

# Optimización de calentador solar de agua mediante la integración de espejos inclinados

Gonzalo Reyes Alonso <sup>1,\*</sup>, Edgar Estrada Cruz <sup>1</sup> y Ismael Barrera González <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/ITS del Occidente del Estado de Hidalgo, Ingeniería Electromecánica, México

\* Correspondencia: greyes@itsoeh.edu.mx

**Resumen:** De acuerdo con los compromisos internacionales de México para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, es prioritario impulsar tecnologías sostenibles que reduzcan la dependencia de combustibles fósiles como el gas LP o la leña. Los calentadores solares de agua representan una alternativa eficiente al aprovechar la radiación solar para disminuir el consumo energético en los sectores doméstico y rural. Este estudio analiza la mejora de un calentador solar comercial de 200 litros mediante la incorporación de espejos reflectores para aumentar el calor útil. Se evaluaron cuatro configuraciones: sin espejos y con espejos en ángulo de  $\alpha = 0^\circ C$ ,  $8.49^\circ C$  y  $30^\circ C$ . Los experimentos se realizaron en Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México, registrando temperatura del agua, radiación solar, temperatura ambiente y velocidad del viento. Los resultados muestran que la configuración base alcanzó  $43^\circ C$ ; los espejos en ángulo de  $0^\circ C$  aumentaron la temperatura a  $45^\circ C$ , mientras que los espejos en ángulo  $8.49^\circ C$  alcanzaron  $48^\circ C$ , y finalmente los espejos con ángulo de  $30^\circ C$  con un valor máximo de  $50.5^\circ C$  logrando una mejora de  $+7.5^\circ C$ . Estos hallazgos demuestran que los reflectores angulados ofrecen una estrategia práctica y de bajo costo para mejorar sistemas térmicos comerciales.

**Keywords:** Calentador solar de agua, Espejos reflectores, Calor útil, Energía renovable

**Citar este trabajo:** Reyes, G.; Estrada, E.; Barrera, I. Optimización de calentador solar de agua mediante la integración de espejos inclinados. *REIA* 2025, 9, 4.

Recibido: 11/11/2025  
Aceptado: 04/12/2025  
Publicado: 27/02/2026

## 1. Introducción

En un mundo consciente del uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de fuentes renovables, las propuestas de mejora en tecnologías existentes se vuelve una tarea fundamental debido al impacto ambiental y social que de estas se derivan. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de París 2015, México se comprometió a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 22% para 2030 [1].

El cumplimiento del objetivo de París 2015 enfrenta diversos retos, uno de los principales, es la fuerte dependencia de combustibles como el gas LP en México; el cual genera gases de efecto invernadero, liberando compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y partículas en suspensión (PM) [2]; representan riesgos tanto para la salud humana como para los ecosistemas [3]. Además, se suma la propiedad altamente inflamable del gas LP y en caso de fugas puede provocar daños a la calidad del aire y del suelo. De acuerdo con Michanowicz et al. las estrategias destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero tienen el potencial de lograr reducciones conjuntas en fuentes comunes de otros contaminantes [4].

A pesar de sus efectos negativos, el gas LP ocupa un lugar primordial en la vida cotidiana y en el desarrollo social y económico de México. Alrededor del 75% de los

hogares mexicanos lo utilizan como principal fuente de energía, ya que constituye una opción más limpia y eficiente que otros combustibles tradicionales empleados en el sector doméstico, como la leña o el carbón de acuerdo a lo reportado por la Secretaría de Energía en su Prospectiva de Gas LP 2017-2031 [5].

Además, la leña continúa siendo una fuente energética de gran relevancia en México, especialmente en comunidades rurales. Aunque su consumo resulta difícil de cuantificar debido a las diferencias culturales, regionales y socioeconómicas, la Secretaría de Energía estima que su uso sigue siendo común [6]. El Balance Nacional de Energía (BNE) reportó que, en 2019, la leña representó el 26% del consumo final de energía en el sector residencial [7]; Manzano et al. calculan que alrededor de 4.5 millones de hogares y 18 millones de personas que dependían de ella [8]. Sin embargo, el uso generalizado de gas LP y leña no elimina la necesidad de explorar alternativas sostenibles que reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles.

