

PROTOTIPADO RÁPIDO DE COMPONENTES PARA SISTEMA DE ESTUDIO DE DESALINIZACIÓN SOLAR MEJORADA

Por: Romeo Muñoz, Angel Hernández, Stanley Ventura y Rainer Christoph

Introducción

Estudios recientes (Ref 1,2) revelan que la evaporación del agua bajo irradiación solar aumenta considerablemente, por un factor de 2 a 3, cuando la superficie de agua expuesta a la irradiación es recubierta por una película semipermeable de material con alto contenido de grafito.

Para explicar este efecto se postula a la formación de zonas calientes (*hot spots*), en las cuales la luz incidente sobre la estructura molecular del grafito da lugar a resonancias plasmónicas localizadas en su superficie (*localized surface plasmon resonances*). La energía de estas resonancias electrónicas es transferida a la red cristalina mediante interacciones electrón-fonón, generando condiciones equivalentes a varios cientos de grados por encima de la temperatura de ebullición del agua. Se asume que la energía de los fonones es luego transmitida a las moléculas individuales de agua incrementando la energía de sus componentes electrónicos, vibratorios, rotatorios y de translación, hasta el punto de aumentar sus distancias intermoleculares lo suficiente para lograr el cambio de fase (Fig. 1).

Desde su descubrimiento en 2004 por los laureados Nobel en física del año 2010, Andre Geim y Kostya Novoselov de la Universidad de Manchester, Inglaterra, el componente básico del grafito, el grafeno, ha sido objeto de numerosos estudios que se han concentrado en evaluar las características ópticas, electrónicas y mecánicas sin precedentes de este material novedoso y muy prometedor para un importante rango de aplicaciones industriales a futuro (Ref. 3). Estos estudios también han revelado la presencia de hot spots, tanto en grafeno como en materiales de estructura planar como el MoS₂ (Ref. 4). Sin embargo, la evidencia experimental para demostrar la validez de todos los aspectos del postulado arriba descrito todavía no ha sido producida:

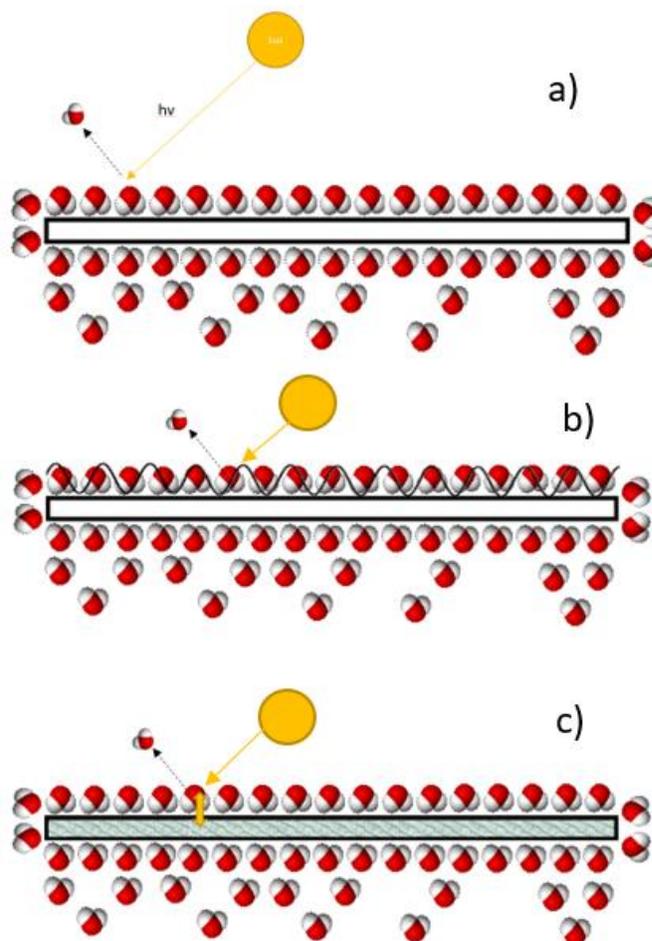


Figura 1: Representación esquemática de diferentes mecanismos de evaporación de agua en presencia de una partícula plasmónica:

a) Evaporación directa del agua por absorción de luz; b) La luz incidente genera plasmones, cuya energía es transferida a la energía electrónica de moléculas individuales de agua; c) La luz incidente genera fonones, que a su vez transfieren su energía a moléculas individuales de agua.

