



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA  
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

## Desalinización De Agua Por Destilación Solar Activa Empleando Concentradores Solares De Lentes Fresnel

Que para obtener el título de  
“Ingeniero en Energía”

Presenta el alumno:  
Jiménez Miranda Eduardo

Directores:  
Diego Alonso Flores Hernández,  
Helvio Ricardo Mollinedo Ponce de León,  
Sergio Isaí Palomino Reséndiz

M. en C. Adolfo Rojas Pacheco



México CDMX, a Marzo 23 de 2023



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA  
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

## Desalinización De Agua Por Destilación Solar Activa Empleando Concentradores Solares De Lentes Fresnel

Que para obtener el título de  
“Ingeniero en Energía”

Presenta el alumno:  
Jiménez Miranda Eduardo

Sinodales:

---

Dr. Diego Alonso Flores Hernández  
Director

---

Dr. Helvio Ricardo Mollinedo Ponce de  
León  
Director

---

Dr. Sergio Isaí Palomino Reséndiz  
Director

# **Agradecimientos**

El Instituto Politécnico Nacional me ha dado grandes oportunidades para desarrollarme como persona y como profesionista, dando el espacio y permitiendo que conociera a gente maravillosa que ha dejado huella en mi vida; por eso mismo quiero expresar mi agradecimiento a mi institución que tantas herramientas me ha dado, así mismo, dedico este espacio para reconocer el apoyo y el conocimiento que me ha brindado la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas y el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 9 “Juan De Dios Bátiz”.

Le agradezco enormemente a mi familia quien me ha dado su apoyo incondicional y me ha dado la posibilidad de cursar una carrera universitaria, dándome las herramientas para crecer como una persona de bien y dejándome sin palabras para expresar mi gratitud hacia ellos.

A mis directores quienes me han orientado y guiado durante la elaboración de este proyecto quiero agradecerles por el acompañamiento y el conocimiento que me han brindado.

# Índice general

<b>Abreviaciones y acrónimos</b>	<b>I</b>
Resumen . . . . .	II
<b>Glosario</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	1
1.1.1. Historia de la energía solar . . . . .	1
1.1.2. Historia de la desalinación . . . . .	2
1.2. Estado del arte . . . . .	4
<b>2. Objetivos</b>	<b>7</b>
2.1. Objetivo General . . . . .	7
2.2. Objetivos específicos . . . . .	7
<b>3. Planteamiento del problema</b>	<b>8</b>
<b>4. Justificación</b>	<b>9</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>11</b>

# Índice de figuras

1.1.	Aletas cilíndricas para mejorar los mecanismos de transferencia de calor de un destilador solar pasivo . . . . .	5
1.2.	Destilador solar de dos cámaras con ventilador . . . . .	6
1.3.	Destilador solar activo e híbrido con la incorporación de un calentador eléctrico y lentes de concentración. . . . .	6
4.1.	Índice de estrés evaporativo . . . . .	10

# Índice de tablas

1.1. Resumen del avance de la energía solar durante los siglos XX y XXI con base en [4], [5], [6], [7] . . . . .	2
1.2. Breve historia de la desalinización de agua con base en [4], [8], [9], [10], [11], [12] . . . . .	3
1.3. Pérdidas de un destilador solar . . . . .	4

# Abreviaciones y acrónimos

<b>GEI</b>	gases de efecto invernadero.	<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas.
<b>NASA</b>	<i>National Aeronautics and Space Administration.</i>	<b>PIDESC</b>	Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales.
<b>NREL</b>	<i>National Renewable Energy Laboratory.</i>	<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo sostenible.	<b>WRI</b>	World Resources Institute.

## Resumen

El siguiente trabajo desarrolla una propuesta para la desalinización térmica de agua salada por destilación solar activa mediante el uso de concentradores solares de fresnel. Ya que la energía solar es una fuente de energía primaria intermitente, se plantea un sistema alimentado de acuerdo a la energía que se logra captar.

Con el objetivo de conseguir un desempeño energético competente se estableció una serie de análisis térmicos, ópticos y estructurales a seguir que en conjunto de modelos matemáticos y de investigación documental encaminan el diseño del sistema para coadyuvar al derecho de acceso al agua limpia a un precio asequible siendo el fin último contribuir al objetivo de desarrollo sostenible 6.a.

**Palabras clave** — desalinización térmica, concentradores solares, destilación solar activa, lentes fresnel

## Abstract

This work bears a technical proposal for thermal desalination of saltwater by active solar distillation through fresnel solar concentrators. Since solar energy is an intermittent primary energy source, it is proposed a system fed in function of the energy that is captured.

Aiming a proficient energy performance it was established a series of thermal, optical and structural analysis which jointly with mathematical models and documentary research seek to direct the design assisting the right of access to clean water at an affordable price, being the ultimate goal to contribute to the sustainable development goal 6.a.