Considerando este panorama, resulta indispensable promover la mejora de las tecnologías actuales y potenciar el aprovechamiento de fuentes renovables, en particular la energía solar. México, gracias a su ubicación geográfica, cuenta con uno de los niveles de radiación solar más altos del mundo, con promedios diarios que oscilan entre 5.66 y 6.15  $kWh/m^2$  en gran parte de su territorio [9]. Este recurso natural inagotable ofrece una oportunidad única para impulsar tecnologías sostenibles como los calentadores solares de agua, que representan una alternativa eficiente, económica y ecológica frente al uso de gas LP y otros combustibles fósiles [10].

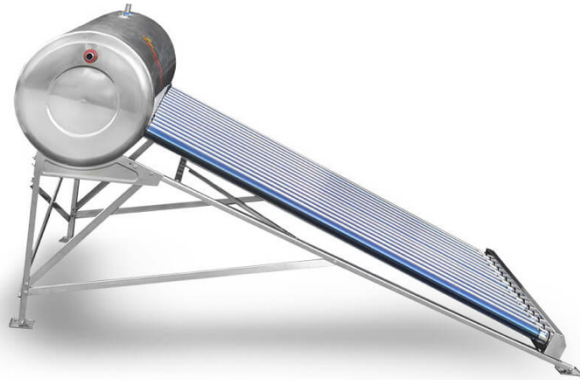
La implementación de calentadores solares contribuye significativamente a reducir el consumo de combustibles fósiles y, en consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero, además de disminuir los costos energéticos a nivel doméstico, ya que tras la inversión inicial los gastos operativos son prácticamente nulos [10]. Estas tecnologías resultan especialmente valiosas en contextos de pobreza energética, donde permiten a millones de personas acceder a mejores condiciones de higiene, salud y bienestar. Asimismo, su impacto se extiende a sectores estratégicos como el turismo, la educación y la salud pública, al garantizar la disponibilidad de agua caliente en entornos con alta demanda y recursos limitados.

Por lo anterior, este trabajo se centra en mejorar el calor útil de un calentador solar tradicional mediante la integración de un componente clave, espejos reflectores inclinados. El objetivo es innovar en el aprovechamiento de la radiación solar en calentadores de agua de tubos mediante la incorporación de espejos inclinados. Esta adaptación busca no solo mejorar el rendimiento del calentador, sino también ofrecer una alternativa sostenible, económica y accesible para calentar agua en entornos domésticos y rurales.

El artículo está organizado como sigue: en la sección 2 encontrara el desarrollo de prototipo, describiendo materiales, equipos y configuraciones del calentador solar de agua; además, se explica la metodología aplicada y el lugar de los ensayos, las condiciones ambientales y las variables medidas; para la sección 3 se presentan los datos obtenidos y se analizan las diferencias entre las configuraciones. Finalmente, en la sección 4 se destacan los principales hallazgos.

## 2. Materiales y Métodos

Para el desarrollo del sistema se eligieron equipos y materiales de uso común y de fácil acceso; así como considerar sus propiedades térmicas y ópticas. A continuación se describen los componentes que integran el sistema y, posteriormente, se muestran las configuraciones analizadas en este trabajo.



**Figura 1.** Fotografía de calentador solar de agua comercial.

### 3.1. Equipos y material

El elemento principal bajo estudio es el calentador solar de agua, para este proyecto se eligió uno del tipo comercial con las siguientes características: sistema de baja presión con estructura tubular metálica de acero inoxidable, caracterizado por su bajo costo, una capacidad de 200 litros y 15 tubos (véase la Figura 1).

En la Figura 2 se puede observar la disposición de los tubos del calentador solar, ocupa un área total de  $1.91149 m^2$ . Sin embargo, la radiación solar incide de manera directa únicamente sobre la superficie superior de los tubos, cuya área efectiva corresponde a  $1.44669 m^2$ . Esto implica que el 24.316% del espacio disponible del arreglo de tubos no recibe radiación útil, limitando el aprovechamiento energético del sistema.

