

Análisis del potencial de la tecnología de congelación/fusión para la desalinización del agua de mar utilizando la energía termo solar

*M. I. Castillo Téllez B., **Dr. Pilatowsky Figueroa I., Dr. * M. I. Castillo Téllez M.,
*M.C. López Vidaña Erick César

**Coordinación de Refrigeración y Bombas de Calor, Departamento de Sistemas Energéticos y *Posgrado de Ingeniería, área Energía, del Instituto de Energías Renovables Universidad Nacional Autónoma de México.

becat@ier.unam.mx, ipf@ier.unam.mx, macat@ier.unam.mx, eclv@ier.unam.mx

Resumen

Teniendo en cuenta la gran demanda de agua dulce a nivel mundial y la escasez de la misma, la desalinización de agua de mar resulta una de las técnicas que más ha interesado como una solución en términos de sostenibilidad para solventar las necesidades hídricas de la población. Uno de los principales problemas para considerar viable la desalación de agua de mar su excesivo consumo de energía, ya que el problema de la escasez de agua va aparejado al problema del abastecimiento de energía, en donde la demanda crece proporcionalmente con la población y las condiciones de cambio climático. Bajo éste tenor, destaca la desalación por Congelación-Fusión (C/F) por sus bajos requerimientos energéticos. Sin embargo, es la técnica menos utilizada debido al problema de la separación de sales, ya que requiere la incorporación de procesos que han elevado sus costos, limitando su aplicación a la industria alimentaria.

La C/F tiene gran potencial si se resuelven algunos de los problemas tecnológicos y se logra minimizar el consumo eléctrico debido al uso de compresores, (refrigeración comercial). Existen sistemas de refrigeración que se basan en fenómenos de absorción, desorción, termoquímicos, eyecto-compresión, que operan con energía térmica (refrigeración térmica). La energía solar, la cual tiene una mayor distribución, puede integrarse para operar la refrigeración térmica y aprovechar este recurso disponible en las zonas costeras de los países tropicales, en donde se podrá obtener un doble beneficio: disponibilidad de enfriamiento para conservación de productos perecederos (fusión de hielo) y agua potable para consumo humano, con el mismo costo energético.

En el presente trabajo se presenta el potencial de aplicación de desalación de agua de mar usando C/F, realizando un análisis de factibilidad técnica y económica, utilizando las tecnologías de la refrigeración térmica con energía termosolar.

Palabras clave: Desalación, Congelación/Fusión, Energía termosolar

Abstract

Given the high demand for fresh water worldwide and its scarcity, desalination of seawater is one of the techniques that have been interested as a solution in terms of sustainability to address the water needs of the population. One of the main issues to consider viable seawater desalination is their excessive energy consumption, since the problem of water scarcity is coupled to the power supply problem, where the demand grows proportionally with the population and conditions climate change. Under these circumstances, stands Freezing/Melting desalination

(F/M) for its low energy requirements. However, the technique is less used because of the problem of the separation of salts, since it requires the incorporation of processes that have high costs, limiting its application to the food industry.

The F/M has great potential if resolved some of the technological problems and minimize power consumption achieved by the use of compressors, (commercial refrigeration). Cooling systems are based on phenomena of absorption, desorption, thermochemical compression ejectors, which operate with thermal energy (cooling temperature). Solar energy, which has a wider distribution, can be integrated to operate the thermal cooling and take advantage of this resource available in the coastal areas of tropical countries, where they can get a double benefit: Cooling availability conservation of perishables (ice melting) and drinking water for human consumption, with the same energy cost.

This paper present the potential application of seawater desalination using F/M, analyzing technical and economic feasibility, using the thermal cooling technologies with solar energy.

Key words: Desalination, Freezing/Melting, thermal energy.

Introducción

Es indudable que el suministro de agua potable es un problema grave a nivel mundial. El agua tiene un impacto importante sobre la calidad de vida de la población e influye directamente en el desarrollo económico del mismo. Existen naciones donde el agua es en extremo limitada debido a la escasez o nula presencia de ríos, lagos y lagunas. Se han dado soluciones como la construcción de pozos, embalses, importación o exportación de agua o como la desalación. No se puede afirmar certera y determinadamente que una solución sea mejor que las otras; sin embargo, el criterio económico aconsejaría optar por la alternativa más costo-efectiva. En algunos países donde la escasez de cuerpos de agua dulce es notable, sin duda la solución más adecuada puede ser la desalación de agua salobre o agua marina. Mismo que se utiliza como insumo para obtener agua potable mediante un proceso que permite separar las sales disueltas en ella. Entre los países que ya han puesto en práctica este proceso se encuentran los Emiratos Árabes Unidos, Kuwait, España y Libia. También se ha empleado con cierto éxito esta solución en alguna parte del continente europeo y del americano.

