

# Efecto de la composición del material sobre las superficies absorbentes en la producción de agua destilada mediante destiladores solares

Elisa Sanchez-Cruces<sup>1</sup>, Eduardo Ríos-Urbán<sup>2</sup>, Eugenio Romantchick- Kriuchkova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, México. Email: [esanchezcr@chapingo.mx](mailto:esanchezcr@chapingo.mx)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, México. Email: [eriosu@chapingo.mx](mailto:eriosu@chapingo.mx)

<sup>3</sup>Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo, México. Email: [eromantchick@chapingo.mx](mailto:eromantchick@chapingo.mx)

## Resumen

Garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible es uno de los objetivos de desarrollo sostenible impulsados por la ONU. En las zonas rurales y semirurales, es común que la gente carezca de agua potable. El problema escala a nivel mundial, millones de personas se ven afectadas en su vida diaria por no tener acceso a agua potable, por ejemplo, dos de cada 5 personas no cuentan con una instalación básica para lavarse las manos con agua y jabón. Es esencial desarrollar capacidades en actividades y programas relacionados con el agua como la desalinización y el desarrollo de tecnología y equipos que puedan usarse para proporcionar agua de manera eficiente para diferentes usos humanos. En este trabajo se realizó el estudio del efecto del cambio en la composición del material utilizado en la placa absorbente de un destilador solar. Los destiladores solares son dispositivos diseñados para evaporar el agua, con el fin de obtener agua potable. Existen varios tipos de diseños y configuraciones de destiladores, en este trabajo se utiliza un destilador solar de una sola etapa con una simple tapa de vidrio inclinada 21°. En la parte inferior del destilador solar se encuentra la placa absorbente, la cual tiene la función de absorber la mayor cantidad de energía solar y elevar la temperatura del sistema, provocando la evaporación del agua de manera eficiente. Se utilizaron pigmentos mixtos de óxido de hierro y manganeso. Con base en el volumen de agua destilada producida y la temperatura dentro del destilador solar, se realizó el análisis del efecto del uso de pigmentos absorbentes, los cuales han sido validados como pigmentos con alto valor de absorbancia solar. Los resultados muestran que su absorción solar se traduce en una mayor eficiencia en la producción de agua destilada.

**Palabras clave:** destilación solar; absorptancia; emitancia

## Abstract

Ensuring the availability of water and its sustainable management is one of the sustainable development goals promoted by the UN. In rural and semi-rural areas, it is common for people to lack drinking water. The problem escalates worldwide, millions of people are affected in their daily lives by not having access to drinking water, for example, two out of 5 people do not have a basic facility to wash their hands with soap and water. It is essential to build capacity in water-related activities and programs such as desalination and the development of technology and equipment that can be used to efficiently provide water for different human uses. In this work, the study of the effect of the change in the composition of the material used in the absorbent plate of a solar distiller was carried out. Solar distillers are devices designed to evaporate water to obtain drinking water. There are several types of distiller designs and configurations, in this work a single-stage solar distiller with a simple 21° inclined glass lid is used. At the bottom of the solar distiller is the absorbent plate, which has the function of absorbing the largest amount of solar energy and raising the temperature of the system, causing the evaporation of water efficiently. Mixed pigments of iron oxide and manganese were used. Based on the volume of distilled water produced and the temperature inside the solar distiller, the analysis of the effect of the use of absorbent pigments, which have been validated as pigments with high solar absorbance value, was carried out. The results show that its solar absorption translates into greater efficiency in the production of distilled water.

