UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE ENERGÍA

Destilador solar de alambique de cobre con agua como fluido de trabajo para producción de mezcal

Publicación Arbitrada

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRO EN FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

PRESENTA:

David Eduardo Ascencio San Pedro

D I R E C T O R

Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera

Ciudad de México, julio de 2022.

UACM
Universidad Autónoma de la Ciudad de México
Nada humano me es ajeno

CA Coordinación Académica

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

REVISTA DE Energías RENOVABLES

Asociación Nacional de Energía Solar

ENE - MAR 2022
Certificado de reserva al uso exclusivo del Título:
No. 04-2014-101414142700-203
PUBLICACIÓN TRIMESTRAL
Registro ISSN: 2395-9304

45



La Asociación Nacional de Energia Solar AC,
los invita a formar parte de la Industria promovida
a través de la más prestigiada revista especializada

ANES®

Asociación Nacional de Energía Solar

REVISTA DE
Energías
RENOVABLES

Ahora en línea



Publicación trimestral

Ahora en tu teléfono movil o computadora

Anuncia tu empresa

Continuamos con el
25% de descuento

Llegamos a los principales lectores del sector.

Espacios	Tamaño	Inversión	25% Descuento
Cuarta de forros	21.5 X 28 cm	$ 7,200	$5,400
Segunda de forros	21.5 X 28 cm	$ 6,000	$4,500
Tercera de forros	21.5 X 28 cm	$ 5,400	$4,050
Página completa interior	21.5 X 28 cm	$ 4,200	$3,150
Media página	21.5 X 14 cm	$ 3,000	$2,250
Cuarto de página	10.5 X 14 cm	$ 2,100	$1,575

Esperamos contar con tu participación

Estos precios en pesos mexicanos de la publicación ya incluyen I.V.A.
**La publicidad pagada es por número NO por año.*

REVISTA Energías RENOVABLES Año 8 Núm. 45, Ene-Mar 2022

La Revista Energías Renovables, es el órgano oficial de comunicación de la Asociación Nacional de Energía Solar, AC, hecha por especialistas en energías renovables y dirigida al medio especializado, así como a ciudadanos interesados en formar parte del cambio energético tan urgente en México, así como en todo el mundo.

Karla Cedano
Presidencia

Rafael García
Vicepresidencia

Sarah Messina
Secretaría General

Hugo Navarro
Tesorería

Daniel García
Secretaría de Organización

Claudia Roldán
Secretaría de Educación (Asuntos Estudiantiles)

Sergio Ruiz
Secretaría de Vocalías

Gilberto Sánchez
Secretaría de Legislación

Rafael Carmona
Secretaría de Innovación Tecnológica y Emprendedurismo

Javier Romero
Secretaría de Asuntos Internos

Angel Mejía
Secretaría de Asuntos Industriales

Naghelli Ortega
Secretaría de Capacitación

Ricardo Rodríguez
Secretaría de Vinculación

Heidi Villafán
Secretaría del Comité Editorial

Ana Rincón
Secretaría de Difusión

Oscar Sánchez
Secretaría Administrador de la página web

Camilo Arancibia
Secretaría representante ante la ISES

Marisol Oropeza
Secretaría de Asuntos Internacionales

Iván Salgado
Secretaría de Publicaciones

Rosanety Barrios
Secretaría de Políticas Públicas y Relaciones Institucionales

Luis Calderón
Secretaría de Secciones Regionales de ANES.

Dulce Guevara
Vocalía para la Inclusión y Género

Luis Flotte
Vocalía para Sector FV

Oscar Hernández
Vocalía para Sector Eléctrico



Editores Responsables:

Comité Editorial Iván Salgado, Secretario de Publicaciones y Heidi Villafán
Coordinadora Editorial: Dafne Krinis
Diseño Gráfico y Dirección de Arte; Proyecta 360°
Consejo Editorial: Dr. José Luis Fernández Zayas, Dr. David Morillón Gálvez, Dr. Eduardo A. Rincón Mejía, Ing. Odón de Buen Rodríguez.

La Revista Energías Renovables, Año 8, Número 45, ENER - MAR 2022 es una publicación trimestral editada por la Asociación Nacional de Energía Solar, AC. Insurgentes Sur 1748-303 Col. Florida, Álvaro Obregón D.F. C.P. 01030 | Tel: 5661-3787 E-mail: anes@anes.org Editores responsables: Iván Salgado y Heidi Villafán. Reserva de derechos ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Producto Editorial Hecho en México

Certificado de reserva al uso exclusivo del Título: No. 04-2014-101414142700-203. Registro ISSN: 2395-9304

Los artículos que aparecen en la revista de Energías Renovables son responsabilidad única y exclusiva de los autores y no representan necesariamente el pensamiento de los editores ni de la Asociación Nacional de Energía Solar, A.C.

Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio audiovisual, electrónico o impreso sin autorización por escrito de los editores y del autor.

ÍNDICE

ANES®
Asociación Nacional de Energía Solar

Palabras de la Editorial 5

Inteligencia artificial
el ítem perdido de la transición energética 6

Sistema agrovoltaico para el estudio y
comparación de técnicas de cultivo de hortalizas 10

Fotocatálisis para la producción de combustibles
solares 14

Destilador solar de alambique de cobre con agua
como fluido de trabajo para la producción de
mezcal 21

PALABRAS DE LA EDITORIAL

Editores: Dra. Heidi Villafan Vidales y Dr. Iván Salgado Tránsito.

La innovación tecnológica en el sector energético es esencial para alcanzar los objetivos de cero emisiones. Reducir la huella de carbono de nuestra sociedad es un deber que tenemos con las futuras generaciones y con el planeta. La innovación apuesta a la modernidad, con el desarrollo de nuevas tecnologías, pero también mira hacia lo antiguo, para volverlo más eficiente. En este número 45 de la revista de Energías Renovables se presentan 4 contribuciones. Dos de ellas abordan el uso de nuevas tecnologías, la producción de combustibles solares con fotosíntesis artificial y el uso de la inteligencia artificial en el sector energético. Los otros dos, presentan una nueva visión en dos procesos de gran tradición, la producción de hortalizas y de mezcal; al incorporar sistemas de energía solar en sus procesos de producción para volverlos más sustentables.

La inteligencia Artificial (AI por sus siglas en inglés) es la capacidad de las computadoras de emular la inteligencia humana, tales como la capacidad de entender el lenguaje, reconocer imágenes, resolver problemas y aprender. La AI está permitiendo lograr importantes avances en diferentes ramas de la Ciencia y Tecnología, y el sector energético no es la excepción. En este número analizaremos como la digitalización del sector energético es uno de los aspectos clave hacia la transición energética. Poder medir y almacenar una gran cantidad de datos de desempeño, patrones de consumo, historiales de fallas, etc., de los sistemas energéticos permite optimizarlos y mejorarlos. Ahí es donde la IA entra en juego para poder analizar toda esta información que se está generando y en base a ello proponer mejoras para un aprovechamiento más eficiente, sustentable y económico. En el artículo titulado: “La inteligencia Artificial, el ítem perdido de la transición energética”, se realza el papel de la AI en el sector de la energía y se describen algunos ejemplos donde se ha aplicado, tales como en la predicción de la producción de energía por un sistema fotovoltaico, o en la detección de fallas dentro de los mismos paneles.

También en el artículo titulado,” Sistema Agrovoltaico para el estudio y comparación de técnicas de cultivo de hortalizas “, conoceremos sobre esta importante intersección entre los sistemas de producción agrícola con los de energía. Los sistemas de producción agrícola se han visto apremiados a incrementa sus rendimientos, mejorar su calidad, pero también a reducir su impacto ambiental. De ahí de la importancia de encontrar métodos innovadores de producción agrícola. En este artículo se expondrán los beneficios sinérgicos entre un sistema de generación de potencia eléctrica con paneles fotovoltaicos y la producción agrícola de hortalizas mediante hidroponía. Una de sus grandes ventajas, es el ahorro en el consumo de agua hasta en un 90%.

La observación de la naturaleza es también un poderoso motor de inspiración para la innovación tecnológica. Uno de los mecanismos de conversión de la energía más importantes que podemos observar en la naturaleza es la fotosíntesis, mediante la cual las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química. En el artículo titulado: “Fotocatálisis para la producción de Combustibles Solares”, conoceremos una manera de transformar el gas de CO_2, en productos químicos de alto valor, como lo son los compuestos combustibles, Hidrógeno, Metano, Metanol, etc. Pero para que este proceso ocurra con mayor eficiencia y con una mayor rapidez, se requiere de contar con fotocatalizadores; los cuales son compuestos que aceleran la velocidad de una reacción química debido a su exposición a la luz. Esto permite acelerar la producción de combustibles solares.

Finalmente, daremos una mirada a uno de los procesos más tradicionales de varias regiones de México, la producción de mezcal. El proceso de destilado es un proceso de uso extensivo en consumo de energía térmica. Por ello en el trabajo titulado “Destilador solar de alambique de cobre con agua como fluido de trabajo para producción de mezcal”, exploraremos una interesante alternativa de sustitución del consumo de energía fósil con la quema de gas, al uso de calentadores solares. Mediante estudios de transferencia de calor y diseño asistido por computadora, los autores nos presentan un innovador diseño para mejorar la transferencia de calor dentro de un alambique de cobre para el destilado de mezcal.

