

PRISMA ODS
REVISTA MULTIDISCIPLINARIA
SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE
ISSN: 3072-8452

DISEÑO DE PROTOTIPO PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA ATMOSFÉRICA POR MEDIO DE CELDAS PELTIER

*PROTOTYPE DESIGN FOR
ATMOSPHERIC WATER HARVESTING
USING PELTIER CELLS*

AUTORES

**YAIR ALEJANDRO
GUTIÉRREZ ÁLVAREZ**
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MORELOS
MEXICO

**ROY LÓPEZ
SESEÑES**
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MORELOS
MEXICO

**OUTMANE
OUBRAM**
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MORELOS
MEXICO

**HUGO ALBEIRO
SALDARRIAGA NOROÑA**
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MORELOS
MEXICO

Diseño de Prototipo para la Captación de Agua Atmosférica por Medio de Celdas Peltier

Prototype Design for Atmospheric Water Harvesting Using Peltier Cells

Yair Alejandro Gutiérrez Álvarez

gutierrez.yair@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-3691-7875>

Universidad Nacional Autónoma del Estado de Morelos
Morelos – México

Roy López Sesenes

rlopez@uaem.mx

Universidad Nacional Autónoma del Estado de Morelos
Morelos – México

Outmane Oubram

oubram@uaem.mx

Universidad Nacional Autónoma del Estado de Morelos
Morelos – México

Hugo Albeiro Saldarriaga Noroña

hsaldarriaga@uaem.mx

Universidad Nacional Autónoma del Estado de Morelos
Morelos – México

Artículo recibido: 11/06/2026

Aceptado para publicación: 18/07/2026

Conflictos de Intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

La escasez de agua en regiones con limitada infraestructura de distribución ha impulsado el desarrollo de alternativas sustentables para su obtención. En este trabajo se diseña y evalúa un prototipo de captación de agua atmosférica basado en enfriamiento termoeléctrico mediante celdas Peltier. El sistema integra sensores de temperatura y humedad conectados a una plataforma Arduino Mega, lo que permite estimar en tiempo real el punto de rocío y regular el funcionamiento de las celdas para inducir la condensación del vapor de agua sobre disipadores de aluminio. La selección de materiales se realizó con base en criterios de flujo de calor, empleando acrílico como aislante y aluminio como elemento disipador por su relación costo-eficiencia. Se llevaron a cabo pruebas experimentales en distintos intervalos horarios bajo condiciones ambientales variables, registrando parámetros de temperatura, humedad relativa y volumen de agua recolectada. Los resultados muestran una producción de 14 a 15 mL/h, con temperaturas de operación cercanas a 7 °C, suficientes para alcanzar el punto de rocío y mantener un proceso de condensación continuo. Asimismo, el sistema de control automatizado permitió un funcionamiento estable, evitando la congelación en las superficies de intercambio térmico. Los hallazgos sugieren que el prototipo constituye una alternativa viable para la captación de agua atmosférica en zonas con estrés hídrico, con oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética y escalabilidad.

Palabras clave: captación de agua atmosférica, celdas Peltier, punto de rocío, condensación

ABSTRACT

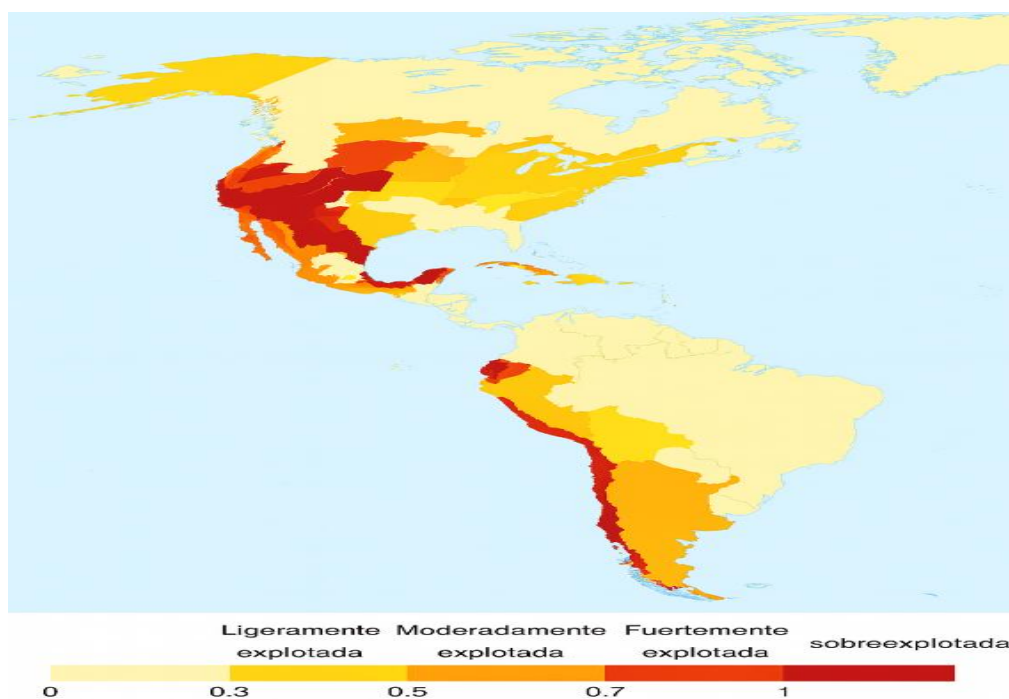
Water scarcity in regions with limited distribution infrastructure has driven in the development of sustainable alternatives for water supply. This study presents the design and evaluation of a prototype for atmospheric water collection based on thermoelectric cooling using Peltier cells. The system integrates temperature and humidity sensors connected to a microcontroller platform, enabling real-time estimation of the dew point and regulation of the Peltier modules to induce water vapor condensation on aluminum heat sinks. Material selection was carried out based on thermal conductivity criteria and its low cost, using acrylic as an insulating material and aluminum as a heat dissipation element. Experimental tests were conducted at different time intervals under varying environmental conditions, recording temperature, humidity, and collected water volume. The results show a production rate of 14 to 15 mL/h, with operating temperatures close to 7 °C, sufficient to reach the dew point and sustain a continuous condensation process. Additionally, the automated control system ensured stable operation by preventing freezing on the heat exchange surfaces. The findings suggest that the proposed prototype represents a viable alternative for atmospheric water harvesting in water-stressed regions, with opportunities for improvement in energy efficiency and scalability.

Keywords: atmospheric water harvesting, Peltier cells, dew point, condensation

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua representa uno de los principales desafíos a nivel mundial, afectando a una gran parte de la población debido a factores como el cambio climático, la contaminación, el crecimiento poblacional y la falta de infraestructura adecuada (Esparza, 2014). A ello se suma la sobreexplotación de mantos acuíferos, ríos y lagos, lo que ha generado condiciones de estrés hídrico permanente en diversas regiones (Martínez Austria et al., 2019). En la Figura 1.1 se presenta la distribución del estrés hídrico en el continente americano, donde se observa una alta presión sobre los recursos hídricos en las regiones norte y centro de México (Dinesh Kumar, 2022).