Aun cuando la desalación permite obtener agua para el consumo humano, el proceso en sí presenta ciertas dificultades, una de las principales es que las técnicas para la desalación de agua de mar comercialmente utilizadas, demanda grandes cantidades de energía, estos requerimientos resultan una gran desventaja dados los altos costos en el mercado internacional de dicho insumo y son seriamente cuestionados ya que tanto el agua como la energía han sido dos de los temas más importantes en los grandes foros del medio ambiente y desarrollo internacional. (*E. Mathioulakis et al.2007*).

Desde la antigüedad los seres humanos han utilizado fuentes de energía renovables, pero ha habido un notable desarrollo después de la crisis del petróleo de 1973. En la actualidad el interés sigue en aumento.

Existen varias técnicas para desalar agua de mar, entre los procesos que implican un cambio de fase están Destilación en Múltiple Efecto, Compresión de vapor y Congelación. Los procesos que no realizan un cambio de fase incluyen Ósmosis Inversa y Electrodiálisis.

De las técnicas mencionadas, la desalación por congelación, presenta una ventaja principal sobre las otras: Su bajo requerimiento en el consumo de energía y baja temperatura de operación en comparación con la desalación térmica, (*Brian, 1971 y Johnson, 1979*). La reducción en costos de energía se debe a que el calor latente de fusión del hielo es sólo la séptima parte que el calor latente de vaporización del agua, por lo que la C/F podría ahorrar del 75 al 90% de la energía requerida por el proceso térmico convencional, (*Heist, 1979*).

Tabla 1 Comparativo energético de las opciones para desalar agua de mar

Tecnología	Destilación Solar	MED	MSF	Osmosis Inversa	Electrodialisis	Por Congelación
Necesidades energéticas	Térmico	Térmico/eléctrico	Térmico/eléctrico	Mecánico/Eléctrico	Eléctrico	Térmico/eléctrico
Factores que afectan las necesidades energéticas	Temperatura ambiental, viento	Temperatura (agua de mar y ambiente)	Temperatura (agua de mar y ambiente)	Salinidad del agua recuperación de energía.	Salinidad del agua de mar	Temperatura ambiental
Consumo de energía (kWh/m ³)	642	32 (térmico), 1 a 2.5 (eléctrico)	48 a 441 (térmico), 3 (eléctrico)	4 a 17	0.8 a 11	6 a 10

Fuente: Dr. Isacc Pilatowsky Figueroa.

1. Proceso de Congelación/ Fusión

La C/F remueve las sales disueltas en soluciones de baja concentración (soluciones diluidas) durante la formación de cristales de hielo. Para desalar agua usando este método, los componentes no salinos son removidos en el tiempo apropiado del proceso de congelación, y el cristal de hielo “enjuaga” para remover el total de la sal adherida. El hielo es entonces fundido (descongelado) para producir agua dulce. En la figura 1, se presenta un diagrama de un proceso de desalinización por congelación.

