

# Development of a prototype for solar radiation exploitation on galvanized metal roofs in Panama

Dayberto Labastid C.  
Facultad de Mecánica  
Universidad Tecnológica de  
Panamá  
Ciudad de Panamá, Panamá  
dayberto.labastid@utp.ac.pa

Marco Bolobosky  
Facultad de Mecánica  
Universidad Tecnológica de  
Panamá.  
Ciudad de Panamá, Panamá  
marco.boloboski@utp.ac.pa

Arthur James  
Facultad de Mecánica  
Universidad Tecnológica de  
Panamá  
Ciudad de Panamá, Panamá  
arthur.james@utp.ac.pa

Luis Mogollón  
CINEMI  
Universidad Tecnológica de  
Panamá  
Ciudad de Panamá, Panamá  
luis.mogollon@utp.ac.pa

**Abstract**—The solar energy is an inexhaustible resource available in many areas of our planet. The objective of this investigation is to develop a prototype that takes advantage of the incident solar energy on metal roofs of the Republic of Panama. The methodology is based in the design and development of a system that allows to remove the thermal energy available in metal roofs. Experiments were carried out on the solar collector at different water flow rates. It was observed that the water could reach temperatures up to 49.89 °C when recirculating the water 90 minutes with an average radiation of 887.34 W/m<sup>2</sup>. The results obtained support the possibility of using the metal roof for water heating, since there was an overall increase in the energy in of the water proportional to the spectrum of solar radiation incident on the roof.

**Keywords**— solar energy, metallic roof, solar collectors.

**Resumen**—La energía solar es un recurso inagotable disponible en muchas áreas de nuestro planeta. El objetivo de esta investigación es desarrollar un prototipo que aproveche la energía solar incidente en los techos metálicos de la República de Panamá. La metodología se basa en el diseño y desarrollo de un sistema que permite remover la energía térmica disponible en los techos metálicos. Los experimentos se llevaron a cabo en el colector solar a diferentes caudales de agua. Se observó que el agua alcanzó temperaturas de hasta 49.89 °C al recircular el agua durante 90 minutos con una radiación promedio de 887.34 W/m<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos apoyan la posibilidad de utilizar el techo metálico para calentar el agua, ya que hubo un aumento general en la energía del agua proporcional al espectro de radiación solar incidente en el techo.

**Palabras clave**— energía solar, techo metálico, colector solar.

## I. INTRODUCCIÓN

El sol emite cuatro mil veces más energías en la superficie terrestre de la que consumimos, por lo que su aprovechamiento tiene un gran potencial para suplir la demanda energética mundial. La cantidad de energía que incide sobre la parte externa de la atmósfera terrestre está definida por la constante solar cuyo valor es 1366 W/m<sup>2</sup> [1]. Solo una fracción de esta energía alcanzará la superficie de la tierra y la misma dependerá de las condiciones atmosféricas, de la ubicación, así como de la orientación del equipo y del área de captación [1].

La energía solar puede ser aprovechada mediante estas dos formas:

- Conversión fotovoltaica
- Conversión térmica

La conversión fotovoltaica se basa en la transformación directa de los fotones provenientes del sol en electricidad. Esta energía es captada por materiales semiconductores, principalmente, de silicio o de germanio conformando células fotovoltaicas que tienen la capacidad de absorber la radiación lumínica [2].

La conversión térmica se basa en transformar la energía solar en energía térmica y almacenarla en un fluido. La eficiencia de la conversión depende del tipo de cuerpo que esté recibiendo la energía térmica [2]. La conversión térmica puede ser utilizada en: calentamiento de alimentos y agua, sistema de refrigeración, estufas solares, desinfección inmobiliaria de uso diario, aseo personal y lavandería, entre otros. La temperatura alcanzada por los sistemas térmicos depende de la cantidad de fluido a calentar, del área de captación de la energía solar, los materiales empleados para absorber esta energía solar y el clima del lugar [3].

La República de Panamá cuenta con los siguientes tipos de clima: tropical muy húmedo, tropical húmedo, tropical de sabana, tropical muy húmedo de altura y tropical húmedo de altura [4]. Las áreas de las costas caribeñas presentan temperaturas alrededor de 28-29 °C a lo largo del año. En el área de la costa del pacífico, la temperatura sobrepasa los 35°C en la mayoría de los meses del año [5]. La República de Panamá se encuentra en la zona climática tropical, en coordenadas O 80°0'0" longitud y N 9°0'0" latitud, y aunque no está en la línea del ecuador se encuentra en el ecuador térmico y pluviométrico, por lo tanto, presenta condiciones térmicas y pluviométricas similares durante todo el año [6]. Las condiciones climáticas en la República de Panamá causan un aumento de temperatura dentro de las edificaciones.