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.. Estrés hídrico del continente americano (Dinesh Kumar, 2022)

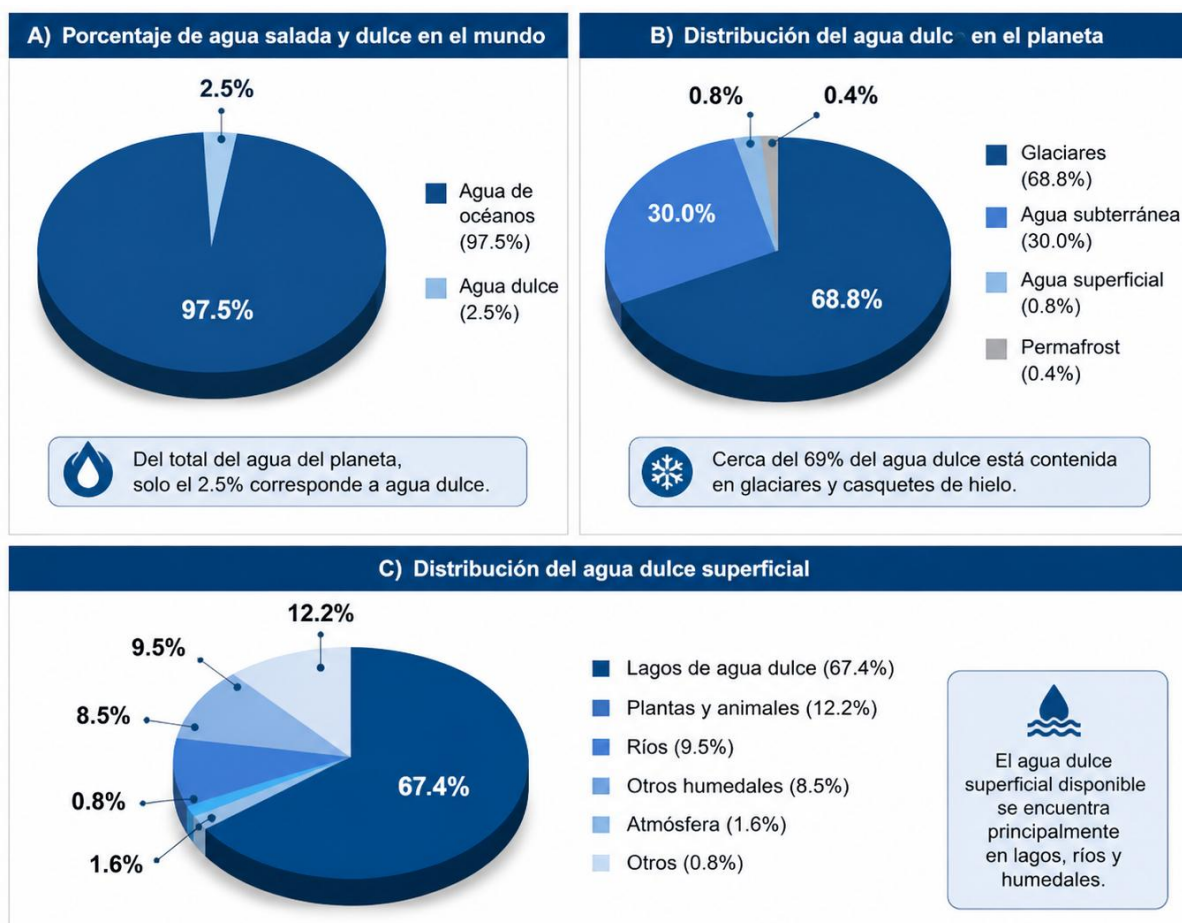


Fuente: Elaboración propia.

A nivel global, únicamente el 2.5% del agua total del planeta corresponde a agua dulce, de la cual la mayor parte se encuentra en glaciares y mantos de hielo, lo que limita su accesibilidad para consumo humano (Informe Del Medio Ambiente, n.d.). Como se muestra en la Figura 1.2A, el 97.5% del agua es salada, mientras que solo una fracción mínima es aprovechable directamente. Asimismo, en la Figura 1.2B se observa que cerca del 68.8% del agua dulce se encuentra en glaciares, y en la Figura 1.2C que el agua superficial disponible se concentra principalmente en lagos y ríos, representando una proporción aún menor. En este contexto,

resulta necesario explorar fuentes alternativas de abastecimiento. Una de ellas es el agua contenida en la atmósfera, la cual forma parte activa del ciclo hidrológico y representa un recurso potencialmente aprovechable.

Figura 2. Distribución global del agua. (A) Porcentaje de agua salada y dulce en el planeta. (B) Distribución del agua dulce, destacando su concentración en glaciares y aguas subterráneas. (C) Distribución del agua dulce superficial, donde la mayor proporción se encuentra en lagos, seguida de ríos, humedales y la atmósfera.



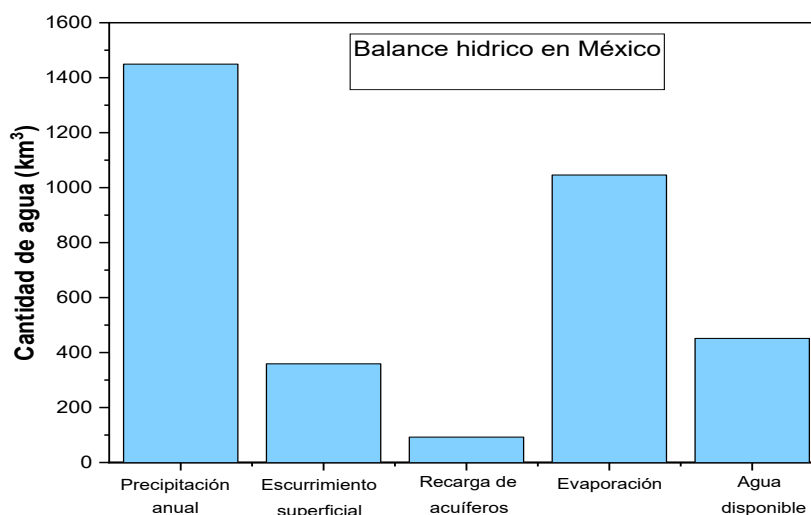
Fuente: Elaboración propia.

El agua es un recurso esencial para la vida y un derecho fundamental al que toda persona debería tener acceso. En el caso de México, el balance hídrico nacional (Figura 3) muestra que el país recibe un volumen anual promedio de 1,449 km³ de precipitación. De este total, aproximadamente el 70% retorna a la atmósfera mediante procesos de evapotranspiración, mientras que solo una fracción menor contribuye al escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos, resultando en una disponibilidad natural media de 451.58 km³ de agua al año (Cazares-Palacios et al., 2021).