**Index terms** — thermal desalination, solar concentrators, active solar distillation, fresnel lenses

# Glosario

<b>colector solar</b>	Un colector de energía solar es un tipo especial de intercambiador de calor que transforman la energía de la radiación solar recibida en una superficie en energía interna del medio de transporte.
<b>desalinización</b>	La desalinización se puede definir como cualquier proceso que elimina las sales del agua.
<b>desalinización térmica</b>	Proceso que utiliza energía térmica para evaporar agua con la finalidad de condensarla una vez separada de las sales.
<b>destilación solar</b>	Proceso heliotérmico en el cual se calienta una masa de agua, contenida en un recipiente cerrado con una cubierta transparente, por efecto de la radiación solar.

# Capítulo 1

## Introducción

La escasez de agua aumenta día con día afectando a más del 40 % de la población mundial [1]. Según datos de la World Resources Institute (WRI) en 2019 globalmente más de 1000 millones de personas vivían en regiones de escasez de agua y para el 2025 este número podría crecer a 3500 millones siendo las principales causas de esta escasez: la contaminación de cuerpos acuosos, sequías agravadas por la emergencia climática y el uso descontrolado de agua, de pequeña escala en hogares sin buenas prácticas para el cuidado del agua como a escala industrial.

Este problema es innegable y por ello la Organización de las Naciones Unidas (ONU) contempló como sexto objetivo en los Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) el acceso a agua limpia y saneamiento. Estos objetivos pertenecientes a la Agenda 2030 proponen 8 puntos estratégicos para afrontar esta situación, de los cuales, me gustaría resaltar el objetivo 6.a pues propone una estrategia para abordar la problemática y propone medidas para aminorar este problema.

De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, **desalinización**, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización [2].

En aras de aportar a esta meta, el presente trabajo propone un sistema para la desalinización térmica por destilación solar buscando un mejor rendimiento a través del uso de concentradores solares; a lo largo del texto se revisa literatura que encamina la metodología a seguir para lograr la desalinización de agua que asemeje las condiciones de vida marina obtenida artificialmente disolviendo las sales contenidas en los paquetes de sal para acuario.

### 1.1. Antecedentes

#### 1.1.1. Historia de la energía solar

El primer registro del uso de concentradores para capturar la energía del sol data del año 212 a.C. por el famoso griego Arquímedes quien usó esta potente energía para defender a Siracusa de una flota romana durante la segunda guerra púnica, la leyenda cuenta que se usaron los escudos de bronce de los guerreros para concentrar los rayos del sol en la madera de los barcos enemigos y así incendiarlos. Aunque no queda registro histórico fiable de esta leyenda, el Dr. Ioannis Sakkas, logró recrear el escenario y en sólo cuestión de minutos, tenía un galeón romano ardiendo [3].

No fue sino hasta el siglo XVIII que los concentradores solares volvieron a tener aplicación, época donde se construyeron numerosos hornos solares capaces de derretir hierro, cobre y otros metales, siendo uno de los más famosos el diseñado por Antoine Lavoisier el cual alcanzó una increíble temperatura de 1750 °C. Récord de temperatura alcanzada por estas técnicas durante poco más del 1 siglo [4]. Posteriormente otros ilustres personajes como August Mouchot y Abel Pifre continuaron con el diseño de colectores solares para impulsar máquinas de vapor.

En 1839 Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico en el selenio, pero no fue sino hasta 1883 que se crea la primera celda solar con una eficiencia de 1% a 2%; a pesar de estos hechos, la primera vez que se observa y describe el efecto foto eléctrico es hasta 1887 por el físico alemán Heinrich Hertz.

Tabla 1.1: Resumen del avance de la energía solar durante los siglos XX y XXI con base en [4], [5], [6], [7]

Ubicación temporal	Evento
1912	Se instaló la planta de bombeo más grande del mundo en Meidi, Egipto, la cual usaba concentradores de cilindro parabólico logrando hasta 37 kW a 45 kW continuamente por 5 horas diarias, fue detenida en 1915 por el inicio de la primera guerra mundial y el bajo precio de los combustibles fósiles
1956	Se empiezan a usar las celdas solares de silicio de manera comercial a pequeña escala
1958	Se lanza el primer satélite que usaba energía solar (Vanguard I)
Década de 1960	Se popularizó la industria de los calentadores solares de agua residenciales
1974	EE.UU. crea el <i>National Renewable Energy Laboratory</i> (NREL), laboratorio que fue fundamental para el desarrollo de la energía solar en años posteriores
Década de 1980	Se ponen en funcionamiento las primeras torres solares de manera demostrativa trasladándose al campo industrial en el 2007
1982	Se construye el primer parque solar
1981	En España se probó un sistema de 500 kW de la Agencia Internacional de Energía para generación eléctrica usando concentradores parabólicos en la plataforma solar de Almería.
1994	El NREL desarrolla celdas fotovoltaicas con hasta un 30 % de eficiencia de conversión