Estimado Lector, esperamos que este número sea de su agrado.

Atentamente:
Comité Editorial

Inteligencia Artificial

El ítem perdido de la transición energética

Autor: Constanza Levicán*
Fundadora y CEO de Suncast

El papel de la Inteligencia Artificial en el sector energético **adquiere cada vez mayor relevancia.** De ahí que echar mano de este tipo de herramientas, donde las startups han tomado un papel relevante a nivel internacional, es cada vez más necesario para elevar el nivel de eficiencia, que redunda en mayores beneficios económicos, y en más rápido acercamiento a las metas mundiales en materia de sustentabilidad y cambio climático.

Sin embargo, para entender el papel de la Inteligencia Artificial dentro de la transición energética, ***es necesario estudiar las tres grandes tendencias que sigue en la mayor parte del mundo.***

Tres pilares fundamentales que han sido acordados por la industria a nivel mundial: **Descarbonización, Digitalización y Descentralización;** a este último, a veces se le añade también ***Democratización.***

La primera transformación es la *Descarbonización* y consiste en reemplazar las formas de generación tradicionalmente contaminantes por energías de fuentes renovables y de menor impacto ambiental.

Hemos evidenciado esta tendencia en el crecimiento de las energías renovables como la energía solar y eólica.



** Fundadora y CEO de Suncast, startup chilena que aplica Inteligencia Artificial para la predictibilidad de operación y mantenimiento en plantas de generación de energía renovable. Ganadora del Premio Nacional de Innovación Avonni 2021, que otorga el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile.*



Según las predicciones del mercado solar elaboradas por SolarPower Europe (2020) en su reporte Global Market Outlook for Solar Power 2020-2024, el **mercado mundial seguirá creciendo entre un 18% y 20% anual** respecto a la instalación de nuevas centrales generadoras, y la capacidad instalada de energía solar a nivel mundial podría duplicarse desde el 2020 al 2024.

La segunda transformación es la *Digitalización*. Al igual que múltiples industrias que están realizando procesos de transformación digital, la industria energética cuenta con su propio proceso.

En general la transformación digital se relaciona directamente con el área de marketing para entender mejor a los clientes y con esto personalizar la oferta. Sin embargo, en el caso de la industria eléctrica el proceso de transformación digital se relaciona directamente con la regulación del mercado eléctrico.

Esto debido a que se debe mantener un suministro eléctrico estable y seguro, luego, el regulador exige a los distintos actores estándares mínimos de digitalización que incluyen, por ejemplo, cierta periodicidad y robustez de la comunicación de los datos

En este sentido, la digitalización contribuye a la creación de redes inteligentes que den soporte a la generación a través de fuentes cada vez más sustentables, a la vez que se garantiza el suministro confiable de energía a los clientes finales

La tercera transformación es la *Descentralización*. Similar a lo que ocurrió en la industria del transporte con Uber y en la industria del turismo con AirBnB, donde se crearon nuevos modelos de negocios con una economía colaborativa.

La descentralización permite tener más actores en el mercado, en la que el proveedor puede ser cualquier persona que lo desee y ofrece su servicio a través de un tercero quién gestiona la oferta y la demanda.

En este ámbito, se han implementado algunos pilotos para realizar compra y venta de energía eléctrica entre residentes, como el proyecto *Brooklyn Microgrid*.

También, otros proyectos para realizar estas transacciones a través de *Blockchain* u otras monedas virtuales.

Sin embargo, aún no se pueden implementar estos nuevos modelos de negocios en su máxima expresión debido a que el mercado eléctrico es altamente regulado y se deben resolver varios aspectos de manera previa.

El acceso equitativo a la energía comienza con que todas las personas puedan acceder a energía eléctrica en sus casas

La cuarta transformación es la *Democratización*. El acceso equitativo a la energía comienza con que todas las personas puedan acceder a energía eléctrica en sus casas.

Luego, que las personas puedan acceder a viviendas eficientes para evitar contaminación intradomiciliaria y gastos mensuales excesivos.

Siguiendo en la línea que las personas puedan acceder a las nuevas tecnologías de forma equitativa como la instalación de techos fotovoltaicos.

Y finalmente, que puedan participar del mercado eléctrico a través de los nuevos modelos de negocios que analizaremos en un siguientesección.

Es necesario pintarse de verde

Una vez que hemos descrito las principales tendencias en cuanto a la transición energética, es importante señalar la amplia necesidad que existe por digitalizar los mercados eléctricos, donde la Inteligencia Artificial tiene una enorme oportunidad.

Los países con ambición de conseguir neutralidad en carbono han fijado metas ambiciosas de descarbonización respecto al cierre de termoeléctricas reemplazándolas por centrales de energías renovables como las hidráulicas, eólicas, y de una manera preponderante, solar fotovoltaica.

Un ejemplo de esto consiste en las metas de Política Energética 2050 de Chile acordadas por el Comité Consultivo, un panel de expertos, y representantes de la sociedad civil convocado por el Ministerio de Energía chileno en 2020, y cuyo documento final indica como meta:

"Al menos 95% de la energía producida por la generación eléctrica del país proviene de energías renovables ".

Es necesario pintarse de verde

Otro ejemplo nos los da el Medio Oriente, la región que más petróleo aporta al mundo, pero que al mismo tiempo está impulsando una naciente industria de energías renovables que pone en la mira varios retos, principalmente en materia tecnológica.

En este contexto, y de acuerdo con la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), a pesar del fuerte potencial de recursos en toda la región de Medio Oriente, en 2015 casi el 80 por ciento del crecimiento de las energías renovables no hidroeléctricas se concentraba en sólo cuatro de los 22 Estados miembros, y las energías renovables constituían sólo el seis por ciento de la capacidad total instalada de generación de energía eléctrica. Sin embargo, las tendencias actuales muestran que el panorama de las energías renovables está evolucionando rápidamente y se han producido avances significativos.

En 2016, se invirtieron 11 mil millones de dólares en el desarrollo de energías renovables en toda la región árabe en comparación con mil 200 millones en 2008, o un aumento de nueve veces en solo ocho años.

De esta forma, todo este impulso verde debe venir acompañado de políticas públicas y estrategias que incorporen la tecnología, y de manera específica, herramientas de Inteligencia Artificial, con la finalidad mejorar la operación de cada uno de esos sistemas eléctricos que inician, principalmente en las economías en desarrollo.

Un ejemplo de la aplicación de la inteligencia artificial en el sector de la energía, es un proyecto desarrollado durante 2021, por Suncast donde implemento una serie de modelos predictivos para la energía solar fotovoltaica, iterando con distintas arquitecturas de redes neuronales artificiales.

Con esto se lograron excelentes resultados de predicción, alcanzando un desempeño muy superior al promedio nacional en Chile, llegando en algunos casos a un 50 por ciento menos de error absoluto medio.

Lo que no se mide, no se puede mejorar

Dentro del pilar de la Digitalización existen dos áspectos clave: por un lado se requiere contar con sensores que registren las mediciones de las variables a las que queremos darle seguimiento, y por otro lado, es necesario tomar acciones con esa información.

Aquí valdría la pena citar el famoso lema en eficiencia energética “lo que no se mide no se puede mejorar”, sin embargo, este lema puede ser mejorado si añadimos “y una vez que se mida, se deben tomar acciones concretas.

En general, la infraestructura de Generación ya cuenta con un alto nivel de infraestructura de la medición porque de ello dependen los precios spot y las transacciones económicas, sin embargo, esto va disminuyendo hacia Transmisión, y aún más, en Distribución.

En esto el punto más básico de infraestructura requerida son los medidores digitales o también llamados “medidores inteligentes”.

En el caso chileno, existieron grandes dificultades para implementar la regulación que exigía implementar estos nuevos medidores a los clientes finales

Una vez que avancemos lo suficiente en la digitalización de las redes eléctricas, veremos la oportunidad de utilizar esa información.

Con esos datos se puede aplicar *Machine Learning*, que consiste básicamente en algoritmos que van aprendiendo un comportamiento en base a datos históricos; esta tecnología se utiliza para detectar patrones, segmentar grupos de datos y realizar diagnósticos.

En el ámbito solar fotovoltaico se pueden aplicar algoritmos para la detección de fallas, segmentación de clientes en base a sus patrones de consumo y diagnósticos automáticos de equipos. Este tipo de algoritmos se están comenzando a aplicar en las empresas de equipos y sistemas Scada más pioneras.

Por otro lado, el siguiente y último paso es la aplicación de la Inteligencia Artificial, la cual en base a ese aprendizaje máquina y algoritmos, puede identificar distintos escenarios y activar recomendaciones de acuerdo a algo similar a un árbol de decisiones (algoritmo de predicción) interno, o por muchos casos “vistos” anteriormente.

Cuando “vistos” significa escenarios anteriores con que hayan sido entrenadas las redes neuronales, una de las partes medulares del Machine Learning. Una vez cumplido este paso, podemos recién hablar de una digitalización del sistema eléctrico, que permitirá a su vez nuevos modelos de negocios, con más actores, tipos de transacciones y precios dinámicos.

