

# Desalinización de agua por destilación solar activa empleando concentradores solares de lentes Fresnel

Eduardo Jiménez Miranda

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas

19 de Enero 2024

# Agradecimientos

Instituto Politécnico Nacional

Unidad Profesional Interdisciplinaria en  
Ingeniería y Tecnologías Avanzadas

---



## A mis asesores

Dr. Diego Alonso Flores Hernández

Dr. Sergio Isai Palomino Resendiz

Dr. Helvio Ricardo Mollinedo Ponce de León

## A los técnicos y profesores del laboratorio de pesados

## Mención especial

Por su invaluable ayuda durante la experimentación

Marco Peñaloza

Julio César

Laboratorio de Sistemas Dinámicos Aplicados

A todos los presentes y a quienes me apoyaron durante este trabajo

# Agenda

- Introducción
- Relevancia del proyecto
- Objetivos
- Antecedentes
- Solución planteada
- Resultados
- Resumen

# Escasez de agua

Para enfrentar la creciente escasez de agua se han desarrollado diversas tecnologías de desalinización (cualquier proceso que elimine las sales del agua)

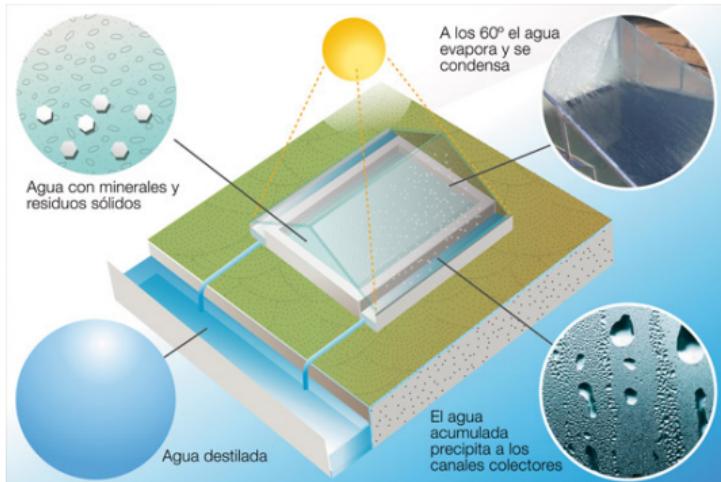


Figura 1: Destilador solar pasivo



Figura 2: Aristóteles

## Ventajas

- Alimentado por una fuente renovable de energía
- Emisiones nulas de gases de efecto invernadero (GEI)
- Eliminación de agentes patógenos
- Costos de mantenimiento bajos

## Desventajas

- Producción más cara a otras tecnologías
- Baja productividad contra otras tecnologías



Figura 3: Emisiones netas cero para 2050

**PNUD**

2022: Afecta a +40 % de la población mundial

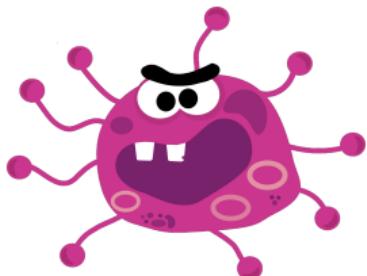


Figura 4: Enfermedades



Figura 5: Pérdida de biodiversidad

**WRI**

2025: 3500 millones de personas en regiones de escasez



Figura 6: Afectaciones a industrias



Figura 7: Conflictos sociales

## Nacionalmente:

- En 2021 60 presas a menos del 25 % con 85 % del territorio afectado.
- Según el WRI, en 2021 México ocupaba el puesto 24 de 164 en mayor estrés hídrico. México en 2040 estará en la categoría de **Alto estrés hídrico**