### 1.1.2. Historia de la desalinación

Tabla 1.2: Breve historia de la desalinización de agua con base en [4], [8], [9], [10], [11], [12]

Ubicación temporal	Evento
Siglo III a.C.	Aristóteles ideó el primer evaporador de agua conocido y describe que al evaporarse el agua salada y volverse a condensar, el vapor no forma agua salada de nuevo.
Siglo I d.C.	Plinio describe algunos métodos para desalinizar el agua.
Entre el Siglo II y III	Alejandro de Afrodisias describe el procedimiento para desalinizar agua del mar.
1551	Se registra el primer uso de destiladores solares por alquimistas árabes
Siglo XVI	Se vuelve popular el uso de alambiques para desalinizar agua en los barcos que navegaban por el mar.
1869	Mouchot describe la desalinización por destilación térmica y crea el antecendente de la aplicación del uso de la energía térmica del sol para aplicaciones industriales.
1870	Wheeler y Evans patentan por primera vez en la historia un destilador solar, describiendo a gran detalle los fenómenos de condensación y los problemas de corrosión y absorción de calor
1872	Creación de la primera planta desalinizadora industrial ubicada en Chile.
1928	Pasteur reportó el uso de concentradores solares para desalinizar agua contenida en una caldera de cobre
Segunda guerra mundial	Los destiladores solares cobraron gran importancia para el abastecimiento de agua de los soldados en el norte de África y en las islas del océano pacífico.
1964	Primera planta desalinizadora en España.
1959	Brenton y Reid demuestran la capacidad de un acetato de luminosa para desalinizar agua. A partir de este momento, la desalinización por ósmosis inversa empezó a llamar la atención.

## Destiladores solares

### Hallazgos sobre la eficiencia del destilador solar

En 1973 Cooper [13] (citado en [14]) encontró que la máxima eficiencia experimental y teórica de los destiladores solares de una fase pueden alcanzar hasta un 60 % y 50 %. Entre los motivos hallados, Malik *et al.* [15] (citado en [14]) en 1982 describe las mayores pérdidas que encontraron experimentalmente descritas en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3: Pérdidas de un destilador solar

Motivo	Pérdida
Pérdida de calor por radiación desde la superficie del agua salina a la cubierta	26 %
Pérdida de calor por el reflejo de la luz	11 %
Pérdida por reevaporación del destilado	10 %
Pérdida por el calor absorbido por el vidrio	5 %
Pérdidas por suelo y bordes	2 %
Otras pérdidas	7 %

#### Breve historia de la destilación solar en México [16]

- México impulsó de 1972 a 1976 la instalación de un gran número de destiladores solares de caseta
- A fines de 1975 se inicia el grupo IIUNAM, el cual se dedicó a la investigación sobre las aplicaciones de la energía solar, entre ellas la desalación de agua de mar o salobre
- En 1980 en La Paz, Baja California Sur, incluyó un destilador solar de múltiple etapa para el cual se suministró el calor con un arreglo de concentradores solares de canal parabólico
- Durante un año a partir de marzo del 2017 se estudió el comportamiento de varios destiladores solares en Hidalgo, pues es un Estado con agua de alta dureza y con alta irradiancia solar

A pesar de que la desalinización solar ha sido objeto de estudio desde siglos atrás, la desalinización solar activa se podría decir que es una tecnología mucho más reciente siendo una idea acuñada por Soliman en 1976 [17, pág. 29]. A partir de ese entonces, ha ganado interés y se han propuesto numerosos esquemas para reducir las desventajas de la desalinización solar pasiva.

En agosto de 2017 en Perú fue desarrollado y patentado un destilador solar tipo cascada [18]. Este sistema tiene una eficiencia global de 71.5 % produciendo en días soleados  $5690 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  al día y en días nublados  $3648 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  por día.

## 1.2. Estado del arte

El trabajo realizado por [19] hace una investigación sobre la mejora de los mecanismos de transferencia de calor de los destiladores solares, donde se estudia el desempeño de un destilador semiesférico con diferentes tipos de aletas cilíndricas proponiendo diseños como el mostrado en la fig. 1.1. Para ver la mejora en el rendimiento, el sistema se probó durante tiempos de 12 horas continuas por 3 días y los resultados obtenidos se compararon contra un destilador semiesférico convencional.