Ya que aún no llegamos a este punto, por este motivo, la inteligencia artificial es uno de los grandes pendientes para desarrollar, en donde startups como Suncast, hemos trabajado para que deje de ser ese “eslabón perdido” de la transición energética.





Sistema agrovoltaico para el estudio y comparación de técnicas de cultivo de hortalizas

Dr. Arturo Díaz Ponce, Ing. Alma Valeria Espinosa Loera, Dr. Luis M. Valentín Coronado, Dr. Martín Ortiz Morales, Dr. Iván Trejo Zúñiga y Dr. Martín Moreno Guzmán

En los últimos años, el sector agrícola ha tenido que evolucionar debido a la escasez del agua, las condiciones climatológicas y la creciente demanda del alimento.

La agricultura convencional es responsable de importantes impactos ambientales tales como: la contaminación del agua y la degradación de los suelos, esto debido a las prácticas de riego inadecuadas, la deforestación, el sobrepastoreo, el uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas, entre otros.

Así mismo, los efectos del cambio climático han influido en el desarrollo de los cultivos provocando la aparición de malezas, insectos dañinos y enfermedades, afectando de forma severa la calidad de los cultivos (SAGARPA,2012).

Actualmente, la agricultura enfrenta el reto de aumentar su productividad aprovechando de forma eficiente los recursos naturales mediante la aplicación de tecnologías innovadoras agrícolas que produzcan alimentos de mejor calidad, con mayor frecuencia de cosecha y con el menor impacto ambiental posible.

La hidroponía se ha presentado como una solución ante las plagas y enfermedades en plantas, la escasez del agua, las condiciones climatológicas, el agotamiento de los suelos agrícolas, la creciente demanda de alimentos y la necesidad de aumentar la calidad de los cultivos. Esta técnica permite el cultivo de plantas utilizando sustratos y soluciones minerales nutritivas, sin requerir el uso de suelo.

La mayoría de los sistemas hidropónicos se implementan en invernaderos con la finalidad de controlar la temperatura, reducir la pérdida de agua por evaporación, controlar infestaciones de plagas, enfermedades y proteger los cultivos de elementos del ambiente (Herrera, 1999).

Entre las ventajas de esta técnica es que emplea un 90% menos de agua que la que se usa en la agricultura convencional (Bradley y Marulanda, 2001), se obtienen cosechas de alta calidad y son una excelente opción en regiones con suelos no fértiles (Beltrano y Gimenez, 2015).

Es importante mencionar que para la automatización de este tipo de sistemas se requiere electricidad y, la opción más rentable y sustentable actualmente, es generarla mediante módulos fovoltaicos.

A este tipo de sistemas se les denomina “agrovoltaicos” debido a que aprovechan una misma superficie de terreno tanto para generar energía eléctrica como para la agricultura.

Entre las principales ventajas de un sistema hidropónico agrovoltaico se encuentran,

- Aumentar la calidad nutricional de los cultivos.
- Optimizar el consumo de agua.
- Permitir la reconversión agrícola.
- Promover la automatización de procesos en el sector agrícola.
- Monitoreo en tiempo real.
- Evitar la erosión del suelo.
- Disminución de bacterias, parásitos y hongos en cultivos.

Los sistemas hidropónicos se clasifican, según a la técnica de cultivo, en:

I. Técnicas de medio líquido, como aeroponía y técnicas de película nutritiva (NFT, por sus siglas en inglés); y
II. Técnicas con sustrato, como los cultivos en arena, grava o rocas porosas de origen volcánico

En este proyecto se empleará la técnica de medio líquido utilizando dos tipos de cultivo: NFT y aeroponía.

En un sistema NFT, la solución nutritiva es bombeada desde un depósito hacia canales de tubos de PVC en los cuales se encuentran las plantas que reciben los nutrientes a través del agua que recircula en los tubos, como lo muestra la Figura 1. Algunas ventajas de este tipo de sistemas son, un mayor control del entorno de las raíces, y el riego se simplifica dado que la solución nutritiva se puede controlar con facilidad.

En la aeroponía, las plantas crecen en un entorno cerrado o semi cerrado, las raíces se encuentran suspendidas en el aire y se nebulizan con solución nutritiva cada cierto tiempo, ver Figura 2. Algunas ventajas de este tipo de sistema son su facilidad de armado, mayor oxigenación y absorción de nutrientes de la planta (Chaudhry, 2019).

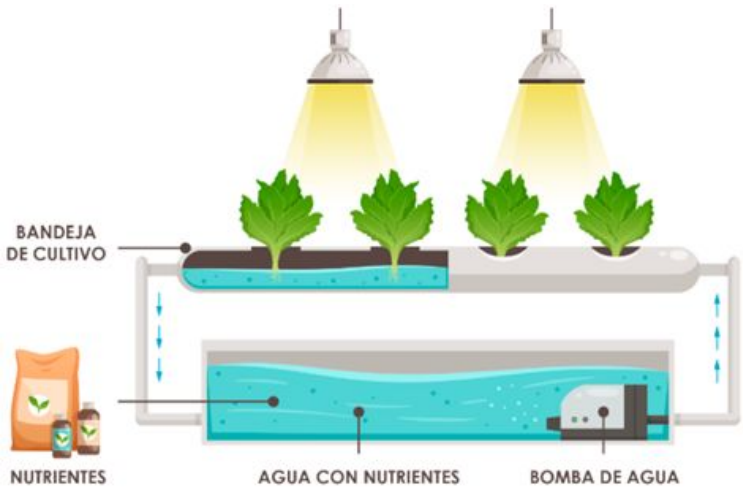


Figura 1. Sistema hidropónico NFT

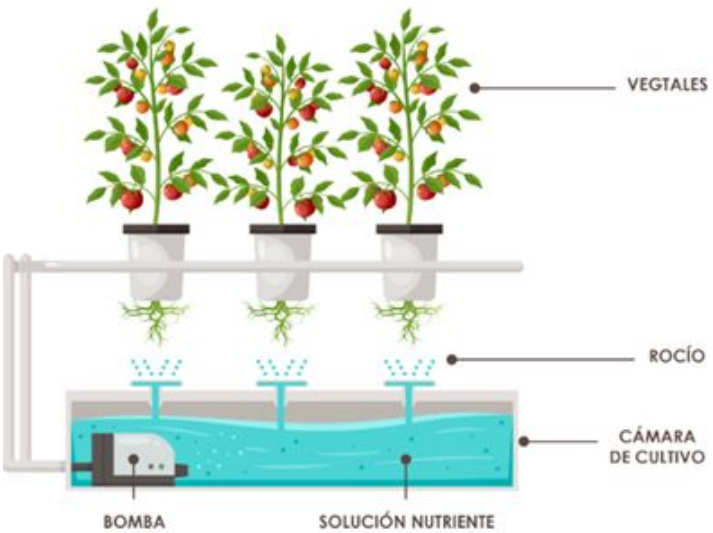


Figura 2. Sistema Aeropónico.

En este sistema también se utilizarán técnicas de fotoestimulación, las cuales se basan en el empleo de luz artificial para aumentar la producción y/o modificar la morfología de plantas con el objetivo de acelerar el tiempo de cultivo y la calidad nutricional de hortalizas y, en un futuro, en otros cultivos.

Además, se trabajará en la automatización de los sistemas hidropónicos con el objetivo de generar tecnología de bajo costo que pueda ser trasferida a agricultores.

Así mismo, el empleo de sistemas fovoltaicos permitirá la optimización de terrenos, la generación de energía eléctrica para el autoconsumo, el bombeo solar de agua subterránea y la circulación de nutrientes en sistemas hidropónicos.

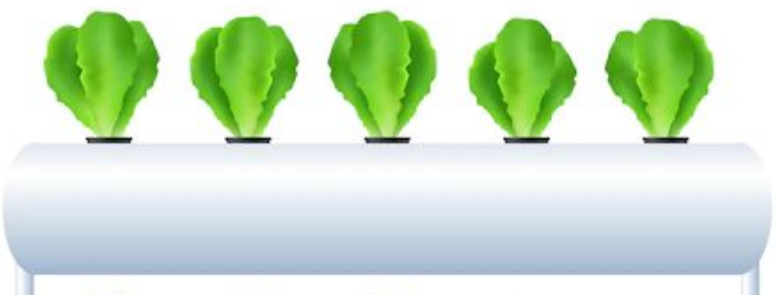
Por último, la tecnificación del campo permitirá implementar las siguientes tecnologías vanguardistas:

- Generación de electricidad descentralizada, fuera de la red y en zonas urbanas.
- Disminución de radiación solar en climas áridos.
- Circulación de nutrientes en la hidroponía horizontal y vertical.
- Control de la cantidad y tipo de la Iluminación artificial para sistemas hidropónicos.
- Generación de microclimas controlados.