Como se observa en la Figura 3, la cantidad de agua que se evapora supera significativamente a la que se almacena en fuentes superficiales y subterráneas, evidenciando el papel dominante de la atmósfera dentro del ciclo hidrológico. Esta dinámica resalta el potencial del vapor de agua atmosférico como una fuente alternativa de abastecimiento.

En este contexto, el desarrollo de tecnologías para la captación de agua atmosférica representa una estrategia prometedora para el suministro de agua en comunidades con acceso limitado a fuentes convencionales.

Figura 3. Balance hídrico de México, mostrando la distribución de la precipitación anual entre evapotranspiración, escurrimiento superficial, recarga de acuíferos y disponibilidad de agua.



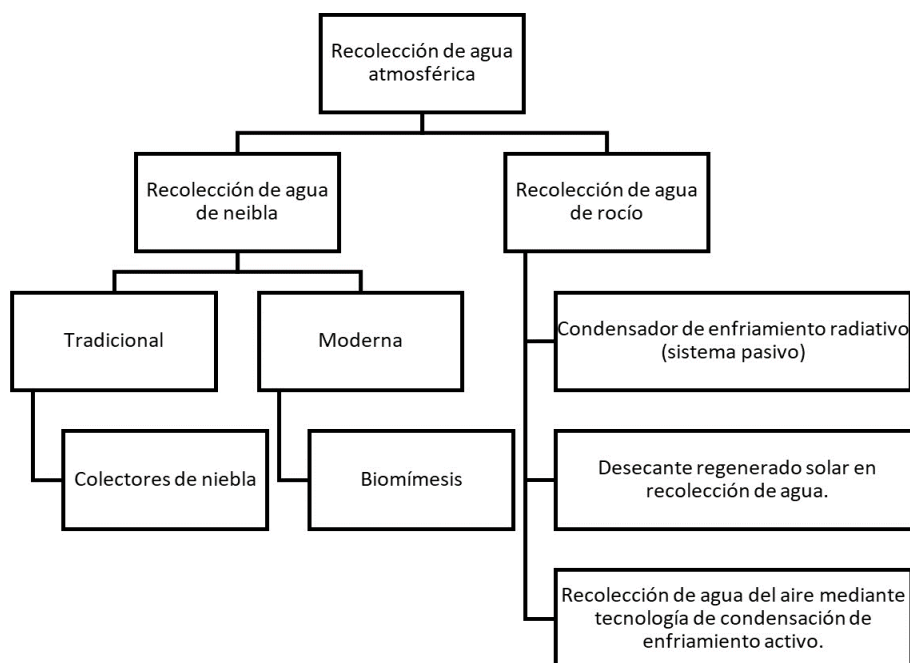
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el balance hídrico, una proporción significativa del agua disponible retorna a la atmósfera mediante procesos de evaporación y evapotranspiración, superando incluso el volumen de escurrimientos superficiales y la recarga de acuíferos. Esta dinámica resalta el papel de la atmósfera como un reservorio activo dentro del ciclo hidrológico y evidencia su potencial como fuente alternativa de abastecimiento de agua.

En este contexto, se han desarrollado diversas tecnologías para la captación de agua atmosférica. La Figura 4 presenta una clasificación general de estas tecnologías, las cuales se

agrupan en dos enfoques principales: la recolección de agua a partir de la niebla y la captación de vapor de agua mediante procesos de condensación.

Figura 4. Clasificación de las tecnologías de captación de agua atmosférica, incluyendo métodos de recolección de niebla y sistemas de condensación de vapor, tanto pasivos como activos(Jarimi et al., 2020).



Fuente: Elaboración propia.

La recolección de agua de niebla consiste en capturar gotas microscópicas suspendidas en el aire mediante superficies o mallas especializadas, siendo una técnica ampliamente utilizada en regiones con alta presencia de neblina(Klemm et al., 2012). Por otro lado, la captación de vapor de agua se basa en enfriar el aire por debajo de su punto de rocío, lo que induce la condensación del vapor sobre superficies frías y permite la obtención de agua líquida(Khalil et al., 2016).

Inicialmente, estos sistemas se desarrollaron bajo enfoques pasivos, como los condensadores radiactivos, cuya operación depende de las condiciones ambientales. Sin embargo, su baja eficiencia ha impulsado la evolución hacia sistemas activos más avanzados, entre los que destacan los basados en enfriamiento termoeléctrico y en ciclos de compresión de vapor (Agam & Berliner, 2006). Estos sistemas permiten un mayor control de las condiciones de operación, incrementando la eficiencia del proceso de captación.

Un ejemplo representativo de los sistemas de captación de agua atmosférica mediante tecnología termoeléctrica es el desarrollado por (Sanaye et al., 2023) . Este dispositivo emplea módulos Peltier que generan una diferencia de temperatura entre sus caras, produciendo una

superficie fría donde el vapor de agua del aire se condensa, mientras que el calor disipado en la cara opuesta es removido mediante un sistema de enfriamiento con intercambiadores de calor compactos. El diseño integra un sistema de recuperación de calor y una configuración optimizada de flujo de aire, lo que favorece el proceso de condensación y mejora la eficiencia térmica del sistema. Gracias a esta configuración, el dispositivo alcanza una producción de hasta 111.73 mL/h, con un desempeño energético reportado de 0.56 L/Wh.

A pesar de estos resultados, este tipo de sistemas presenta desafíos asociados al consumo energético y a la complejidad del diseño, lo que limita su implementación en aplicaciones de bajo costo. No obstante, constituyen una referencia importante para el desarrollo de sistemas más accesibles y eficientes.

Otro enfoque relevante en la captación de agua atmosférica es el desarrollado por Kim et al. (Alrasheed et al., 2023), basado en materiales porosos tipo MOF-801 $[\text{Zr}_6\text{O}_4(\text{OH})_4(\text{fumarato})_6]$, los cuales presentan una alta afinidad por las moléculas de agua. Estos materiales son capaces de adsorber vapor de agua del ambiente y liberarlo posteriormente mediante calentamiento, utilizando únicamente energía solar (1 kW/m^2). El sistema permite la formación y crecimiento de gotas de agua a lo largo del ciclo térmico diario, logrando una producción de hasta 2.8 litros de agua por kilogramo de material, incluso en condiciones de baja humedad relativa ($\approx 20\%$). Este desempeño lo posiciona como una alternativa altamente eficiente, especialmente en ambientes áridos donde otras tecnologías presentan limitaciones.

No obstante, el uso de materiales MOF implica desafíos relacionados con su costo, disponibilidad y escalabilidad, lo que puede dificultar su implementación en aplicaciones de bajo costo. En contraste, los sistemas termoeléctricos, aunque menos eficientes en términos de producción, ofrecen ventajas en simplicidad, control y accesibilidad tecnológica.