- Se desconoce el mecanismo molecular de transferencia de energía entre los fonones de una estructura molecular bidimensional y las moléculas de agua, aparte de tratarse evidentemente de un efecto cuanto-mecánico debido al dimensionamiento nanométrico de las partes involucradas. Nuevas técnicas de medición, como por ejemplo nano-ultrasónicas (Ref. 5) podrían contribuir a la elucidación de este fenómeno.

- Se desconocen los mecanismos moleculares que transportan el agua desde su volumen interior, a través de la película gráfica y finalmente hasta la fase gaseosa ubicada en el exterior.

Para investigar estos fenómenos es muy importante tener claridad experimentalmente comprobada, sobre los aspectos termodinámicos del sistema bajo estudio. En este trabajo, se documenta el diseño y la fabricación de un prototipo de desalinización de aguas marinas, que permite estudiar la eficiencia del proceso de evaporación bajo condiciones de irradiación, temperatura, humedad y régimen convectivo controladas y reproducibles.

Metodología y Resultados

El sistema de desalinización desarrollado consiste de 4 módulos, o subsistemas, que interactúan entre sí para convertir agua de mar en agua dulce, el esquema de los módulos puede verse en la Figura 2 y su funcionamiento modular se describe a continuación:

1.- Subsistema de control para el suministro de flujo de aire (AFC - Air Flow Control system):

Dado que se necesita un transporte eficiente del vapor de agua de la cámara de vaporización hacia el condensador, se ha optado por un método convectivo que consiste en inyectar un flujo de aire seco que recolecta el vapor y lo transporta al siguiente módulo para su condensación. Para la inyección de aire se ha utilizado una bomba de aire de baja presión, el cual proporciona un flujo de aire constante que pasa por una capa de Cloruro de Calcio (CaCl_2) que absorbe la humedad del aire dejando salir únicamente aire seco hacia la cámara de vaporización (ver Figura 3). Los materiales utilizados en la construcción de este subsistema consisten en 1 pieza impresa con PLA (Ácido Poliláctico) cuyas dimensiones son 80x80x80 mm relleno al 30% de material, consta de 190 capas impresas en un tiempo estimado de 3h:23m. Esta pieza se encuentra rellena con una capa de algodón, una capa de

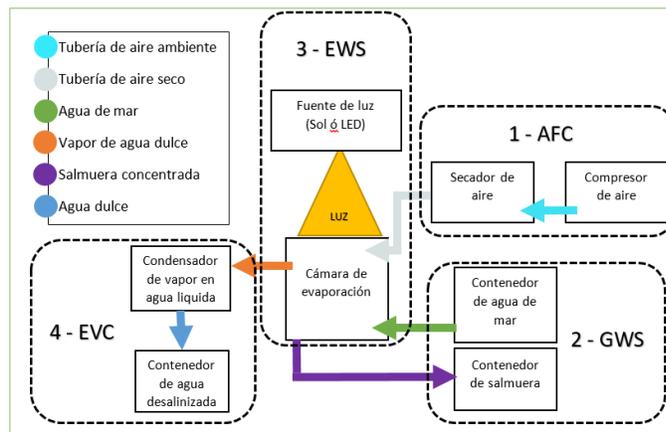


Figura 2. Descripción esquemática del sistema de desalinización desarrollado. Las flechas del gráfico representan como se mueven los fluidos entre cada componente del sistema, y el número de cada componente indica el subsistema correspondiente.

La cámara de vaporización (3-EWS) es alimentada con agua de mar, proveniente del sistema gravitacional de suministro (2-GWS) y aire seco proveniente del sistema de secado y control de flujo (1-AFC). El vapor generado mediante la irradiación de luz en la cámara de vaporización es introducido al sistema de condensación (4-EVC) donde se lleva a cabo el cambio de fase y el almacenamiento del agua líquida y desalinizada. La salmuera es recolectada separadamente.