Por lo anterior, en 2021, con el apoyo del Instituto para el Desarrollo de la Sociedad del Conocimiento del Estado de Aguascalientes (IDSCEA), del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ) y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), el Centro de Investigaciones en Óptica unidad Aguascalientes y la Universidad Tecnológica de San Juan del Rio (UTSJR) crearon el Laboratorio de Innovación Energética y Agricultura Inteligente y Sostenible (LEISSA, por sus siglas en inglés), en el cual se trabaja en el desarrollo de un sistema hidropónico agrovoltaico para la producción de hortalizas de hoja verde mediante diferentes métodos de cultivo y la fotoestimulación de las plantas.

Es importante mencionar que este proyecto está alineado con los objetivos de la Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 y del Plan Estatal de desarrollo del Estado de Aguascalientes. Además, también se alinea con el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI) 2021-2024 del CONACyT.

Las instituciones participantes en este proyecto están convencidos de la importancia del uso de la energía solar como una fuente de energía alternativa, y del uso de nuevas tecnologías que sean amigables con el medio ambiente, de bajo costo y que incrementen la calidad, el rendimiento y la rentabilidad de la producción de alimentos.



Referencias

Bradley, P. and Marulanda, C. (2001). SIMPLIFIED HYDROPONICS TO REDUCE GLOBAL HUNGER. Acta Hortic. 554, 289-296

Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

Chaudhry, A. R., & Mishra, V. P. (2019, March). A Comparative Analysis of Vertical Agriculture Systems in Residential Apartments. In *2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)* (pp. 1-5). IEEE.

Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra latinoamericana, 17(3), 221-229.



Cursos *En línea* secuenciales ANES

Asociación Nacional de Energía Solar

ANES®



Tendremos este año cursos secuenciales en los cuales podrás participar.

1. Introducción a los ***Sistemas Fotovoltaicos***
2. ***Normativa y protecciones*** en los sistemas fotovoltaicos
3. Diseño de sistemas fotovoltaicos ***interconectados a la red*** menores de 500kWp baja y media tensión
4. ***Diseño/simulación*** por software
5. I***nstalación de sistemas fotovoltaicos interconectados*** a la red menores de 500kWp baja y media tensión
6. ***Operación y Mantenimiento*** (O&M) de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red menores de 500kWp ***(comercial/industrial)***
7. Diseño de ***sistemas fotovoltaicos autónomos***
8. ***Sistemas fotovoltaicos*** interconectados a la red con baterías (híbrido) ***uso residencial***

Nuestro curso online te ofrece:

- **Constancia.**
- Material de estudio **incluído** para descargar si lo deseas.
- **Instructor en línea** para responder tus consultas

Más información en:

cursos.anes.org.mx

Las fechas se publicarán en las redes sociales de ANES



Dulce K. Becerra-Paniagua[1], Soleyda Torres Arellano[2], Ruth Belinda Domínguez Espíndola[1], C. Fabián Arias-Ramos[1], P.J. Sebastian[1]

Fotocatálisis para la Producción de Combustibles Solares

[1]Instituto de Energías Renovables. Universidad Nacional Autónoma de México. Priv. Xochicalco S/N, 62580 Temixco, Morelos, México.

[2]Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte Poniente No. 1150, Col. Lajas Maciel, 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Introducción

La preocupación por el calentamiento global y la seguridad energética ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas a los combustibles fósiles.

La razón principal del calentamiento global es el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, a partir del uso de combustibles fósiles para la producción de energía y otras actividades humanas diarias.

Es preocupante que el aumento de la concentración global de CO_2 haya mostrado una tendencia en aumento en los últimos 20 años [1], reflejado en una aceleración en el calentamiento global y un aumento en la temperatura promedio de la Tierra.

Lo que ha provocado diversos problemas como derretimiento de polos, olas de calor, inundaciones y desaparición de algunas especies de plantas y animales.

Por lo tanto, existe una necesidad urgente de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO_2.

Para ello, existen tecnologías de mitigación de este gas, como su captura y almacenaje en depósitos subterráneos, sin embargo, estás prácticas no son una completa solución.

Otra alternativa es convertir el CO_2 en productos químicos útiles, sobre todo en compuestos basados en carbono de uso energético, ya que el carbono es el elemento principal de los combustibles fósiles.

La fotocatálisis (reacción química acelerada en presencia de luz) ha atraído mucho interés en todo el mundo ya que puede utilizar la energía solar, la cual es la fuente más abundante de energía en la Tierra y por lo tanto contribuir a la disminución de



la contaminación ambiental. En particular, el proceso de fotoreducción de CO_2, se basa en la transformación de moléculas de CO_2 en compuestos orgánicos en presencia de luz solar o artificial; por lo que no solo puede convertir directamente la energía solar en energía química estable, sino que también puede minimizar el nivel de CO_2 en la atmósfera.

Este proceso es conocido como fotocatálisis, que coloquialmente se llama fotosíntesis artificial, por su semejanza con el proceso de fotosíntesis natural de las plantas (Figura 1).

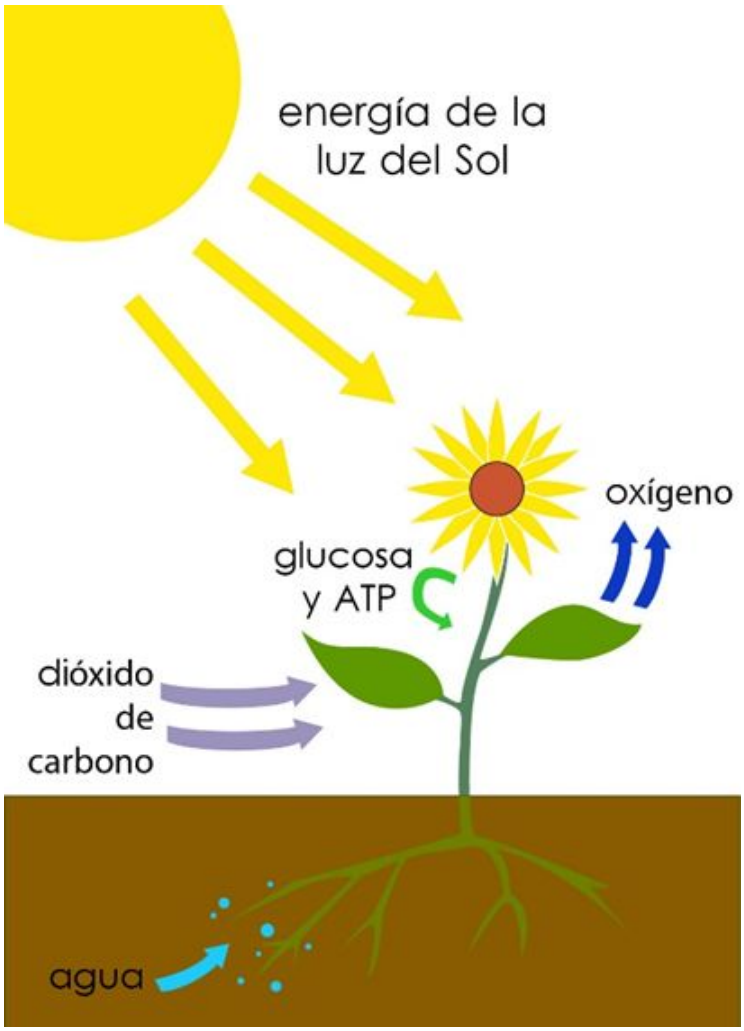


Figura 1. Proceso de fotosíntesis natural de las plantas. Fuente: [2]

Para la fotocatálisis, es necesario utilizar un material que sirva como acelerador de la reacción química, denominado catalizador, que por lo general es un material semiconductor.

Los materiales semiconductores poseen propiedades particulares al interaccionar con la luz debido a su sensibilidad a esta, por lo que se aplican en diferentes tecnologías como la fotovoltaica, la fotocatalítica y la térmica.

Dentro de los semiconductores más utilizados en fotocatálisis sobresale el dióxido de titanio (TiO_2) y el óxido de cuproso (Cu_2O), debidos a su excelente eficiencia de reducción de CO_2, alta estabilidad, no toxicidad, fácil síntesis y bajo costo.

Aunque también varios fotocatalizadores han sido estudiados como: óxido de magnesio (MgO), trióxido de indio (In_2O_3), sulfuro de cadmio (CdS), óxido de zinc (ZnO), sulfuro de zinc (ZnS), trióxido de wolframio (WO_3).

El presente artículo tiene como objetivo explicar de forma general los conceptos relacionados con la producción de combustibles solares, el proceso de fotocatálisis, la fotoreducción de CO_2, así como, los semiconductores más utilizados en los procesos fotocatalíticos, haciendo énfasis en el TiO_2 y Cu_2O.

¿Qué es la fotocatálisis?

La palabra fotocatálisis está formada por las palabras “foto” que significa luz en griego y “catálisis” que se traduce como “degradación completa” en latín, en otras palabras, se trata de una reacción química acelerada por la luz.

El proceso de fotocatálisis parte del principio de utilizar la energía solar similar a la forma en que funciona la fotosíntesis natural.

Al igual que esta, la luz (proveniente del Sol o de lámparas) es capaz de convertir el CO_2 absorbido en materia orgánica. Es decir, la fotocatálisis se considera una reacción fotoquímica porque transforma la energía luminosa en energía química.