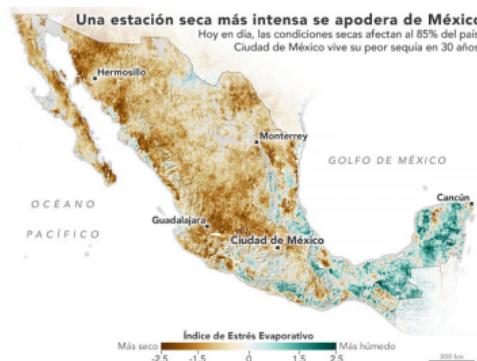


Figura 8: Índice de estrés evaporativo en México

National Aeronautics and Space Administration,  
"Sequía generalizada en México | Ciencia de la NASA,"  
Sequía generalizada en México, (6 de mayo de 2021),  
[https://ciencia.nasa.gov/sequia-generalizada-e-n-mexico](https://ciencia.nasa.gov/sequia-generalizada-en-mexico) (visitado 24-02-2022) A. Maddocks,

R. S. Young y P. Reig, "Ranking the world's most water-stressed countries in 2040.", 26 de ago. de 2015

# Planteamiento del problema

**ODS 6.a.** 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 [1].



Figura 9: Objetivos de desarrollo sostenible

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

- I **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.
- II **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.
- III **Diseñar los sistemas de tuberías** y almacenamiento donde fluirá y reposará el agua salada.
- IV **Diseñar el concentrador solar** y el mecanismo con el que se integrará al sistema de tuberías.
- V **Estudiar los modelos térmicos** que caractericen o aproximen el comportamiento del concentrador solar y del proceso de evaporación.

- I Construir los componentes que integran al destilador solar con base en los diseños propuestos.
- II Desarrollar el **mecanismo de control** para regular la velocidad de flujo del agua mediante la implementación de programación y sistemas de control.
- III **Integrar a un seguidor solar** el concentrador para mejorar la captación de calor.
- IV **Evaluar el desempeño** del destilador solar con base en el agua de salida para verificar la viabilidad del mismo.

# Desalinizador autónomo

En 2018 se desarrolló un destilador solar activo e híbrido, capaz de destilar hasta 10 L por día en días soleados usando precalentamiento de agua

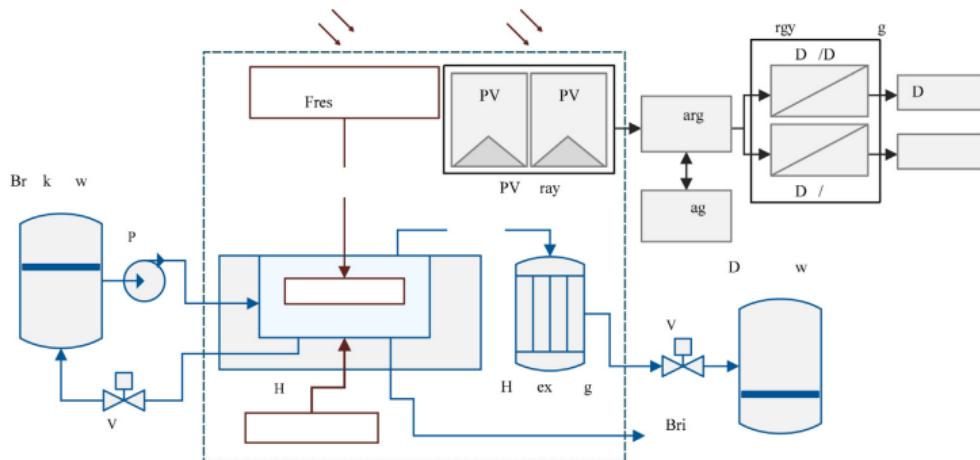


Figura 10: Destilador solar activo de Palomino et. al

S. I. Palomino-Resendiz, D. A. Flores-Hernández, N. Lozada-Castillo et al., "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

# Desalinizador de doble cámara

En 2022 se desarrolló un destilador solar activo el cual tuvo una producción de  $4.03 \frac{\text{L}}{\text{m}^2}$  por día.

