

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

Eduardo Jiménez Miranda

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas

11 de junio de 2023

Agradecimientos

Instituto Politécnico Nacional

Unidad profesional Interdisciplinaria en
Ingeniería y Tecnologías Avanzadas



A mis asesores

Dr. Diego Alonso Flores Hernández

Dr. Helvio Ricardo Mollinedo Ponce de León

Dr. Sergio Isai Palomino Resendiz

A todos los presentes y a quienes me apoyaron

Agenda

- Relevancia del proyecto
- Objetivos
- Antecedentes
- Marco teórico
- Diseño-experimental
- Resultados
- Resumen

PNUD

2022: Afecta a +40 % de la población mundial

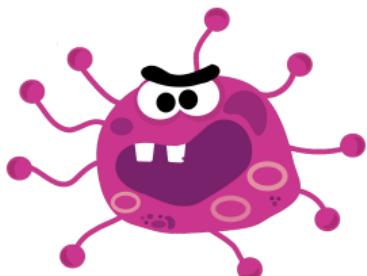


Figura 1: Enfermedades



Figura 2: Pérdida de biodiversidad

WRI

2025: 3500 millones de personas en regiones de escasez



Figura 3: Afectaciones a industrias



Figura 4: Conflictos sociales

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 5: Objetivos de desarrollo sostenible

Estrés hídrico

Nacionalmente:

- En 2021 60 presas a menos del 25% [2]
- Según el WRI, en 2021 México ocupaba el puesto 24 de 164 en mayor estrés hídrico
- Para 2040 estaremos en la categoría de *extremely high-stress* [3]

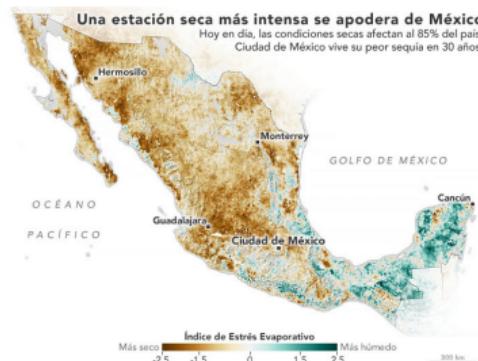


Figura 6: Índice de estrés evaporativo en México



Figura 7: Monitor de sequía en México durante diciembre del 2020

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

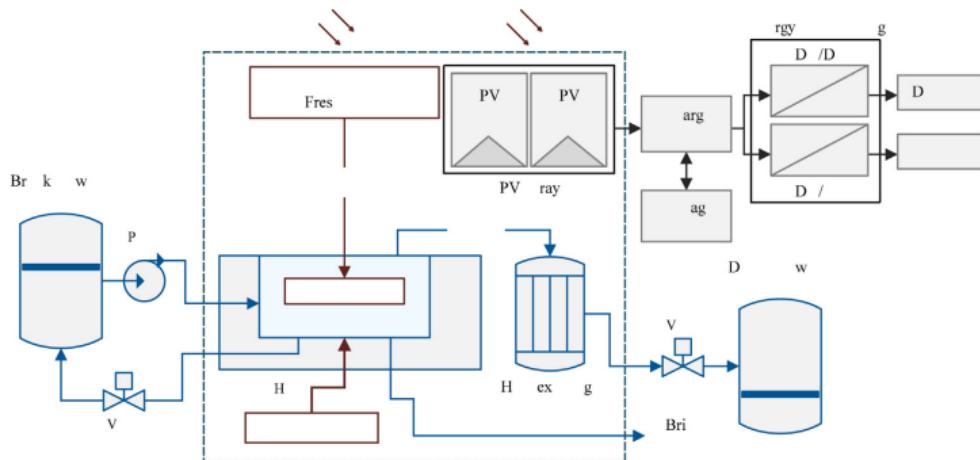


Figura 8: Destilador solar activo de Palomino et. al

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](https://doi.org/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.

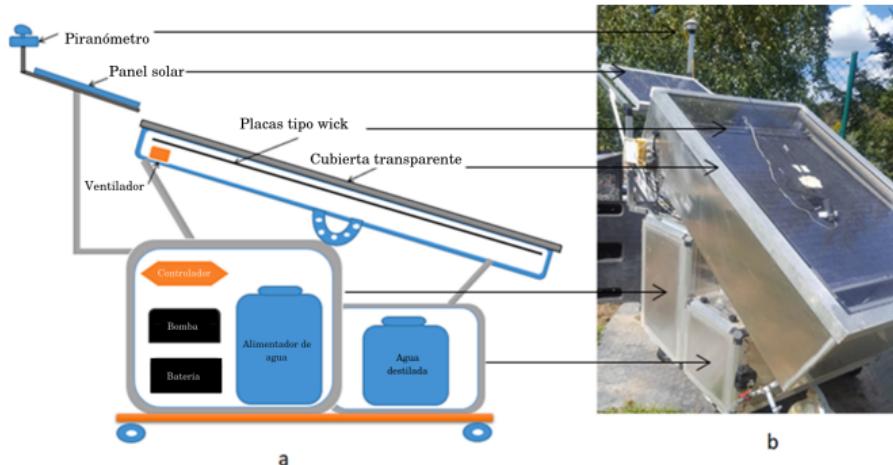


Figura 9: Destilador solar de doble cámara

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

Intensificación de la transferencia de calor

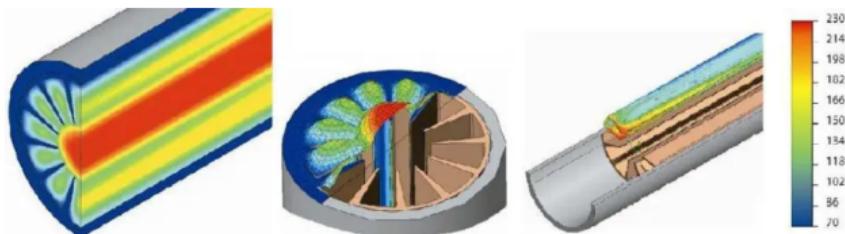


Figura 10: Tubos aletados

J. L. Ramírez, "Intensificación de la transferencia de calor en ebullición convectiva,"

Avances Investigación en Ingeniería, vol. 15, n.º 1, págs. 86)102, 25 de dic. de 2018,