**Keywords:** solar still, absorptance, emittance

## 1. Introducción

Cada una de las actividades humanas requiere el uso de agua potable para el desarrollo de estas. El aumento en la población mundial hace que el abastecimiento de agua para cualquier actividad humana sea una prioridad, particularmente en el abastecimiento en hogares [1]. El consumo hídrico a nivel doméstico comienza con la obtención del recurso para después utilizarlo y desecharlo, en algunos casos es posible recuperarlo y después aplicar un método de tratamiento de aguas residuales domésticas [2]. A través de métodos como filtración física (filtros multimedia) [3], uso de membranas porosas, microalgas o adsorción, ha sido posible obtener agua tratada de calidad para su uso en aplicaciones secundarias como riego agrícola, descarga de inodoros, lavado de automóviles, hidrantes contra incendios, fertilizantes y acondicionadores del suelo con el fin de aprovechar el agua proveniente de consumo humano y contribuir a abastecer de agua en gran escala y en situ. Adicionalmente se pueden utilizar dispositivos y tecnologías que funcionan con energía solar para obtener agua potable de calidad para uso humano, tales dispositivos se conocen como destiladores solares de agua [4]. En las últimas décadas se han propuesto diferentes diseños que demostraron que el uso de estos equipos permita un abastecimiento de agua potable cada vez mayor utilizando de forma eficiente los recursos energéticos usando técnicas sustentables de producción sin aumentar el daño sobre el medio ambiente.

El destilador solar es un dispositivo cerrado en el que se vierte un cierto volumen de agua salina o tratada. Está diseñado para captar radiación solar, evaporar el agua y condensar el vapor generado, obteniendo agua destilada. Se compone principalmente de: 1) estructura de vidrio con base, paredes y cubierta de diferentes geometrías, el material utilizado debe permitir pasar la mayor cantidad de radiación solar posible en el interior del dispositivo. 2) Placa absorbidora en la base del dispositivo, es una superficie negra que tienen la función absorber la radiación solar, 3) canaletas de recolección de agua condensada, 4) tubería de salida de agua [5]. En general se pueden encontrar diferentes tipos de estos dispositivos como el destilador solar activo, y pasivo, el destilador solar de placa plana, el destilador solar de tipo concentrado, el destilador solar de tipo caja, el destilador solar de una etapa o el destilador solar de múltiples etapas [6]. De acuerdo con la literatura, los diseños o configuraciones de los destiladores solares que han sido estudiados cumplen con ciertas características, entre las que se encuentra que son de fácil mantenimiento, no requieren de fuentes externas de energía y su manejo e instalación es sencilla [7]

En este trabajo se realizó el estudio del efecto del cambio en la composición del material utilizado en la placa absorbente de un destilador solar con el fin de obtener una productividad mayor de agua destilada. Con el desarrollo de este dispositivo se aporta una solución directa y efectiva para el problema de escasez de agua.

## 2. Métodos y Materiales

### 2.1. Destilador solar

El destilador solar utilizado en este trabajo se compone de una base rectangular de 1m x 0.60m con paredes de vidrio de 10 mm de espesor, el cual será un contenedor de agua recuperada de agua de lluvia. La cubierta también es de vidrio y tiene un ángulo de inclinación de 21°, que promueve el desplazamiento del agua condensada en la misma para colectarse en canales colectores de agua destilada.

### 2.2. Proceso físico

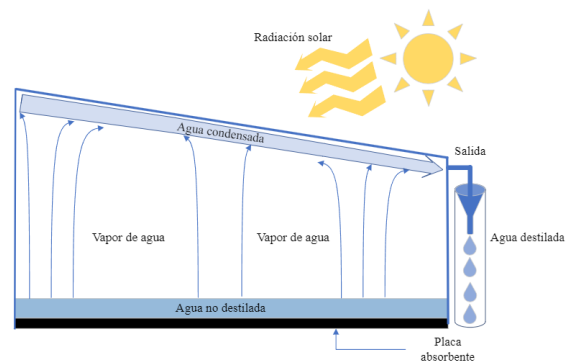


Fig. 1 Diseño del destilador solar utilizado en este trabajo.

En el proceso de destilación de agua se presentan fenómenos de transporte de energía y masa. Se puede considerar el cambio de energía interna como el resultado de la de energía suministrada por radiación solar, así como la generación y consumo de esta.