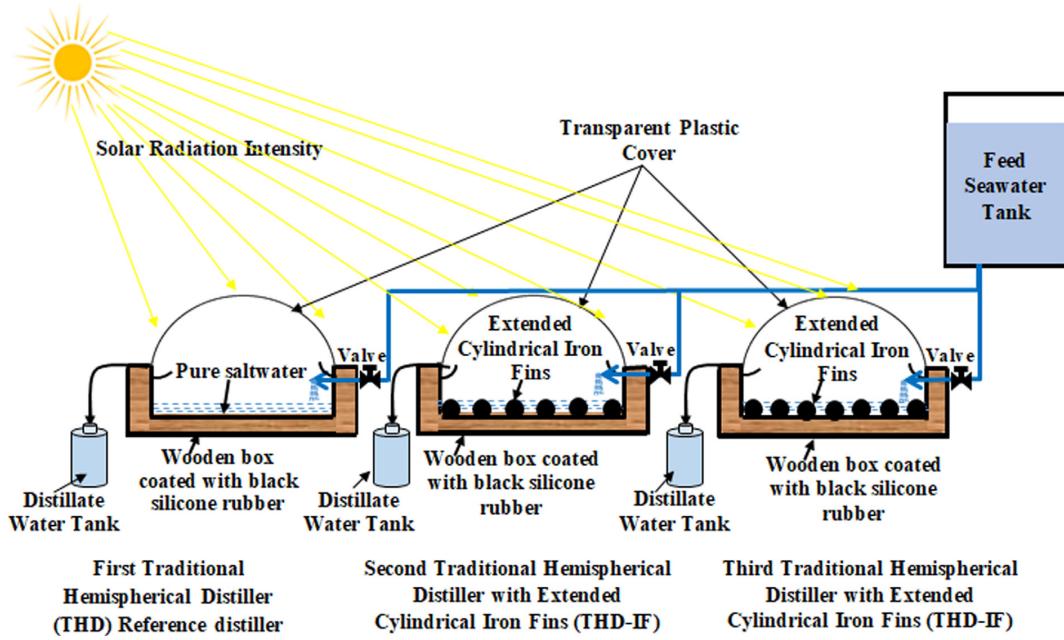


Figura 1.1: Aletas cilíndricas para mejorar los mecanismos de transferencia de calor de un destilador solar pasivo

Figura obtenida de [19]

De los resultados se observó una mejora de 4.80 L/day del destilador convencional a un promedio de 5.74 L/day del destilador aletado, también se alcanzó una eficiencia de hasta 53.52 % y se determinó que el sistema tenía una recuperación económica de 24 días.

Jobrane et al. [20] propusieron en 2022 un destilador de dos cámaras; se estimó que el costo del agua generada es de 25 euros por cada cien litros de agua, teniendo una producción promedio de 4.03 L/(m<sup>2</sup> day) considerando una potencia recibida promedio de 380 W/m<sup>2</sup>. Sobre el agua obtenida se realizaron estudios físicos y químicos donde se determinó que poseía buena calidad para beber.

En la fig. 1.2 se observa la configuración usada; el sistema consta de una cámara de evaporación la cual distribuye el agua bombeada uniformemente sobre una lámina de aluminio AW6060 donde acopla un extractor para forzar la convección del vapor generado hacia la cámara de condensación, donde se reutiliza el calor latente de vaporización para precalentar el agua salobre y a su vez condensar el vapor. Para su alimentación se usó una bomba peristáltica controlada automáticamente y optimizada según el rendimiento visto en el destilador.

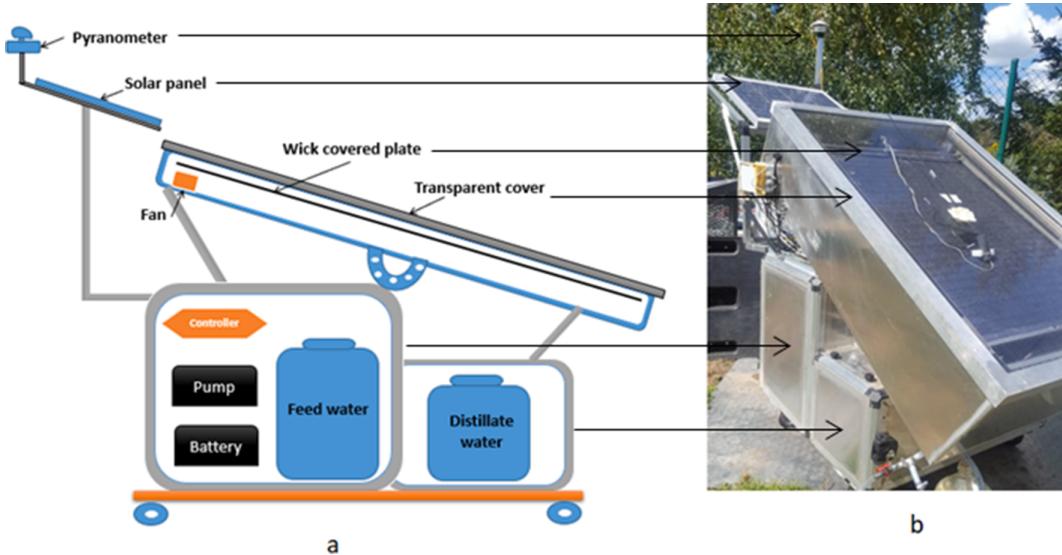


Figura 1.2: Destilador solar de dos cámaras con ventilador

Figura obtenida de [20]

Palomino et al. [21] propusieron un destilador solar híbrido el cual alcanza los 10 L por día en días soleados con menos de 13 g/L de sales disueltas. En la fig. 1.3 se observa el esquema propuesto, el cual se monta sobre una estructura robótica acoplada a un sistema de seguimiento solar y un sistema de control para regular la alimentación del agua. Se observa que este sistema aprovecha tanto la energía solar térmica como la solar fotovoltaica cuyos excedentes son almacenados en baterías.