METODOLOGÍA

El objetivo de esta investigación es desarrollar un prototipo para la captación de agua atmosférica mediante tecnología termoeléctrica, como alternativa sustentable para mitigar la escasez de agua en regiones con acceso limitado a infraestructura hídrica.

El sistema diseñado aprovecha las condiciones ambientales, específicamente la temperatura y la humedad relativa del aire, para inducir la condensación del vapor de agua. Para ello, se emplean celdas Peltier que generan un gradiente térmico, enfriando una superficie metálica hasta alcanzar el punto de rocío. Este proceso se complementa con un flujo continuo de aire,

lo que favorece la transferencia de masa y permite la formación y recolección de gotas de agua sobre un disipador de aluminio.

El prototipo incorpora dos celdas Peltier de 12 W cada una, encargadas de reducir la temperatura de los disipadores hasta valores cercanos al punto de rocío, iniciando así el proceso de condensación. El agua generada es recolectada mediante un sistema de drenaje que permite su almacenamiento continuo.

Para la selección de los materiales del sistema, se evaluó el flujo de calor de distintos candidatos, con el objetivo de optimizar la transferencia de calor en las superficies de intercambio y mejorar la eficiencia del proceso. La conductividad térmica (k) es una propiedad que describe la capacidad de un material para conducir calor, y se expresa en unidades de $W/(m \cdot K)$ en el Sistema Internacional.

El análisis térmico se realizó con base en la ecuación 1.

$$Q = kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (1)$$

donde Q es el flujo de calor, k la conductividad térmica del material, A el área de transferencia, L el espesor y $(T_2 - T_1)$ la diferencia de temperatura entre las superficies. Esta relación permitió comparar distintos materiales y seleccionar aquellos con propiedades adecuadas para maximizar la eficiencia térmica del sistema.

En la Tabla 1 se presentan los materiales considerados para la construcción del prototipo, junto con sus respectivos valores de flujo de calor. Esta propiedad es fundamental, ya que determina la capacidad de los materiales para transferir calor y, por lo tanto, influye directamente en el desempeño térmico del sistema.

Tabla 1. Conductividad térmica de distintos materiales.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/M*K)
Madera	0.40
Vidrio	0.81
Fibra de vidrio	0.70
Acrílico	0.19
PLDE (polietileno de baja densidad)	0.33

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la Tabla 2 se muestran las dimensiones de los elementos que conforman la estructura del prototipo, las cuales fueron utilizadas para el cálculo del área de transferencia de calor.

Tabla 2. Medidas de los componentes del prototipo.

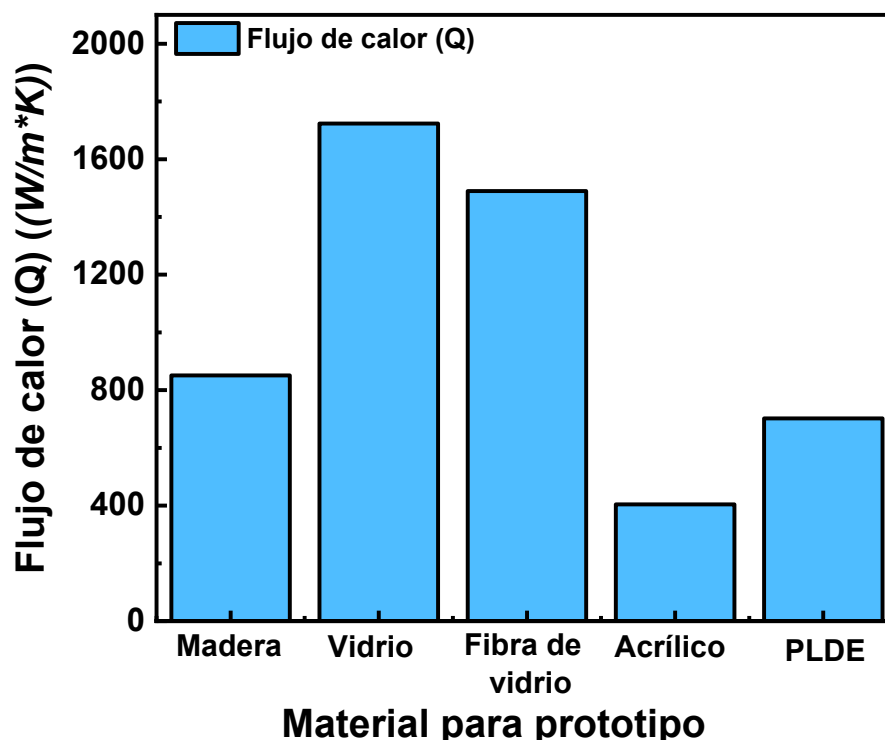
LADO	MEDIDAS (CM)	ÁREA(CM²)
A	19 x 24 x 0.3	456
B	19 x 24 x 0.3	456
C	19 x 24 x 0.3	456
D	19 x 24 x 0.3	456
E	19 x 19 x 0.3	361

Fuente: Elaboración propia.

Con base en el análisis del flujo de los materiales propuestos para la construcción del prototipo, se determinó que el acrílico presenta el menor valor de flujo de calor. Esta característica lo posiciona como el material más adecuado para la estructura del sistema, ya que actúa como aislante térmico, reduciendo las pérdidas de calor y favoreciendo el mantenimiento de bajas temperaturas en la zona de condensación.

Como se muestra en la Figura 5, el acrílico presenta el menor flujo de calor en comparación con los demás materiales evaluados, mientras que materiales como el vidrio y la fibra de vidrio muestran una mayor transferencia térmica. Este comportamiento confirma la conveniencia de emplear materiales con bajo flujo de calor para mejorar la eficiencia del sistema.

Para la obtención de estos valores se utilizaron los siguientes parámetros, un área (A) igual a 456 cm^2 , una temperatura 1 (T_1) igual a 29.7°C , una temperatura 2 (T_2) igual a 31.1°C y un espesor (L) de 0.003 m .

Figura 5. Resultados del cálculo de flujo de calor térmica para los materiales del prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se presentan los valores de conductividad térmica de los materiales considerados para la fabricación de los disipadores de calor del sistema. Esta propiedad es fundamental, ya que determina la capacidad de los materiales para transferir el calor generado en la cara caliente de las celdas Peltier hacia el ambiente, influyendo directamente en la eficiencia del proceso de enfriamiento.

Tabla 3. Conductividad térmica de materiales utilizados en disipadores de calor.