Por otro lado, las propiedades del semiconductor seleccionado para el proceso de fotocatálisis, afectan la velocidad de reacción, la selectividad hacia un producto orgánico y la eficiencia de conversión o rendimiento del producto final.

Entre las propiedades más importantes está la energía de banda prohibida (E_g), ya que determina el intervalo de absorción de la luz (es decir, en la región ultravioleta o visible) y la energía requerida para que se lleve a cabo la fotogeneración de especies con carga.

Como se observa en la Figura 2, en la superficie irradiada del semiconductor ocurren ciertas reacciones de reducción y oxidación (conocidas también como reacciones redox).

Por lo que el proceso de reacción fotocatalítica incluye principalmente tres pasos clave: (1) la absorción de la luz en la superficie del fotocatalizador , con una energía igual o superior a la energía de banda prohibida y se generan especies con carga negativa y positiva, denominados pares electrón-hueco (representados e^- y h^+ respectivamente); (2) los pares electrón-hueco se separan, y los electrones y huecos se transportan hacia la banda de conducción

(BC) y la banda de valencia (BV) respectivamente; (3) se adsorbe el CO_2 en la superficie del fotocatalizador y se lleva a cabo la reacción de oxidación/reducción para generar los productos (combustibles solares)[3].

También puede suceder que si los electrones y huecos no encuentran sitios activos para reaccionar se recombinan (vuelven a quedar como pares electrón-hueco) antes de llegar a la superficie y únicamente se convertirá la energía solar en forma de calor, disminuyendo la eficiencia del fotocatalizador

En el proceso fotocatalítico para la producción de combustibles solares, el compuesto CO_2 se reduce químicamente (gana electrones); para que esto se lleva a cabo es necesario que en el medio existan agentes de sacrificio, es decir, los compuestos a oxidar (que pierden electrones) para que se ejecuten las reacciones deseadas y quede balanceada la ecuación final de los productos.

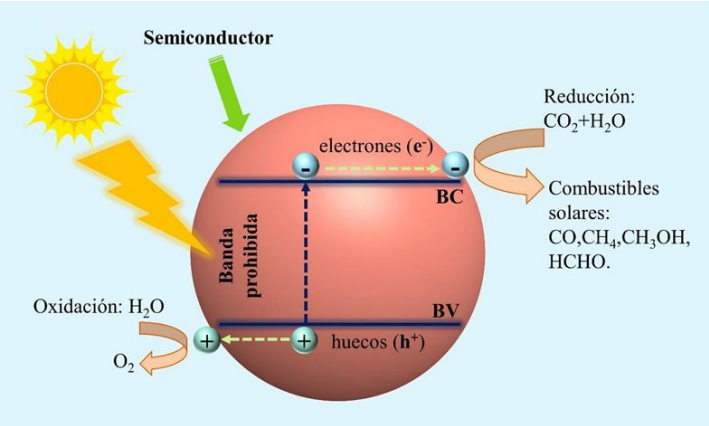


Figura 2.

Esquema del proceso fotocatalítico de un semiconductor (hecho por autoras)

También puede suceder que si los electrones y huecos no encuentran sitios activos para reaccionar se recombinan (vuelven a quedar como pares electrón-hueco) antes de llegar a la superficie y únicamente se convertirá la energía solar en forma de calor, disminuyendo la eficiencia del fotocatalizador

Somos una empresa mexicana, líder en la fabricación de **estructuras de acero recubierto para paneles solares.**

stripsteel



Solar

Somos especialistas en la fabricación de estructuras fijas tipo ground-mount, componentes para trackers y plantas fotovoltaicas.

Conoce más

OFICINA: Calzada Zavaleta No. 1108, Torre Omega 1801, Santa Cruz Buenavista, Pue. C.P. 72150

CENTRO DE SERVICIO (COILCENTER): Rio Papaloapan No 24-A, Corredor Industrial Cuautlancingo, Puebla, México.

PLANTA SOLAR: Calle Tlaxcaltecas 10G, Ciudad Industrial Xicohtencatl II, Huamantla, Tlaxcala, México.

Contáctanos
(222) 210 6472 / 699 9341
ventas@stripsteel.com.mx

Combustibles solares y fotoreducción de CO_2

Los combustibles solares son los productos que se obtienen a partir de una reducción fotocatalítica o fotoreducción de CO_2.

En general, la absorción de luz solar o de lámparas, la separación de carga y la reacción en la superficie del fotocatalizador son los pasos cruciales para convertir de manera eficaz el CO_2 en combustibles solares como hidrógeno (H_2), CH_4 (metano), HCOOH (ácido fórmico), HCHO (formaldehído) y CH_3OH (metanol).

Dado que la reducción de CO_2 se realiza comúnmente en agua, esta es la responsable de suministrar los hidrógenos necesarios para la formación de varios productos. Mientras que, la función de la energía luminosa es incitar el transporte de electrones y huecos; los electrones fotogenerados (e^-) se transfieren a las moléculas de CO_2 adsorbidas e inician la reducción de CO_2 y los huecos fotogenerados (h^+) se consumen para oxidar agua (H_2O) en O_2.

La molécula de CO_2 se puede reducir a varios productos dependiendo de la disponibilidad de electrones y huecos y la fuerza de enlace del producto formado.

El CO_2 es una molécula covalente extremadamente estable, por lo que necesita mucha energía para su transformación y más de un electrón para producir algún compuesto químico.

Por ejemplo, la transformación de CO_2 en su producto altamente reducido metano (CH_4) se requiere de ocho electrones, mientras que el metanol de seis electrones o el ácido fórmico de dos electrones.

En la Tabla 1 se muestran algunos combustibles solares que se pueden obtener mediante reducción fotocatalítica de CO_2 en agua, así como la fotooxidación de esta. Tabla 1. Reducción de CO_2 a varios combustibles solares[4].

Actualmente los rendimientos alcanzados para la obtención de combustibles solares por fotoreducción de CO_2 se encuentran en el orden de los micromoles (µmol/g.h); entre los compuestos químicos generados con mayor frecuencia se encuentran: el metano, metanol e hidrógeno.

Compuesto	Fórmula química	Reacción
Hidrógeno	H_2	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
Ácido fórmico	HCOOH	$CO_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow HCOOH$
Formaldehído	HCHO	$CO_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow HCHO + H_2O$
Metanol	CH_3OH	$CO_2 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow CH_3OH + H_2O$
Metano	CH_4	$CO_2 + 8H^+ + 8e^- \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

Algunos rendimientos reportados en la literatura son: 1.42 µmol/g·h para CH_4, 5.7 µmol para H_2, 2.94 µmol/g·h para CH_3OH usando fotocatalizadores como Pt-Cu_2O/TiO_2, Cu_2O/WO_3 y GO-Cu_2O respectivamente [5]–[7].

Semiconductores para Fotocatálisis

Varios fotocatalizadores han sido estudiados como es el caso del: TiO_2, Cu_2O, MgO, In_2O_3, CdS, ZnO, ZnS, WO_3, todos ellos con la capacidad de generación de portadores de carga después de la absorción de luz, para posteriormente participar en reacciones redox para la formación de productos [8].

Dióxido de titanio (TiO_2)

Uno de los fotocatalizadores más eficientes y estudiados en la descomposición de contaminantes orgánicos es el TiO_2, debido a que es inerte química y biológicamente, de bajo costo, no tóxico, altamente fotoreactivo, fotoestable y anfótero, es decir, que puede actuar como un ácido o una base según la sustancia con la que esté reaccionando.

El TiO_2 es un semiconductor tipo n, el cual, es posible obtener a temperaturas relativamente bajas (menor a 550 °C), y que ha logrado ser utilizado a nivel comercial debido a que presenta una actividad fotocatalítica superior gracias a que posee una mayor área superficial y una mayor cantidad de sitios activos para la adsorción para la catálisis [9], [10].

Óxido cuproso (Cu_2O)

El Cu_2O es un fotocatalizador prometedor para la reducción de CO_2, siendo un semiconductor tipo p con una banda prohibida de 2.2 eV que absorbe eficientemente el rango visible del espectro solar.

Es un material ampliamente sintetizado para la fotocatálisis debido a que es fácil controlar su morfología y tamaño de partícula bajo condiciones de síntesis a temperaturas a partir de los 60°C por periodos de tiempo desde 10 min [11].

Creado hace 27 años, el laboratorio de hidrógeno del Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

Está enfocado a formar estudiantes de maestría y doctorado de excelencia, logrando avances importantes en la generación de hidrógeno y en la ahora incorporada línea de investigación de reducción de CO_2. Sintetizando materiales por métodos químicos existentes como sol-gel, microondas, hidrotermal y síntesis verde (biosíntesis).

Preparando fotocatalizadores como Cu_2O, TiO_2 y Fe_2O_3, aplicados a la reducción de CO_2 y producción de H_2, obteniendo productos como: metanol (354.7 µmol/g), formaldehído (0.3 µmol/g), ácido fórmico (26,654.0 µmol/g) e hidrógeno 789.8 (µmol/g).

Pero nuestro mayor orgullo son los alumnos de nuestro grupo de trabajo, quienes han continuado estas líneas de investigación en otras dependencias, formando con éxito sus propios grupos de investigación.