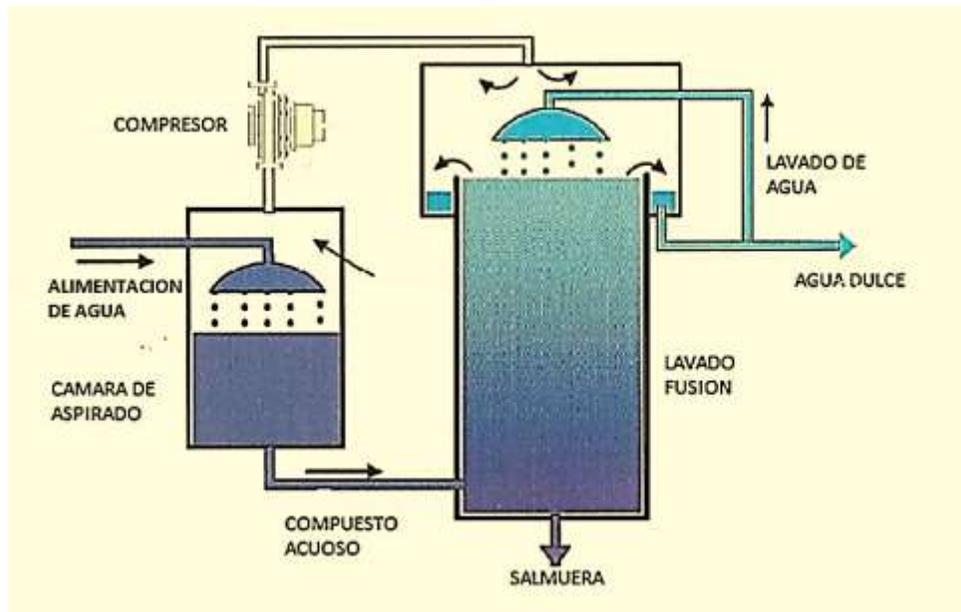


Ilustración 1 Proceso de desalación por congelación

La cristalización por congelación se ha usado para separar una amplia variedad de contaminantes del agua, tales como minerales disueltos, productos químicos orgánicos y partículas.

Aunque el proceso de congelación/ fusión no ha sido ampliamente utilizado a nivel comercial, el proceso tiene algunas ventajas muy importantes. Quizás, la más grande ventaja potencial de desalinización por congelación es su bajo requerimiento de energía comparado con los procesos de destilación (Brian, 1971; Johnson, 1979).

El proceso CF, tiene la ventaja de trabajar a baja temperatura de operación, minimizando el escalamiento y los problemas de corrosión (Brian, 1971; Agnew and Anderson, 1992; Hartel, 1992). Los materiales plásticos y o de bajo costo se pueden usar a bajas temperaturas (Johnson, 1976; 1979; Agnew y Anderson, 1992; Maguire, 1987) Se pueden alcanzar áreas muy grandes y coeficientes de transferencia utilizando contacto directo entre la salmuera y el refrigerante. El proceso CF, no necesita un pre tratamiento, en donde se pueden evitar los químicos requeridos para este efecto, además no está sujeto a problemas de incrustaciones, como ocurre en la separación por membrana (Johnson, 1976; Schroeder et al., 1977) y hay que considerar además que es mínimo el impacto ambiental (Maguire, 1987).

En cuanto a las desventajas, en comparación con la evaporación y la ósmosis inversa, se incluyen los altos costos de capital y de operación durante la separación del hielo (Muller, 1967). Otras desventajas son (Wiegandt y Von Berg, 1980):

- Retención de sabores y aromas desagradables (inicialmente presentes en el agua marina de alimentación) que pueden estar presentes en el agua fresca producida (Braddock y Marcy, 1987).
- Necesita incluir las etapas de crecimiento, manejo y lavado de cristales de hielo y el requerimiento de compresores mecánicos de vapor.
- Atrapamiento de solución salina en el hielo durante la cristalización requiere de trituración y re cristalizaciones del hielo.

- Un incremento progresivo en las concentraciones de la sustancia disuelta y gases no condensables.
- Se requiere una cierta cantidad de agua fresca para lavar el hielo con el objeto de reducir el contenido de sal en el agua producida.
- Limitado conocimiento de la cristalización del hielo y crecimiento en un sistema de suspensión de hielo, de la funcionalidad en el manejo de pequeñas partículas de hielo en suspensión, de los buenos métodos para una separación completa del hielo de la salmuera y el comportamiento de la hidratación.