Con el objetivo de reducir esta pérdida y redirigir la radiación hacia las superficies activas del colector (tubos), se consideró la implementación de un montaje experimental con un par de espejos planos, cada uno con dimensiones de  $1.08 m \times 0.335 m$ , lo que proporciona un área reflectora total de  $0.7236 m^2$ . Estos espejos permiten ampliar la captación efectiva de radiación, concentrándola sobre los tubos y, en consecuencia, mejorar el desempeño térmico del calentador solar, cubriendo un área de  $0.1736 m^2$ , esto significa un porcentaje extra 9.085% del área total.



**Figura 2.** Fotografía de área total que abarcan los tubos del calentador solar de agua.

La investigación se enfocó en revisar cuatro configuraciones del calentador solar de agua, descritas a continuación:

1. El calentador solar operó únicamente con sus tubos receptores, sin el uso de espejos auxiliares, con el objetivo de establecer una línea base de su rendimiento térmico sin intervención externa.
2. Se incorporaron espejos planos colocados por debajo de los tubos con una inclinación  $\alpha = 0^\circ$  respecto al plano inclinado de la estructura del colector. En este caso, con el uso de espejos comerciales, se abarca un porcentaje de área extra del  $9.085 \text{ m}^2$  (ver Figura 3).



**Figura 3.** Fotografía del calentador solar de agua con espejos en ángulo  $\alpha = 0^\circ$ .

3. En la tercera, se incorporaron espejos planos colocados por debajo de los tubos con una inclinación de  $\alpha = 8.49^\circ$  respecto al plano inclinado de la estructura del colector (ver Figura 4).



**Figura 4.** Fotografía del calentador solar de agua con espejos en ángulo  $\alpha = 8.49^\circ$

4. En la última configuración, los espejos planos colocados por debajo de los tubos con una inclinación de  $\alpha = 30^\circ$  respecto al plano inclinado de la estructura del colector (ver Figura 5).



**Figura 5.** Fotografía del calentador solar de agua con espejos en ángulo  $\alpha = 30^\circ$ .

El propósito de esta disposición de los espejos en las configuraciones de 2 a 4 fue redirigir y concentrar la radiación incidente hacia la superficie de los tubos, con el fin de incrementar la absorción de energía térmica y, en consecuencia, mejorar el calor útil. El valor de  $\alpha$  corresponde a una condición de inclinación fija y físicamente realizable, seleccionada como caso de referencia para evaluar el comportamiento del sistema y el desempeño de la metodología propuesta. Dicho ángulo se encuentra dentro de un rango típico de operación y permite garantizar estabilidad geométrica y coherencia con las dimensiones del sistema analizado. El objetivo principal del trabajo no es determinar el ángulo óptimo, sino demostrar la validez del enfoque propuesto ante una configuración específica, manteniendo constantes los parámetros geométricos. No obstante, el método puede extenderse a otros valores de  $\alpha$  sin pérdida de generalidad.

Adicionalmente, durante las pruebas se emplearon instrumentos de medición como lo son:

- La irradiancia solar se midió mediante un piranómetro con un rango de 0.1–1999.9 W/m<sup>2</sup>, una resolución de 0.1 W/m<sup>2</sup> y una exactitud de  $\pm(10\%$  de la lectura + 2 dígitos). El sensor presenta una respuesta espectral de 340–1100 nm, una frecuencia de muestreo de 2.5 Hz y una deriva inferior a  $\pm 1.5\%$  anual.
- La velocidad del viento se midió mediante un mini-anemómetro UT-363, con un rango de medición de 0–30 m/s y una resolución de 0.1 m/s, presentando una exactitud de  $\pm(5\%$  de la lectura + 0.5 m/s).
- La temperatura se midió mediante un termómetro de laboratorio de columna de alcohol rojo, de uso general, con una división de escala de 1 °C y una precisión aproximada de  $\pm 3$  °C. El instrumento es de inmersión parcial, lo cual fue considerado durante el procedimiento de medición para asegurar lecturas consistentes.