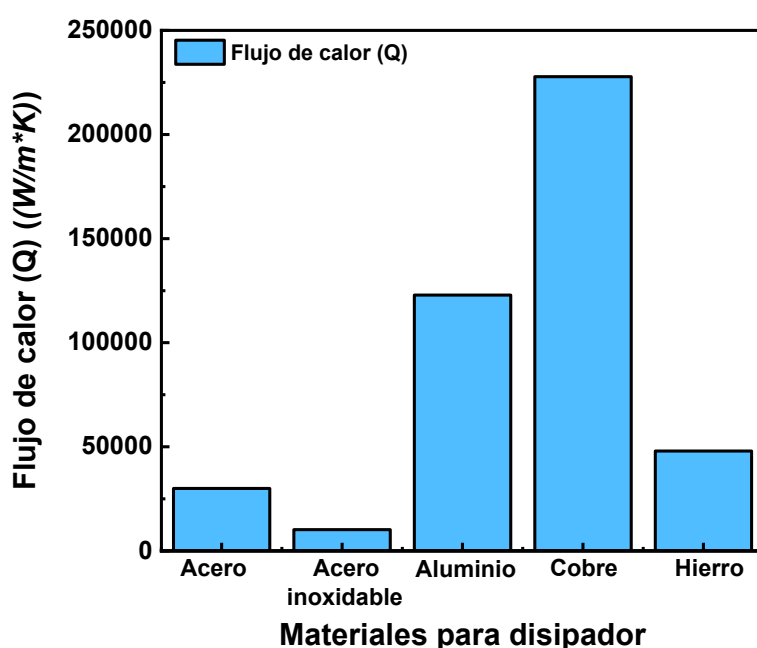
<i>MATERIAL</i>	<i>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/M*K)</i>
Acero	50
Acero inoxidable	17
Aluminio	217
Cobre	380
Hierro	80

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de flujo de calor de los disipadores, se emplearon los siguientes valores, un área (A) igual a 405 cm^2 , una temperatura 1 (T_1) igual a 31.1°C , una temperatura 2 (T_2) igual a 38.5°C y un espesor (L) de 0.05 m .

Los resultados obtenidos, mostrados en la **Figura 6**, indican que el cobre presenta la mayor capacidad de transferencia térmica, seguido del aluminio. Sin embargo, debido al alto costo del cobre, se seleccionó el aluminio como material para los disipadores, ya que ofrece un equilibrio adecuado entre flujo de calor, peso y costo, permitiendo un desempeño eficiente en la disipación de calor. En la Figura 7, se muestran los resultados del cálculo de flujo de calor para los materiales considerados en los disipadores de calor.

Figura 6. Resultados del cálculo de flujo de calor para los materiales del disipador de calor.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Punto de Rocío

El punto de rocío se define como la temperatura a la cual el aire debe enfriarse para que el vapor de agua presente comience a condensarse, dando lugar a la formación de gotas sobre una superficie. Este parámetro es fundamental en el diseño del sistema, ya que determina la temperatura mínima que debe alcanzarse para inducir el proceso de condensación.

Para su estimación, se emplea una relación empírica que vincula la temperatura ambiente y la humedad relativa, como se muestra en la siguiente expresión:

Donde: T_d es la temperatura del punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$), T la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y HR la humedad relativa (%). Esta ecuación permite determinar de manera aproximada la temperatura a la cual se inicia la condensación del vapor de agua en el sistema (Muselli et al., 2006).

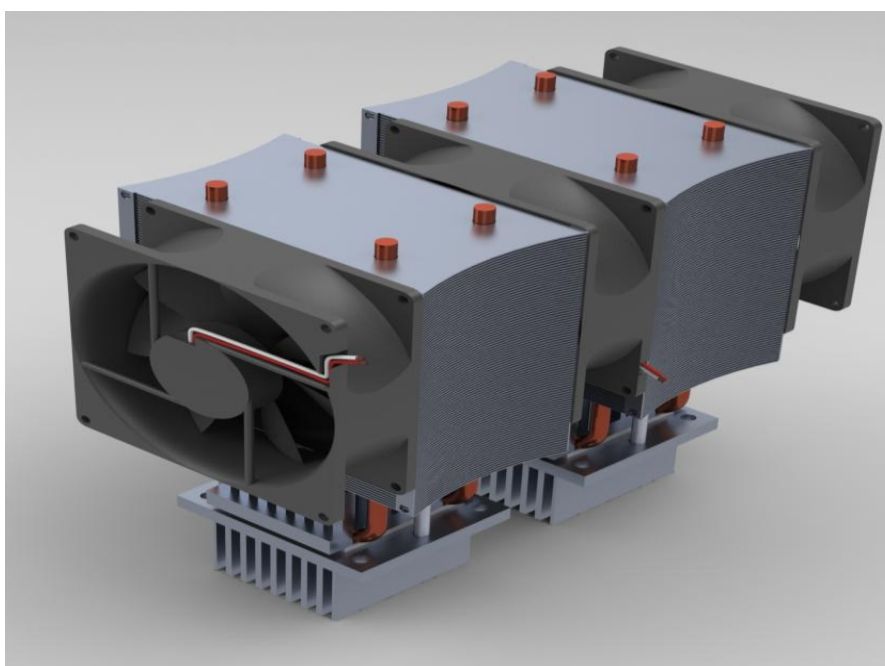
$$T_d = T + 35 \log\left(\frac{HR}{100}\right) \quad (2)$$

Desarrollo del Prototipo

Para inducir la condensación del vapor de agua dentro del sistema, se diseñó un prototipo compuesto por un sistema de enfriamiento (Figura 7) y un sistema de control (Figura 8), los cuales operan de manera integrada para alcanzar y mantener condiciones cercanas al punto de rocío.

El sistema de enfriamiento está constituido por dos celdas Peltier de 12 W cada una, encargadas de generar el gradiente térmico necesario para la condensación. En la cara caliente, se emplean dos disipadores de aluminio acoplados a tres ventiladores de corriente directa (DC) de 9 pulgadas de diámetro, cuya función es remover el calor y evitar la acumulación térmica. En la cara fría, se incorporan disipadores adicionales que actúan como superficies de condensación, favoreciendo la formación y recolección de gotas de agua.

Figura 7. Sistema de enfriamiento del prototipo basado en celdas Peltier, que incluye disipadores de aluminio y ventiladores en la cara caliente para la remoción de calor, así como superficies de condensación en la cara fría.