El balance de energía para la cubierta transparente se presenta como:

$$\begin{aligned} (Q_{r_{ga}} + Q_{c_{ga}})A_g + C_g A_g \frac{dT_g}{dt} \\ = (Q_{r_{wg}} + Q_{c_{wg}} + Q_{e_{wg}})A_w \\ + I_a A_g \end{aligned}$$

El balance de energía para el sistema de agua en la base es:

$$(Q_{rwg} + Q_{cwg} + Q_{ewg})A_w + Q_b A_w + 2Q_{sd} A_{sd} + C_w A_w \frac{dT_w}{dt} = I a_w A_w$$

**Donde:**

$A_g, A_w, A_{sd}$  es el área de cubierta de vidrio, agua y superficies laterales.

$a_g, a_g$  es la absorptividad de cubierta de vidrio y agua

$C_g, C_w$  es la Capacidad calorífica por unidad de área

$I$  es la Radiación Solar incidente

$Q_{rwg}, Q_{cwg}, Q_{ewg}$  es el Flujo de calor entre el agua en el estanque y la cubierta por radiación, convección y evaporación respectivamente

$Q_{whg}, Q_{rga}$  es el Flujo de calor entre la cubierta y el por radiación, convección y evaporación respectivamente

$Q_{sd}, Q_b$  es la Pérdida de calor a través de las paredes laterales y la cubierta respectivamente.

$T_w, T_g$  es la Temperatura de la cubierta y agua, respectivamente

$t$  es el Intervalo de tiempo

### 2.3. Pigmentos absorbentes

Para la obtención de los pigmentos que su utilizaron en el destilador solar se utilizó el método de

coprecipitación química. Anteriormente se realizó el estudio de absorbancia y emitancia térmica en óxidos sintetizados basados en hierro y manganeso [8], en el trabajo actual trabajo se utilizó la muestra que presentó mejor selectividad. Se utilizó la técnica de Difracción de rayos X (DRX) para caracterizar estructuralmente los pigmentos, de acuerdo con los análisis se obtuvo solución sólida para diferentes concentraciones de hierro y manganeso, además en otras muestras se presentó una segregación de fases. Las mediciones de difracción de rayos X fueron realizadas por un difractómetro Bruker. El método Rietvelt, fue usado como técnica para determinar la estructura cristalina del material, así como el análisis cuantitativo de fases e imperfecciones en la estructura.

Se han estudiado y evaluado diferentes tipos de superficies en función de los valores de absorptancia térmica y emitancia térmica, características que proporcionan una estimación de la calidad de la absorción solar. En la Tabla 1 se muestran algunos de los sistemas que se pueden utilizar para cubrir la placa absorbente. En este trabajo se han utilizado 1) pinturas negras y 3) pigmentos absorbentes de óxidos de hierro y manganeso. Con el fin de lograr una mayor producción de agua potable diaria.

Tabla 1. Principales sistemas y técnicas de deposición física para placas absorbedoras solares.

Sistema	Técnica	absortancia $\alpha_s$	emitancia $\varepsilon_t$	Refereencia
Pigmentos absorbentes	Síntesis por co-precipitación química	0.83-0.93	0.19-0.33	[8]
Pintura negra con resina de siloxano modificada orgánicamente y pigmento inorgánico (FeMnCuO x -P <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ).	Pintura	0.90-0.92	0.20-0.25.	[9]
CuMn -Películas tipo espinelas estratificadas con SiO <sub>2</sub>	dip coating	0.80-0.94 espesor optimizado	0.06	[10]
Pintura negra con Polysiloxano, silicona epoxica P3060 y pigmentos Ferro Co.	Pintura	0.88-0.93	0.2-0.36	[11]
Recubrimientos solares selectivos pigmentados con MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> NP	Recubrimiento	0.93	0.52	[12,13]