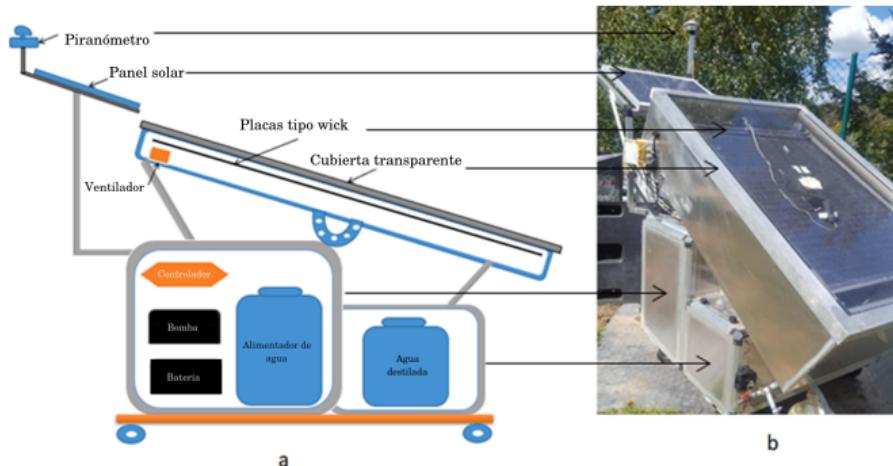


Figura 11: Destilador solar de doble cámara

M. Jobrane, A. Kopmeier, A. Kahn et al., "Theoretical and experimental investigation on a novel design of wick type solar still for sustainable freshwater production," *Applied Thermal Engineering*, vol. 200, pág. 117648, 5 de ene. de 2022, ISSN: 1359-4311. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117648