Number: 1, ISSN: 2619-6581. DOI: 10.18041/1794-4953/avances.1.1327

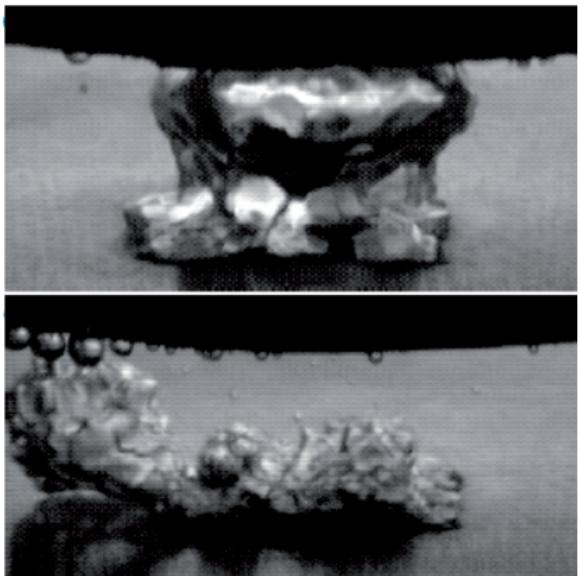


Figura 11: Intensificación de la transferencia de calor por campos acústicos

Irradiación solar

Posee gran potencial de aplicación sobre todo en Oceanía, África y el mar Mediterráneo

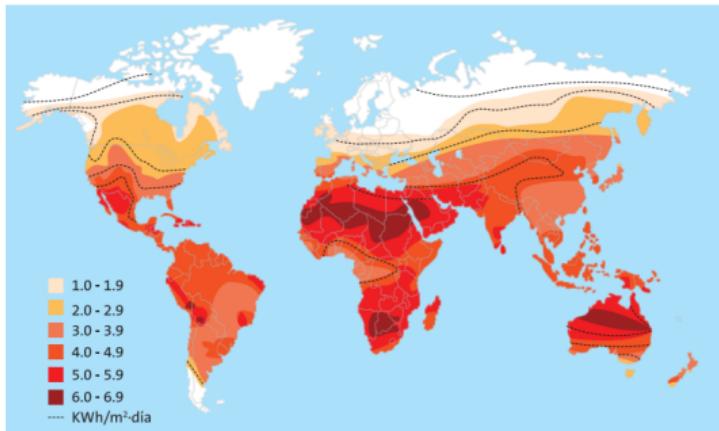


Figura 12: Radiación solar promedio mundial

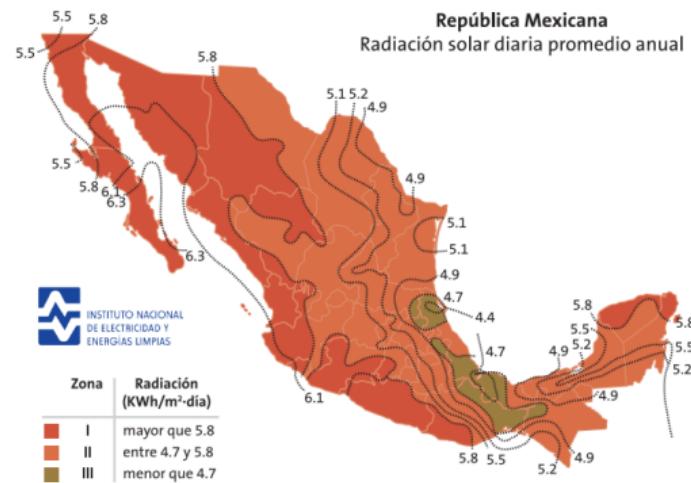


Figura 13: Radiación solar promedio en México

Diseño cuasi-experimental

- Temperatura de entrada del agua
- Presión atmosférica
- Temperatura ambiente
- Nubosidad
- Velocidad de viento
- Hora del día
- Irradiación solar promedio
- Temperatura de salida del agua
- Temperatura del receptor solar
- Caudal de agua
- Propiedades fisicoquímicas del agua

Agua

Las muestras de agua se seleccionaron guiándose en la clasificación propuesta por la *Water Quality Association* (WQA). Se proponen 3 grupos para evaluar los casos límite y promedio de la salinidad del agua de mar.

Tabla 1: Grupo de control del agua de mar

Muestra	Salinidad ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)
1	30,000
2	35,000
3	40,000

Lugar físico de experimentación

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas ubicada en la Ciudad de México.

Tabla 2: Grupo de control del agua de mar

Zona	Longitud	Latitud	Altitud
Ciudad de México, México	-99°7'32"	19°30'38"	2241 m

Problemas identificados



Figura 14: Transmitancia afectada por la condensación



Figura 15: Forma de energía discontinua

Análisis de las variables mencionadas

Para definir los criterios de operación sobre los cuales se espera que opere en pruebas el sistema, se realizó un análisis de datos de las variables climáticas propuestas. Los datos utilizados fueron obtenidos de *NASA Langley Research Center (LaRC) POWER Project* financiado por el Programa de Ciencias de la Tierra/Ciencias Aplicadas de la NASA



Figura 16: Lenguaje de programación empleado para el análisis de datos

Irradiación solar de onda corta

Del análisis de datos se obtuvo:

- Mínimo de operación $400 \frac{W}{m^2}$
- Máximo de operación $900 \frac{W}{m^2}$
- Operación general $650 \frac{W}{m^2}$
- Inicio de irradiación a las 7:00 a.m.
- Fin de irradiación a las 6:00 p.m.

ROC bajo todas las condiciones climáticas in 2021

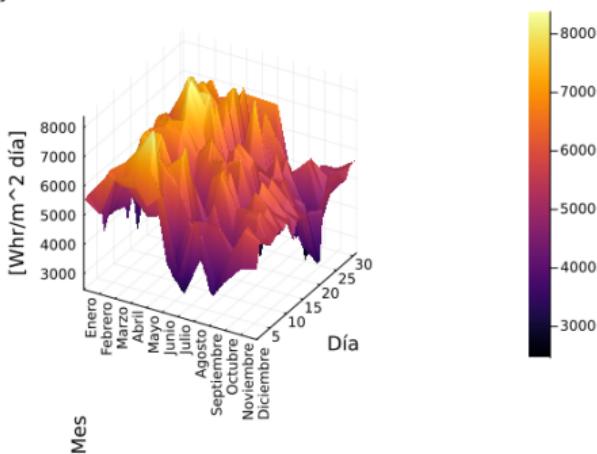


Figura 17: Radiación de onda corta 2021

Irradiación solar de onda corta

Del análisis de datos se obtuvo:

- Mínimo de operación $400 \frac{W}{m^2}$
- Máximo de operación $900 \frac{W}{m^2}$
- Operación general $650 \frac{W}{m^2}$
- Inicio de irradiación a las 7:00 a.m.
- Fin de irradiación a las 6:00 p.m.