### 3.2. Pruebas experimentales

Los experimentos se llevaron a cabo en Mixquihuala de Juárez, estado de Hidalgo, México, en la ubicación geográfica 20.204169° de latitud y  $-99.222285^\circ$  de longitud, a una altitud de 2000.2 m.s.n.m. El colector solar fue instalado con orientación hacia el sur y una inclinación de los tubos de 20°. Las mediciones se realizaron durante el periodo comprendido entre los meses de abril y octubre de 2025, en un horario de 10:00 a 14:00 horas (GMT-6), con intervalos de muestreo de una hora.

Además, previo a tomar las mediciones, se procedió al drenado del calentador solar con el fin de restablecer la temperatura inicial del agua a condiciones ambientales antes de iniciar cada prueba. Sin embargo, en la etapa actual de proyecto no se cuenta con un sistema que permita tener el control de la temperatura inicial. Las variables registradas incluyeron factores ambientales relevantes, tales como la temperatura ambiente, la temperatura del agua, la incidencia de radiación solar y las condiciones meteorológicas, considerando específicamente la velocidad del viento en cada intervalo de muestreo.

La mejora de temperatura se analiza mediante la comparación relativa entre la configuración base y la propuesta bajo cada escenario específico, de esta forma, la mejora térmica se identifica mediante la temperatura observada respecto al caso de referencia, independientemente de la variabilidad ambiental.

### 3.3. Calor útil

El calor útil producido por el calentador solar se determina a partir del incremento de temperatura del agua, considerando la capacidad térmica del fluido y el volumen total del sistema, de acuerdo con la expresión:

$$Q_u = m C_p \Delta t$$

donde  $m$  es la masa de agua contenida en el calentador,  $C_p$  el calor específico del agua y  $\Delta t$  es la diferencia de las temperaturas final e inicial promedio registradas experimentalmente.

### 3. Resultados

Para el primer caso, donde el calentador de agua solar se encuentra sin espejos, se tienen los resultados mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Resultados experimentales del calentador solar sin espejo.

Hora	Temp. agua (°C)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Vel. viento (m/s)	Temp. amb. (°C)
<b>30 de abril</b>				
10:00	27.0	275.0	1.7	20.0
11:00	33.0	682.0	1.8	22.0
12:00	37.0	857.0	2.0	24.0
13:00	42.0	1021.0	1.0	26.0
14:00	43.0	990.0	1.1	27.0
<b>2 de mayo</b>				
10:00	26.0	635.0	1.1	21.0
11:00	31.0	760.0	1.5	23.0
12:00	37.0	930.0	5.0	25.0
13:00	42.0	1030.0	1.3	27.0
14:00	43.0	990.0	1.3	28.0

De acuerdo a los datos recabados, se obtiene un incremento promedio diario de  $+16.5^{\circ}\text{C}$  (de  $26.5^{\circ}\text{C}$  a  $43.0^{\circ}\text{C}$ ), para una radiación promedio de  $817\text{ W/m}^2$ . Para este caso se tiene una temperatura máxima alcanzada de  $43^{\circ}\text{C}$ . Estos datos se toman como referencia para valorar el comportamiento de la inclusión de los espejos.

En el segundo caso de estudio se considera la colocación de placa de espejo con un ángulo de inclinación  $\alpha = 0^{\circ}$  (paralela al plano de los tubos del calentador), obtenido los resultados que se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados experimentales con espejos en ángulo  $\alpha = 0^{\circ}$  respecto a los tubos.

Hora	Temp. agua (°C)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Vel. viento (m/s)	Temp. amb. (°C)
<b>29 de mayo</b>				
10:00	22.0	653.0	1.4	24.0
11:00	28.0	1046.0	1.0	26.0
12:00	32.0	884.0	2.0	28.0
13:00	37.0	653.0	1.6	30.0
14:00	42.0	724.0	1.8	31.0
<b>30 de mayo</b>				
10:00	23.0	500.0	1.6	24.0
11:00	29.0	961.0	1.2	26.0
12:00	36.0	829.0	1.3	28.0
13:00	40.0	880.0	1.2	30.0