## Problemas identificados



Figura 12: Transmitancia afectada por la evaporación y la condensación



Figura 13: Forma de energía discontinua

# Diseño del desalinizador

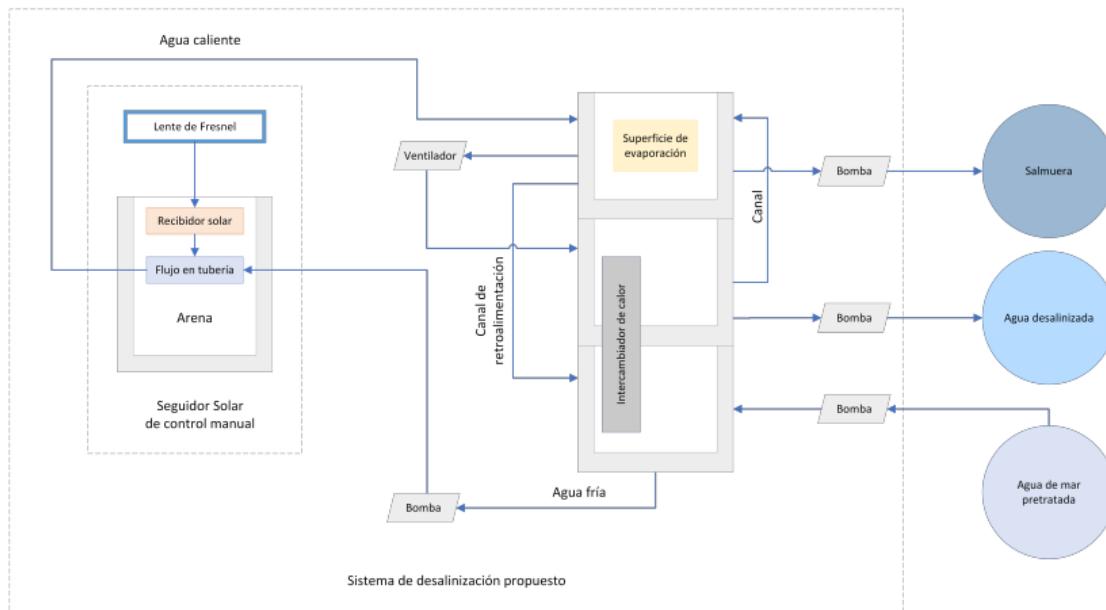


Figura 14: Diagrama de funcionamiento del desalinizador

# Módulo de reaprovechamiento térmico y bombeo

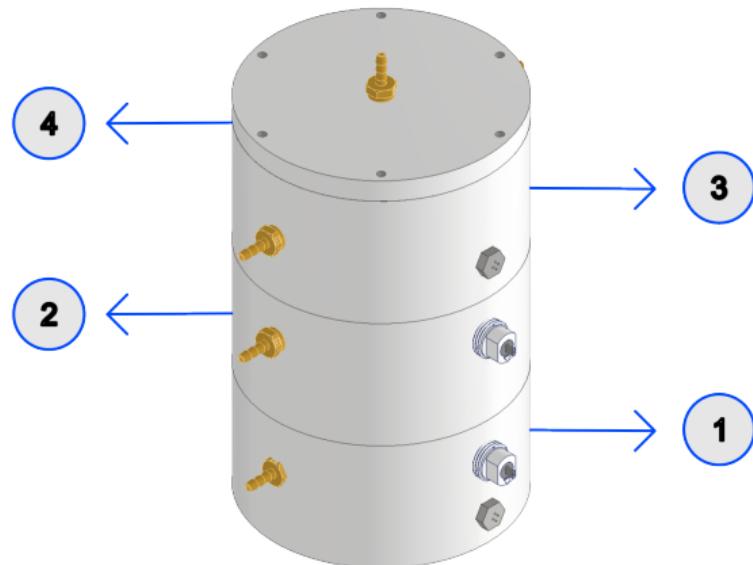


Figura 15: Submódulos

# Módulo de reaprovechamiento térmico y bombeo

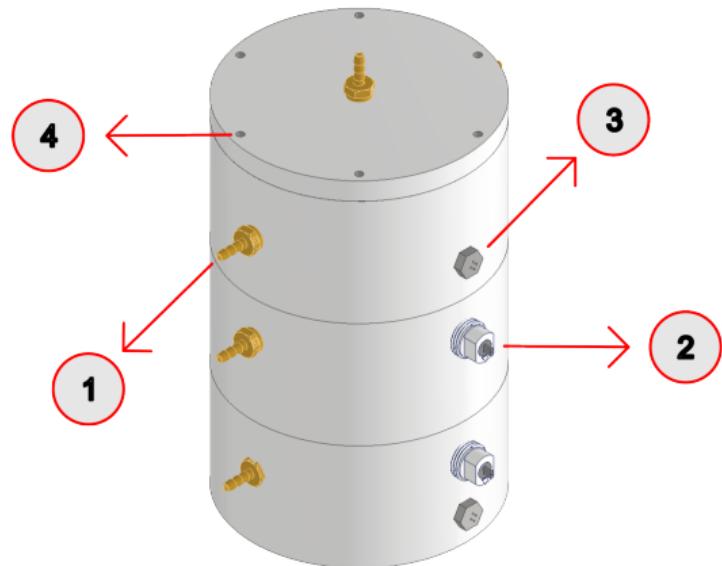


Figura 15: Componentes

