vidrio transparente o algún plástico con características específicas de conductividad. La radiación es transmitida al agua salada como energía térmica por medio de convección, el aire dentro del equipo se humidifica por acción del vapor generado, la mezcla se condensa en la parte inferior de la cubierta que funciona a su vez como un condensador gracias a las diferencias de temperatura y presión, el agua producto es recolectada por medio de una canaleta hacia un recipiente. La eficiencia y producción de los procesos DS dependen de algunos factores climáticos, diseño y funcionamiento; entre los que se encuentran la insolación solar, temperatura del viento, humedad, condiciones atmosféricas, propiedades de los materiales, ángulo de inclinación de la cubierta, el espacio existente entre la cubierta con la superficie de la base, la transmitancia, la profundidad del agua en el recipiente, temperatura de alimentación y la salinidad del agua^[23].

ASISTENCIA DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN LOS PROCESOS DE DESALINIZACIÓN

La energía junto con el agua son elementos esenciales para el desarrollo de la vida y el progreso de la humanidad. No obstante con el incremento de la población se originan problemas ambientales y energéticos, como lo es la contaminación y disminución de agua de calidad, calentamiento global, contaminación de suelo y la escasez de los recursos energéticos por la sobreexplotación de los combustibles fósiles. La desalinización de

agua es un método en desarrollo para la obtención de nuevas fuentes hídras para consumo y actividades humanas^[24]. Sin embargo estas tecnologías requieren de grandes cantidades de energía para su operación. Por este motivo el uso de fuentes renovables presenta una oportunidad para la producción de agua por medio de métodos sustentables^[25].

La asistencia con energía solar a los sistemas de desalinización han sido poco implementados y actualmente se encuentran en desarrollo, pero ofrecen una alternativa para la disminución del impacto ambiental generado por el uso de tecnologías convencionales de desalinización^[25].

Oportunidades en la utilización de energías renovables para las tecnologías de desalinización

El funcionamiento de MSF se lleva a cabo principalmente con energía térmica para llevar a cabo el proceso de destilación y energía eléctrica para el sistema de bombeo para la alimentación y la recirculación de agua y salmuera. Por lo que un motor conectado al proceso accionado por un sistema térmico solar es una opción viable para proporcionar calor y energía eléctrica. Para el precalentamiento de agua un estanque solar tiene la capacidad de proporcionar la energía necesaria para calentar el agua por encima de su temperatura de saturación.

Con el fin de disminuir el consumo energético, MED ocupa una gran cantidad de evaporadores, para lograr reducir la diferencia de la temperatura de las etapas adyacentes; se ha demostrado que la tecnología consume más energía cuando se opera el evaporador a alta presión. La energía solar se puede utilizar de manera positiva en MED debido a la baja tempe-

