

## Revisión del estado actual de los destiladores solares para la producción de alcohol

A Review of the Current State of Solar Stills for Alcohol Production

Donaji Melchor Quintas<sup>1</sup>, Ignacio Carvajal Mariscal<sup>2</sup>, Pedro Quinto Díez<sup>3</sup>

Instituto Politécnico Nacional, MÉXICO

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-8645-1766 | dmelchorq2200@alumno.ipn.mx

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-2641-9398 | icarvajal@ipn.mx

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-2669-7307 | pquintod@ipn.mx

Recibido 01-03-2023, aceptado 27-05-2023.

### Resumen

La pandemia de COVID-19 condujo, entre otras cosas, a la escasez de alcohol etílico en México, principal componente del gel antibacterial. Esto principalmente se debe al repentino aumento en la demanda, pero también a la limitada producción. Para evitar que se repita este escenario es imprescindible buscar otras fuentes de abastecimiento, siendo la producción de bebidas alcohólicas, artesanal e industrial, la mejor opción. Sin embargo, es importante que la producción de alcohol sea sustentable. Una alternativa al proceso de destilación es la aplicación de energía solar, que resulta en una solución eficiente para satisfacer las necesidades actuales, además de ser amigable con el medio ambiente al no generar emisiones contaminantes y usar un recurso renovable que es gratuito. Muchas regiones del país también pueden beneficiarse de esta tecnología, México tiene bebidas autóctonas y con denominación de origen como el tequila o el mezcal. En el presente artículo se realiza una revisión profunda de la producción científica sobre los prototipos que se han desarrollado para destilar alcohol tanto en el extranjero como en México.

**Palabras clave:** energía solar, destilador solar, destilación, alcohol.

### Abstract

The COVID-19 pandemic led, among other things, to a shortage of ethyl alcohol in Mexico, the main component of antibacterial gel. This is mainly due to the regrettable increase in demand, but also due to limited production. To prevent this scenario, it is essential to look for other sources of supply, with the production of alcoholic beverages, artisanal and industrial, being the best option. However, it is important that alcohol production is sustainable. An alternative to the distillation process is the application of solar energy, which results in an efficient solution to meet current needs, as well as being friendly to the environment by not generating polluting emissions and using a renewable resource that is free. Many regions of the country can also get worse from this technology, Mexico has native drinks and with denomination of origin such as tequila or mezcal. In this article, an in-depth review of the scientific production on the prototypes that have been developed to distill alcohol both abroad and in Mexico is carried out.

**Index terms:** solar energy, solar still, distillation, alcohol.

## I. INTRODUCCIÓN

El elemento principal del gel antibacterial es el alcohol etílico, se produce de la fermentación de la caña de azúcar, por ejemplo. En la actualidad es indispensable que todas las instancias de gobierno, centros educativos, oficinas y, en general, cualquier tipo de edificio cuenten con alcohol en gel como medida sanitaria, además de otras precauciones para el cuidado de la salud de los usuarios; en consecuencia, se podría generar un desabasto de este producto en el país, así como en Estados Unidos.

Los procesos de fabricación de bebidas alcohólicas más representativas de México como el mezcal o tequila, podrían funcionar como una alternativa para el abastecimiento de alcohol. Sin embargo, es importante que la producción de alcohol sea sustentable. La destilación de alcohol utilizando energía solar es una posible solución, cada día es más notable la preocupación por el medio ambiente, el uso de tecnologías que no solo ayuden a transformar la energía y aprovecharla, si no también produzcan ahorros monetarios y ambientales.