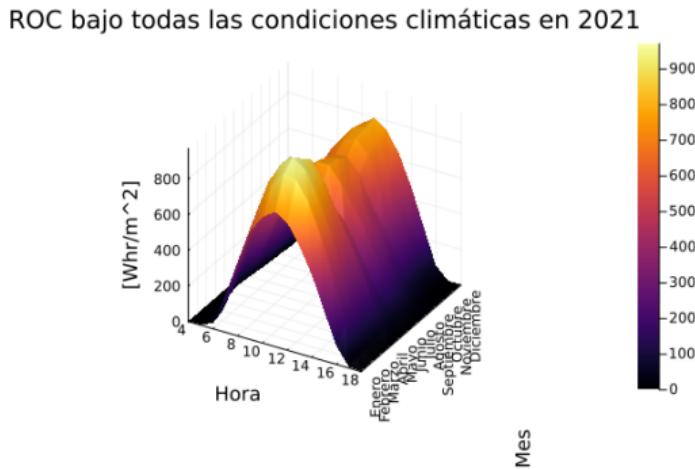


Figura 17: Radiación de onda corta 2021

Temperatura ambiente

Del análisis de datos se obtuvo:

- Mínimo de temperatura 13 °C
- Máximo de temperatura 29 °C
- Temperatura de entrada del agua 15.5 °C

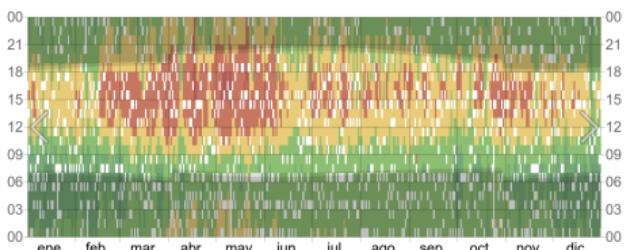


Figura 18: Gráfico obtenido de
©WeatherSpark.com

Presión atmosférica

Del análisis de datos se obtuvo:

- Variación mínima
- Presión de 74.45 kPa a 74.80 kPa
- Se calculó cambio de fase del agua de mar a 94.7°C

Presión superficial en 2021

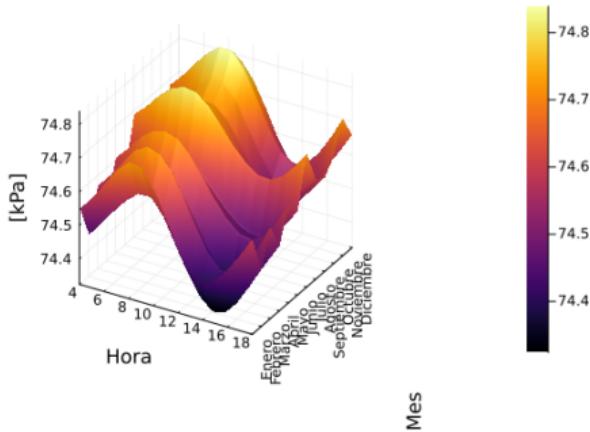


Figura 19: Presión promedio por hora durante 2021

Velocidad de viento

Del análisis de datos se obtuvo:

- Variación impredecible
- Velocidad de $0.50 \frac{m}{s}$ a $2.00 \frac{m}{s}$

Rapidez del viento a 2 metros
sobre la superficie en 2021

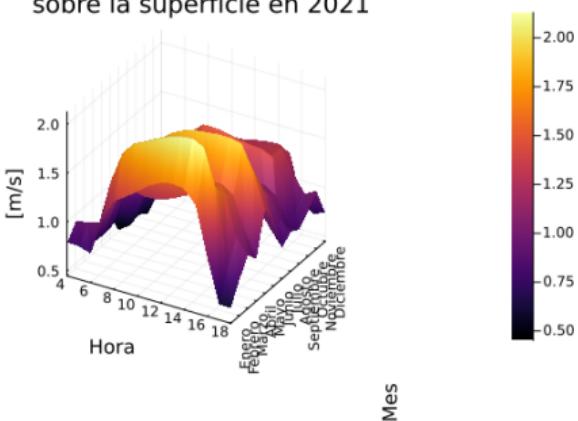


Figura 20: Rapidez promedio del viento durante 2021

Elemento óptico de concentración

Tabla 3: Modelos y características de los concentradores solares

Modelo	Longitud focal	Ancho	Largo	Material	Grosor	Tamaño de ranura
—	mm	mm	mm	—	mm	mm
CP220-280	220	280	280	PMMA: PV UV cut	5	0.5
CP330-280	330	280	280	PMMA: PV UV cut	5	0.5
CP350-300	350	310	310	PMMA: PV UV cut	5	0.5
CP350-330	350	340	340	PMMA: PV UV cut	5	0.5

Se halla en su hoja técnica que el PMMA PV UV cut tiene una transmitancia igual a 92.65 % .

La radiación que podría concentrar efectivamente esta lente de Fresnel sobre el receptor solar usando las asunciones generales es de 43.51 W.

$$\dot{Q}_{\text{absorbedor}} = \alpha \tau I_{\text{Sol}} A_{\text{Fresnel}} \quad (1)$$

Con base en esto se definió un caudal de 8.26 $\frac{\text{mL}}{\text{min}}$.