	Destilación Flash Multietapa (MSF)	Destilación en múltiple efecto (MED)	Compresión mecánica de vapor	Ósmosis Inversa (RO)	Electrodiálisis (ED)	Destilación por Membranas (MD)	Congelamiento	Destilación Solar
Energía	Térmica	Térmica	Mecánica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica	Solar
Capacidad instalada (m ³)	75.000	6.000-7.000	5.000-6.000	16.200.000	1.262.929			510.043
Costo de operación (\$/m ³)	0,5	1,5		0,6	58	100	0,31	28
Consumo energético kWh/m ³	5-8	3,4-4	7-12	3,5	1,5-2,5		12,5	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicable a gran escala. - Proceso eficiente. - Utiliza energías alternas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicable a gran escala. - Recuperación de calor. - Requiere una superficie pequeña. - Utiliza energías alternativas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de operación. - Reutilización de agua. - Adaptabilidad al cambio de agua. - Bajo mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Facil operación. - Costos bajos. - Alta tasa de producción. - Bajo impacto. - Compatible con energías renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Compatible con energías renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza calor residual. - Resistencia a la suciedad. - No requiere pretratamiento. - Producto de calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo energético. - Baja temperatura de operación. - No requiere tratamiento previo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza energías renovables. - Factible para zonas marginadas. - Bajos costos a baja escala. - Bajo impacto ambiental. - Versatil.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Costoso mantenimiento. - Residuos especiales. - Inversión inicial elevada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costoso mantenimiento. - Alto consumo energético. - Residuos Especiales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Compatible para bajos caudales. - No aprovecha energía residual. - Costos altos si hay pretratamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Complicado mantenimiento. - Requiere pre y pos tratamiento. - Alto riesgo de contaminación microbiológica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo energético elevado. - Costo elevado. - Producto de baja calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo aplica en soluciones con baja concentración. - Corto tiempo de vida de membrana. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inversión elevada. - Retención de aromas 	<ul style="list-style-type: none"> - A gran escala la eficiencia disminuye. - Altos costos de operación y mantenimiento a gran escala. - Afectada por los cambios climáticos.
Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> - (Rizzuti L. et al., 2007)^[13] - (Lechuga A. et al., 2007)^[29] 	<ul style="list-style-type: none"> - (Lechuga A. et al., 2007)^[29] - (Rizzuti L. et al., 2007)^[13] 	<ul style="list-style-type: none"> - (Lukic et al., 2010)^[11] 	<ul style="list-style-type: none"> - (Prante et al., 2014)^[30] - (Lechuga A. et al., 2007)^[29] 	<ul style="list-style-type: none"> - (Germán E. et al., 2012)^[17] - (Lechuga A. et al., 2007)^[29] 	<ul style="list-style-type: none"> - (Rizzuti L. et al., 2007)^[13] 	<ul style="list-style-type: none"> - (Rich et al., 2012)^[20] - (Rahman et al., 2006)^[21] 	<ul style="list-style-type: none"> - (Villalobos, 2013)^[31] - (Lechuga A. et al., 2007)^[29]

Tabla 1.- Ventajas y desventajas de las distintas tecnologías de desalinización.

ratura de la salmuera superior, baja temperatura de vapor, la relación de la tasa de ganancia y bajo consumo energético en comparación a la tecnología MSF, la energía solar se puede aprovechar por medio de un colector o un estanque solar, con el fin de elevar la temperatura de la corriente de entrada y el consumo de energía en el proceso sea menor^[25].

La ósmosis inversa, cuentan con una gran ventaja al utilizar para su proceso solo energía eléctrica y mecá-

nica, lo que se puede generar a partir de fuentes renovables como lo es la eólica, termoeléctrica, solar fotovoltaica y radiación solar térmica en un ciclo de energía mecánica de manera directa^[26]. Los sistemas fotovoltaicos empiezan a ser populares entre las plantas de demostración, al ser ambas tecnologías modulares y escalables. Sin embargo la energía térmica para su uso en RO, se encuentra aún en investigación y su aplicación a gran escala se encuen-

tra muy distante, no obstante cuentan con una gran ventaja al precalentar el agua de alimentación y proporciona un disipador de calor al condensador del sistema térmico, mientras calienta previamente para aumentar la permeabilidad de la membrana, lo que ayuda a disminuir el consumo de energía^[26].

En el caso de los sistemas de desalinización por electrodiálisis son procesos con menor aplicación al no ser viables para la descontaminación de

agua con altas concentraciones salinas, además de contar con membranas de intercambio iónico con corto tiempo de vida por trabajar en un campo eléctrico de alta densidad, no obstante al contar como fuente principal para su funcionamiento la energía eléctrica logra mostrar una oportunidad para ser utilizada con energías renovables como sistemas fotovoltaicos, energía eólica, mareomotriz o geotermia, aun así son pocos estudios los que se han llevado a cabo en el campo de la aplicación de energías alternas a los procesos ED^[25].