# Módulo de concentración solar

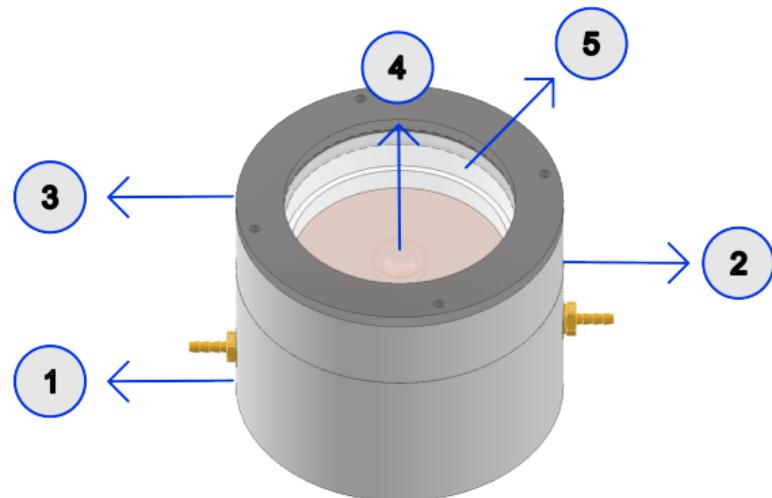


Figura 16: Submódulos

# Simulaciones

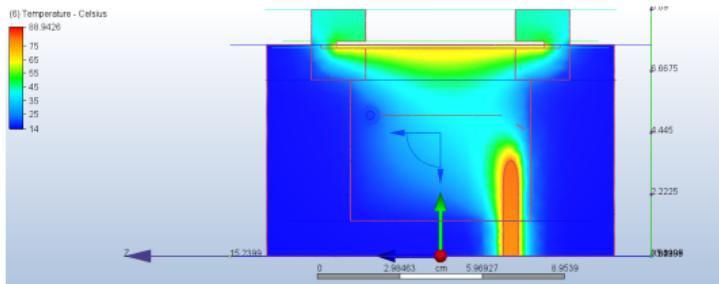


Figura 17: Corte en la entrada y salida del agua de mar usando una tubería de cobre

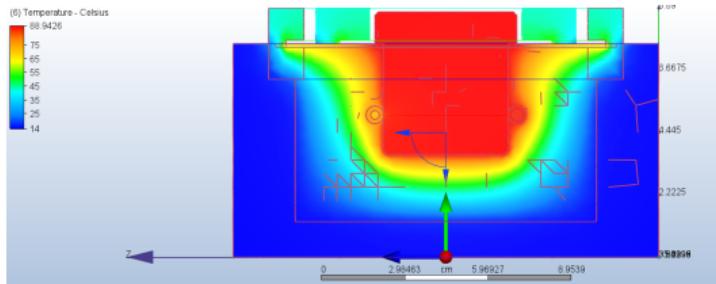


Figura 18: Corte en el centro del receptor solar y su transferencia de calor hacia el cobre

# Simulaciones

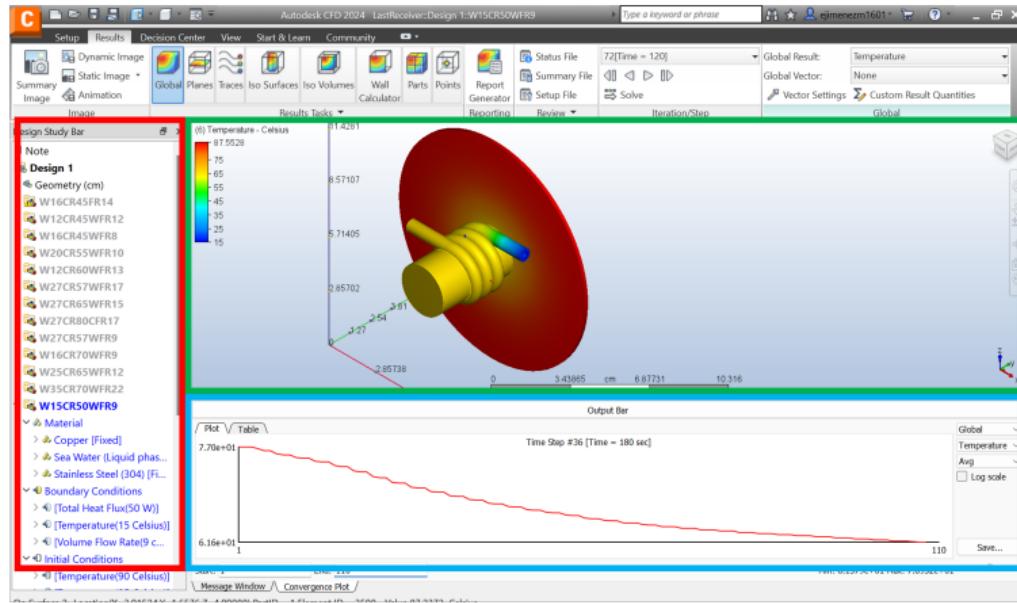


Figura 19: Simulaciones posteriores para determinar el universo de discurso del control difuso