Algunos de estos dispositivos podrían ser los destiladores solares, se realizan evaluaciones de sus estructuras para igualar los resultados entregados por un proceso convencional de destilación y poder innovar en diferentes ámbitos. El producto obtenido es el alcohol etílico, definido por su olor peculiar, de forma líquida, no posee color y se representa por:  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ . Las aplicaciones del alcohol etílico son diversas, se puede encontrar como materia prima para llevar a cabo reacciones de síntesis, en acetatos simplifica la impresión y pintado. A nivel industrial, al contener un nivel bajo de humedad se usa como componente principal para la síntesis orgánica. Su producción se genera a partir de productos vegetales, por ejemplo, plantíos de azúcar y almidón conjuntamente con la fermentación, esta genera un alcohol con una concentración de 10% v/v. Si el objetivo es generar un alcohol puro o con una concentración superior, se adicionan cantidades de energía mayores para producir la destilación, la aplicación de los destiladores solares como opción de reducir la energía sin afectar la concentración de alcohol cobra sentido. Se encuentran publicados trabajos sobre destilación solar de alcohol, se mencionarán los más relevantes a la fecha.

Namprakai y Hirunlabh [1], utilizan la metodología de Spalding [2] y Kiatsiriroat et al., [3], de esta forma logran predecir la transferencia de masa en el proceso de destilación solar de alcohol, realizaron mediciones de temperaturas en la superficie de evaporación y condensación, concentración de alcohol, al final logran modelar una correlación, que mide el flujo de transferencia de masa. Las mediciones experimentales se asemejan a los resultados previos obtenidos con el modelado, las ecuaciones permiten utilizarse para predecir flujos máxicos de alcohol presentes en el proceso. Rattanapol et al. [4] utilizan también el modelo Spalding, [2] y la ley de difusión de Fick y obtienen el rendimiento de etanol en un destilador solar tipo caseta, utilizan diferentes concentraciones de etanol-agua, miden la temperatura y con esto logran predecir el coeficiente y la conductancia de transferencia de masa en el dispositivo, otro punto clave fue la integración de aletas al destilador, el producto obtenido fue una disolución de alcohol de 10% v/v, con esta adición en las pruebas descubrieron un aumento del 15.5% en el rendimiento con respecto a un destilador normal. Teóricamente se estimó un aumento de la eficiencia de hasta 46%.

Datos más recientes se describen en el trabajo de Namprakai y Hirunlabh [5], realizan un modelado en estado transitorio para destilar etanol con energía solar y nuevamente usan como base el estudio de Spalding, [2], para calcular el rendimiento. El rendimiento promedio de 0.33 kg/h, mientras que el nivel de radiación promedio de 1.95 MJ/m<sup>2</sup>/h. Se eligieron los valores de concentración de 74, 59 y 24 % v/v y la concentración de etanol de 50, 30 y 10% v/v. Un dato relevante es que hay una correlación lineal entre los promedios de radiación solar diaria con el rendimiento diario obtenido. Concluyen que para concentraciones mayores al 80% v/v de etanol la radiación podría ayudar a mejorar el rendimiento del dispositivo.

Actualmente proyectos relacionados con la destilación solar de alcohol son muy escasos, por ello resulta interesante analizar los trabajos que se centran en este tema, y abre el camino para impulsar la utilización de la energía solar en aplicaciones de calentamiento de fluidos a bajas temperaturas para la fabricación de alcohol.

## II. DESTILACIÓN SOLAR

Los destiladores son dispositivos que aprovechan la energía solar, reproducen los ciclos naturales de evaporación y condensación (efecto invernadero) para purificar algún líquido como agua. Al finalizar el proceso, se obtiene un producto libre de bacterias, hongos, virus, sales y otro tipo de contaminantes para el consumo humano [6]. Una de las aplicaciones es la producción de alcohol, ya sea para uso médico o para consumo en bebidas alcohólicas.

En los procesos que se requieren para aumentar la temperatura del fluido de estudio y convertirlo en vapor se requiere de materiales que permitan la atracción de la energía solar al destilador. La radiación infrarroja es absorbida por alguna superficie de color oscuro. El colector debe estar aislado térmicamente por la base con el fin de contener las pérdidas por conducción y convección de calor. Cuando el fluido se calienta se produce la evaporación, posteriormente fluye sobre la cubierta de vidrio o algún otro material colocado sobre el evaporador con una inclinación y distancia adecuadas [6].