Los procesos de destilación con membranas requieren de energía térmica y mecánica; por lo que en combinación con energía solar resulta ser similar a los procesos híbridos MSF/MED, se puede utilizar el calor generado en colectores o estanques solares y sistemas fotovoltaicos. La mayoría de los sistemas MD asistidos con energía solar operan a temperaturas menores a 80°C, esta tecnología demuestra ser factible y gracias a la combinación de colectores solares los sistemas MD logran una membrana de alto flujo permeable^[27].

DESALINIZACIÓN DE AGUA EN MÉXICO

México cuenta con grandes fuentes de energía tanto convencional como renovable, en los últimos 30 años se han instalado plantas de desalinización para el sector turístico, para el municipio y uso industrial en la generación de energía. Al iniciar el siglo XXI hay 171 plantas instaladas de las cuales solo 120 se encontraban en operación. El proyecto más grande instalado en México estaba en Hermosillo Sonora, la cual fue clausurada en el año 2002, aun así demuestra que en el país la desalinización es una alternativa para atacar el problema latente^[28].

Oportunidades para México

El país se encuentra ubicado en una región con alta disponibilidad energética convencional y renovable. Las reservas de petróleo empiezan a disminuir, en cambio cuenta con grandes reservas de carbón las que suman 10⁶ toneladas, un combustible funcional para la generación de energía eléctrica, donde la RO, ED, MD y CV se verían beneficiadas. Para el caso de las energías renovables México se encuentra ubicado en una región privilegiada, con una de las áreas con mayor radiación en el mundo, esto presenta la oportunidad para la generación e impulso de las tecnologías de desalinización térmicas, como lo es la MFS, MED, CV y la Destilación Solar, la energía eólica, geotermia, mareomotriz e hidráulica son prometedoras para la generación de energía eléctrica, una energía necesaria para el funcionamiento para las tecnologías de desalinización.

RESULTADOS

El estudio de las distintas tecnologías de desalinización permitió conocer a fondo la problemática de la disminución de las reservas hídricas, la disponibilidad y su disposición para los distintos sectores; como lo son el agrícola, industrial y público. La demanda al alza por el incremento de la población e industria, despierta la necesidad de generar tecnologías capaces de obtener agua de calidad, así cubrir las necesidades de regiones con bajas reservas. Estas tecnologías son los procesos de desalación, entre los que se encuentran los procesos térmicos, por membranas, por congelación y a partir de tecnologías renovables. La tecnología por ósmosis inversa es quien mayor instalación cuenta a nivel mundial con 16.000.000 de m³,

con un consumo energético de 3,5 kWh y un gasto de 0,6 dólares por m³. Dentro de los procesos térmicos la tecnología por MSF se encuentra a la cabeza con 75.000 m³ instalados en el mundo, siendo esta la que mayor instalación existe en la zona de medio oriente y el mediterráneo y la segunda a nivel mundial, cuenta con un consumo energético de 5-8 kWh y un costo de operación de 0,5 dólares por m³. La tecnología por MD cuenta con gastos de operación elevados los cuales llegan a los 100 dólares por m³ esto la posiciona como una tecnología en investigación. La desalinización por congelación se encuentra en estudio y desarrollo, no obstante muestra claras ventajas sobre los procesos térmicos y por membranas, esto gracias a que su temperatura de operación se encuentra en los 0°C lo que previene la deformación de los materiales. La destilación solar es una tecnología menos eficiente en comparación a procesos convencionales como la RO, cuenta con grandes costos operativos sumando a 28 dólares por m³, no obstante cuenta con grandes ventajas al ser instalada en regiones marginadas con bajos recursos económicos con gran disponibilidad de radiación solar, la instalación de pequeños dispositivos es la mejor opción para obtener agua suficiente para ser utilizada en una casa, esto logra que los gastos disminuyan de manera considerable. El mayor objetivo de este proceso no es abastecer de manera completa las necesidades de un hogar sino ser parte del agua necesaria para cubrir las necesidades básicas. En la tabla 1 se muestra una matriz donde se observa las distintas características, consumo energético, gasto por m³, así como las ventajas y desventajas de las distintas tecnologías de desalinización.