Tabla 2 Comparativo técnico de las opciones para desalar agua de mar

Tecnología	Destilación Solar	MED	MSF	Destilación Por Compresión De Vapor	Osmosis Inversa	Electrodialisis	Por Congelación
Tecnología experimentada	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Coste (\$/(m ³ /día))	9000 a 66000	1000 a 12000	800 a 15000	1100 a 4200	1600 a 2000	280	2400
Tamaño mediano (m ³ /día)	0.005 a 5	1000 a 10 000	1000 a 100 000	2 a 1000	0.01 a 10 000	0.1 a 200	No requiere
Complejidad de la operación	poco	elevada	elevada	elevada	Necesidad de las pre tratamiento	Necesidad de las pre tratamiento	Elevado (separación del helado)
Pre tratamientos requeridos	nada	filtración,	filtración, control de alimentación	filtración, control del alimentación	Filtración, otra (depende calidad del agua)	Filtración, otra (depende calidad del agua)	No requiere
Mantenimiento requerido	Instalaciones tratamiento de los residuos, sales.	Alimentación/corrosión de las bombas.	Alimentación/corrosión de las bombas.	Alimentación/corrosión de las bombas.	Reemplazar filtros, limpiar membranas, corrosión bombas e instalaciones.	Reemplazar filtros, limpiar membranas, corrosión bombas e instalaciones.	No requiere
Sustitución requerida	nada	filtro	filtro	filtro	Filtro (mensualmente), membrana (de 2 a 5 años)	Filtro (mensualmente), membrana (de 2 a 5 años)	Nada

Tabla 3 Costos de agua removida para los proceso de evaporación y congelación

Aplicación	Costo por 1000 Kg (1m ³) Agua removida	
	Evaporación	Congelación
Concentración Jugo de Fruta	\$5.40	\$2.00
Producción de Azúcar	\$8.47	\$1.32
Desalación Agua de Mar	\$1.85	\$0.93
Concentración Sosa Caustica	\$2.23	\$1.06
Concentración Licor Negro	\$3.15	\$1.52

Fuente: Chen, 2006

El proceso sin embargo, debido a una serie de consideraciones prácticas, incluyendo el diseño y dimensionamiento de los componentes, el funcionamiento y el control de las operaciones de

manejo de sólidos, y numerosos problemas con los compresores, no ha permitido todavía desarrollarse comercialmente.

Sin embargo, ha sido ampliamente usado con éxito en las industrias alimentaria y farmacéutica y tiene otros usos potenciales en la concentración de residuos industriales procedentes de plantas de galvanoplastia, plantas de energía nuclear, y plantas químicas. En el caso de su aplicación en la desalinización, no alcanza precios competitivos por el bajo precio del agua dulce comparada con otros productos alimentarios.

1.1. Procesos de desalación de agua de mar por congelación.

Existen básicamente tres tipos de procesos, por contacto directo, contacto indirecto y por medio de vacío. La tabla 4, muestra estas diferentes clases de procesos.

Tabla 4 Clasificación de los procesos de desalación por congelación

- A. Congelación por contacto directo
- B. Congelación por contacto indirecto
 - a. Enfriado interno.
 - i. Sistema de crecimiento de capa estático.
 - ii. Unidad de cristalización de capa en tambor rotativo.
 - iii. Unidad progresista de cristalización.
 - iv. Sistema de crecimiento de capa dinámico.
 - v. Cristalización de suspensión.
 - b. Enfriado externo.
 - i. Super-enfriado de alimentación.
 - ii. Maduración de vasos.
 - c. Congelación en vacío.

1.1.1. Congelación por contacto directo.

Un congelador de contacto directo usa un refrigerante en espray por el impacto del reactor a través de una boquilla. Las ventajas principales son una tasa alta de producción por unidad de volumen con una fuerza motriz baja con pequeños consumos de energía, la ausencia de partes móviles y una compacta y eficiente unidad, (Gibson, W., Emmermann, D., Grossman, G., Johnson, R., Modica, A., y Pallone, A., 1974).

1.1.2. Congelación por contacto indirecto.

En éste proceso, la energía para la refrigeración debe ser pasada a través de las paredes de alguna forma de intercambiador de calor, y la transferencia de calor ocurre a través de una barrera sólida (Thijssen, H.A.C., 1975 y Curran, H.M., 1970).

1.1.3. Congelación al vacío.

Este sistema ha sido usado para desalación de agua de mar. El agua por si misma puede servir como refrigerante, (Dickey, L.C., 1996). En ésta opción una aspiradora puede usarse para vaporizar una porción de agua, la cual entonces provee los efectos de refrigeración para disminuir la temperatura del producto y causar la cristalización del hielo. El hielo lavado es derretido por condensación de contacto directo con el agua en la unidad de derretido-condensado.