### 2.4. Toma de datos experimentales

El experimento se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, México (19°29.5'N, 98°52.4'W) ver Fig. 2. Según la Base de Datos del Laboratorio Nacional de Renovables la mayor radiación solar promedio por día del año 2010 al 2022 se ha registrado en los meses de marzo, abril y mayo como se observa en la Fig. 3. Todas las variables experimentales se obtuvieron en días de abril y mayo. Los valores de temperatura

ambiental fueron obtenidos con un sistema de monitoreo de Temperatura y Humedad Inalámbricos (Elitech, rango de medición de temperatura de -40 °C ~ +80 °C y rango de humedad de 0 ~ 100 % RH). Los datos de radiación solar fueron tomados con un medidor De Irradiancia Solar (Fluke).

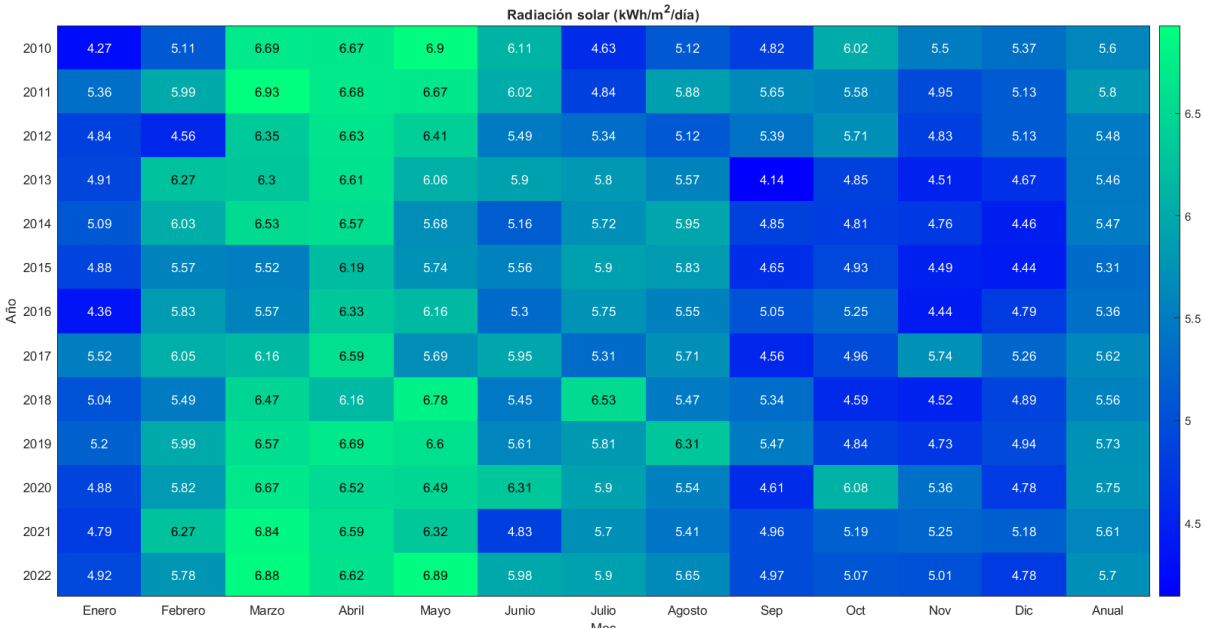


Fig. 3. Mapa de radiación solar en Texcoco, Estado de México, México.

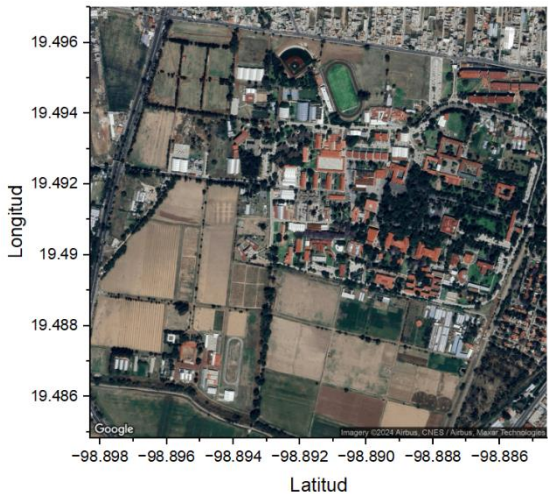


Fig. 2. Ubicación del experimento en la Universidad Autónoma Chapingo, Mex.