Este desalinizador totalmente autónomo es potenciado mediante el uso de lentes de Fresnel y un calentador eléctrico. La energía térmica generada por ambos instrumentos es aprovechada dentro de una cámara adiabática de evaporación la cual lleva el vapor generado a un condensador externo.

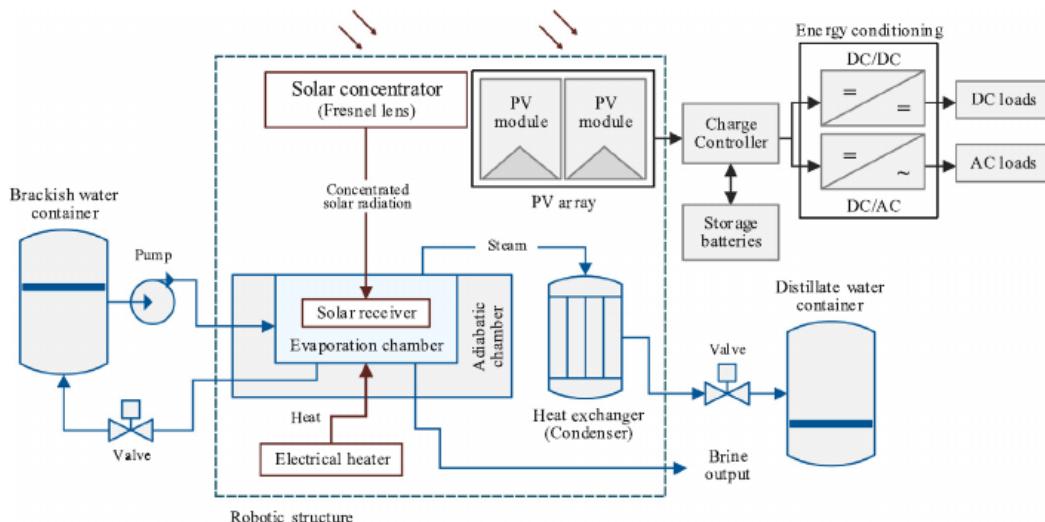


Figura 1.3: Destilador solar activo e híbrido con la incorporación de un calentador eléctrico y lentes de concentración.

Figura obtenida de [21]

# **Capítulo 2**

## **Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Diseñar y construir un destilador solar activo usando concentradores solares de lentes de fresnel para destilar agua salada

### **2.2. Objetivos específicos**

- I Diseñar los sistemas de tuberías y almacenamiento donde fluirá y reposará el agua salada.
- II Diseñar el concentrador solar y el mecanismo con el que se integrará al sistema de tuberías.
- III Estudiar los modelos térmicos que caractericen o aproximen el comportamiento del concentrador solar y del proceso de evaporación.
- IV Definir los parámetros asociados a la desalinización con los que operará el sistema tales como la taza volumétrica de agua o la salinidad del agua de alimentación.
- V Analizar los datos ambientales de temperatura e irradiación solar de la Ciudad de México para tener información climática sobre el lugar donde se desarrollará el proyecto.
- VI Construir los componentes que integran al destilador solar con base en los diseños propuestos.
- VII Desarrollar el mecanismo de control para regular la velocidad de flujo del agua mediante la implementación de programación y sistemas de control.
- VIII Integrar a un seguidor solar el concentrador para mejorar la captación de calor.
- IX Evaluar el desempeño del destilador solar con base en el agua de salida para verificar la viabilidad del mismo.

# Capítulo 3

## Planteamiento del problema

Globalmente existen más de 18 000 plantas desalinizadoras que contribuyen a garantizar el derecho de acceso a agua limpia y saneamiento a millones de personas. De acuerdo a las distintas condiciones como lo son el clima, la geografía, la política y la accesibilidad tecnológica, se selecciona el método de desalinización más adecuado, entre ellos, la ósmosis inversa se ha convertido en la tecnología más popular a nivel industrial [22, pág. 11] y se prevé que siga aumentando su presencia [23] debido a que es un proceso de alto rendimiento y económicamente favorable en relación al costo por litro de agua producido.