# Simulaciones

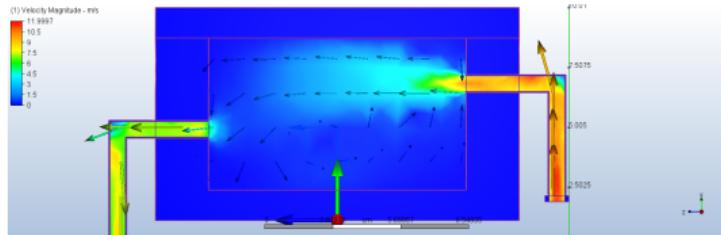


Figura 20: Flujo de aire dentro de la cámara de evaporación sin la superficie de evaporación

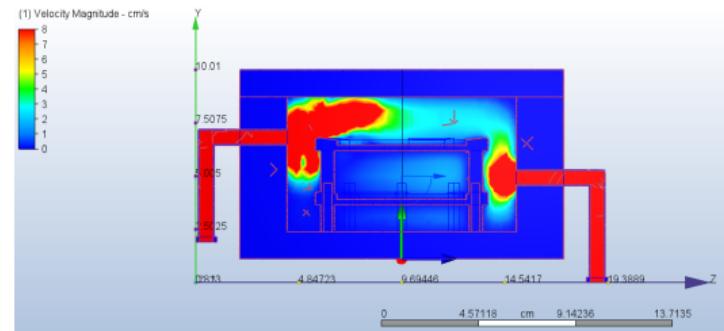


Figura 21: Flujo de aire dentro de la cámara de evaporación con la superficie de evaporación

# Control mediante Arduino Mega 2560



Figura 22: Arduino con Shield



Figura 23: Programado en C++

# Diagrama de clases del control

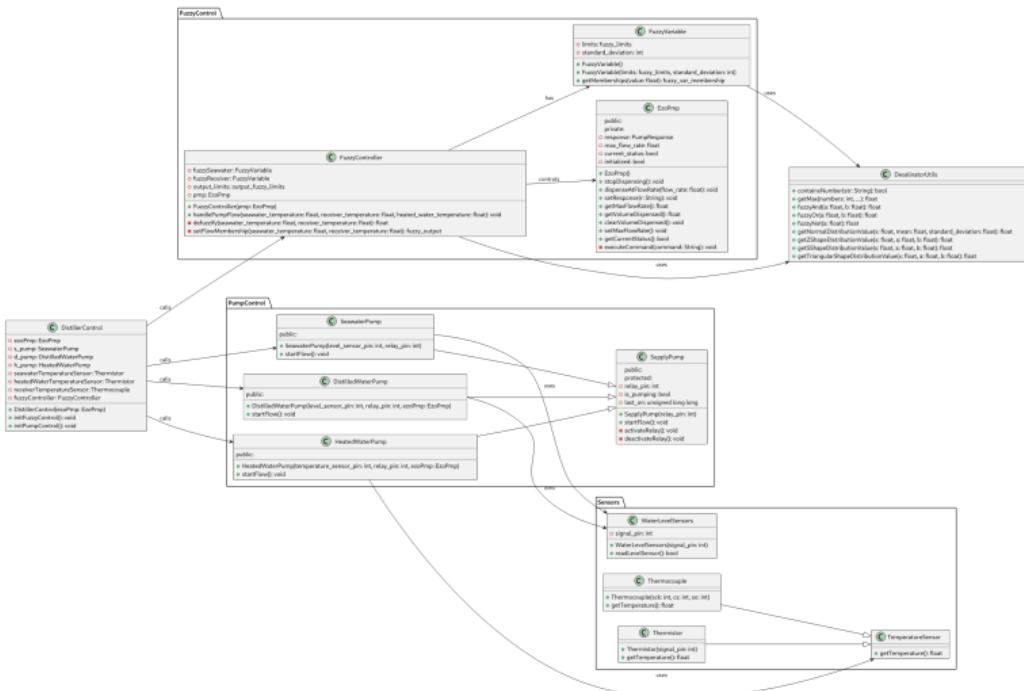


Figura 24: Diagrama de clases del control

## Control del caudal

Control difuso encargado de regular el flujo de agua que fluye hacia el receptor solar. Usa sensores de temperatura y controla la bomba EZO-PMP.