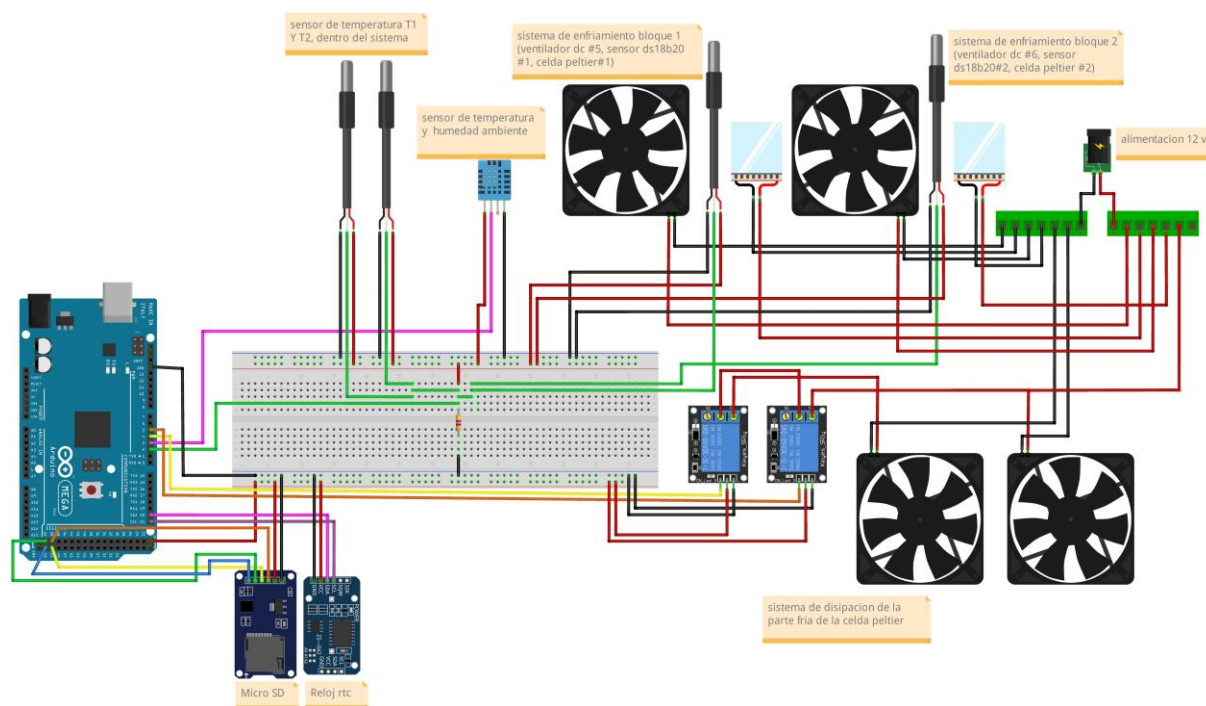


Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el sistema de control se basa en una placa Arduino Mega, responsable de la adquisición, procesamiento y registro de variables como temperatura, humedad relativa y tiempo. Para ello, se integran cuatro sensores de temperatura DS18B20 distribuidos en puntos estratégicos del sistema, así como un sensor de temperatura y humedad DHT11 para el monitoreo de las condiciones ambientales.

Adicionalmente, el prototipo incorpora un módulo de reloj en tiempo real (RTC) para el registro temporal de los datos, un módulo microSD para su almacenamiento, y dos relevadores que permiten la conmutación de las celdas Peltier, facilitando el control automatizado del sistema.

Figura 8. Sistema de control del prototipo basado en Arduino Mega, encargado de la adquisición de datos (temperatura y humedad), el registro de información y la activación de las celdas Peltier mediante relevadores.



Fuente: Elaboración propia.

Control del Punto de Rocío y Diseño del Prototipo

Para la estimación del punto de rocío, la Ecuación 2 fue implementada en la placa Arduino Mega, permitiendo calcular en tiempo real la temperatura de condensación a partir de las mediciones de temperatura y humedad relativa del ambiente. Estos datos son adquiridos continuamente por el sistema y procesados de forma automática para determinar la condición de operación requerida.

Con base en este cálculo, el sistema de control activa las celdas Peltier mediante relevadores cuando la temperatura de la superficie de condensación es superior al punto de rocío. A medida que las celdas reducen la temperatura, un sensor monitorea continuamente la condición térmica del sistema. Una vez alcanzado el punto de rocío, el controlador desactiva las celdas, interrumpiendo el suministro de energía.

Este esquema de control tipo **ON/OFF** permite evitar que la temperatura descienda por debajo del punto de congelación, previniendo la formación de hielo sobre la superficie de condensación. Como resultado, se mantiene un ciclo continuo de operación que favorece la condensación del vapor de agua y la generación sostenida de gotas dentro del sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez construido el prototipo (Figura 9), se realizaron pruebas experimentales en dos intervalos horarios con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones ambientales: de 00:19 a 01:19 horas y de 14:12 a 15:12 horas. Durante la primera prueba (00:19–01:19 h), se registraron un total de 720 mediciones con un intervalo de 4 segundos entre cada una, utilizando un sistema de adquisición de datos almacenado en una memoria microSD.

Los valores promedio al inicio y final de la prueba se muestran en la Tabla 5, mientras que la evolución de la temperatura en las celdas Peltier se presenta en la Figura 10.

Tabla 4. Parámetros registrados durante la prueba 1.

	INICIO	FINAL
Fecha	21/05/2024	21/05/2024
Hora	00:19:59	01:19:09
Temperatura celdas Peltier (°C)	7.25	7.75
Temperatura 1, parte superior (°C)	30.87	30.19
Temperatura 2, parte inferior (°C)	29.69	29.44
Temperatura ambiente (°C)	30.8	30.2
Humedad relativa (%)	45	47
Temperatura promedio (°C)	30.28	29.81
Temperatura punto de rocío (°C)	17.00	17.3

Fuente: Elaboración propia.

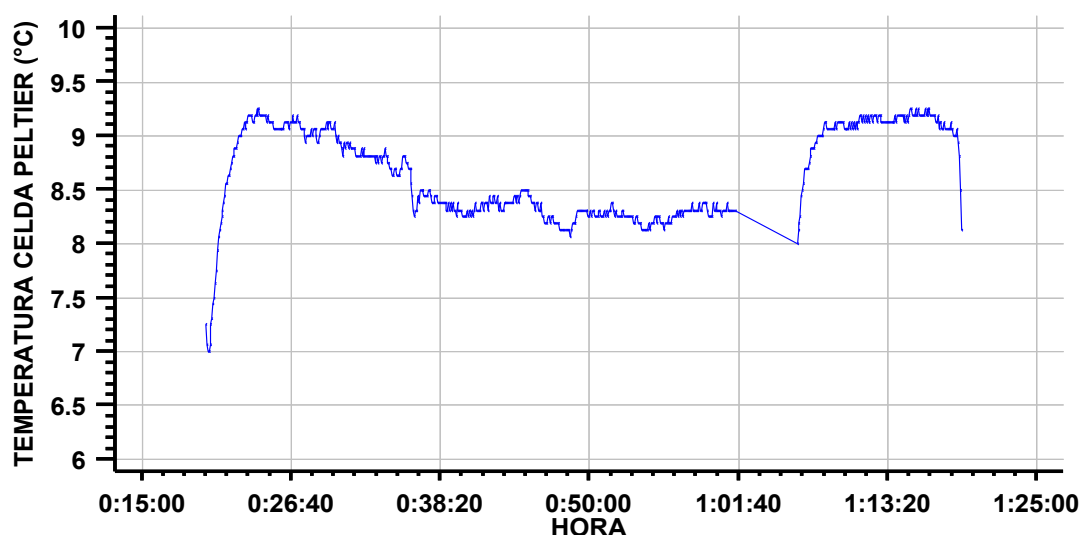
A partir de los resultados, se observa que la temperatura de las celdas Peltier se mantuvo en un rango de aproximadamente 7.25 a 7.75 °C, valor significativamente inferior al punto de rocío

calculado ($\approx 17^\circ\text{C}$). Esta diferencia térmica indica que el sistema fue capaz de generar las condiciones necesarias para inducir la condensación del vapor de agua presente en el aire.