Los elementos de un destilador son:

- Colector solar. Donde se coloca el fluido de trabajo, debe ser de materiales con buena absorción térmica, pero también anti corrosivo. Deberá soportar altas temperaturas.
- Evaporador. Se presenta este fenómeno en la superficie del fluido.
- Cámara de aire. Es el espacio entre el fluido y la cubierta (condensador), contiene aire que servirá como medio de transporte a las moléculas del fluido que subirán por difusión molecular.
- Condensador. Debe tener una temperatura menor a la del destilador. Su eficiencia está relacionada con el área que tiene, es importante que se encuentre ventilado, con esto se asegura una temperatura baja adecuada.
- Recolección del condensado. Se debe recolectar el producto de forma que no se contamine y no se vuelva a evaporar.

## III. TIPOS DE DESTILADORES

### *Destilador de Tipo Caseta*

Dispositivo compuesto de una bandeja que sostiene al fluido a destilar, está cubierta por un techo de dos aguas que cumple una doble función, como efecto invernadero y condensador. Su construcción, operación y mantenimiento es muy fácil, por lo mismo, resulta menos eficiente que los más complejos.

En la siguiente figura se detalla un corte isométrico de un colector tipo caseta, usado para obtener agua potable para el consumo de una familia pequeña. El vidrio tiene un espesor de 3mm, el cuerpo del destilador está construido de lámina de hierro galvanizada. La espuma de poliestireno es la que comúnmente se usa como aislante. Para llenarlo se usa un flotador normal para tinaco.

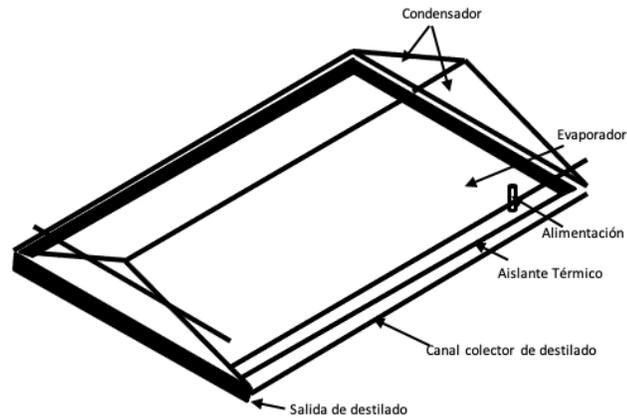


Fig. 1. Esquema de un destilador de caseta.

Meukam et al. [7] presentan un estudio experimental de dos alambiques solares, un modelo de un solo compartimento y otro dispositivo con dos compartimentos. Un estudio experimental de la inclinación óptima muestra que un ángulo de 16 grados asegura una buena transmisión de la radiación solar dentro del alambique, al tiempo que evita que las gotas del destilado caigan en la cubeta. En el prototipo que utiliza dos compartimentos, el vidrio del compartimento descubierto es una cubierta transparente con una parte de la condensación sucediendo sobre él, mientras que el otro compartimento, también de vidrio, está cubierto con un material no transparente, que da sombra al sol; se usa solo como un condensador. Se ha observado que la destilación de una solución inicial de alcohol al 38% produce un producto que contiene 48% de alcohol cuando se usa el modelo de una sola tapa, mientras que en las mismas condiciones climáticas la solución con dos compartimentos da un destilado de alcohol del 71%.

#### Destilador de Tipo Escalera

En la Fig. 2 se muestra este dispositivo que está compuesto de diferentes charolas colocadas en forma de cascada a diferentes niveles y unidas por un panel vertical formando una escalera. Se nota claramente que el área disponible para absorber la energía solar es mayor a que si solo se tuviera una bandeja.