2.5. Resultados

Los pigmentos de hierro y manganeso presentan valores de absorptancia aceptables principalmente cuando cristalizan en un sistema cúbico (Fig 4), cuando se sintetizan los pigmentos se puede observar que agregando solo una cantidad pequeña de manganeso cambia considerablemente la absorptancia solar del pigmento.

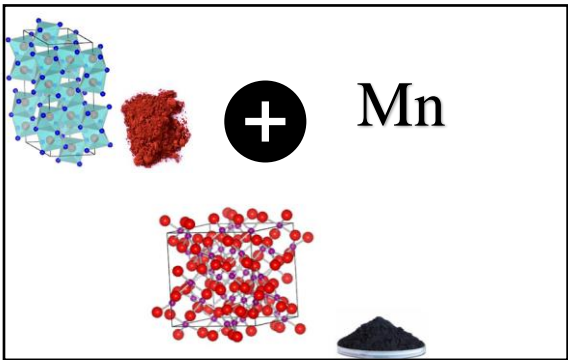


Fig. 4. Representaciones estructurales y muestra física de hematita y Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

En la figura 5 se muestran los patrones de difracción para la muestra de los pigmentos seleccionados, se observan los datos experimentales titulados Y<sub>obs</sub> obtenidos con un difractómetro de Rayos X, adicionalmente se muestran los datos Y<sub>cal</sub>, calculados por el software FullProf, utilizado para identificar las fases presentes en la muestra. La diferencia entre los datos experimentales y calculados nos permite saber la exactitud de la simulación. Las barras en la parte inferior de la Figura 1 indican las posiciones de Bragg para la fase 1 (Ia-3 de Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y la fase 2 (R-3c de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) lo que indica que existe una segregación de fases en la muestra.

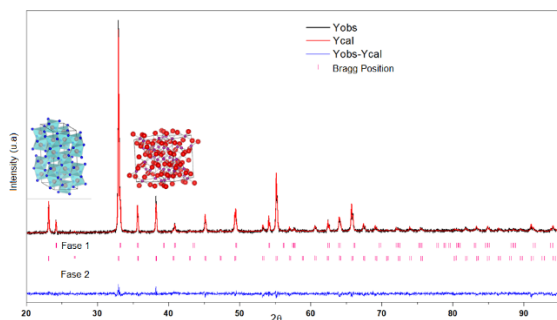


Fig. 5. Patrones de difracción de Rayos X de la muestra utilizada en este trabajo como pigmento absorbente (Fe=0.4, Mn=0.6)

En la Figura 5 y 6 se presenta la medición de Temperatura y radiación solar respectivamente, se observa que ambas tienen un comportamiento parabólico. Las principales razones del mayor rendimiento en los destiladores solares principalmente modificados son la alta intensidad de la radiación solar y la alta tasa de transferencia de calor desde la placa absorbente al agua del estanque [14]. En este trabajo se conservó el diseño del destilador solar, únicamente se cambió la superficie absorbente, lo que permitió observar con claridad el efecto de la modificación en la superficie absorbente en la producción de agua destilada.