2. Uso de energías renovables

Una opción sustentable ante la no sustentable del empleo de energías convencionales en la desalación que es ya de por sí un proceso oneroso por el consumo excesivo de las mismas, es el uso de energías renovables.

Desde hace décadas se ha venido difundiendo el uso de plantas desaladoras que utilizan energía solar y otras que la combinan energía de hidrocarburos. Ejemplo de ellas son los Emiratos Árabes, Kuwait, Berken, Alemania, España y Chipre, así como en La Paz, BCN, en México.

La energía solar es la fuente de energía renovable con mayor potencial, ya que es una fuente abundante proveniente de la radiación solar. La superficie terrestre recibe grandes cantidades de energía solar que podría suplantar la energía proveniente de combustibles fósiles y la energía eléctrica que se utilizan para todas las actividades humanas.

2.1. Refrigeración térmica

El sistema de refrigeración más utilizado está basado en la evaporación de un refrigerante a baja presión para obtener una baja temperatura. Estos refrigerantes tienen diferentes propiedades, lo que permite adecuarlos a diferentes condiciones de funcionamiento, es decir: climatización de espacios, conservación, refrigeración, congelación y criogenia. En estos procesos el refrigerante se evapora a diferentes presiones para obtener las diferentes temperaturas. Para obtener el refrigerante líquido para su evaporación, es necesario condensarlo a una temperatura y presión mayores, por lo que se usa un dispositivo mecánico, en este caso, un compresor. Este ciclo de refrigeración se conoce como compresión de vapor, en donde el refrigerante en forma de vapor es succionado a baja presión comprimido a las condiciones de su condensación. Estos tienen una alta eficiencia, sin embargo, consumen mucha energía eléctrica.

Existen sistemas de refrigeración que operan con energía térmica, en este caso las funciones que realiza el compresor (succión y compresión), se llevan a cabo por medio de procesos fisicoquímicos. La succión del vapor se realiza por medio de la sorción del refrigerante. El proceso para separar el refrigerante del sorbete y llevarlo a las condiciones de condensación, se llama desorción y para ello se suministra la energía térmica. Entonces un ciclo de refrigeración por sorción, está formado básicamente por un sorbedor en donde es succionado el refrigerante, formando una solución o un sólido con el sorbente. Si el refrigerante se solubiliza en el sorbente se llama absorción y puede llevarse a cabo tanto en líquidos (como en sólidos (termoquímico) le conoce como adsorción (sólidos), si solo es sorbido en la superficie del sorbente. Un desorbedor, en donde el refrigerante se evapora a las condiciones de condensación, un condensador y un evaporador, así como dispositivos mecánicos como válvulas de expansión para llevar el refrigerante líquido de a condiciones del condensador a las del evaporador y bombas para llevar la solución (refrigerante y absorbente) a las condiciones

para disociado, es decir un generador o desorbedor y es en este componente que se suministra energía térmica. La figura, representa un ciclo de refrigeración por sorción (absorción).

2.2. Refrigeración por sorción

La refrigeración por sorción al igual que los sistemas de eyecto compresión son ejemplos de refrigeración térmica, siendo los de absorción los más utilizados. Estos sistemas tienen muchas ventajas: utilizan una gran diversidad de fuentes de energía térmica, entre 60 y 250 °C (gas natural, gas LP, diésel, gases de escape, biomasa, efluentes térmicos industriales, energía solar y geotérmica, b) operan con refrigerantes de mínimo impacto ambiental como el amoníaco, agua, alcohol, aminas primarias, c) su manufactura no requiere de una industria metal mecánica especializada, d) son silenciosos en su operación, e) tiene un largo período de vida media útil y un mínimo mantenimiento, y d) aplicaciones muy diversas principalmente para el acondicionamiento de aire, conservación y congelación de alimentos y producción de hielo.

Estos ciclos pueden funcionar de manera continua o intermitente (fuente discontinua de energía térmica) y en el caso de la absorción, presentan una gran diversidad de ciclos, tales como: a medio, uno, doble y triple efecto, con recuperación interna de calor, dual, modificado a doble efecto, combinado eyecto – absorción, absorción con membrana osmótica, absorción a dos etapas, combinado compresión-absorción, absorción en ciclo abierto, entre otros. Su dominio de temperaturas de operación comprende desde cerca de 60 °C para ciclos de adsorción, entre 80 y 90 °C para sistemas de absorción a una etapa y cerca de 200 °C, para dos etapas, para aire acondicionado, para la fabricación de hielo entre 120 y 150 °C y para alta congelación entre 180 y 220 °C.