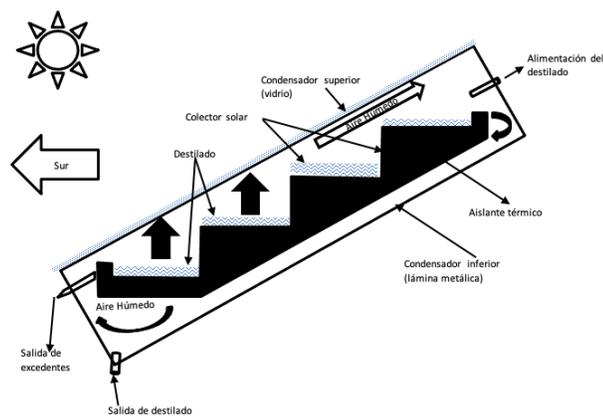


Fig. 2. Corte esquemático de un destilador solar de escalera.

### Destilador con Colector Solar Auxiliar

Es una combinación de una bandeja que contiene el agua caliente con un destilador solar de tipo caseta. Se combina el principio de un destilador convencional, con el extra de área que se tiene para absorber energía solar, y además el área extra no pierde las bondades de la transferencia de calor conforme se evapora el agua de la bandeja ni por el vapor que se condensa en la cubierta. Se muestra un ejemplo en la figura 3.

5

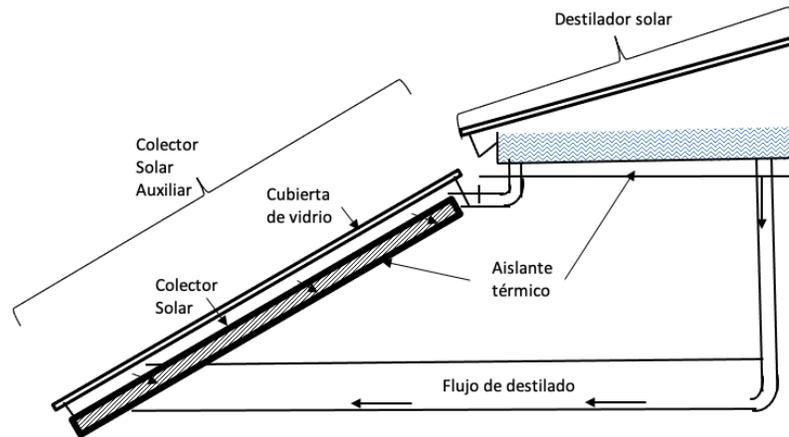


Fig. 3. Diagrama de un destilador con colector auxiliar.

### Destilador de Múltiple Efecto

En la Fig. 4 se observa un colector de efecto múltiple. Funciona con diferentes bandejas, cada una a distinta temperatura, de manera que el flujo de calor pasa del destilador a la bandeja más caliente y es entonces donde ocurre la evaporación del fluido.

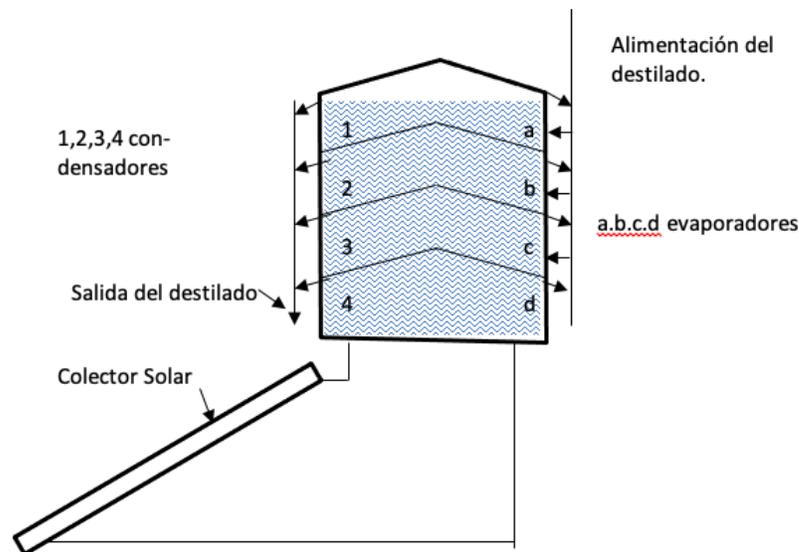


Fig. 4. Destilador solar de múltiple efecto.