14:00	45.0	795.0	1.1	31.0
-------	------	-------	-----	------

Los resultados de esta configuración muestran que hay un incremento promedio diario de  $+21^{\circ}\text{C}$  (de  $22.5^{\circ}\text{C}$  a  $43.5^{\circ}\text{C}$ ), para una radiación promedio de  $792.5\text{ W/m}^2$ , en esta situación se tiene una temperatura máxima alcanzada de  $45^{\circ}\text{C}$ . Aunque la radiación incidente es menor que en el caso sin espejos, la geometría de la colocación de los espejos permite dirigir la radiación solar hacia los tubos de calentador, esto permite elevar la temperatura, logrando  $+5^{\circ}\text{C}$  respecto al caso base. Sin embargo se debe de considerar que se inicia de una temperatura baja debido a las condiciones climáticas, respecto a los datos de referencia. Se presenta una mejora frente a la configuración 1, pero la temperatura final queda solo  $0.5^{\circ}\text{C}$  por encima del caso base.

Como una tercera propuesta, se consideró la colocación de placas de espejos con un ángulo de inclinación  $\alpha = 8.49^{\circ}$ , generando los resultados que se observan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados experimentales con espejos en ángulo  $\alpha = 8.49^{\circ}$  respecto a los tubos.

Hora	Temp. agua ( $^{\circ}\text{C}$ )	Radiación ( $\text{W/m}^2$ )	Vel. viento (m/s)	Temp. amb. ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>21 de mayo</b>				
10:00	28.0	549.0	1.7	23.0
11:00	33.0	668.0	1.1	25.0
12:00	37.0	823.0	2.0	27.0
13:00	43.0	932.0	5.2	29.0
14:00	48.0	941.0	3.3	30.0
<b>22 de mayo</b>				
10:00	26.0	548.0	1.1	23.0
11:00	30.0	634.0	1.9	25.0
12:00	35.0	800.0	1.3	27.0
13:00	41.0	865.0	0.8	29.0
14:00	46.0	862.0	1.5	30.0

Los datos de esta configuración, donde el espejo es colocado en ángulo  $\alpha = 8.49^{\circ}$ , relevan un incremento promedio diario de  $+20^{\circ}\text{C}$  (de  $27^{\circ}\text{C}$  a  $47^{\circ}\text{C}$ ), para una radiación promedio de  $762.2\text{ W/m}^2$ , en esta situación se tiene una temperatura máxima alcanzada de  $48^{\circ}\text{C}$ . La última configuración considera un aumento del ángulo a  $\alpha = 30^{\circ}$ , la Tabla 4 presenta la información recolectada

**Tabla 4.** Resultados experimentales con espejos en ángulo  $\alpha = 30^{\circ}$  respecto a los tubos.

Hora	Temp. agua ( $^{\circ}\text{C}$ )	Radiación ( $\text{W/m}^2$ )	Vel. viento (m/s)	Temp. amb. ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>21 de octubre</b>				
10:00	25.0	715.0	1.1	18.0
11:00	32.0	865.0	1.3	20.56
12:00	38.5	859.2	1.9	22.8
13:00	45.0	908.6	2.9	23.9
14:00	49.0	1009.0	2.1	24.1
<b>23 de octubre</b>				
10:00	25.0	183.0	1.1	17.2
11:00	30.0	300.5	1.5	19.4
12:00	36.0	1031.5	0.8	22.0
13:00	45.0	908.6	2.9	23.9

14:00	52.0	1012.3	1.1	27.0
-------	------	--------	-----	------

En esta configuración final se observa un incremento promedio diario de  $+23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $48.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para una radiación promedio de  $898\text{ W/m}^2$ , alcanzando una temperatura máxima de  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la más alta entre todas las configuraciones evaluadas. Esto demuestra que el ángulo de  $30^{\circ}$  ofrece una orientación más favorable para la captación solar en el horario de máxima radiación, logrando una mejora sustancial en el calor útil.

Con el fin de complementar el análisis térmico del calentador solar de agua, se evaluó el calor útil producido en cada una de las configuraciones analizadas, considerando el incremento de temperatura del volumen total de agua almacenada (200 L) durante el periodo experimental. En la tabla 5 se observan los valores de ganancia del calor útil.