Aunque esta industria ha madurado rápidamente en los últimos 40 años, aún existen áreas de oportunidad en los procesos ya que en general, la desalinización se considera de alto consumo energético y de grandes costos de construcción y operación. Aunado a ello, se presentan varios retos ambientales que comprendes entre otros: la huella ecológica de su construcción, las emisiones de GEI productos de la operación, impactos asociados a la obtención del agua salada y la materia prima que se utilice y la disposición final de residuos. Siendo en ocasiones el último factro un criterio que define la viabilidad final de una planta [24].

Dado lo anterior, la incorporación de estrategias para incorporar energía renovable a los procesos de desalinización y el desarrollo de las tecnologías disponibles para aumentar la eficiencia energética resulta en una tarea indispensable para cubrir sosteniblemente la creciente demanda de agua. Está claro que esta visión debe ser complementada por la concienciación de la población y la creación de políticas para un mejor manejo de los recursos hídricos disponibles.

Con base en lo ya expuesto, este proyecto plantea el desarrollo de un destilador solar activo e híbrido capaz de desalinizar a un ritmo lo más constante posible de acuerdo a las condiciones climáticas y geológicas disponibles. Para ello, se plantean los siguientes retos de ingeniería específicos a resolver:

- Obtención y caracterización del agua salada a usarse como materia prima.
- Obtención y análisis de los datos ambientales del lugar de desarrollo para identificar las variables ambientales de interés que influirán en la operación del sistema propuesto.
- Diseño del sistema y elaboración del modelo térmico que lo regirá así como la implementación de estrategias para reducir las pérdidas e intensificar la transferencia de calor.
- Propuesta de la capacidad de desalinización del sistema y selección de las lentes de concentración de acuerdo a la potencia requerida.
- Monitoreo del sistema y regulación del flujo de agua.
- Construcción del sistema.

# Capítulo 4

## Justificación

El agua es el recurso más valioso para los seres vivos de este planeta, por ello, el agotamiento y contaminación de este líquido es una amenaza para ecosistemas enteros y para las actividades humanas que dependen del agua. Dicho esto, se puede afirmar que la escasez de agua afecta todos los pilares de la sustentabilidad y esta carestía es cada vez más visible.

A pesar de que en noviembre del 2002 el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) otorgó en los artículos XI y XII a todos los seres humanos el derecho a contar con agua suficiente, a precio asequible, físicamente accesible, segura y de calidad aceptable para usos personales y domésticos [25], la situación global no refleja el cumplimiento de ese derecho. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) señala que la escasez de agua afecta a más del 40 % de la población mundial [1] y se estima que esta cifra aumente drásticamente si no se emprenden las acciones necesarias para contrarrestar los factores que agravan el problema tales como el cambio climático, la contaminación de cuerpos acuosos y el crecimiento poblacional por mencionar algunos. La falta de agua arrastra consigo problemas sociales y de salud, entre los que se pueden mencionar:

- **Enfermedades:** Desde la falta de saneamiento hasta la ingesta de agua contaminada, la escasez de agua provoca el aumento de enfermedades entre las que se pueden incluir la diarrea, el cólera y la poliomielitis, sin mencionar la muerte por deshidratación.
- **Hambre:** La ganadería, agricultura y otras industrias son afectadas al no contar con agua, lo que puede llevar a la escasez de alimentos.
- **Desaparición de flora y fauna:** La falta de este recurso natural conlleva a la muerte y a veces extinción de los animales y plantas que dependían de un cuerpo de agua agotado.
- **Conflictos sociales:** Numerosos conflictos alrededor del mundo surgen por la falta de recursos y esto supone el desplazamiento forzado de las personas o incluso conflictos bélicos.

En mayo del 2021 la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) reportó que México afrontaba una sequía generalizada en aproximadamente 85 % del territorio nacional, se reportó que cerca de 60 presas grandes se hallaban por debajo del 25 % de su capacidad y como se muestra en la fig. 4.1 la sequía se concentró en el norte y centro del país. Pocos meses después, México ocupaba el puesto 24 de 164 en mayor estrés hídrico según una lista elaborada por el WRI [26], y de acuerdo al mismo organismo, para 2040 se situaría en la categoría de *high-stress* [27], es decir, la segunda peor categoría.