Según el censo del 2010, el 82 % de los hogares de Panamá están contruidos con techos metálicos, los que debido a sus propiedades térmicas absorben gran parte de la energía solar provocando aumento de temperatura en los recintos. Esto es debido a que esta zona está expuesta a la radiación solar y es la responsable de la comodidad del hogar. La principal desventaja

de este tipo de techo es que en la mayoría de los casos no tienen un material termoaislante, lo cual lleva a un aumento en la carga térmica del recinto. Como resultado, esto provoca un incremento en la temperatura de las edificaciones [7]. Se han realizado investigaciones en diferentes países para mitigar este problema. Por ejemplo, el método de *green roofs* ha sido empleado para disminuir las cargas térmicas. La introducción de plantas y paisajes en las superficies de los edificios es considerada como una técnica que reduce la temperatura del edificio hasta en 20°C y también reduce la energía consumida por los sistemas de aire acondicionado entre 25% y 80% [8]. Se han desarrollado otras investigaciones enfocadas a la disminución de carga térmica de los techos, que involucran los diseños de techos con ladrillos de retención de agua [9] y chimeneas solares [10].

Jefrey I. Kindangen y Markus K. Umboh publicaron en 2017 en Indonesia, el diseño de un techo de enfriamiento por evaporación para disminuir las temperaturas del aire en edificios en los trópicos húmedos. El prototipo se desarrolló en un techo de acero galvanizado de geometría corrugada. La función del diseño fue rociar agua sobre el techo mediante una bomba con el objetivo de disminuir su temperatura, el agua luego de absorber la energía térmica del techo circulaba por un intercambiador de calor y así lograba disminuir su temperatura. El sistema se desarrolló para funcionar de manera cíclica. El diseño mostró ser útil debido a que disminuyó la temperatura del techo de 58°C a 38°C [11]. Sin embargo, el agua calentada no fue utilizada para suplir las necesidades energéticas del recinto.

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un prototipo para aprovechar la radiación solar incidente en los techos de acero galvanizado en la República de Panamá. Durante estas investigaciones, se obtuvieron resultados que muestran que se puede disminuir la temperatura dentro del recinto al implementar sistemas pasivos y activos de remoción o bloqueo del calor. Sin embargo, la energía térmica en los techos puede ser aprovechada para suplir la demanda de este recurso.

## II. METODOLOGÍA

### A. Diseño del prototipo

El prototipo desarrollado pretende aprovechar la energía térmica disponible en el techo metálico. Para ello, se seleccionó un sistema que permitiera remover esta energía térmica disponible. A su vez se consideró un tanque de almacenamiento de agua que está por debajo del área de captación de la energía térmica. Por esta razón, no es posible utilizar el efecto termosifón, el cual es comúnmente utilizado en los colectores solares [12]. Se seleccionó un sistema para la remoción de energía térmica del techo basado en la circulación forzada.

La radiación solar incide directamente sobre los techos metálicos. Sin embargo, una fracción de esta energía es absorbida y el resto es reflejada. El coeficiente de absortividad define qué fracción de la energía puede ser aprovechada por una superficie. En el caso de un techo de acero galvanizado nuevo, esta fracción es de 0.65 de 1. Lo cual indica que es posible absorber el 65 % de la radiación solar incidente. El balance de energía de radiación sobre el techo se expresa en la siguiente expresión:

$$Q_{\text{incidente}} = Q_{\text{reflejada}} + Q_{\text{absorbida}} \quad (1)$$

Donde  $Q_{\text{incidente}}$  es la radiación solar incidente sobre la superficie del techo,  $Q_{\text{reflejada}}$  es la fracción de la radiación que es reflejada y  $Q_{\text{absorbida}}$  es la fracción de la radiación solar que es absorbida. La cantidad de radiación incidente sobre el techo depende del lugar de ubicación del prototipo. El espacio disponible para la construcción del prototipo desarrollado se localizó en la Universidad Tecnológica de Panamá, extensión Tocumen. Por ende, se emplearon datos de irradiación solar de la estación meteorológica del CIHH (Centro de investigación Hidráulica e Hidrotécnicas) que se localizó a 30 metros de la ubicación del prototipo.