Desalinizador propuesto

Se propone un desalinizador de 4 cámaras integradas verticalmente

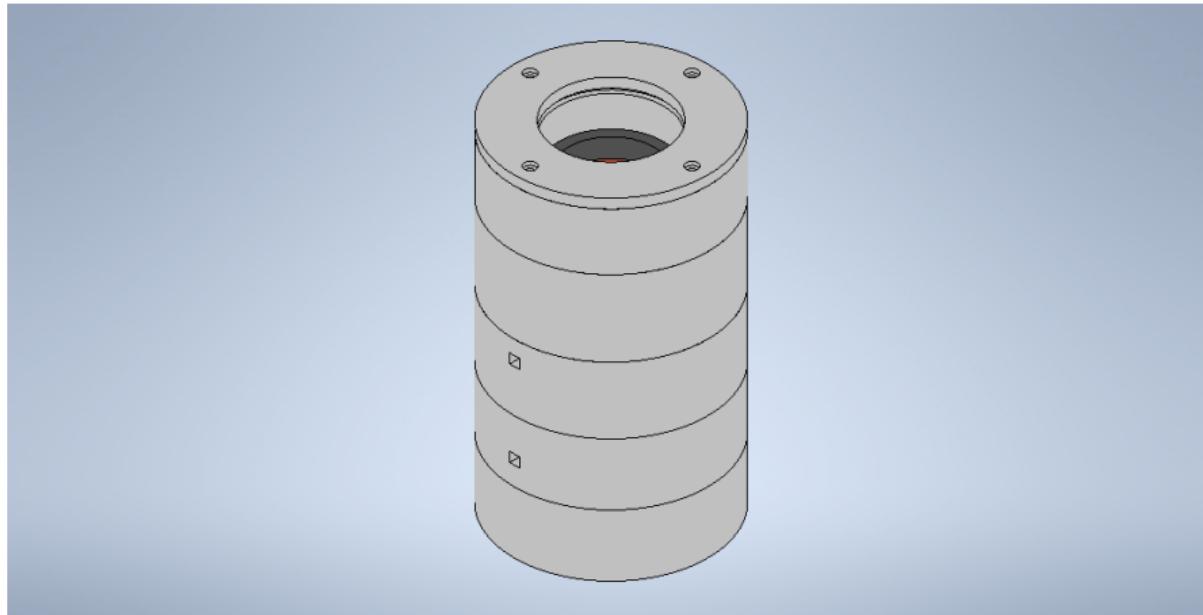


Figura 21: Desalinizador propuesto

Desalinizador propuesto

Se propone un desalinizador de 4 cámaras integradas verticalmente

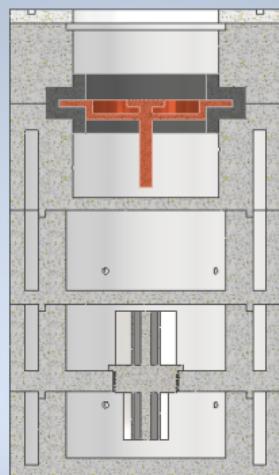


Figura 21: Desalinizador propuesto

Contenedor de agua de mar

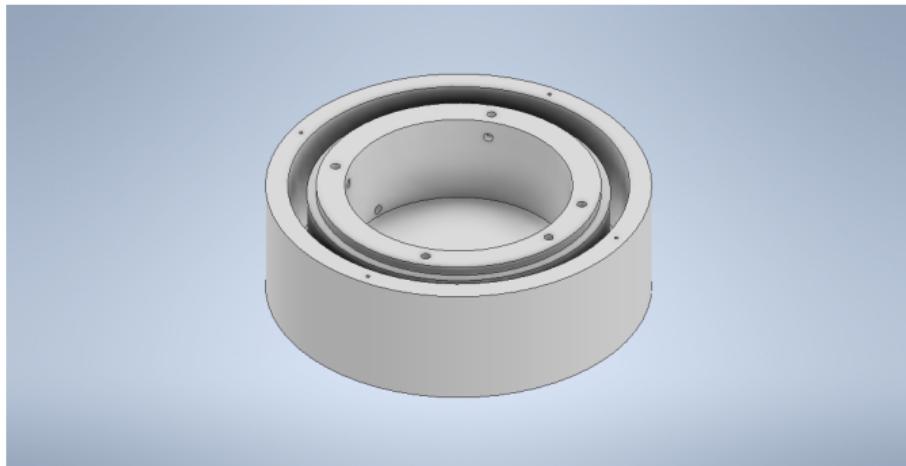


Figura 22: Contenedor de agua de mar

- 1) Salida a bomba.
 - 2) Entrada agua.
 - 3) Retroalimentación.
 - 4) Bombeo agua.
- OR)
- A) Sellado.
 - B) Aislante

Contenedor de agua de mar

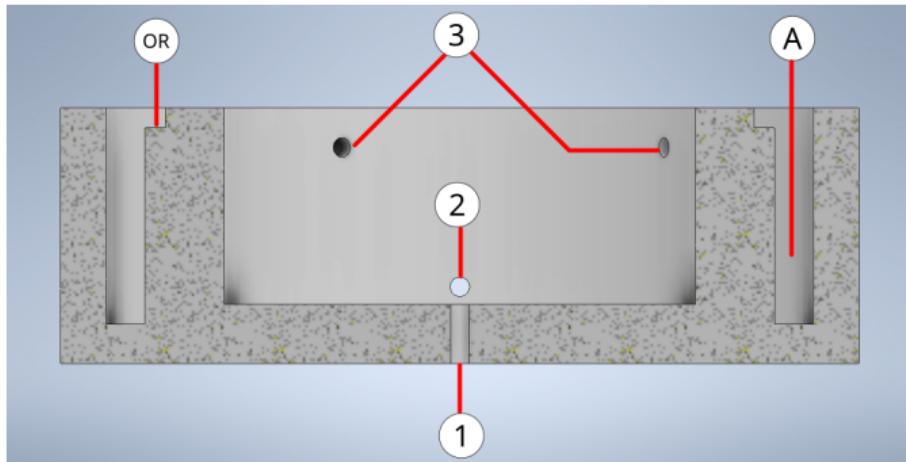


Figura 22: Contenedor de agua de mar

- 1) Salida a bomba. 2) Entrada agua. 3) Retroalimentación. 4) Bombeo agua.
OR) Sellado. A) Aislante