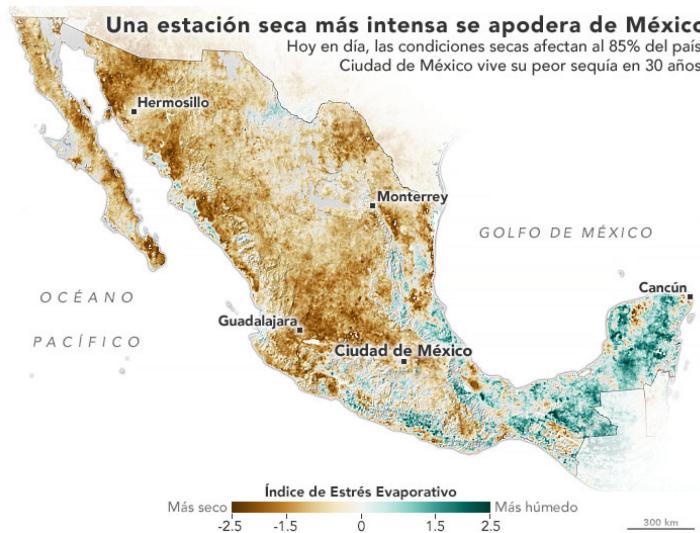


Figura 4.1: Índice de estrés evaporativo

Mapa obtenido de [28]

México no es el único país que enfrenta esta crisis hídrica, de hecho, desde hace varios años, países han implementado políticas para el control y suministro seguro de agua, donde se halló en varias ocasiones una respuesta en la desalinización de agua; aquí es donde la destilación solar se abre camino como un sector de investigación para el suministro seguro, limpio y sustentable de agua.

Varios estudios se han realizado para aumentar la productividad de la destilación solar. Se vislumbra entonces como un sector de investigación con grandes áreas de oportunidad para ser implementada a gran escala, pero para ello, el análisis de los procesos energéticos involucrados durante su operación resulta indispensable ya que uno de los problemas para implementar esta tecnología es el costo por cada litro producido y el reducir las pérdidas puede definir la viabilidad económica del proyecto.

# Bibliografía

- [1] PNUD. “Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento | El PNUD en México”, UNDP. (), <https://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html> (visitado 24-02-2022).
- [2] Naciones Unidas. “Sustainable Development Goal 6: Agua limpia y saneamiento | Naciones Unidas en México”, Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en México / Agua limpia y saneamiento. (), <https://mexico.un.org/es/sdgs/6> (visitado 24-02-2022).
- [3] T. W. Africa, “Archimedes through the Looking-Glass”, *The Classical World*, vol. 68, n.º 5, págs. 305-308, 1975, Publisher: [Johns Hopkins University Press, Classical Association of the Atlantic States], ISSN: 0009-8418. DOI: [10.2307/4348211](https://doi.org/10.2307/4348211).
- [4] S. A. Kalogirou, “Solar thermal collectors and applications”, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, n.º 3, págs. 231-295, 2004, ISSN: 0360-1285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>.
- [5] M. S. Bretado de los Ríos, “Aplicación de Nanofluidos en un Concentrador Solar Parabólico Lineal para Aprovechamiento de Energía Térmica”, Tesis doct., Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, 15 de mayo de 2017, 137 págs.
- [6] S. García Garrido, S. Remke, E. Zarza Moya et al., *Guía técnica de la energía Solar Termoeléctrica*, col. de A. -. C. Energía. Madrid, España: Madrid Solar, 2012, 317 págs.
- [7] G. JAB. “Historia de las células solares y su evolución tecnológica”, Grupo JAB. (13 de ago. de 2018), <https://www.grupojab.es/historia-de-las-celulas-solares-y-su-evolucion-tecnologica/> (visitado 04-07-2022).
- [8] M. KUMAR, T. CULP e Y. SHEN. “Water Desalination History, Advances, and Challenges”, NAE Website. (19 de dic. de 2016), <https://nae.edu/164313/Water-Desalination-History-Advances-and-Challenges> (visitado 26-03-2022).
- [9] M. Pau, *Desaladoras. Fábricas de agua dulce*.
- [10] AQUAE. “Historia de la desalinización del agua”, Fundación Aquae. (), <https://www.fundacionaqua.org/historia-de-la-desalinizacion-del-agua/> (visitado 25-02-2022).
- [11] K. V. Modi, K. H. Nayi y S. S. Sharma, “Influence of water mass on the performance of spherical basin solar still integrated with parabolic reflector”, *Groundwater for Sustainable Development*, vol. 10, pág. 100 299, 1 de abr. de 2020, ISSN: 2352-801X. DOI: [10.1016/j.gsd.2019.100299](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100299).
- [12] E. González Castro, “Alternativa al modelo hídrico actual de Menorca: cubierta captadora de lluvia, rocío y destilación”, Tesis doct., Universidad Politécnica de Valencia, Barcelona, España, sep. de 2014, 130 págs.
- [13] P. I. Cooper, “The maximum efficiency of single-effect solar stills”, *Solar Energy*, vol. 15, n.º 3, págs. 205-217, 1 de ene. de 1973, ISSN: 0038-092X. DOI: [10.1016/0038-092X\(73\)90085-6](https://doi.org/10.1016/0038-092X(73)90085-6).
- [14] K. R. Ranjan y S. C. Kaushik, “Economic feasibility evaluation of solar distillation systems based on the equivalent cost of environmental degradation and high-grade energy savings”, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 11, n.º 1, págs. 8-15, 1 de mar. de 2016, ISSN: 1748-1317. DOI: [10.1093/ijlct/ctt048](https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt048).