El centro CIHH proporcionó los datos de irradiancia solar registradas durante el año 2018, los datos permitieron conocer los meses con mayor irradiancia solar. Esto permitió estimar la energía térmica disponible para ser aprovechada por un metálico. La Fig. 1 muestra la irradiancia solar promedio mensual del año 2018. Se observa que febrero fue el mes que presentó la mayor irradiancia solar. El día 28 de febrero se registró la mayor irradiancia solar del mes, durante este día se registró una irradiancia promedio de 715.22 W/m<sup>2</sup>. Además, se observó que los mayores valores de irradiancia solar ocurrieron durante el intervalo de tiempo de [10:00 am - 15:00 pm].

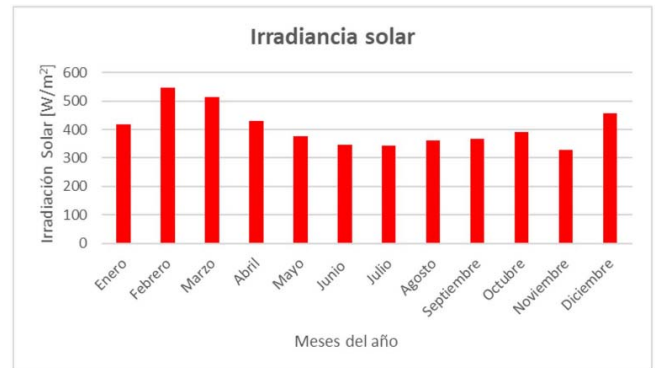


Fig. 1. Irradiancia solar.

La energía disponible para un techo metálico bajo estas condiciones es la siguiente:

$$I = 0.65 \times \left( 715.22 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) = 464.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (2)$$

La Fig. 2 muestra una fotografía térmica de un techo metálico durante la incidencia de radiación solar. Esta información es útil para conocer la distribución de temperatura sobre un techo de acero galvanizado. Se puede observar una mayor temperatura en los valles que en la cresta del techo. La diferencia de temperatura puede ser a la convección natural y forzada sobre la superficie. El área superficial de un techo corrugado es mayor en comparación con una placa plana, al incrementar esta área también aumenta la transferencia de calor con el ambiente. Por lo tanto, la exposición de la cresta promueve una temperatura inferior comparada con el valle [13].

El balance térmico de energía sobre la cresta del techo corrugado se observa en la Fig. 3. Se muestra la transferencia de calor del techo metálico hacia el agua. Se observa que hay una radiación neta absorbida que es transferida al agua. Esto es posible cuando la temperatura del techo sea mayor a la temperatura del agua. Además, se presenta un flujo de calor

hacia la cresta debido a la diferencia de temperaturas de los valles y la cresta. El proceso se invierte si la temperatura del agua es mayor que la temperatura del techo.

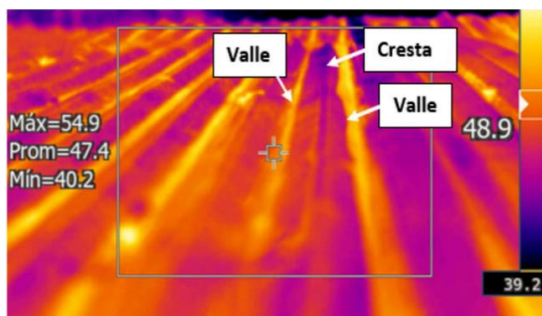


Fig. 2. Fotografía térmica de un techo metálico de geometría corrugada.

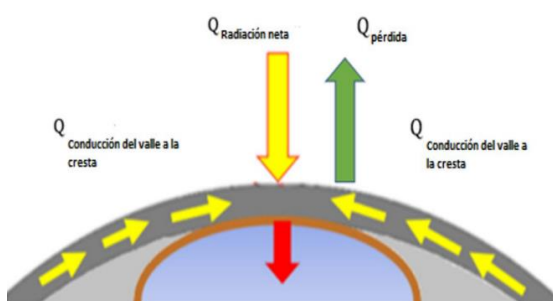


Fig. 3. Flujo de calor sobre la cresta del techo.