Contenedor de agua de mar

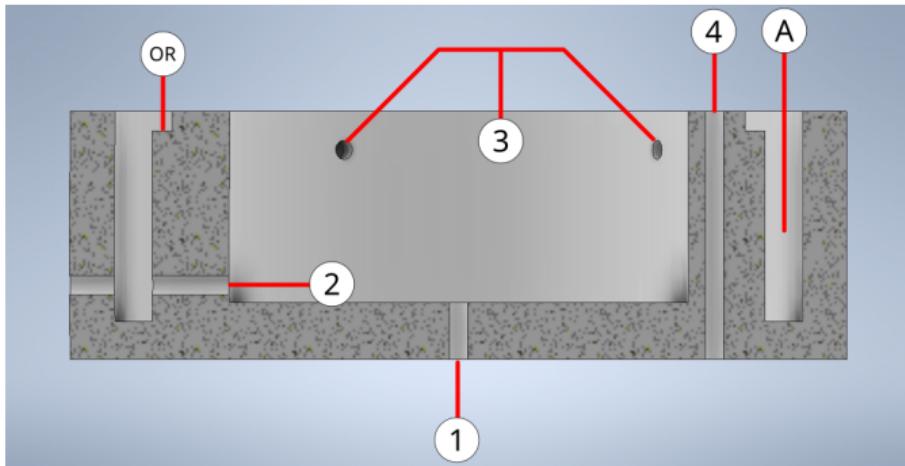


Figura 22: Contenedor de agua de mar

- 1) Salida a bomba.
 - 2) Entrada agua.
 - 3) Retroalimentación.
 - 4) Bombeo agua.
- OR) Sellado. A) Aislante

Cámara de condensación

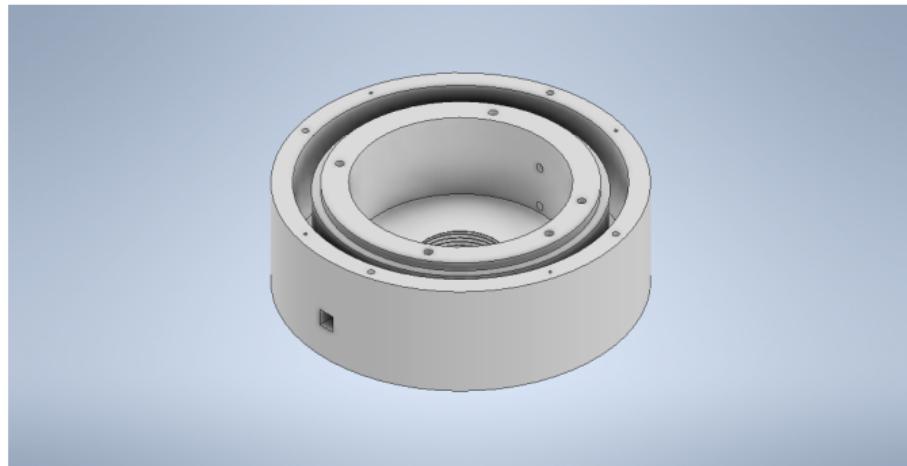


Figura 23: Cámara de condensación

- 1) Entrada vapor.
 - 2) Salida salmuera.
 - 3) Salida agua destilada.
 - 4) Bombeo agua.
- OR)
- 1) Sellado.
 - 2) Aislante.
 - 3) Intercambiador

Cámara de condensación

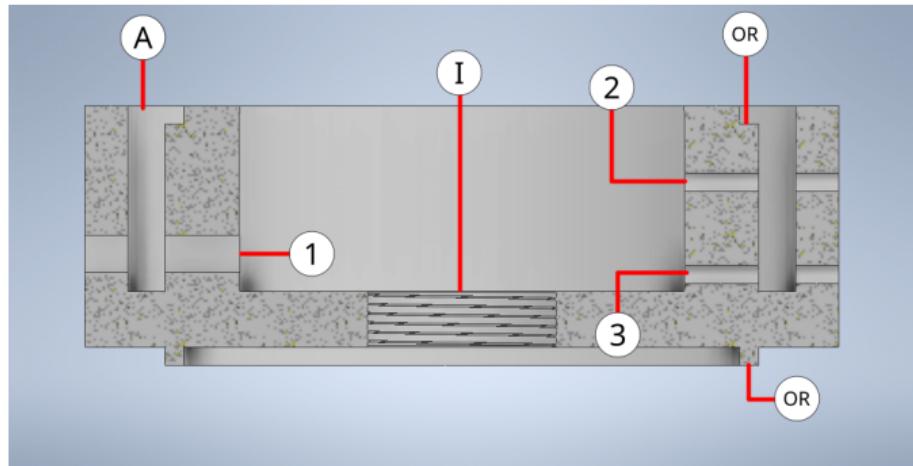


Figura 23: Cámara de condensación

- 1) Entrada vapor. 2) Salida salmuera. 3) Salida agua destilada. 4) Bombeo agua.
- OR) Sellado. A) Aislante. I) Intercambiador

Cámara de condensación

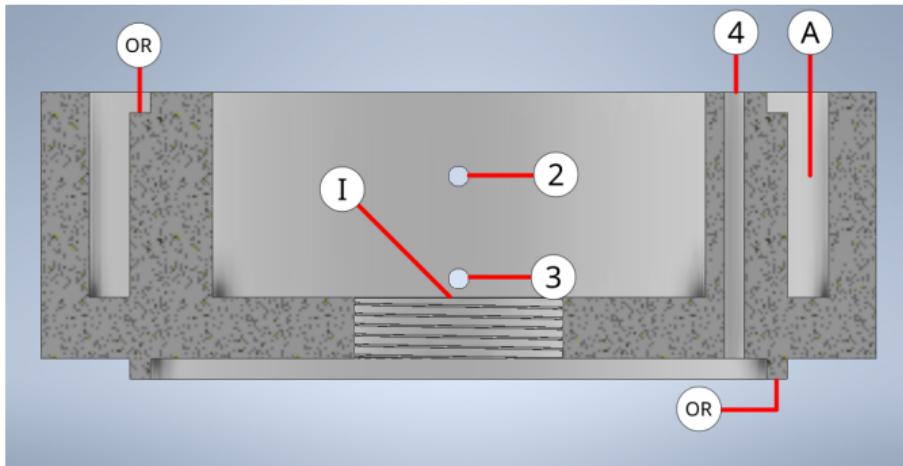


Figura 23: Cámara de condensación

- 1) Entrada vapor. 2) Salida salmuera. 3) Salida agua destilada. 4) Bombeo agua.
- OR) Sellado. A) Aislante. I) Intercambiador