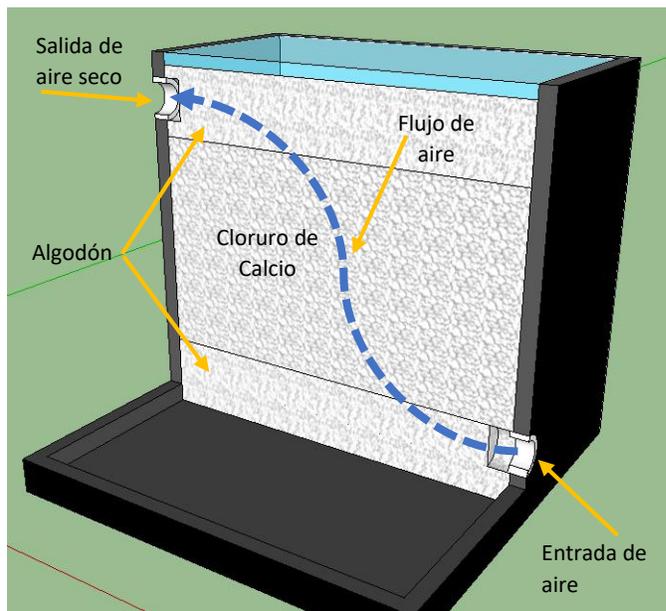


Figura 3. Corte transversal del filtro y secador de aire. El aire del ambiente es inyectado por una bomba hacia el filtro, el cual consta de una capa de Cloruro de Calcio en medio de dos capas de algodón, este método limpia y quita la humedad del aire dejando salir en la parte superior aire seco que absorberá el vapor generado en la siguiente cámara.

Cloruro de Calcio (CaCl_2) y otra capa de algodón, el aire es secado y filtrado al atravesar estas tres capas.

2.- Subsistema gravitacional de suministro de agua (GWS – Gravitational Water Supply system)

El agua que ingresa a la cámara de vaporización entra por medio de tuberías desde un compartimento alimentador, manteniendo el nivel constante en la cámara a medida que es evaporada, el líquido pasa de una cámara a otra por método de gravedad, además se necesita evacuar los desechos de aguas con altas concentraciones de sal que resultan del proceso por lo que otro compartimento está conectado para recolectar esta salmuera, el paso de líquido se controla mediante válvulas (ver Figura 4). Este subsistema consta de 2 contenedores impresos en 3D de dimensiones 80x80x80 mm, fabricado en 177 capas c/u con un tiempo estimado de impresión de 2h:43m, que almacenan el agua de mar y la salmuera desechada. Dos válvulas para manguera abren o cierran el flujo de líquidos entre los contenedores y la cámara vaporizadora.

3.- Subsistema de irradiación y generación de vapor (EWS - Enhanced Water Evaporation system).

Para ello se ha utilizado una lámpara LED de 100 watts, su función es irradiar energía en forma de luz hacia la cámara vaporizadora donde se encuentra una película de grafito sobre la superficie del agua, evaporando la capa de agua superficial y expulsándola por medio de una corriente de aire seco hacia la salida de vapor designada. Se ha utilizado un vidrio de 75mm x 75mm x 3mm el cual deja entrar la luz al sistema y evita la pérdida de vapor en la atmosfera (ver Figura 5 y 6), los materiales utilizados en la construcción de este subsistema son:

3 piezas fabricadas mediante impresión 3D para almacenar y suministrar agua de más, recolectar y desechar salmuera, y la cámara de vaporización.

4 Varillas roscada de M6x1.0: las cuales sirven como eje de sujeción para aislar las cámaras donde se alojan los líquidos.

8 Tuercas M6x1.0: en conjunto con la varilla roscada permite dar firmeza a las piezas montadas en la parte superior de las cámaras y evitar pérdidas de calor.

1 trozo de vidrio de dos milímetros de grosor: sirve como barrera mecánica para que el vapor no escape a la atmosfera, pero permitiendo el paso de la luz.

1 empaque de goma para sellar la cámara vaporizadora con el vidrio.