Figura 3. Reactor de fotoreducción de CO_2 montado en el laboratorio de hidrógeno del IER-UNAM

Aportando no sólo avances en la ciencia, sino, además, incrementando nuestras redes de colaboración en México y el mundo, proponiendo materiales que sean más activos con la luz solar para que sean procesos económicamente viables y rentables.

Bibliografía

[1] Y. W. Teh, M. K. T. Chee, X. Y. Kong, S.-T. Yong, and S.-P. Chai, "An insight into perovskite-based photocatalysts for artificial photosynthesis," *Sustainable Energy Fuels*, vol. 4, no. 3, pp. 973–984, 2020, doi: 10.1039/C9SE00526A.

[2] R. G. Alonso, "La Fotosíntesis: ¿Qué es? ¿Cómo se Produce? ¿Qué Etapas tiene?," *Sembrar100*. https://www.sembrar100.com/fotosintesis/ (accessed Mar. 04, 2022).

[3] X. He and C. Zhang, "Recent advances in structure design for enhancing photocatalysis," *J Mater Sci*, vol. 54, no. 12, pp. 8831–8851, Jun. 2019, doi: 10.1007/s10853-019-03417-8.

[4] E. Gong *et al.*, "Solar fuels: research and development strategies to accelerate photocatalytic CO_2 conversion into hydrocarbon fuels," *Energy Environ. Sci.*, p. 10.1039.D1EE02714J, 2022, doi: 10.1039/D1EE02714J.

[5] Z. Xiong *et al.*, "Selective photocatalytic reduction of CO2 into CH4 over Pt-Cu2O TiO2 nanocrystals: The interaction between Pt and Cu2O cocatalysts," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 202, pp. 695–703, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.apcatb.2016.10.001.

[6] W. Shi *et al.*, "Controllable synthesis of Cu2O decorated WO3 nanosheets with dominant (0 0 1) facets for photocatalytic CO2 reduction under visible-light irradiation," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 243, pp. 236–242, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.apcatb.2018.09.076.

[7] I. Shown *et al.*, "Highly Efficient Visible Light Photocatalytic Reduction of CO2 to Hydrocarbon Fuels by Cu-Nanoparticle Decorated Graphene Oxide," *Nano Lett.*, vol. 14, no. 11, pp. 6097–6103, Nov. 2014, doi: 10.1021/nl503609v.

[8] A. Bhattacharya and A. Selvaraj, "Photocatalytic conversion of CO2 into beneficial fuels and chemicals – a new horizon in atmospheric CO2 mitigation," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 156, pp. 256–287, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.10.003.

[9] K. Madhusudan Reddy, C. V. Gopal Reddy, and S. V. Manorama, "Preparation, Characterization, and Spectral Studies on Nanocrystalline Anatase TiO2," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 158, no. 2, pp. 180–186, May 2001, doi: 10.1006/jssc.2001.9090.

[10] Q. Zhou, H. Zhang, Y. Wang, and X. Zhou, "Studies on the interaction of interface between morin and TiO2," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 72, no. 1, pp. 110–114, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.saa.2008.08.012.

[11] Y.-H. Zhang *et al.*, "Facile synthesis of hollow p-Cu2O/n-ZnO microspheres with enhanced photocatalytic H2 production," *Chemical Physics Letters*, vol. 734, p. 136748, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.cplett.2019.136748.



Somos la asociación con **más tradición en México** para la promoción, divulgación, desarrollo, enseñanza y capacitación en **materia de energías renovables.**

Para más Información visita: **anes.org.mx**



DESTILADOR SOLAR DE ALAMBIQUE DE COBRE CON AGUA COMO FLUIDO DE TRABAJO PARA PRODUCCIÓN DE MEZCAL

Ascencio San Pedro David Eduardo*, Berra Ruiz Gonzalo*, Rincón Mejía Eduardo A.*, Lentz Herrera Álvaro*

* Ingeniero Mecánico, Facultad de Ingeniería, UNAM, ascenciodavid@hotmail.com
**Ingeniero Mecatrónico, Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca, berraruizgo@live.com.mx
***Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, San Lorenzo 290, Ciudad de México, 03100, México, rinconsolar@hotmail.com
** Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, San Lorenzo 290, Ciudad de México, 03100, México, allentz7018@gmail.com

RESUMEN

El proceso de destilación de mezcal en México, data del siglo XVIII [1] y hasta la fecha se siguen empleando fuentes no renovables de energía para su producción. Por lo cual en este trabajo se expone el diseño de un destilador solar para que por medio de agua calentada a través de concentradores solares parabólicos (CPC´s) y haciéndola pasar por una espiral de cobre satisfaga los requerimientos de potencia y temperatura para un proceso óptimo de destilación y evitar con esto el uso de fuentes no renovables de energía y un compuesto no deseado en la elaboración del mezcal, tal como las puntas las cuales se obtienen cuando el calentamiento rebasa la temperatura de 90° C (esta temperatura se obtiene cuando el proceso se realiza de manera artesanal y no hay un control de la misma) Como resultado a través de ecuaciones, gráficas y simulaciones realizadas por medio del software SolidWorks, se obtuvo que con este tipo de cambio es posible dejar atrás un proceso que lleva aproximadamente III siglos sin modificación.

INTRODUCCIÓN

El mezcal tiene origen en la palabra náhuatl “mexcalli” que significa maguey cocido, entre 2016 a 2018 aumentó su producción [2], las distintas clases del mezcal dependen del maguey y del clima siendo de denominación de origen, ocho estados del país los cuales son: Oaxaca, Zacatecas, Durango, Guanajuato, Guerrero, San Luis Potosí, Tamaulipas y Michoacán [3].

Es una bebida destilada de mostos fermentados, procedentes de piñas de maguey cocidas y maceradas; su proceso principalmente consta de cinco etapas, las cuales son: jimado, cocción, molienda, fermentación y destilación. Una de las etapas importantes donde se da toda una serie de sucesos termodinámicos, de transferencia de calor y de intercambios de fluidos es en la etapa de destilación, por lo que el ahorro de energía es de particular importancia en esta etapa.

La destilación del mezcal consiste en calentar un alambique de cobre y elevar la temperatura de 80 a 90 [^{0}C], después de ahí se separa la mezcla de alcohol y se lleva hasta un condensador a dónde ocurre un intercambio de calor con agua, obteniendo el mezcal destilado.

Sin embargo, ***en el proceso del calentamiento del alambique se desperdicia demasiada energía proveniente de leños de diferentes tipos de vegetación o gas natural,*** y debido a que la mezcla inicial (piñas de maguey cocidas y fermentadas con agua) se empieza a calentar y después a sobrecalentar (proceso no controlado) se producen las llamadas "puntas" y "colas", respectivamente, las cuales pueden tener un efecto perjudicial a la salud.

Por lo cual es **importante cambiar el sistema de calentamiento del alambique de cobre y sustituirlo por agua caliente** para que se tenga la opción que esta sea calentada a través de Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC´s) con tubos evacuados, estos últimos tienen una vida útil de aproximadamente 20 años y requieren solamente de limpieza para su correcto funcionamiento.

Descripción del sistema en el proceso artesanal de elaboración de mezcal

En el proceso de elaboración de mezcal, se utiliza un alambique de cobre el cual contiene el mosto fermentando (Agua y piña de maguey cocida y macerada) a temperatura ambiente, después en la parte inferior de este, se empieza a calentar por medio de gas o leños provenientes de árboles de cada región en donde se elabora.

Posteriormente la mezcla pasa hacia un capitel y cuello para finalmente condensarla, en un condensador de cobre enfriado por agua, obteniendo el mezcal destilado, como se muestra en la **figura 1**.



Figura 1. Componentes de la destilación solar de mezcal en la planta de mezcal Bravero, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Diseño del alambique con espiral de cobre con agua en el interior

La propuesta de cambio consiste en hacer pasar agua caliente a 88°C, al interior de una espiral de cobre la cual está en contacto con el alambique para que se satisfaga el calentamiento del mezcal. El prototipo completo se muestra en la **figura 2,** en donde el alambique con la espiral de cobre se muestra a la derecha, en la **figura 3**, se muestra un acercamiento a la espiral de cobre con el alambique y en la **figura 4** se muestra el alambique de cobre con la espiral y capitel en vista explosionada.



Figura 2. Prototipo de destilador de alambique fabricado en cobre, incluida la modificación de la espiral de cobre alrededor del alambique

Las medidas del alambique se tomaron de las medidas reales de la planta de Mezcal Bravero, ubicada en Miahuatlán de Porfirio Díaz en Oaxaca, el cual tiene una forma cilíndrica con un Diámetro externo de 0.6743 [m] y una altura de 0.840 [m].

El diámetro externo de la espiral de cobre es de 0.0667[m], el diámetro interno de 0.0642 [m], la longitud de 0.3530[m], con un numero de pasos (vueltas) de seis.

Diseño de los concentradores parabólicos compuestos (CPC´s)



Figura 3. Alambique con la espiral de cobre en el exterior.



Figura 4. Vista explosionada del alambique con la espiral en el exterior y tapa.