En la configuración base, sin el uso de espejos reflectores, el sistema produjo un calor útil total de 13,813.8 kJ, el cual se toma como referencia para la comparación del desempeño térmico de las configuraciones modificadas. Este valor corresponde a un incremento térmico promedio de  $+16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La incorporación de espejos planos paralelos al plano de los tubos permitió incrementar el calor útil producido hasta 17,581.2 kJ, lo que representa una ganancia del 21.42 % respecto al caso base. Este aumento confirma que la redirección de la radiación solar hacia los tubos contribuye de manera positiva al aprovechamiento energético del sistema, aun sin un ángulo de inclinación específico.

Para esta configuración, el calor útil alcanzado fue de 16,744.0 kJ, equivalente a una ganancia del 17.5 % en comparación con el calentador sin espejos. Aunque el incremento es menor que el observado con espejos planos, el ángulo de inclinación favorece una captación más homogénea de la radiación durante el periodo de exposición.

La mayor mejora se obtuvo con los espejos inclinados a  $\alpha = 30^{\circ}$ , donde el calor útil producido fue de 19,674.2 kJ, correspondiente a una ganancia del 29.78 % respecto al caso base. Este resultado confirma que dicha inclinación permite una orientación más favorable para la concentración de la radiación solar sobre los tubos, maximizando el aprovechamiento energético del sistema.

**Tabla 5.** Ganancia de calores útiles.

Configuración	Calor útil (kJ)	Ganancia
Sin espejos	13,813.8	0 %
Espejos planos	17,581.2	21.42 %
Espejos en ángulo $\alpha = 8.49^{\circ}$	16,744.0	17.5 %
Espejos en ángulo $\alpha = 30^{\circ}$	19,674.2	29.78 %

#### 4. Discusión

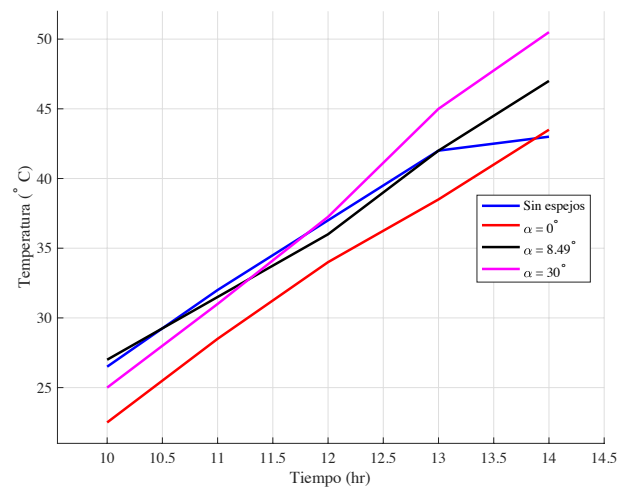
La tabla 6 presenta un resumen de cada uno de los casos.

**Tabla 6.** Comparación global de las configuraciones analizadas.

Configuración	$T_{o,prom}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{f,prom}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Sin espejos	26.5	43	+16.5	43
Espejos planos	22.5	43.5	+21	45
Espejos en ángulo $\alpha = 8.49^{\circ}$	27	48	+20	48
Espejos en ángulo $\alpha = 30^{\circ}$	25	50.5	+23.5	52

En la Figura 6 se muestra la comparación de los promedios por configuración, donde la línea azul corresponde al caso sin espejos, la línea roja a los espejos en ángulo  $\alpha = 0^\circ$ , la línea negra a los espejos con ángulo  $\alpha = 8.49^\circ$  y la línea magenta a los espejos con ángulo  $\alpha = 30^\circ$ .

Se observa que el comportamiento de la temperatura del sistema depende de manera significativa de la configuración de los espejos empleados. La incorporación de espejos en ángulo  $\alpha = 30^\circ$  permite alcanzar la temperatura final más elevada, con un valor máximo promedio de  $50.5^\circ\text{C}$ , lo que confirma un aumento en el calor útil en la concentración y aprovechamiento de la radiación solar. Por su parte, los espejos planos muestran un efecto positivo únicamente en las primeras horas de exposición, aunque su contribución disminuye conforme transcurre el tiempo, resultando en un desempeño limitado, pero es importante que parte de una condición inicial ligeramente abajo respecto a las otras configuraciones.