2.3. Sistemas sorbente-refrigerante

Dependiendo del tiempo de ciclo de sorción, existen varios sistemas sorbente-refrigerante que han sido propuestos. En el caso de la absorción (líquido-vapor): los absorbentes de amoníaco como el agua, nitrato de litio, tiocianato de sodio, se utilizan para sistemas de aire acondicionado, refrigeración y producción de hielo y congelación, los absorbente de agua, como el bromuro de litio y otros compuestos higroscópicos, principalmente para aire acondicionado y conservación, y el agua como absorbente de las aminas primarias.

En el caso de la adsorción (sólido-vapor), sílica gel, carbón activado, zeolitas, como adsorbentes de agua y alcohol, para su aplicación en aire acondicionado.

En la refrigeración termoquímica, se utilizan reacciones químicas entre principalmente halogenuros de alcalino y alcalino térreos, como los cloruros de calcio, bario, magnesio, estroncio, que forman compuestos de adición con los refrigerantes: agua (hidratos), amoníaco (amoniacatos), aminas (aminatos) alcoholes (alcoholatos), los cuales se disocian térmicamente, con aplicaciones en aire acondicionado, refrigeración y congelación.

Para la producción de bajas temperaturas como la refrigeración y la congelación se utiliza el refrigerante amoníaco y en el caso del sorbente se selecciona en base a las condiciones de operación establecidas, sobre todo por el nivel de temperatura al cual hay que separar el amoníaco.

3. Refrigeración termosolar

Una de las fuentes energéticas renovables con gran potencial de utilización es la energía solar. Entre los principales argumentos están en sus impactos en la seguridad energética, el

crecimiento económico, su integración en proyectos de sustentabilidad y en su reducido impacto ambiental. Su distribución cumple un gran espectro territorial a nivel mundial con irradiancias solares altas, como es el caso de México con valores promedio anuales de 5 kWh/m²día. Su conversión a calor, se puede aplicar en la refrigeración térmica y a electricidad en sistemas de compresión de vapor y termoeléctricos. En el caso de la conversión fototérmica, existe una gran diversidad de tecnologías en función de los niveles térmicos requeridos.

3.1. Tecnologías termosolares

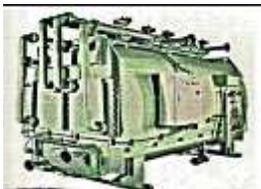
La temperatura de operación del termo conversores solares es función de las propiedades de loa materiales, de las pérdidas térmicas, del tipo de almacenamiento y si son estacionarios o móviles siendo la tecnología más sencilla es la de los captadores planos. Los construidos de plásticos operan de 30 a 45 °C, metálico entre 30 y 80 °C, con superficies selectivas (alta absortancia y baja emitancia) entre 30 y 100 °C, planos con evacuación de aire (tubos evacuados) entre 60 y 120 °C, plano con barreras anticonvectivas transparentes entre 60 y 100 °C, planos con escasa concentración, los cilíndrico parabólicos compuestos (CPC). Con sistemas de seguimiento, cilíndrico parabólicos, con temperaturas entre 200 y 400 °C. Con estas tecnologías se pueden cubrir los requerimientos de energía térmica de la mayor parte de sistemas de refrigeración térmica.

La tabla 5, presentan de manera resumida, las diferentes tecnologías de enfriamiento y su acoplamiento con sistemas de calentamiento solar, así como las temperaturas de operación, coeficiente de operación de algunos enfriadores solares comerciales.

4. Integración de la tecnología de la refrigeración termosolar al proceso de desalación de agua de mar por congelación/fusión.

La integración de la refrigeración solar en la congelación/ fusión del agua de mar para su desalinización, como se puntualizó es factible desde el punto de vista tecnológico.

Tabla 5 Comparación de tecnologías de sorción utilizando sistemas de calentamiento solar.