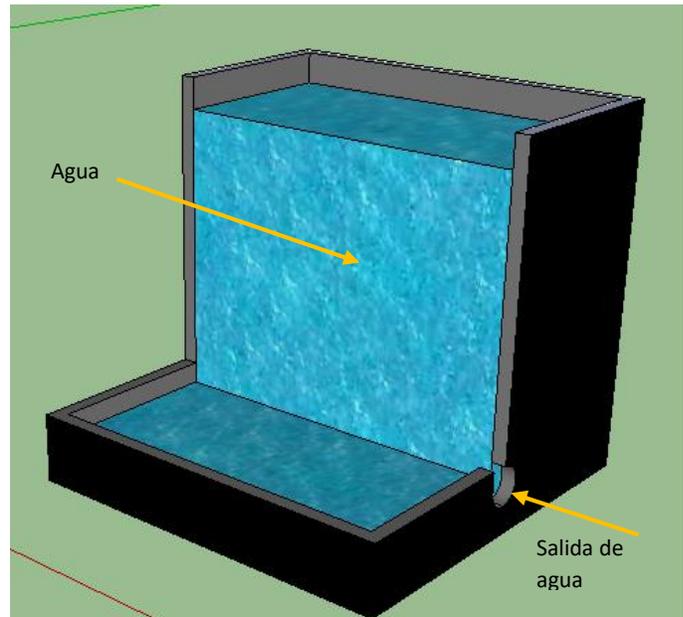


Figura 4. Corte transversal de los contenedores de agua de mar y salmuera desechada. Estos contenedores se encargan de mantener un flujo constante de agua en la cámara de evaporación y evitan que se acumule sal en la misma.

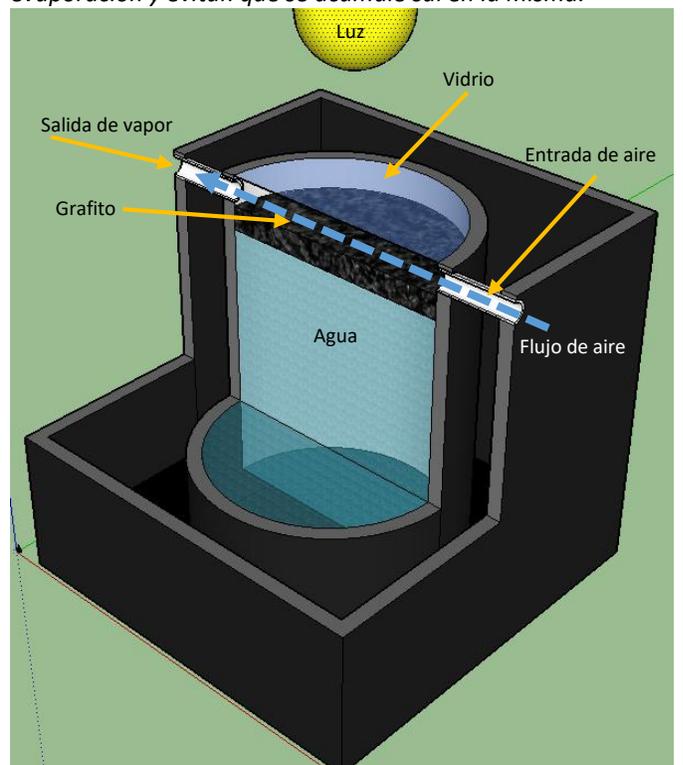


Figura 5. Esquema de funcionamiento de vaporización usando una superficie de grafito entre la luz y el agua. El agua se evapora más rápido por un factor de 2 a 3. La película de grafito sobre la superficie del agua crea hot spots que evaporan únicamente la capa superficial del agua que está en contacto con el material, utilizando menos energía en el proceso ya que no se necesita calentar todo el agua contenida en el recipiente, sino, únicamente el agua ubicada en superficie.

4.- Subsistema de condensación de vapor de agua (EVC - Electrical Vapor Condensation System), cuya función es enfriar y condensar el vapor de agua generado en el evaporador (ver Figura 6). El vapor de agua es introducido a un contenedor impreso en 3D dentro del cual hace contacto con un trozo de aluminio que se ha enfriado mediante un elemento Peltier. Este último está conectado a un sistema de disipación de calor activo (disipador de calor enfriado por ventilador).

La combinación de los diferentes subsistemas ya completados se muestran en la figura 7.