**Figura 6.** Comparación de la temperatura promedio de las cuatro configuraciones.

El análisis del calor útil producido confirma que el incremento de temperatura observado no solo es puntual, sino que se traduce en una mejora energética cuantificable, siendo la configuración con espejos a  $30^\circ$  la más eficiente desde el punto de vista térmico y energético.

A pesar de los resultados favorables, el trabajo presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los hallazgos. En primer lugar, las pruebas se realizaron bajo condiciones ambientales reales y no controladas, lo que implica variaciones simultáneas de radiación solar, temperatura ambiente y velocidad del viento. Finalmente, el estudio se centró en un número limitado de ángulos de inclinación, sin realizar un proceso de optimización exhaustivo.

Como trabajo futuro, se propone realizar experimentos bajo condiciones ambientales más controladas o mediante bancos de prueba instrumentados que permitan aislar el efecto de cada variable. De igual forma, se plantea llevar a cabo un análisis paramétrico más amplio que considere un rango continuo de ángulos de inclinación, así como el uso de superficies reflectoras con diferentes propiedades ópticas.

## 5. Conclusiones

El análisis experimental mostró que la inclusión de espejos mejora el desempeño térmico del calentador solar de agua. La configuración base, sin espejos, alcanzó una

temperatura máxima de 43°C, mientras que los espejos planos ofrecieron una mejora moderada. La disposición con espejos en ángulo de 30° resultó la más eficiente, logrando hasta 50.5°C en promedio y un incremento de +7.5°C respecto al caso base. Estos resultados confirman que el uso de reflectores en ángulo es una alternativa sencilla para optimizar la captación de energía solar en sistemas comerciales.

**Contribución:** Conceptualización, G. R. A., E. E. C. y I. B. G.; metodología y experimento, G. R. A.; Escritura, revisión y edición, G. R. A., E. E. C. y I. B. G..

**Financiamiento:** Esta investigación fue financiada por Tecnológico Nacional de México, con clave 10374.21-PD.

**Conflicto de interés:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses”.

## Referencias

1. Pauw, P. Nationally Determined Contributions. In *Essential Concepts of Sustainable Finance: An A–Z Guide*; Routledge Taylor & Francis Group: London, UK, 2023; pp. 154–155.
2. Modi, M.; Kimura, Y.; Hildebrandt Ruiz, L.; Allen, D.T. Fine Scale Spatial and Temporal Allocation of NO<sub>x</sub> Emissions from Unconventional Oil and Gas Development Can Result in Increased Predicted Regional Ozone Formation. *ACS ES&T Air* 2024, 2, 130–140.
3. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen, Oxides of Sulfur, and Particulate Matter—Ecological Criteria*; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2020.
4. Michanowicz, D.R.; Lebel, E.D.; Domen, J.K.; Hill, L.A.L.; Jaeger, J.M.; Schiff, J.E.; Krieger, E.M.; Banan, Z.; Goldman, J.S.W.; Nordgaard, C.L.; et al. Methane and Health-Damaging Air Pollutants from the Oil and Gas Sector: Bridging 10 Years of Scientific Understanding. *Physicians, Scientists, and Engineers for Healthy Energy* 2021.
5. Secretaría de Energía. *Prospectiva de Gas LP 2017–2031*. Available online: <https://www.gob.mx> (accessed on 18 September 2025).
6. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México*; CEPAL: Santiago, Chile, 2018. Available online: <https://www.cepal.org> (accessed on 18 September 2025).
7. Gobierno de México. *Balance Nacional de Energía 2023*. Available online: <https://www.gob.mx> (accessed on 18 September 2025).
8. Manzano, F.A.; Abeldaño Zúñiga, R.A.; de Lima, G.N. Use of biomass fuels for cooking and improved biomass stoves in Mexico. In *Sustainable Policies and Practices in Energy, Environment and Health Research*; Springer: Cham, Switzerland, 2021; pp. 625–639.
9. Magaña-González, R.C.; Rodríguez-Hernández, O.; Canul-Reyes, D.A. Analysis of seasonal variability and complementarity of wind and solar resources in Mexico. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 2023, 60, 103456.
10. Nanda, I.R.; Pambudi, N.A.; Aziz, M. Review on the progress of solar water heaters and their future perspectives. *Energy Technol.* 2023, 11, 2300191.