- [15] M. a. S. Malik, G. N. Tiwari, A. Kumar y M. S. Sodha, “Solar distillation (a practical study of a wide range of stills and their optimum design, construction, and performance)”, 1 de ene. de 1982.
- [16] F. Muñoz Gutierrez. “Sobre la destilación solar”, Instituto de Ingeniería UNAM. (), <http://www.ii.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta-Gaceta-Septiembre-Octubre-2019/Paginas/sobre-la-destilacion-solar.aspx> (visitado 26-03-2022).
- [17] H. Zheng, *Solar Energy Desalination Technology*, 1.<sup>a</sup> ed., H. Zheng, ed. Amsterdam: Elsevier, 1 de ene. de 2017, 768 págs., ISBN: 978-0-12-805411-6. DOI: [10.1016/B978-0-12-805411-6.00001-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805411-6.00001-4).
- [18] E. Saettone, Y. Valencia-Tovar y A. Gómez-de-la-Torre-Gastello, “Preliminary overview and evaluation of a stepped solar distiller with internal reflective walls and borosilicate vacuum tubes”, *Desalination*, vol. 413, págs. 136-143, 1 de jul. de 2017, ISSN: 0011-9164. DOI: [10.1016/j.desal.2017.03.020](https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.03.020).
- [19] A. E. Kabeel, M. El Hadi Attia, M. Abdalgaeid, A. S. Abdullah, A. Bellila y M. M. Abdel-Aziz, “Performance assessment of the hemispherical solar distillers with the extended cylindrical iron fins: An experimental investigation”, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, n.<sup>o</sup> 12, págs. 11 149-11 157, 1 de dic. de 2022, ISSN: 1110-0168. DOI: [10.1016/j.aej.2022.04.018](https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.04.018).
- [20] M. Jobrane, A. Kopmeier, A. Kahn, H.-M. Cauchie, A. Kharroubi y C. Penny, “Theoretical and experimental investigation on a novel design of wick type solar still for sustainable freshwater production”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 200, pág. 117 648, 5 de ene. de 2022, ISSN: 1359-4311. DOI: [10.1016/j.applthermaleng.2021.117648](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117648).
- [21] S. I. Palomino-Resendiz, D. A. Flores-Hernández, N. Lozada-Castillo, L. Guzmán-Vargas y A. Luviano-Juárez, “Design and implementation of a robotic active solar distiller based on a fresnel concentrator and a photovoltaic system”, *Energy Conversion and Management*, vol. 166, págs. 637-647, 15 de jun. de 2018, ISSN: 0196-8904. DOI: [10.1016/j.enconman.2018.04.069](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.069).
- [22] S. Lattemann, M. Kennedy, J. Schippers y G. Amy, “Chapter 2 Global Desalination Situation”, *Sustainability Science and Engineering*, vol. 2, 31 de dic. de 2010, ISSN: 9780444531155. DOI: [10.1016/S1871-2711\(09\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00202-5).
- [23] A. A. Intelligence. “RO and MBR are the next big technology development in the water treatment market - arizton”. (30 de nov. de 2021), <https://www.prnewswire.com/news-releases/ro-and-mbr-are-the-next-big-technology-development-in-the-water-treatment-market---arizton-301434002.html> (visitado 24-03-2022).
- [24] D. B. Singh, J. K. Yadav, V. K. Dwivedi, S. Kumar, G. N. Tiwari e I. M. Al-Helal, “Experimental studies of active solar still integrated with two hybrid PVT collectors”, *Solar Energy*, vol. 130, págs. 207-223, 1 de jun. de 2016, ISSN: 0038-092X. DOI: [10.1016/j.solener.2016.02.024](https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.024).
- [25] F. para la Comunicación y la Educación Ambiental. “Derecho Humano al Agua y al Saneamiento”, DERECHO HUMANO AL AGUA Y AL SANEAMIENTO. (), <https://agua.org.mx/tus-derechos-sobre-el-agua/> (visitado 24-02-2022).
- [26] EFE. “Empeora el estrés hídrico que envuelve a México: 8 de 13 regiones lo padecen”, El Financiero. (25 de ago. de 2021), <https://www.thefinanciero.com.mx/nacional/2021/08/25/empeora-el-estres-hidrico-que-envuelve-a-mexico-8-de-13-regiones-lo-padecen/> (visitado 24-02-2022).
- [27] A. Maddocks, R. S. Young y P. Reig, “Ranking the world’s most water-stressed countries in 2040”, 26 de ago. de 2015.

- [28] National Aeronautics and Space Administration. “Una estación seca más intensa se apodera de México”. (2021), <https://ciencia.nasa.gov/sequia-generalizada-en-mexico> (visitado 06-05-2021).