El agua debe de ser calentada desde una temperatura ambiente de 18.1857°C , la cual corresponde al promedio de temperatura ambiente del año 2020 [4] en la azotea de la Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca (latitud de 16.8201 y una longitud de -96.7993).

Hasta una temperatura de , por lo cual, para no utilizar fuentes no renovables de energía para tal fin, se propone utilizar los CPC´s,

los cuales surgieron en los años 70 [5] para conseguir concentración solar mediante dispositivos estáticos [6], ya que consiguen concentrar sobre el receptor (tubo evacuado) toda aquella radiación que llega dentro del denominado “ángulo de aceptación” del colector.

Para ahorrar material y reducir los costos en la fabricación de estos, se utilizó el criterio de Rincón [7], como se muestra en la **figura 5**, en donde la parte amarilla es el tubo evacuado, la parte roja es la involuta y la parte azul las parábolas macrofocales y en la **figura 6** se muestra el CPC en 3D con el tubo evacuado

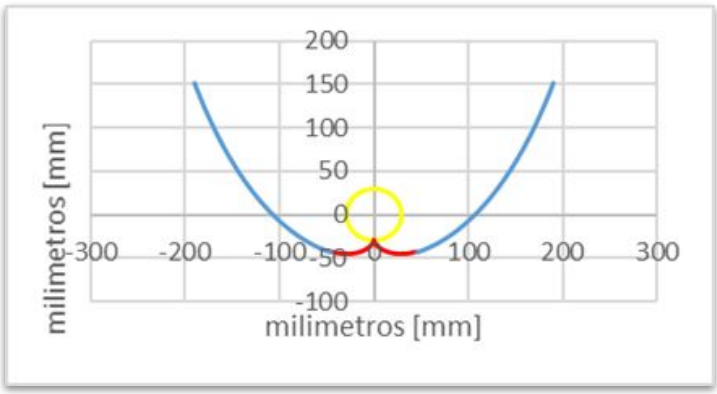


Figura 5. Diseño CPC por medio de Microsoft Excel tomando el criterio de Rincón.

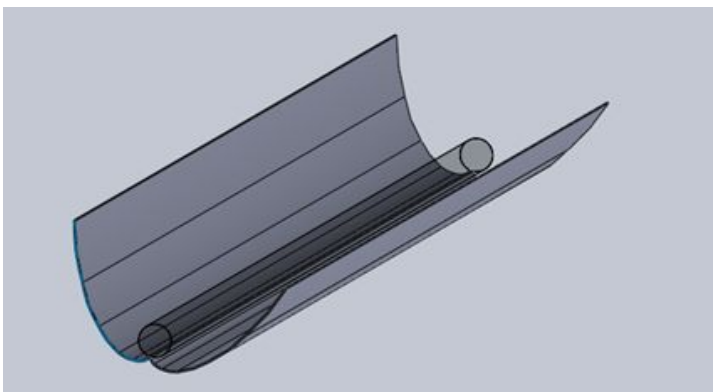


Figura 6. Diseño del CPC con el tubo evacuado

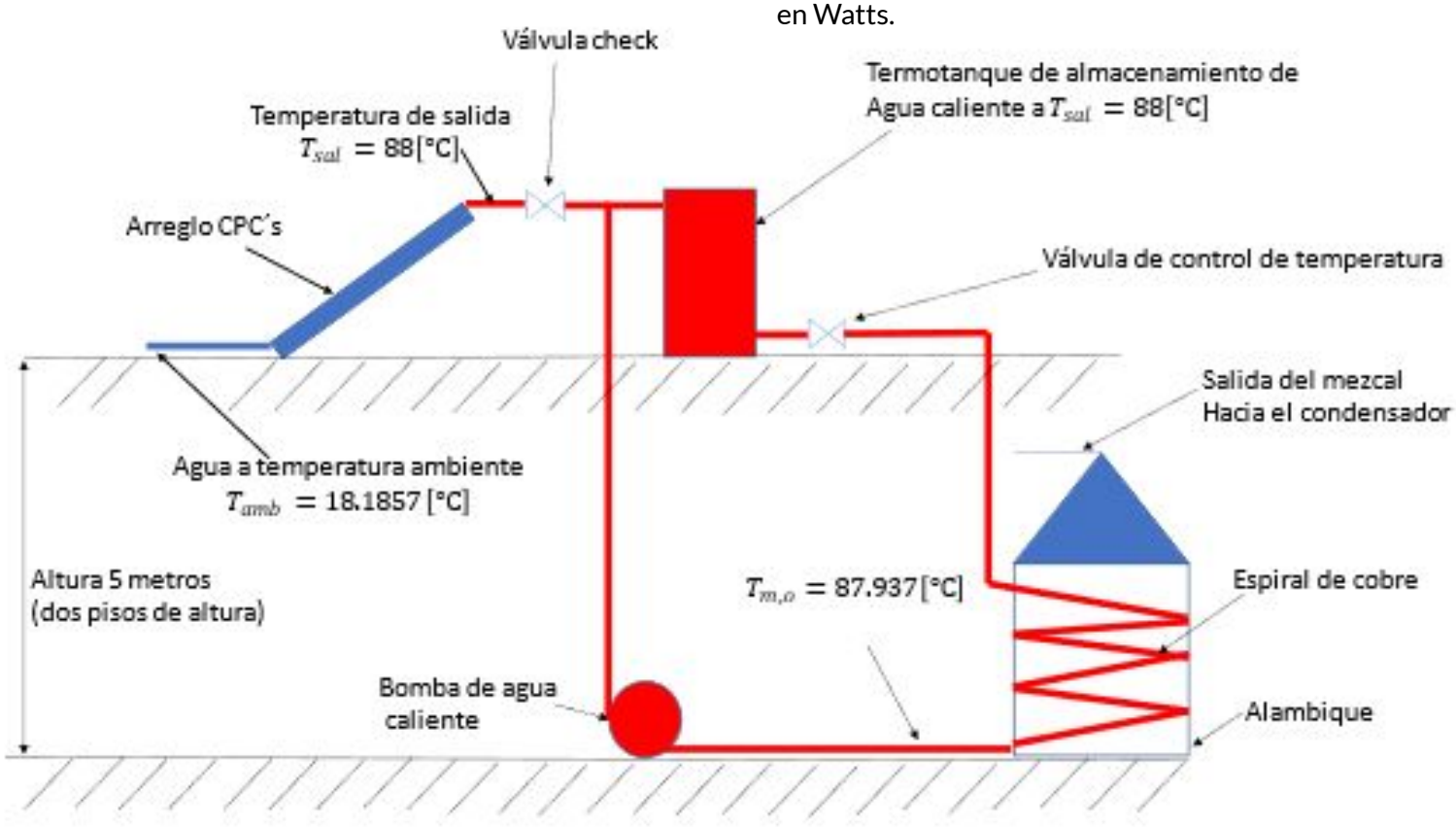
Después de varias ecuaciones contenida en la literatura [8] y [9] y conociendo los datos de la irradiación [4], en la ubicación antes mencionada, los CPC’s y tubos, ambos con una longitud de 1.8 metros, necesarios para elevar la temperatura son 67 y las horas que pueden estar trabajando los CPC´s sin necesidad de cambiar la orientación de estos (estando fijos sobre la azotea) son de 11:03 a 12:57 horas, con una radiación promedio durante el año 2020 de 501.7774 [W/m2]

Diseño del ciclo

El ciclo completo, como se muestra en la figura 6 consta de los siguientes pasos:

1. Elevar la temperatura desde 18.1857°C , hasta 88°C , por medio de los CPC´s.
2. Poner una válvula check (para que no haya retorno de agua), a la salida del arreglo de los CPC´s y llevar el agua caliente a un termotanque (almacenamiento de agua caliente)
3. A la salida del termotanque poner una válvula de regulación de temperatura para que deje pasar el agua solo si está a 88°C
4. A la salida de la espiral de cobre poner una bomba de agua caliente de 0.16[HP] para llevar esta hacia el termotanque a una temperatura de 87.93 °C.

Figura 6. Ciclo completo de la propuesta.



Temperatura de salida de la espiral de cobre y potencia calorífica transferida al alambique

Se propusieron diferentes valores de flujo másico del agua a la entrada de la espiral de cobre, para conocer la temperatura de salida de la espiral de cobre, mediante la siguiente fórmula:

$$T_{m,o} = T_s - \left[\exp^{(-PLh/mC_p)}\right][T_s - T_{m,i}]$$

En donde T_{mo} es la temperatura de salida en K, T_s es la temperatura superficial de la espiral de cobre en K, P es el perímetro del alambique de cobre en metros, L es la longitud de la espiral de cobre en metros, h es el coeficiente de convección dentro de la espiral de cobre en $\frac{W}{m^2K}$ es el flujo másico en $\frac{Kg}{s}$, C_p es el calor específico en $\frac{J}{kgK}$ y $T_{m,i}$ es la temperatura de entrada a la espiral de cobre

La potencia transferida al alambique de cobre se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{Q} = mC_p(T_{m,o} - T_s)$$

En donde $\dot{Q}$ es la potencia transferida al alambique en Watts.