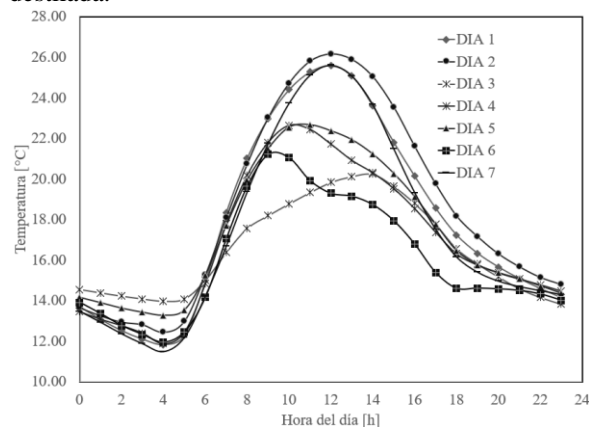


Fig. 5 Variación horaria de la Temperatura ambiente para 7 días en los que se llevó a cabo el experimento.

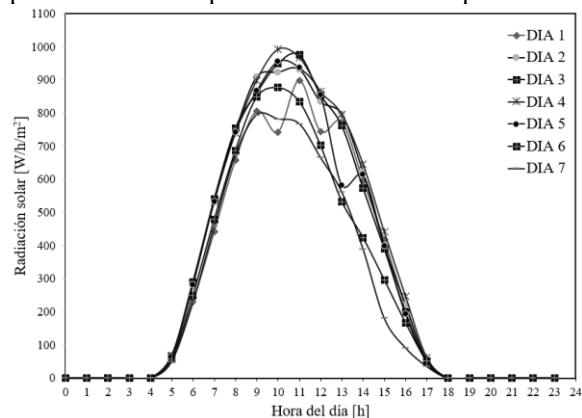


Fig. 6 Variación horaria de la Radiación Solar para 7 días en los que se llevó a cabo el experimento.

La producción de agua destilada para cada día del experimento se observa en la Fig. 7, los valores de agua están en L/día para los dos sistemas analizados en este trabajo bajo las mismas condiciones ambientales. Estos pigmentos en combinación con varias pinturas. Se observa una producción diaria mayor de agua condensada para el sistema que usa pigmentos absorbentes, el máximo fue 1.8 L/m², por día. Este resultado muestra una mejora en la producción, Angham et al, obtuvo valores máximos de 0,90 L/m².h y 1,36 L/m².h aplicando modificaciones en el diseño de un destilador sofisticado de tipo piramidal (4 tapas inclinadas que aportan una cantidad de agua destilada cada una, aumentando su productividad) y comparó con un destilador convencional que la cantidad máxima que produjo fue de 0,59 L/m².h.

Se observa que el uso de pigmentos absorbentes sintetizados por el método de coprecipitación química a base de óxidos de hierro - manganeso tiene la mejor producción de agua por metro cuadrado por día a través de un destilador de agua que usando únicamente una base absorbente con pintura negra convencional.

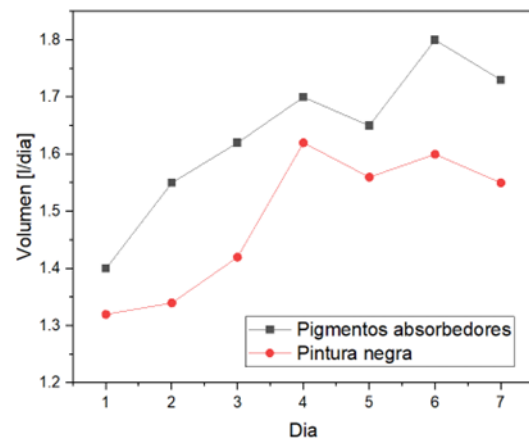


Fig. 7. Producción diaria de agua en los destiladores solares de agua.

## 2.6. Conclusiones

Los sistemas utilizados en este trabajo fueron contruidos con materiales disponibles y económicos, el método para obtener agua destilada es sencillo y escalable. En este trabajo se identificó que existe una mejor producción de agua utilizando un destilador solar simple con una base absorbente de pigmentos con características absorbentes. Los resultados sugieren que se puede diseñar un sistema con mayor capacidad de producción de agua utilizando estos pigmentos en combinación con varias pinturas. Las mayores producciones de agua condensada en cada sistema fueron de 1.8 L/m², 1.73 L/m² y 1.7 L/m² por día. Estos



resultados demuestran la contribución del uso de pigmentos de hierro-manganeso en el funcionamiento del destilador solar. La investigación en el diseño y cualquier acción por mejorar la manufactura de dispositivos de destilación solar se muestran como una gran oportunidad de generar una línea de conocimiento con la finalidad de obtener agua potable y beneficiar directamente a la población que tiene acceso limitado o no tiene acceso al uso de agua potable.