MÉTODO	CICLO CERRADO		CICLO ABIERTO	
CLICLOS DE REFRIGERACIÓN	CICLOS DE REFRIGERACIÓN CERRADOS		REFRIGERANTE (AGUA) ESTA EN CONTACTO CON LA ATMOSFERA	
PRINCIPIOS DE OPERACIÓN	ENFRIAMIENTO DE AGUA		DESHUMIDIFICACIÓN DE AIRE Y ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	
FASE DEL ABSORBENTE	SÓLIDO	LÍQUIDO	SÓLIDO	LÍQUIDO
				EN ETAPA DE DESARROLLO
SUSTANCIAS TÍPICAS DE TRABAJO	SÍLICA GEL-AGUA SAL-AMONIACO	BROMURO DE LITIO/AGUA-AGUA, AGUA/AMONIACO	SÍLICA GEL-AGUA, CLORURO DE LITIO-AGUA	CLORURO DE CALCIO-AGUA, CLORURO DE LIIO-AGUA
TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN EL MERCADO	ENFRIADOR POR ADSORCIÓN	ENFRIADOR POR ABSORCIÓN	ENFRIAMIENTO POR DESECANTE	

CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO TÍPICA	ENFRIADOR POR ADSORCIÓN (50-430 kW)	ENFRIADOR POR ABSORCIÓN (20kW-5 MW)	20-350 kW (POR MÓDULO)	
COP TÍPICO	0.3-0.7	0.6-0.75 (SIMPLE EFECTO)	0.5->1	>1
TEMPERATURA DE OPERACIÓN (TGE)	60-90°C	80-110°C (un efecto) 130-160°C (dos efectos)	45-95°C	45-70°C
COLECTORES SOLARES	COLECTORES DE PLACA PLANA Y TUBOS EVACUADOS	TUBOS EVACUADOS	COLECTORES DE P. PLANA Y COLECTORES SOLARES CALENTADORES DE AIRE	COLECTORES DE P. PLANA Y COLECTORES SOLARES CALENTADORES DE AIRE

La figura 2, presenta un diagrama en donde se incorpora el calentamiento solar a un ciclo de sorción para la congelación de agua de mar para obtener su desalinización.

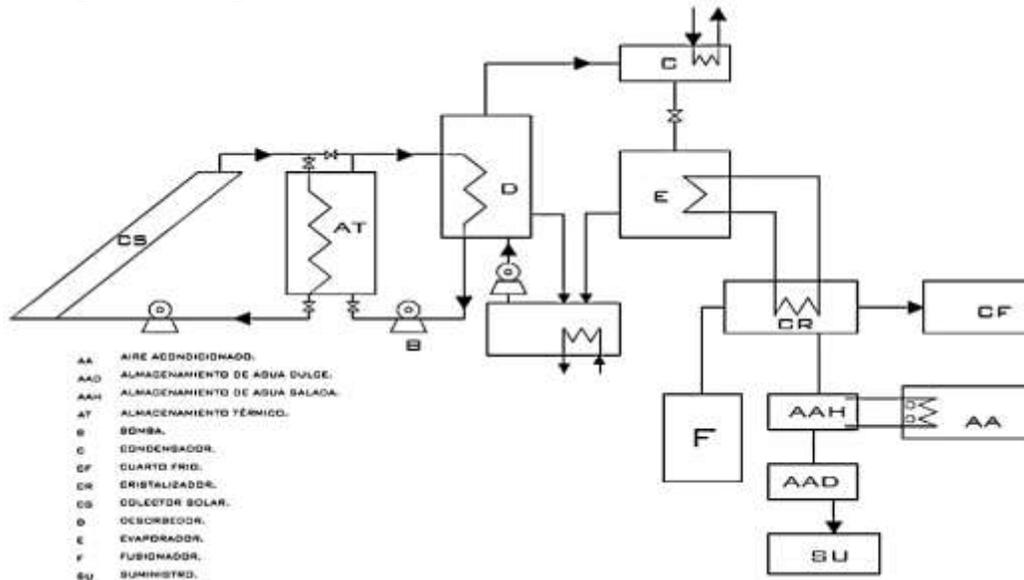


Ilustración 2. Sistema de congelación/fusión de agua de mar para su desalinización utilizando energía solar térmica.