CONCLUSIÓN

México cuenta con grandes problemas hídricos, mientras los estados del sureste mantienen el mayor porcentaje de agua renovable, esta no es aprovechada por la falta de infraestructura e inversión para mantenimiento. La zona norte del país es una región árida y semi-árida donde escasea el líquido vital, el alto consumo per-cápita sumado al incremento poblacional y el aumento del sector industrial ocasiona que la demanda de agua sea mayor. El país cuenta con grandes oportunidades de disminuir de manera considerable la escasez de agua, no obstante la toma de conciencia y cultura es uno de los principales obstáculos que superar, las tecnologías de desalinización resultan ser viables en el país gracias a las altas fuentes energéticas existentes.

Las energías renovables cuentan con el potencial para sustentar las tecnologías de desalinización al lograr procesos híbridos, de esta manera mantener un equilibrio con los recursos y ciclos naturales, la radiación solar es la opción adecuada para ser instalada en lugares alejados de la urbanización donde los recursos económicos no llegan de manera

adecuada, zonas costeras rodeadas de agua salada y salobre cuentan con gran disponibilidad de radiación lo que ofrece la oportunidad de implementar tecnología de destilación solar y tener nuevas fuentes de agua limpia y cubrir así las necesidades básicas de la población.

El uso de una tecnología de desalinización va depender en gran medida a la demanda de agua necesaria del lugar, así como las reservas energéticas y económicas con las que cuenta, la escasez de agua es responsabilidad de la población, gobierno e industria, por lo que la búsqueda de una solución sustentable concierne a todos los sectores, es necesario considerar el impacto ambiental, social y económico ya que no debe exceder el problema que se pretende atacar.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PNUMA. 2014. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [Online]. Available: <http://www.unep.org/Themes/Freshwater/About/index.asp> [Accessed 22/02 2014].
- [2] Reyes Vidal M.Y., Díez Á.A., Martínez-Silva A., & Asaff A., 2012. Investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el cuidado y reuso del agua. (Spanish). Research, technology development and innovation for water saving and recycling. (English), 199-216.
- [3] CONAGUA 2012. Agua en el mundo [Online]. Available: <http://www.conagua.gob.mx/> [Accessed 10 de mayo 2014].
- [4] CONAPO 2014. Datos de Proyecciones [Online]. Available: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos [Accessed 10 de mayo 2014].
- [5] Altaee A., Mabrouk A. & Bourouni K., 2013. A novel Forward osmosis membrane pretreatment of seawater for thermal desalination processes. Desalination, 326, 19-29.
- [6] Tanvir M.S. & Mujtaba I.M., 2006. Neural network based correlations for estimating temperature elevation for seawater in MSF desalination process. Desalination, 195, 251-272.
- [7] Al-Weshani M.A., Anderson A. & Tian G., 2014. Organic Rankine Cycle recovering stage heat from MSF desalination distillate water. Applied Energy.
- [8] Raluy G., Serra L. & Uche J., 2006. Life cycle assessment of MSF, MED and RO desalination technologies. Energy, 31, 2361-2372.