Intercambiador de calor

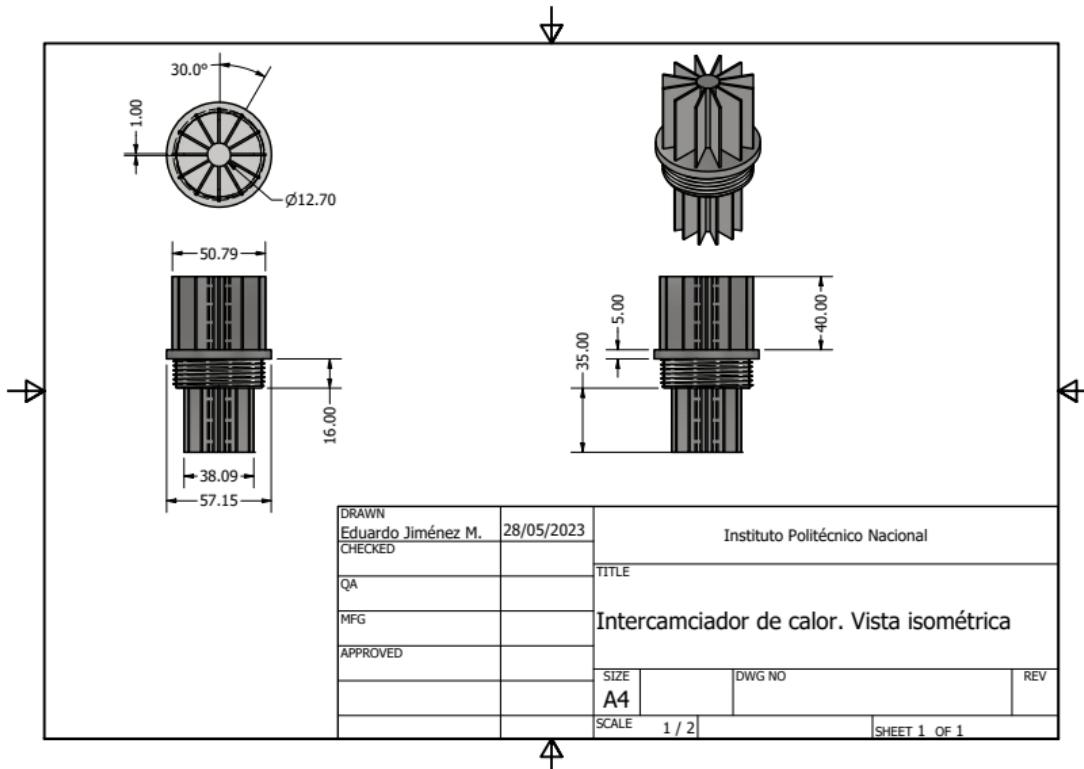


Figura 24: Intercambiador de acero 316

Cámara de evaporación

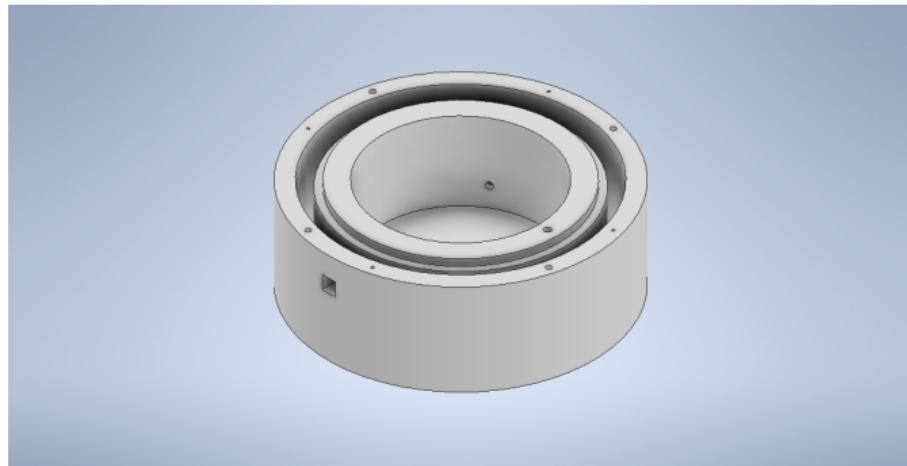


Figura 25: Cámara de condensación

- 1) Salida vapor.
 - 2) Salida salmuera.
 - 3) Desagüe.
 - 4) Bombeo agua.
- OR)
- A) Sellado.
 - B) Aislante

Cámara de evaporación

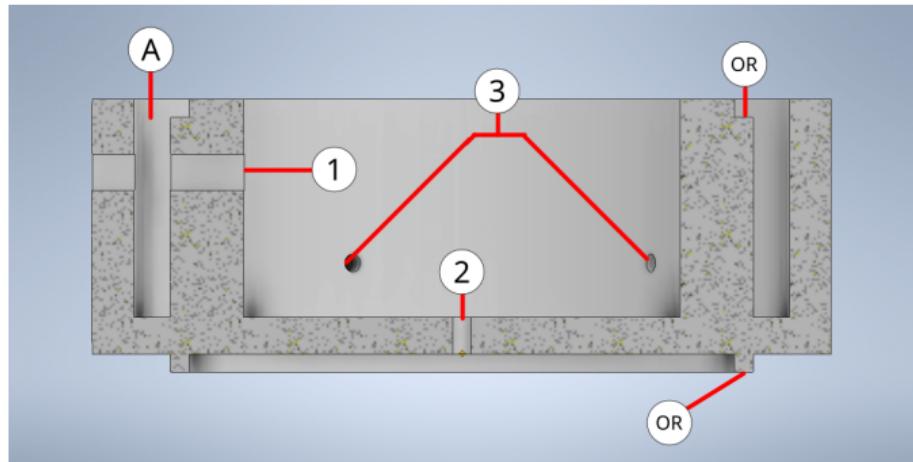


Figura 25: Cámara de condensación

- 1) Salida vapor. 2) Salida salmuera. 3) Desagüe. 4) Bombeo agua.
- OR) Sellado. A) Aislante