## Control de los niveles de agua

Control On/Off encargado de llenar y vaciar los submódulos del módulo de reacondicionamiento térmico y bombeo. Usa sensores de nivel y tiempo transcurrido para tomar decisiones.

# Control difuso

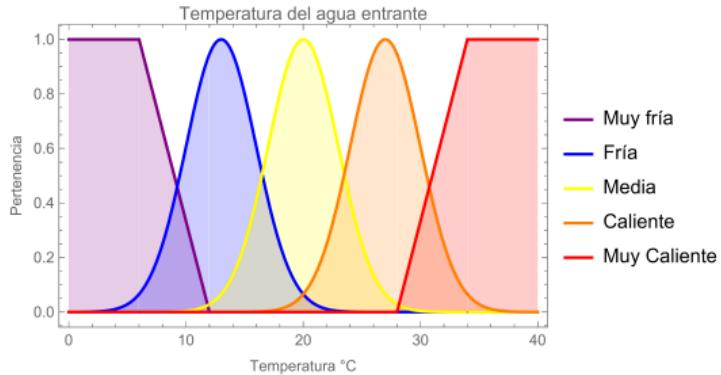


Figura 25: Universo de discurso y funciones de membresía de la temperatura del agua de mar entrante

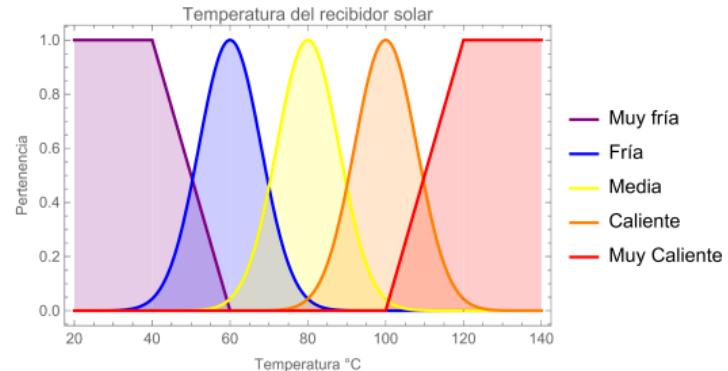


Figura 26: Universo de discurso y funciones de membresía de la temperatura del receptor solar