Conclusiones

Se ha concluido el diseño y la fabricación de un prototipo experimental que permite medir tasas de evaporación de agua bajo condiciones de temperatura, presión, convección y superficies controladas. En un siguiente paso, este prototipo será utilizado para realizar mediciones de producción de agua desalinizada bajo diferentes condiciones experimentales, incluyendo la presencia de recubrimientos y/o nanopartículas plasmónicas de plata, con el objetivo de reunir suficientes datos para realizar un prototipo funcional con la capacidad de abastecer a un grupo familiar con agua potable.

Referencias:

1. Solar steam generation by heat localization. NATURE COMMUNICATIONS | 5:4449 | DOI: 10.1038/ncomms5449 | www.nature.com/naturecommunications. 2014.
2. Boletín Nanotecnía, Septiembre 2016, <http://nanotecnialab.ufg.edu.sv/uploads/newsletters/2016-05-01.pdf>
3. Ver por ejemplo sitio "The home of graphene" de la Universidad de Manchester, Inglaterra. Enlace encontrado en: <http://www.graphene.manchester.ac.uk/explore/the-applications/membranes/>
4. "Atomically Thin MoS₂: A New Direct-Gap Semiconductor", Kin Fai Mak, Changgu Lee, James Hone, Jie Shan, and Tony F. Heinz, Phys. Rev. Lett. **105**, 136805 – Publicado 24 Septiembre 2010, versión pdf encontrada en: <https://arxiv.org/pdf/1602.04464.pdf>
5. Probing Hydrophilic Interface of Solid/Liquid-Water by Nanoultrasonics, Pierre-Adrien Mante et al., Nature Scientific Reports 4 : 6249 | DOI: 10.1038/srep06249, 2014., <http://www.nature.com/articles/srep06249#f1>

Agradecimientos: Se agradece al Instituto de Ciencia Tecnología e Innovación de la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador, por apoyar la realización de este trabajo.

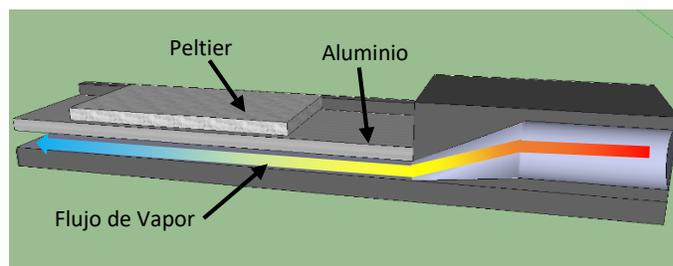


Figura 6. Esquema del módulo EVC el cual se encarga de condensar el vapor utilizando un módulo peltier de 40x40 mm de 12v 2A, además de una lámina de aluminio para ampliar el área de contacto para el vapor, esta pieza fue impresa con PETG como material, dado que es un plástico apropiado para el contacto con alimentos. La temperatura del flujo de vapor se va enfriando y se condensa a medida que pasa por el EVC.

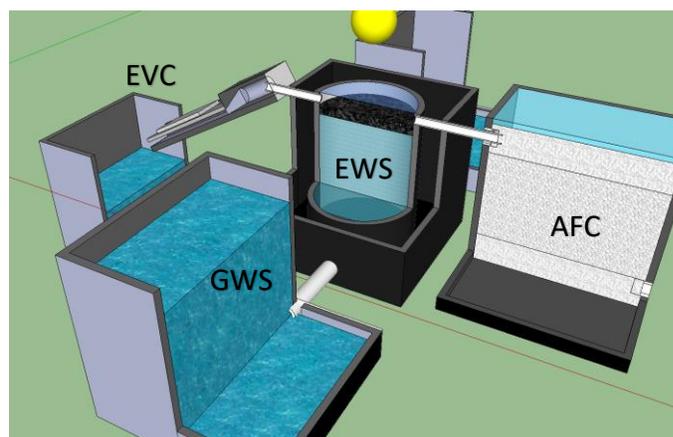


Figura 7. Prototipo experimental para realizar estudios de desalinización de aguas marinas con energía solar. Se estudia la posibilidad de patentar los subsistemas AFC, EWS y EVC. Arriba: modelo CAD del prototipo, Abajo: prototipo impreso junto con los demás dispositivos descritos anteriormente.