Cámara de evaporación

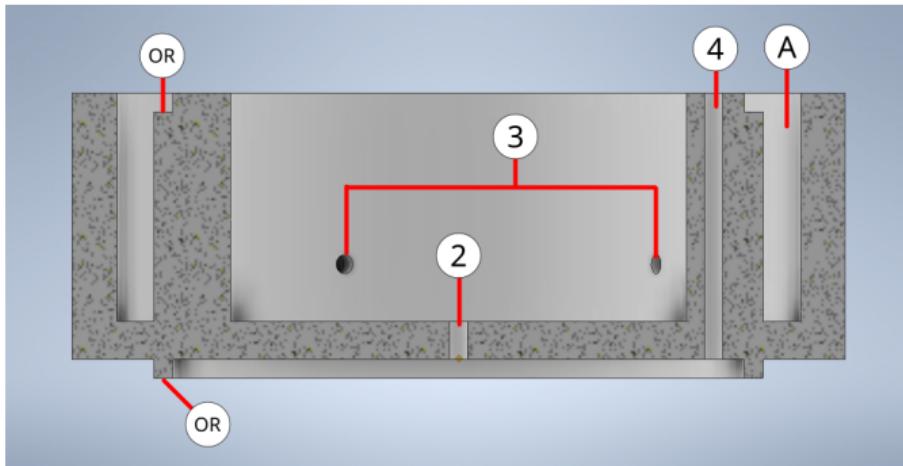


Figura 25: Cámara de condensación

- 1) Salida vapor. 2) Salida salmuera. 3) Desagüe. 4) Bombeo agua.
OR) Sellado. A) Aislante

Cámara de transferencia parte inferior

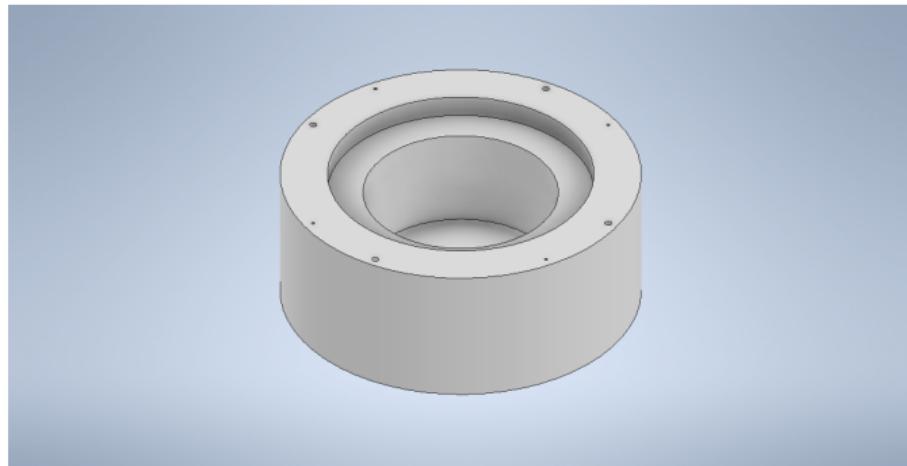


Figura 26: Cámara de transferencia parte inferior

- 1) Salida agua caliente. 2) Entrada agua fría
- OR) Sellado. A) Aislante. R) Recibidor

Cámara de transferencia parte inferior

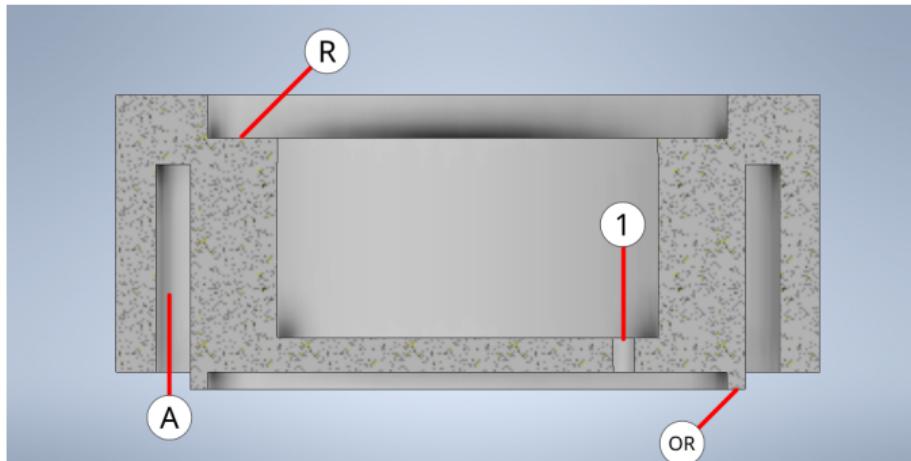


Figura 26: Cámara de transferencia parte inferior

- 1) Salida agua caliente. 2) Entrada agua fría
- OR) Sellado. A) Aislante. R) Recibidor

Cámara de transferencia parte inferior

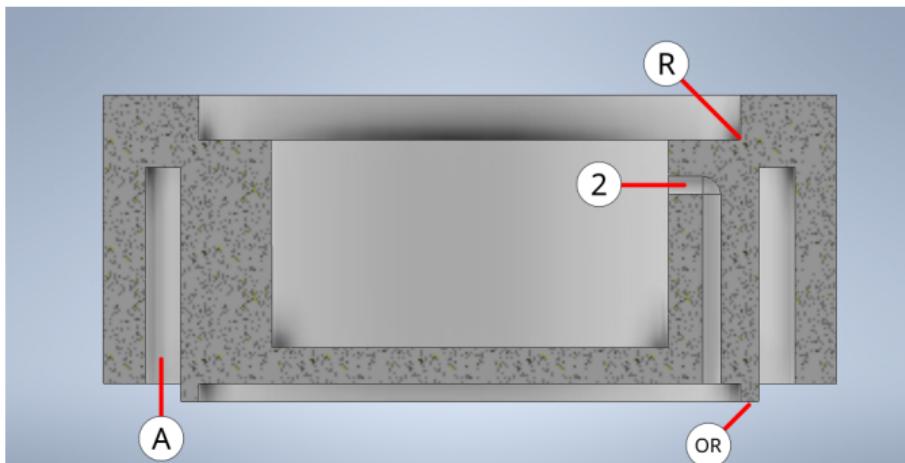


Figura 26: Cámara de transferencia parte inferior

- 1) Salida agua caliente. 2) Entrada agua fría
- OR) Sellado. A) Aislante. R) Recibidor