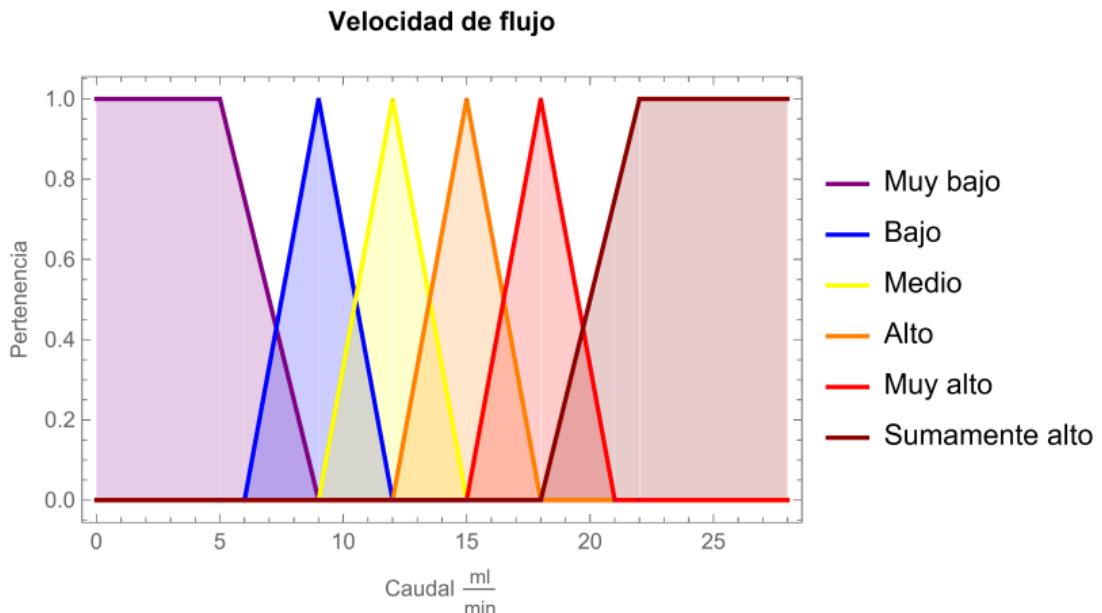


Figura 27: Universo de discurso y funciones de membresía del caudal de agua

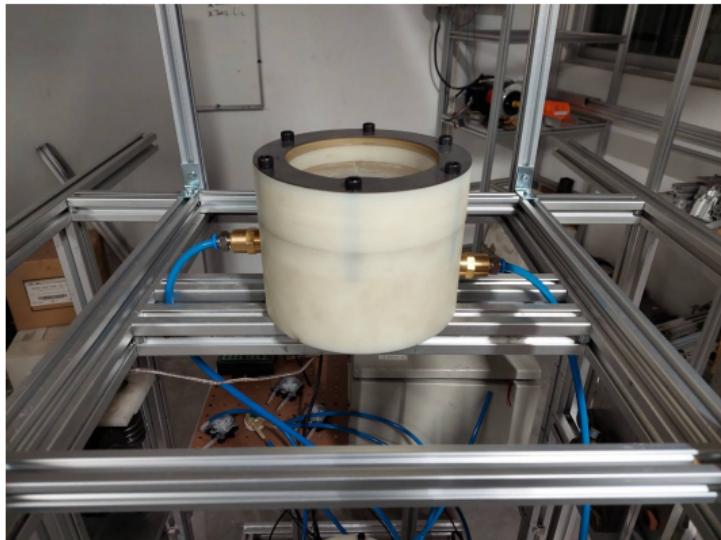


Figura 28: Módulo de concentración solar integrado al seguidor solar



Figura 29: Módulo de reaprovechamiento térmico y bombeo

# Preparación



Figura 30: Ensamble completo



Figura 31: Concentración solar sobre el receptor



Figura 32: Primer puesta en marcha del desalinizador

## Hallazgos

- Importancia del aislamiento térmico
- Implementación de estrategias de seguimiento solar
- Rediseños en el mecanismo de retroalimentación
- Excelente concentración: 3 min a  $860 \frac{W}{m^2}$  para alcanzar temperatura de operación

# Resultados

La evaluación del destilador solar se llevó acabo el día 16 de enero del 2024 entre las 13:30 y las 15:45 horas con un tiempo de funcionamiento de 2 horas



Figura 33: Recibidor tras el primer uso



Figura 34: Se lograron evaporar 194 mL de agua

- Se desarrollaron dos sistemas de control para el funcionamiento del desalinizador.
- Se consiguió completar todos los objetivos planteados.
- Durante la experimentación se identificaron las siguientes áreas de mejora en el diseño:
  - Mecanismo de retroalimentación y condensación
  - Concentración solar: seguimiento y recubrimientos
  - Aislamiento térmico
- Se destaca el valor teórico que aporta este trabajo al desarrollar una nueva propuesta que considera la separación física de los procesos de evaporación y condensación del agua así como la reutilización del calor generado.

# Referencias

- [1] 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).
- [2] National Aeronautics and Space Administration, "Sequía generalizada en México | Ciencia de la NASA," Sequía generalizada en México, (6 de mayo de 2021), <https://ciencia.nasa.gov/sequia-generalizada-en-mexico> (visitado 24-02-2022).
- [3] A. Maddocks, R. S. Young y P. Reig, "Ranking the world's most water-stressed countries in 2040,", 26 de ago. de 2015.
- [4] 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.
- [5] 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. 117648, 5 de ene. de 2022, ISSN: 1359-4311. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117648.