2015
September 23-25
GREATER NOIDA

www.ubmindia.in/renewable_energy

- [9] Mezher T., Fath H., Abbas Z. & Khaled A., 2011. Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. *Desalination*, 266, 263-273.
- [10] Shen J., Xing Z., Wang X. & He Z., 2014. Analysis of a single-effect mechanical vapor compression desalination system using water injected twin screw compressors. *Desalination*, 333, 146-153.
- [11] Lukic N., Diezel L.L., Froba A.P. & Leipertz A., 2010. Economical aspects of the improvement of a mechanical vapour compression desalination plant by dropwise condensation. *Desalination*, 264, 173-178.
- [12] Évora I.G., González Enríquez R. & Ponce Fernández N., 2012. Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai* 8, 57-68.
- [13] Rizzuti L., Ettouney Hisham M., 2007. *Solar Desalination for the 21st Century*, Países Bajos, Springer.
- [14] Torres A.M.D., 2007. Diseño preliminar de un sistema de desalación por ósmosis inversa mediante energía solar térmica. Tesis Doctoral, Universidad de la Laguna.
- [15] Rivera R.G.R., 2009. Evaluación ambiental de la integración de procesos de producción de agua con sistemas de producción de energía. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.
- [16] Ghyselbrecht K., Huygebaert M., Van Der Bruggen B., Ballet R., Meesschaert B. & Pinoy L., 2013. Desalination of an industrial saline water with conventional and bipolar membrane electrodialysis. *Desalination*, 318, 9-18.
- [17] Germán E., Isirdia D., González R. & N. P., 2012. Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai*, 8, 57-68.
- [18] Meng S., Ye Y., Mansouri J. & Chen V., 2014. Fouling and crystallization behaviour of superhydrophobic nano-composite PVDF membranes in direct contact membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 463, 102-112.
- [19] Alkudhiri A., Darwish N. & Hlail N., 2012. Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination*, 287, 2-18.
- [20] Rich A., Mandri Y., Mangin D., Rivoire A., Abderafi S., Bebon C., Semli N., Klein J.-P., Bounahmidi T., Bouhaouss A. & Veessler S., 2012. Sea water desalination by dynamic layer melt crystallization: Parametric study of the freezing and sweating steps. *Journal of Crystal Growth*, 342, 110-116.
- [21] Rahman M.S., Ahmed M. & Dong Chen X., 2006. Freezing-Melting Process and Desalination: I. Review of the State of the Art. *Separation & Purification Reviews*, 35, 59-96.
- [22] Bhardwaj R., Ten Kortenaar M.V. & Mudde R.F., 2013. Influence of condensation surface on solar distillation. *Desalination*, 326, 37-45.
- [23] Ranjan K.R. & Kaushik S.C., 2013. Energy, exergy and thermoeconomic analysis of solar distillation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 709-723.
- [24] Zhou X., Xiao B., Liu W., Guo X., Yang J. & Fan J., 2010. Comparison of classical solar chimney power system and combined solar chimney system for power generation and seawater desalination. *Desalination*, 250, 249-256.
- [25] Li C., Goswami Y. & Stefanakos E., 2013. Solar assisted sea water desalination: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 136-163.
- [26] Bruno J.C., López-Villada J., Letellier E., Romera S. & Coronas, A., 2008. Modelling and optimisation of solar organic rankine cycle engines for reverse osmosis desalination. *Applied Thermal Engineering*, 28, 2212-2226.
- [27] Mericq J.P., Laborie S. & Cabasud C., 2011. Evaluation of systems coupling vacuum membrane distillation and solar energy for seawater desalination. *Chemical Engineering Journal*, 166, 596-606.
- [28] Nava C. & Hiriart Le Bert G., 2008. Desalación de agua con energías renovables. In: UNAM (ed.) *Primera ed. México D.F.*
- [29] Lechuga A.J., Rodríguez M. & Lloveras M.J., 2007. Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ra Ximhai*, 8, 57-68.
- [30] Prante J.L., Ruskowitz J.A., Childress A.E. & Achilli A., 2014. RO-PRO desalination: An integrated low-energy approach to seawater desalination. *Applied Energy*, 120, 104-114.
- [31] Villalobos J.J.H., 2013. Estudio de la transferencia de calor en un sistema desalinizador mediante humidificación y deshumidificación de aire. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [32] Mahdavi M., Mahvi A., Nasser, S. & Yunesian, M., 2011. Application of Freezing to the Desalination of Saline Water. *Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media B.V.)*, 36, 1171-1177.

García C. R. de J.

Área de Ciencias Biológico y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit, México.

Hernández R. I. P.

Área de Ciencias Básicas e Ingenieras, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit, México.