Asimismo, la temperatura ambiente se mantuvo relativamente estable, con valores cercanos a 30°C , mientras que la humedad relativa osciló entre 45% y 47%. Estas condiciones, combinadas con el enfriamiento generado por las celdas, favorecieron la formación continua de gotas en la superficie de condensación.

La Figura 10 muestra el comportamiento térmico de las celdas Peltier, evidenciando una operación estable durante todo el intervalo de prueba, lo que confirma la capacidad del sistema para mantener condiciones adecuadas de condensación de manera sostenida.

Figura 9. Comportamiento de la temperatura de la celda Peltier, prueba 1.



Fuente: Elaboración propia.

Durante la primera prueba, se obtuvo una captación de agua de 15 mL en un periodo de una hora, bajo condiciones de temperatura ambiente entre 28.91°C y 30.28°C y una humedad relativa de 45 % a 47 %. A partir de estos valores, el sistema de control basado en Arduino estimó un punto de rocío en el rango de 17.0°C a 17.3°C .

El sistema de enfriamiento logró reducir la temperatura de las celdas Peltier hasta aproximadamente 7.25°C , lo que representa una diferencia de cerca de 10°C por debajo del punto de rocío, condición suficiente para inducir la condensación del vapor de agua y generar un goteo continuo dentro del sistema.

Para la segunda prueba, realizada entre las 14:12 y 15:12 horas, se mantuvo el mismo esquema experimental, registrando 720 mediciones con un intervalo de 4 segundos, almacenadas automáticamente en una memoria microSD. Los resultados se resumen en la Tabla 5, mientras que el comportamiento térmico del sistema se presenta en la Figura 11.

Tabla 5. Parámetros registrados durante la prueba 2.

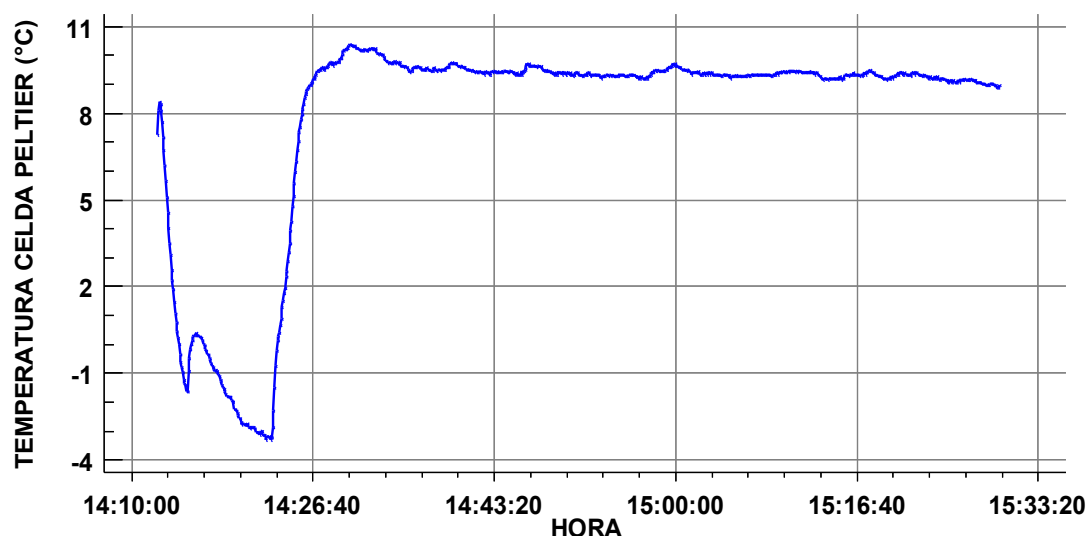
	<i>INICIO</i>	<i>FINAL</i>
Fecha	07/06/2024	07/06/2024
Hora	14:12:25	15:12:02
Temperatura celdas Peltier (°C)	7.25	9.38
Temperatura 1, parte superior (°C)	27.50	28.37
Temperatura 2, parte inferior (°C)	28.44	29.44
Temperatura ambiente (°C)	27.9	27.6
Humedad relativa (%)	57	61
Temperatura promedio (°C)	27.96	28.19
Temperatura punto de rocío (°C)	18.6	19.99

Fuente: Elaboración propia.

En esta segunda prueba, la temperatura de las celdas Peltier osciló entre 7.25 °C y 9.38 °C, mientras que el punto de rocío calculado se encontró en un rango de 18.6 °C a 19.99 °C, debido a un incremento en la humedad relativa (57 % a 61 %).

Como se observa en la Figura 10, el sistema mantuvo un comportamiento térmico estable, aunque con temperaturas ligeramente superiores en comparación con la prueba nocturna. No obstante, la diferencia entre la temperatura de las celdas y el punto de rocío se mantuvo suficiente para permitir la condensación del vapor de agua.

En comparación con la primera prueba, las condiciones de mayor humedad relativa favorecieron un incremento en el punto de rocío, lo que puede contribuir a mejorar el proceso de condensación. Sin embargo, el aumento en la temperatura de las celdas sugiere una mayor carga térmica del sistema durante el periodo diurno, lo que podría afectar la eficiencia global del prototipo.

Figura 10. Comportamiento de la temperatura de la celda Peltier, prueba 2.

Fuente: Elaboración propia.

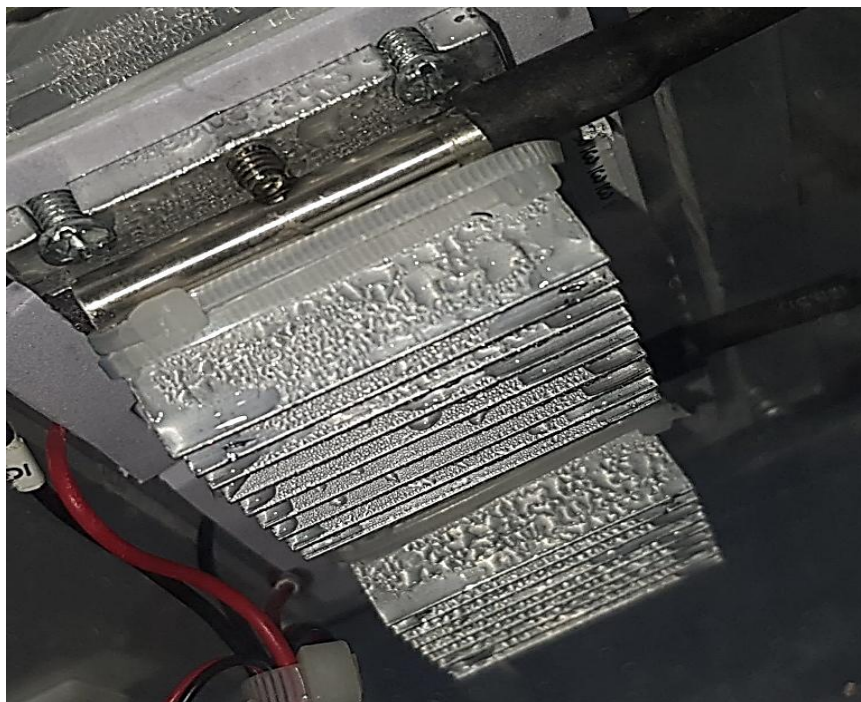
En esta prueba se obtuvo una captación de agua de 14 mL en un periodo de una hora, bajo condiciones de temperatura ambiente entre 27.96 °C y 28.19 °C y una humedad relativa de 57 % a 61 %. A partir de estos valores, el sistema estimó un punto de rocío en el rango de 18.6 °C a 19.99 °C.