### Destilador Solar Cilíndrico Parabólico

Este dispositivo es más común ya que cubre una amplia gama de aplicaciones. Son destiladores solares con foco lineal, su principio consiste en procesar la radiación solar directa y entregarla en energía térmica, se logra por el incremento de la temperatura del fluido de trabajo, como máximo se han alcanzado temperaturas de 400 °C. Entran en la categoría de colectores solares de media temperatura [8].

6

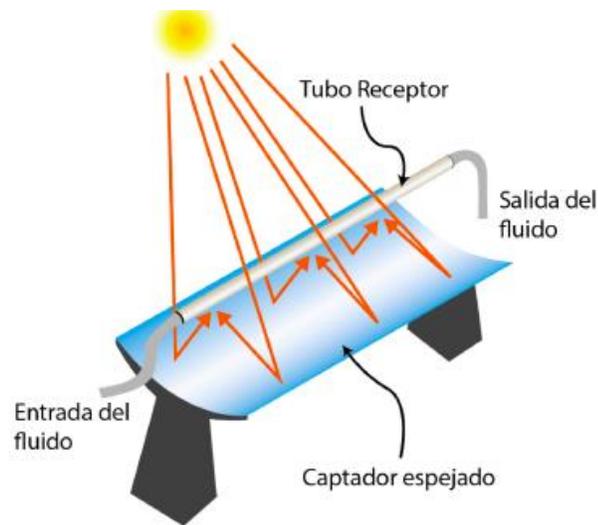


Fig. 5. Esquema de un destilador cilíndrico parabólico.

Cruz Martínez et al. [9] propusieron un dispositivo de tipo cilíndrico parabólico con el fin de fabricar mezcal. Su metodología consiste en diseñar el prototipo con técnicas de manufactura asistida por computadora CAM para construir la estructura y garantizar una geometría parabólica. Los materiales que utilizan son altamente selectivos, como una placa de acrílico acabado espejo como superficie reflexiva. Concluyen que es factible la construcción de estos dispositivos para el uso en la industria mezcalera. Gran parte de las investigaciones destacan al destilador de agua, y como se mencionó anteriormente, el grado de evaporación varía ligeramente, pero es fundamental tomar en cuenta este parámetro, ya que es el que definirá la calidad del destilado.

### Destilador Solar Esférico

Bernard y Barrera se enfocaron en resolver el tema de la luz que reflejan las gotas de agua que se condensan en la superficie del vidrio que actúa como condensador en el destilador convencional. Muy similar al que forma parte del destilador de caseta. El cambio está en el condensador, que tiene la forma de un domo esférico o semiesférico, construido comúnmente de acrílico, en la parte más alta contiene un motor eléctrico con el propósito de hacer rotar un elemento limpiador parecido a los parabrisas de los coches. Este efecto logra que las gotas de agua que se condensan bajen de manera forzada y se mejore la absorción de energía solar.



Fig. 6. Destilador solar esférico.

Otros autores utilizaron colectores planos, como Jorapur et al. [10] su experimento se llevó a cabo de forma exitosa para destilar alcohol. El área que usaron fue de  $38 \text{ m}^2$ , el diseño consistió en acoplar este dispositivo a una planta de destilación a escala con una capacidad de  $1.8 \text{ l/h}$  del  $95\% \text{ v/v}$  de etanol. Los datos recopilados en este sistema durante 4000 horas de funcionamiento muestran que en promedio la insolación diaria fue de  $6 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$ . La tasa media de producción de etanol específico fue de  $0,63 \text{ l/m}^2$  al día y la carga solar anual fue del  $65\%$ . Se desarrolló una correlación entre las tasas de producción de alcohol y la carga solar para diferentes niveles de insolación. Sin embargo, el costo del sistema de placa plana para la producción de alcohol fue muy alto. También Vargas-B et al. [11], examinan las dimensiones, los caudales volumétricos y las capacidades térmicas de una destilación de etanol con un sistema que aprovecha la energía solar como energía primaria. Se aplica un riguroso análisis de equilibrio termodinámico para obtener el diseño crítico. Se realiza un análisis para estudiar su efecto en el diseño del destilador solar. Detalles técnicos importantes, como la configuración del sistema de destilación solar, el tamaño de las columnas de destilación, el servicio térmico del hervidor, el consumo de energía por unidad de masa de producto destilado, fracción solar y área colectora, entre otros, son evaluados y presentados como una guía para los diseñadores. La metodología desarrollada se utiliza para diseñar el sistema solar de destilación de etanol y puede ser extendido a otras ubicaciones geográficas, condiciones climáticas y parámetros operacionales.