Cámara de transferencia parte superior

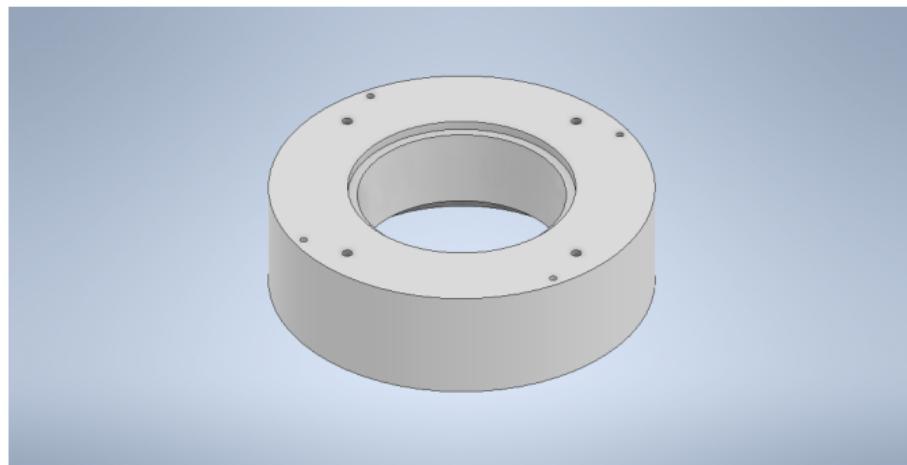


Figura 27: Cámara de transferencia parte superior

C) Cuarzo. R) Recibidor. T) Tornillo

Cámara de transferencia parte superior

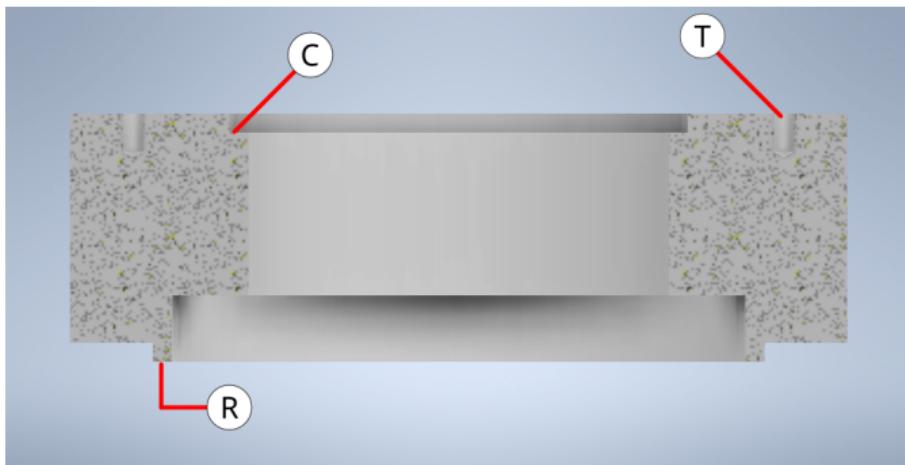


Figura 27: Cámara de transferencia parte superior

C) Cuarzo. R) Recibidor. T) Tornillo

Recibidor solar

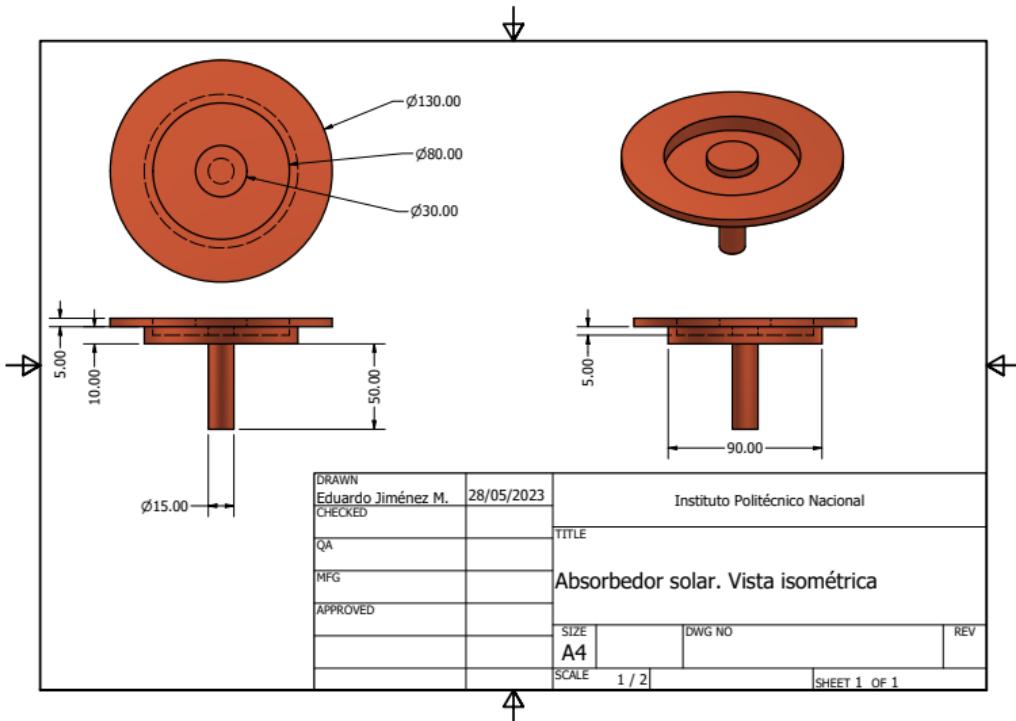


Figura 28: Recibidor solar

Diseño modular desmontable

- Reemplazar componentes
- Facilidad de limpieza
- Disposición para aprovechar la energía en la medida de lo posible

Retos

- Facilidad de construcción
- Peso del sistema
- Incremento del costo de la lente por incremento del área

Materiales

Se tuvo que hacer una selección de acuerdo a los retos identificados

- Condiciones de operación en el exterior
- Corrosión del sistema
- Recubrimientos para mejorar las propiedades buscadas

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.
- [6] J. L. Ramírez, "Intensificación de la transferencia de calor en ebullición convectiva," *Avances Investigación en Ingeniería*, vol. 15, n.º 1, págs. 86)102, 25 de dic. de 2018, Number: 1, ISSN: 2619-6581. DOI: 10.18041/1794-4953/avances.1.1327.