Análisis de resultados

En la figura 7 se muestra el flujo másico de la espiral de cobre y la temperatura de salida de esta, en donde se observa que en un rango de $0 a 0.13 \left[\frac{kg}{s}\right]$ disminuye la temperatura y de 0.13 a 2.575 *[kg/s]* esta empieza a aumentar y en la figura 8 se muestra el flujo másico en la espiral de cobre y la potencia transferida al alambique en donde se observa que a mayor flujo másico aumenta la potencia, en donde a un flujo másico de 2.575 *[kg/s]*, la potencia calorífica transferida es de 681.92 *[W]*.



Figura 7. Flujo másico vs. temperatura de salida de la espiral de cobre.

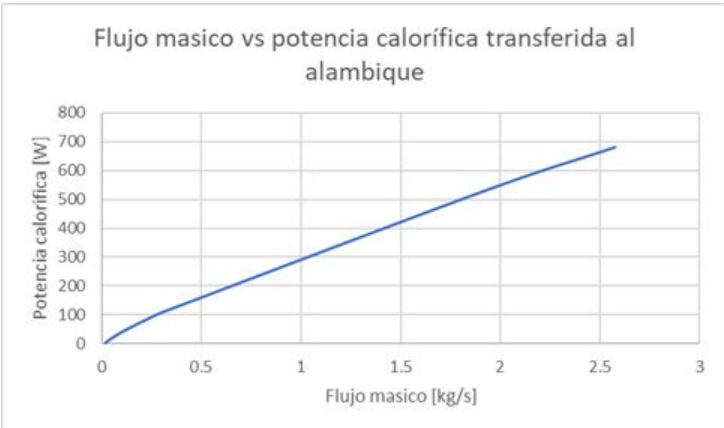


Figura 8. Flujo másico vs. potencia calorífica transferida al alambique.

Simulación realizada en Solidworks

Se realizó una simulación por medio de SolidWorks, en donde se muestra la distribución de temperaturas en Kelvins en la espiral de cobre y en el alambique, como se muestra en las figuras 9, 10 y 11, la primera muestra una vista isométrica, la segunda una vista superior (vista desde arriba hacia abajo) y la tercera una vista lateral, los valores que se eligieron para la simulación fue un flujo másico de $2.575 \left[\frac{kg}{s}\right]$ en donde a este valor la potencia transferida es de 681.92 *[W]*

La temperatura interior en el alambique se mantiene en un rango de 85.75°C a 84.55°C lo cual garantiza un proceso de destilación óptimo, y la temperatura mayor y menor en los dispositivos es de 86.15°C y 83.35°C, respectivamente.

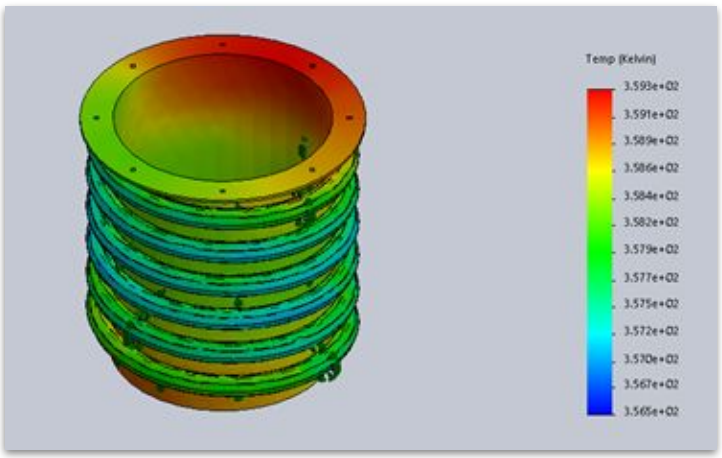


Figura 9. Distribución de temperaturas en Kelvins en la espiral y alambique de cobre, vista isométrica.

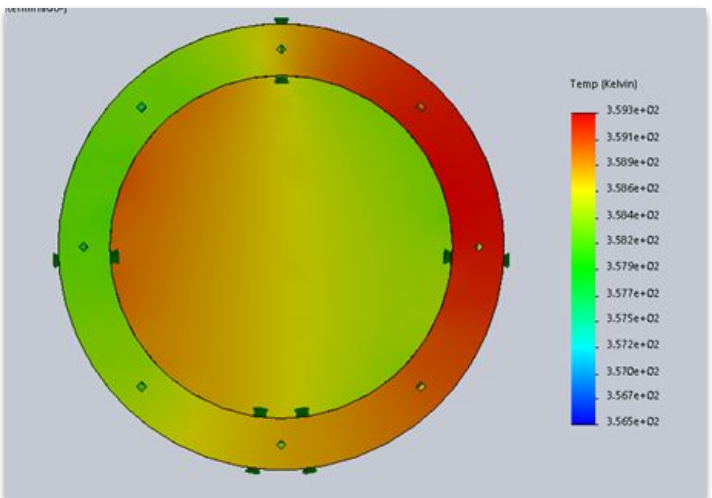


Figura 11. Distribución de temperaturas en Kelvins en la espiral y alambique de cobre, vista superior

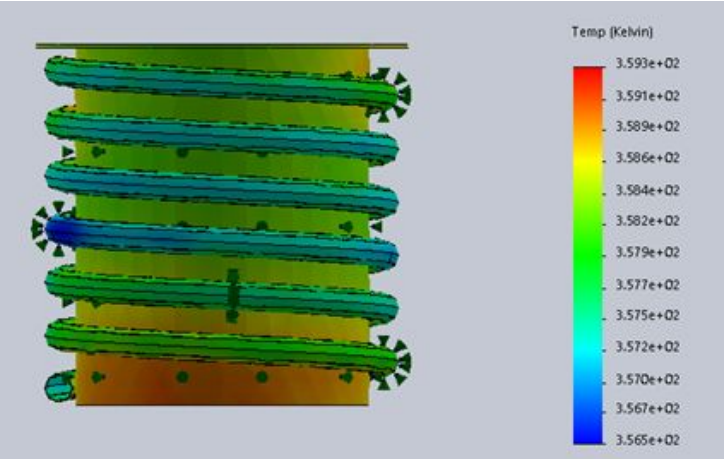


Figura 12. Distribución de temperaturas en Kelvins en la espiral y alambique de cobre, vista lateral.

Conclusiones

Se debe de poner aislante en la parte inferior del alambique para garantizar la adecuada distribución de temperaturas.

El flujo másico de agua a la entrada de la espiral debe de tener un valor de 2.575 *[kg/s]* para transferir una potencia calorífica al alambique de $\dot{Q}$=681. *[W]*

y con esto evitar poner otra bomba a la salida del tanque de almacenamiento por lo cual la altura recomendada es de 5 metros (dos pisos de altura convencionales en una construcción arquitectónica) debido a las condiciones de altura del alambique.

La propuesta garantiza la eliminación de las colas durante el proceso de destilación las cuales tienen efectos perjudiciales a la salud.

Los componentes tienen una vida útil de 20 años, es decir se puede estar destilando el producto sin necesidad de consumir fuentes no renovables de energía y a un mantenimiento que solo implica limpieza convencional en los componentes.

Finalmente se sugiere que se realice una prueba a escala diferente para conocer de manera física los requerimientos de los termotanques necesarios para garantizar la temperatura y que se pueda destilar el producto las 24 [h] al día, así mismo un sistema de control automatizado.

Bibliografía

[1] México desconocido, 2021, disponible en https://www.mexicodesconocido.com.mx/mezcales.html (consultado el 23 de marzo de 2022)

[2] CEDRSSA. (marzo 2019). Reporte la producción y el comercio de cerveza, tequila, y mezcal en México. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/42producci%C3%B3n_comercio_mezcal_tequila_cerveza.pdf (consultado el 23 de marzo de 2022)

[3] Gobierno de México. (s.f.). Se amplia zona de denominación de origen del mezcal. https://www.gob.mx/se/articulos/se-amplia-zona-de-denominacion-de-origen-del-mezcal (consultado el 23 de marzo de 2022)

[4] NASA. Prediction of Worlwide Resources. https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/(consultado el 23 de marzo de 2022)

[5] Welford W.T., Winston R. “The optics of Non-Imagin Concentrators Light and Solar Energy”, Academic Press (1978).

[6] Collares-Pereira, M. “The relevance of No-Imaging optics for solar energy: a review”. Revista de Engenharia Tecnica, IST, No.. (1995).

[7] E. Rincon, M. Duran y A. Lentz. (2009). New solar air heater based on non-imaging optics for high temperature applications. Proceedings of the ASME 2009 3rd International Conference of Energy Sustainability ES2009, 1-6.

[8] Jhon A. Duffie, William A. Beckman (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. New Jersey: Jhon Wiley. Jhon A. Duffie, William A. Beckman (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. New Jersey: Jhon Wiley.

[9] Soteris A. Kalogiru (2009), Solar Energy Enginnering Processes and Systems. UK: Elsevier.



Talleres
Conferencias
Sesiones técnicas
Eventos

XLVI SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR

Alianzas para construir un México Solar

3 al 7 de octubre 2022

Realiza tu registro

snes46.anes.org.mx

soporte@anes.org.mx