#### IV. RENDIMIENTO TÉRMICO

Para evaluar los cambios que se le hagan a un dispositivo es importante este concepto, para comparar dos colectores que han sido diseñados de formas diferentes. También se le conoce como eficiencia térmica, se define como el cociente entre el calor necesario para evaporar el volumen de agua que se obtiene como destilado y el calor que recibe del Sol, ambos tomados en un periodo de tiempo dado que suele ser un día. Se puede interpretar a la eficiencia térmica como una medida de la fracción de calor que realmente se usa en el proceso evaporación condensación. Si se tiene un valor de 1.00 significa que toda la energía solar se aprovecha en dicho proceso, 0.50 significa que sólo la mitad se emplea para destilar y la demás se pierde al ambiente. Otro parámetro utilizado para realizar una comparativa del funcionamiento de los destiladores es la productividad, se define como el volumen de destilado que puede producir un destilador por cada metro cuadrado de colector-evaporador y por cada día de operación. Puede medirse de forma mensual o más, y se usa un promedio durante el número de días de ese periodo [12].

En resumen, en la Tabla 1 se realiza una comparativa de prototipos construidos hasta el momento.

Autor	Año	Artículo	Tipo de Destilador	Objetivo	Tem Máx	Eficiencia $\eta$	Materiales	Instrumentos utilizados	Producto Obtenido	País
Meukam et al. [7]	2004	Experimental optimization of a solar still: application to alcohol distillation	De caseta	Comparar dos destiladores, de 1 y 2 compartimientos.	76	1675 ml concentración alcohol (ca) 45%	Madera y vidrio.	Piranómetro	koutoukou	Egipto
Cruz Martínez et al. [9]	2013	Propuesta de un prototipo de concentrador solar para la destilación de mezcal en la región mixteca oaxaqueña	Cilíndrico Parabólico	El proceso de diseño y manufactura de un prototipo de concentrador solar del tipo parabólico.	102	Ca 40%	MDF, acero al carbón, hierro.	Termómetro, Manómetro, Medidor de flujo y Medidor de flujo de vapor.	Mezcal	México
Jorapur et al. [10]	1991	Alcohol distillation by solar energy	Colector Solar plano.	Uso de energía solar para destilar alcohol.	62	1800 ml ca 95%	Aluminio, tubería de cobre.	Termómetro, Manómetro, Medidor de flujo	Etanol.	India
Vargas-B et al. [11]	2013	Thermal analysis of a solar distillation system for ethanol-water solutions	Colector Solar plano.	Análisis termodinámico del destilador para etanol.	150	4850 ml ca 95%	Tubos evacuados	Termómetro, Manómetro, Medidor de flujo	Etanol.	México
Chávez Sánchez S. [13]	2020	Destilación de alcohol etílico empelando energía solar	Tipo Caseta	análisis del proceso de destilación solar de la mezcla de agua desionizada con alcohol etílico al 70%,	90	Alcohol Etflico al 70%	Vidrio y Aluminio	Refractor, Piranómetro	Alcohol Etflico al 70%	México
Ascencio San Pedro D.E. [14]	2022	Destilador solar de alambique De cobre con agua como fluido De trabajo para la producción de mezcal.	Cilíndrico Parabólico		90	Ca 40%	Cobre	Termómetro, Manómetro, Medidor de flujo	Mezcal	México

## V. CONCLUSIONES

La destilación solar de alcohol es un campo poco explorado en México que presenta un amplio potencial por el impacto en ahorros que puede generar, además de la reducción de emisiones al no depender del uso de combustibles convencionales (leña, por ejemplo). La finalidad de la presente revisión bibliográfica fue evidenciar la falta de investigación en el uso de destiladores solares para la producción de alcohol, y en particular, surge la necesidad de aplicar energía solar al proceso de producción del mezcal, el cual se ha generado de una técnica tradicional artesanal, que puede llegarse a acoplar con el uso de energía termo solar sin que ello represente un impacto negativo al proceso.