4.1. Principio de funcionamiento

El congelador solar para desalar el agua de mar, CSDAM, está constituido por: un sistema de calentamiento solar que consiste en un captador CS, almacenamiento térmico, (AT) y un sistema de calentamiento auxiliar (CA), un ciclo de refrigeración por sorción CRS, sorbedor (S), desorbedor,(D) condensador (C) y evaporador (E). La cristalización (CR) del agua de mar se realiza por medio del enfriamiento de un refrigerante secundario (salmuera). Para su fusión (F) se utiliza como fluido por ejemplo aire, el cual se hace circular a través del hielo y se aprovecha su enfriamiento para introducirse a una cámara de conservación de productos perecederos. El agua líquida helada, producto de la fusión del hielo se almacena (AAC) a una temperatura cercana al punto de congelación y se hace circular a través de un intercambiador-ventilador para el enfriamiento indirecto de aire, el cual se introduce en un espacio reservado para la climatización y finalmente al agua dulce se almacena, se le da un tratamiento sanitario y se alienta a la red de suministro (S). La figura presenta un diagrama del sistema propuesto.

Para la congelación se propone el desarrollo de un sistema de enfriamiento por absorción amoníaco-agua, para la congelación del agua de mar, utilizando la tecnología de captadores solares evacuados con caloriductos integrados.

Conclusiones

El método de congelación/fusión para la desalinización de agua de mar, a pesar de su bajo consumo energético y algunas de sus ventajas, se ha considerado costoso, y complejo a causa del acoplamiento de varios procesos para lograr la separación de las sales. La propuesta de la aplicación de la refrigeración térmica solar, permite reducir substancialmente el consumo de electricidad, utilizando la energía solar con apoyo de un sistema auxiliar de bajo consumo, reduciendo el consumo de hidrocarburos y con base al planteamiento permitirá obtener una aplicación en serie, con un triple beneficio, es decir: conservación de ,climatización y agua potable. Lo anterior podrá beneficiar a las zonas costeras, aprovechando el recurso marino.

Referencias

- Agnew, C. and Anderson, E. (1992) *Water Resources in the Arid Realm*, Rutledge, London.
- Braddock, R.J. and Marcy, J.E. (1987) 'Quality of freeze concentrated orange juice', *Journal of Food Science*, Vol. 52, No. 1, pp.159–162.
- Brian, P.L.T. (1971) 'Potential advantages and development problems in water desalination by freezing', *Chemical Engineering*, May, pp.191–197.
- Curran, H.M. (1970) *Water desalination by indirect freezing*. *Desalination*, 7:273-284.
- Dickey, L.C., Craig, J.C., Radewon, E.R., McAloon, A.J., and Holsing, V.H. (1995) *Low temperature concentration of skim milk by direct freezing and vacuum evaporation*. *J. Dairy Sel*, 78: 1369-1377.
- Gibson, W., Emmermann, D., Grossman, G., Johnson, R., Modica, A., and Pallone, A. (1974) *Spray freezer and pressurized counter washer for freeze desalination*. *Desalination*, 14: 249-262.
- Hartel, R.W. (1992) 'Evaporation and freeze concentration', in D.R. Heldman and D.B. Lund (Eds.) *Handbook of Food Engineering*, New York: Marcel Dekker, pp.341–392.
- Heist, J.A. (1979) 'Freeze crystallization', *Chemical Engineering*, Vol. 86, No. 10, pp.72–82.
- Johnson, W.E. (1976) 'State-of-the-art of freezing processes, their potential and future', *Desalination*, Vol. 19, pp.349–358
- Johnson, W.E. (1979) 'Indirect freezing', *Desalination*, Vol. 31, pp.417–425.
- Maguire, J.B. (1987) 'Fresh water from the sea, a new process', *Desalination*, Vol. 67, pp.155–162
- Muller, J.G. (1967) 'Freeze concentration of liquids: theory, practice and economics', *Food Technology*, Vol. 21, pp.49–60.
- Schroeder, P.J., Chan, A.S. and Khan, A.R. (1977) 'Freezing processes – the standard of the future', *Desalination*, Vol. 21, pp.125–136.
- Thijssen, H.A.C. (1975a) *Apparatus for separation and treatment of solid particles from a liquid suspension*. U.S. Patent 3,872,009.
- Wiegandt, H.F. and Von Berg, R.L. (1980). 'Myths about freeze desalting', *Desalination*, Vol. 33, pp.287–297.