El sistema de enfriamiento del prototipo logró reducir la temperatura hasta aproximadamente 7.25 °C, generando una diferencia térmica superior a 10 °C por debajo del punto de rocío, condición suficiente para inducir la condensación del vapor de agua y mantener un proceso continuo de goteo.

En la Figura 11 se observa la formación de microgotas sobre la superficie metálica del disipador de aluminio, evidenciando el proceso de condensación generado durante la operación del sistema. La disminución de temperatura en la cara fría del módulo termoelectrónico provoca que el aire circundante alcance su punto de rocío, favoreciendo la acumulación de humedad en las aletas del disipador.

Este comportamiento confirma el funcionamiento adecuado del sistema de enfriamiento y respalda la viabilidad del prototipo para la captación de agua atmosférica bajo condiciones controladas.

Figura 11. Formación de microgotas de agua sobre la superficie del disipador de aluminio, resultado del proceso de condensación inducido por el enfriamiento de las celdas Peltier.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El diseño y desarrollo del prototipo de captación de agua atmosférica basado en celdas Peltier demostró la viabilidad de esta tecnología para la obtención de agua a partir del vapor presente en el aire. Mediante el control de la temperatura y la adecuada selección de materiales, el sistema fue capaz de alcanzar condiciones por debajo del punto de rocío, promoviendo la condensación y la formación continua de gotas sobre los disipadores de aluminio.

Los resultados experimentales evidenciaron un desempeño estable del sistema en distintos horarios. En condiciones nocturnas, con una humedad relativa de 45–47 %, se obtuvo una producción de 15 mL/h, mientras que en condiciones diurnas, con una humedad de 57–61 %, se registró una producción de 14 mL/h. Estos resultados confirman que el sistema opera de manera consistente, aunque su rendimiento está influenciado por variables ambientales como la temperatura y la humedad relativa.

Asimismo, el sistema de control basado en Arduino permitió regular el funcionamiento de las celdas Peltier de forma automática, optimizando el proceso de condensación y evitando la formación de hielo. La selección de materiales, particularmente el uso de acrílico como aislante

térmico y aluminio como disipador, contribuyó significativamente al desempeño térmico del prototipo, logrando un equilibrio adecuado entre eficiencia y costo.

No obstante, el sistema presenta limitaciones relacionadas con su eficiencia energética y capacidad de producción, lo que sugiere la necesidad de optimizar el diseño térmico y el consumo eléctrico para aplicaciones a mayor escala.

En este sentido, el prototipo desarrollado representa una alternativa prometedora para la captación de agua atmosférica en zonas con estrés hídrico. Como trabajo futuro, se propone mejorar la eficiencia del sistema, incorporar estrategias de control más avanzadas y evaluar su escalabilidad bajo diferentes condiciones ambientales.

REFERENCIAS

- Agam, N., & Berliner, P. R. (2006). Dew formation and water vapor adsorption in semi-arid environments—A review. *Journal of Arid Environments*, 65(4), 572–590. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2005.09.004>
- Alrasheed, A., Hernandez, L., & Wiltshire, A. (2023). The Dedication to Beautiful Structures (Dr. Omar Yaghi). *Berkeley Scientific Journal*, 27(2). <https://doi.org/10.5070/bs327262060>
- Cazares-Palacios, I. M., Valdés-García, K. P., Arce, A. de, Cazares-Palacios, I. M., Valdés-García, K. P., & Arce, A. de. (2021). Estrategias de las mujeres del noreste de México para la sostenibilidad de la vida frente a la escasez del agua. *Región y Sociedad*, 33, e1415. <https://doi.org/10.22198/RYS2021/33/1415>
- Dinesh Kumar, M. (2022). Water Security in India: Three Scenarios for 2040. 359–381. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0185-0_18
- Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-03482014000200008&script=sci_arttext
- Informe del Medio Ambiente. (n.d.). Retrieved May 6, 2026, from <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- Jarimi, H., Powell, R., & Riffat, S. (2020). Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. In *International Journal of Low-Carbon Technologies* (Vol. 15, Number 2, pp. 253–276). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072>

- Khalil, B., Adamowski, J., Shabbir, A., Jang, C., Rojas, M., Reilly, K., & Ozga-Zielinski, B. (2016). A review: dew water collection from radiative passive collectors to recent developments of active collectors. *Sustainable Water Resources Management*, 2(1), 71–86. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0038-z>
- Klemm, O., Schemenauer, R. S., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Van Heerden, J., Reinhard, D., Gherezghiher, T., Olivier, J., Osses, P., Sarsour, J., Frost, E., Estrela, M. J., Valiente, J. A., & Fessehayee, G. M. (2012). Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. In *Ambio* (Vol. 41, Number 3, pp. 221–234). <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0247-8>
- Martínez Austria, P. F., Díaz-Delgado, C., & Moeller-Chavez, G. (2019). Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. *Ingeniería Del Agua*, 23(2), 107–121. <https://doi.org/10.4995/IA.2019.10502>
- Muselli, M., Beysens, D., & Milimouk, I. (2006). A comparative study of two large radiative dew water condensers. *Journal of Arid Environments*, 64(1), 54–76. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2005.04.007>
- Sanaye, S., Shourabi, A., & Borzuei, D. (2023). Sustainable water production with an innovative thermoelectric-based atmospheric water harvesting system. *Energy Reports*, 10, 1339–1355. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2023.07.062>

© Los autores. Este artículo se publica en Prisma ODS bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esto permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, incluidos fines comerciales, siempre que se otorgue la atribución adecuada a los autores y a la fuente original.



: <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i3.300>

Cómo citar este artículo (APA 7ª edición):

Gutiérrez Álvarez, Y. A. ., López Sesenes, R. ., Oubram, O. ., & Saldarriaga Noroña, H. A. . (2026). Diseño de Prototipo para la Captación de Agua Atmosférica por Medio de Celdas Peltier. *Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria Sobre Desarrollo Sostenible*, 5(3), 433-453. <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i3.300>