### 3. Referencias

- [1] C. He, Z. Liu, J. Wu, X. Pan, Z. Fang, J. Li, B.A. Bryan Future global urban water scarcity and potential solutions Nat. Commun., 12 (2021), p. 4667.
- [2] Fairuz Afifah Buslima, Hassimi Abu Hasan, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah, Ahmad Razi Othman, Water recovery from domestic wastewater using integrated biofilm-phytoremediation technology: A review, Journal of Water Process Engineering, Volume 65, 2024, 105875, ISSN 2214-7144.
- [3] Islamuddin, I. Ahmad, N. Ali, Y. Jamal, Treatment of domestic wastewater by natural adsorbents using multimedia filter technology, Int. J. Emerg. Technol. Eng. Res., 4 (4) (2016).
- [4] T. Arunkumar, Y. Ao, Z. Luo, L. Zhang, J. Li, D. Denkenberger, J. Wang, Energy efficient materials for solar water distillation - a review Renew. Sustain. Energy Rev., 115 (2019), Article 109409, 10.1016/j.rser.2019.109409.
- [5] P. Katekar, S.S. Deshmukh, A review on research trends in solar still designs for domestic and industrial applications, J. Clean. Prod., 257 (2020).
- [6] Guilong Peng, Swellam W. Sharshir, Progress and performance of multi-stage solar still – review, Desalination, Volume 565, 2023, 116829, ISSN 0011-9164,
- [7] Guilong Peng, Swellam W. Sharshir, Progreso y rendimiento del alambique solar multie-tapa: revisión, Desalinización, Volumen 565, 2023, 116829, ISSN 0011-9164, <https://doi.uam.elogim.com/10.1016/j.desal.2023.116829>.
- [8] Sanchez E, González, F. Barrera E., Ríos E., Structural And Optical Characterization Of (FexMn1-X)2O3 Pigments For Solar Absorption Applications", Rev. Mex. Ingeniería Química, 2018.
- [9] Z. C. Orel, "Characterisation of high-temperature-resistant spectrally selective paints for solar absorbers," Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 57, no.
- [10] Z. C. Orel, "Caracterización de pinturas selectivas espectralmente resistentes a altas temperaturas para absorbentes solares", Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 57, no. 3, pp. 291-301, 1999, doi: 10.1016/s0927-0248(98)00181-0.
- [11] R. Bayón, G. San Vicente, C. Maffiotte y Á. Morales, Preparación de absorbentes selectivos a base de espinelas de CuMn por el método de recubrimiento por inmersión. 2008.
- [12] Z. Crnjak Orel, M. Klanjšek Gunde, A. Lenček y N. Benz, La preparación y prueba de pinturas espectralmente selectivas en diferentes sustratos para absorbentes solares. 2001.
- [13] X. Wang, E. Lee, C. Xu y J. Liu, "Recubrimientos absorbentes selectivos solares pigmentados con nanopartículas de óxido de hierro y manganeso estables y de alta eficiencia hacia sistemas de energía solar de concentración que funcionan a 750 °C", Mater. Hoy Energía, 2020, doi: 10.1016/j.mtener.2020.100609.
- [14] Angham Fadil Abed, Mohammed J. Alshukri, Dhafer Manea Hachim, Improving solar still performance via the integration of nanoparticle-enhanced phase change materials: A novel pyramid-shaped design with a numerical simulation approach, Journal of Energy Storage, Volume 97, Part B, 2024, 112980, ISSN 2352-152X.