Después de la crisis sanitaria por COVID se hizo evidente el uso de procesos independientes para la producción de alcohol, de esta forma resulta natural acoplar un sistema de destilación solar que no requiere combustible, el recurso solar está disponible en prácticamente todo el territorio nacional, con niveles promedio de entre 4.5-6 kWh/m<sup>2</sup>, además de que los retornos de inversión al utilizar tecnología renovable han bajado en los últimos años debido a la disminución del costo de los materiales con los que están diseñados. Otro problema preocupante en la última década es el incremento de los contaminantes emitidos a la atmósfera, al utilizar el recurso solar, disminuimos los impactos negativos al planeta.

Aparte de su uso en gel antibacterial, existe una amplia variedad de aplicaciones que indirectamente utilizan el alcohol etílico como materia prima, tales son: productos químicos intermedios y disolventes en las industrias de textiles, colorantes, productos químicos, detergentes, perfumes, alimentos, bebidas, cosméticos, pinturas y barnices.

## REFERENCIAS

- [1] P. Namprakai, "Ethyl Alcohol Distillation in a Basin Solar Still", *Renewable Energy*, pp. 169-175, 1997.
- [2] P. Spalding, *Convective Mass Transfer*, Londres: Edward Arnold, 1993.
- [3] T. Kiatsiriroat, "Prediction of Mass Transfer in Solar Still", *Energy*, vol. 11, pp. 881-886, 1986.
- [4] P. Rattanapol, "The Thermal Performance of an Ethanol Solar Still with fin plate to Increase Productivity", *Renewable Energy*, vol. 54, pp. 227-234, 2013.
- [5] P. Namprakai, J. Hirunlabh, "Theoretical and Experimental Studies of an Ethanol basin Solar Still", *Energy*, vol. 32, p. 2376-2384, 2007.
- [6] A. Rojas, *Diseño de un destilador solar destinado a la potabilización de agua de lluvia*, CDMX: Tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, IPN, 2015.
- [7] P. Meukama, "Experimental optimization of a solar still: application to alcohol distillation", *Chemical Engineering and Processing*, vol. 43, pp. 1569-1577, 2004.
- [8] C. Paredes, *Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay*, Tesis/Ingeniero Técnico de Minas, Especialidad en Recursos Energéticos, Combustibles y Explosivos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas.: Departamento de Física Aplicada a los Recursos Naturales.
- [9] M. Cruz Martínez, "Propuesta de un prototipo de concentrador solar para la destilación de mezcal en la región mixteca oaxaqueña", *Temas de Ciencia y Tecnología*, vol. 16, n° 49, pp. 45-53, 2013.
- [10] R. Jorapur, "Alcohol Distillation by Solar Energy", *ISES Solar World Congress Proceedings*, pp. 772-777., 1991.
- [11] P. Vargas, "Thermal analysis of a solar distillation system for ethanol-water Solutions", *Renewable Sustainable Energy*, vol. 5, pp. 234-240, 2013.
- [12] J. Hermosillo Villalobos, *Destilación Solar*, Guadalajara: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, 1989.
- [13] S. Chavez Sanchez, "Destilación de alcohol etílico empleando energía solar", *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, pp. 136-145., 2020.
- [14] D. Ascencio San Pedro, "Destilador solar de alambique De cobre con agua como fluido De trabajo para la producción de mezcal", *Revista de Energías Renovables*, n° 45, pp. 21-26, 2022.