La expresión matemática del balance energético es el siguiente

$$A_c K_t \frac{\Delta T}{\Delta x} = A_s h (T_s - T_a) + A_s \epsilon_t (T_{\text{cielo}}^4 - T_s^4) + A_s \alpha_t + 2 A_t K_t \frac{T_{\text{valle}} - T_{\text{cresta}}}{\Delta y} \quad (3)$$

Donde  $A_c$  es el área de contacto entre el techo y la superficie que removerá el calor,  $K_t$  es la conductividad térmica del material que absorbe la energía térmica del techo,  $\Delta T$  es el diferencial de temperatura entre el techo y el material de contacto,  $\Delta x$  es el espesor del material de contacto,  $A_s$  es el área superficial del techo,  $h$  representa el coeficiente de convección del aire en la parte superior del techo,  $T_s$  es la temperatura del techo,  $T_a$  es la temperatura del ambiente,  $\epsilon_t$  es el coeficiente de emisividad del techo,  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzmann,  $T_{\text{cielo}}$  representa la temperatura del cielo,  $\alpha_t$  es el coeficiente de absorptividad del techo,  $G(t)$  representa la radiación solar incidente,  $K_{\text{techo}}$  es la conductividad térmica del techo,  $A_t$  es el área transversal del valle hasta la cresta,  $T_s$  es la temperatura de la superficie,  $T_{\text{valle}}$  es la temperatura del valle,  $T_{\text{cresta}}$  es la temperatura de la cresta,  $\Delta y$  es la longitud del material entre el valle y la cresta.

Se observa en la ecuación (1.3) que los factores que se pueden controlar son el área de contacto y el material de absorción, los otros factores dependen del clima. Los materiales comúnmente utilizados en los intercambiadores de calor para aplicaciones de calentamiento son el aluminio y cobre. Estos materiales son seleccionados debido a su alta conductividad térmica. La conductividad térmica del aluminio es de 205 W/m°C y la del cobre es 376 W/m°C. Por ende, se selecciona el

cobre como el material para transferir la energía térmica del techo al agua.

1) *Geometría de las tuberías*: Se seleccionaron dos 2 tubos de cobre de dimensiones estándares de ½ in y ¾ in, con el objetivo de conocer el tubo que aprovechara mejor el espacio disponible entre el techo y la viga. Se seleccionó la tubería de diámetro de ½ ", debido a que la tubería de diámetro de ¾" resultó ser muy grande para el espacio disponible entre el techo y la viga. Posteriormente, se realizó un cambio de geometría en la dimensiones del tubo de cobre de ½ ". El objetivo fue aumentar el área de contacto con el techo y así incrementar la transferencia de calor entre el tubo y el techo. Para esto, se empleó el software AutoCAD® versión estudiantil para generar elipses que representen aproximaciones de los cambios de áreas en las tuberías. Los perfiles resultantes, se presentan en la Fig. 4. Se observa que una elipse con eje mayor de 6 mm tuvo un mayor segmento en contacto con la cresta del techo. Sin embargo, esta elipse muestra un conflicto con la geometría de la cresta del techo. Por lo tanto, se seleccionó la elipse con eje de 8 mm.

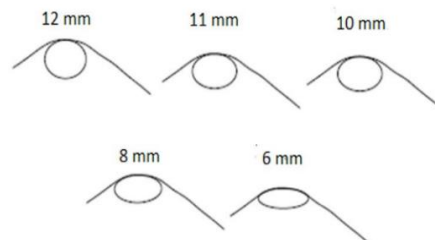


Fig. 4. Diferentes perfiles en contacto con el techo.

Cuando el segmento de contacto es ajustado a 11 mm, el contacto del tubo es aproximadamente seises veces mayor que para el tubo de ½". Como resultado, se obtiene un contacto longitudinal de alrededor 1.82 mm. La longitud de los tubos para el colector solar, se ha fijado en una longitud de 2 metros, debido a esta elección se aprovecha el material de una forma óptima. Posteriormente, se unió los tubos de cobre con uniones comerciales. Para utilizar los accesorios comerciales, no se debió realizar cambios en los bordes de los tubos de cobre. Sin embargo, se realizó un cambio de geometría en los extremos como se muestra en la Fig 5.

El mayor diámetro exterior de los accesorios de uniones, generan una capa de aire cuando son instalados en el techo. Por lo tanto, para mitigar este efecto, se realizó dos inclinaciones con ángulo de 10 ° a una distancia de 15 cm de los bordes de los tubos (Fig. 5).

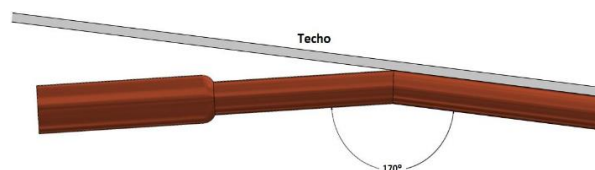


Fig. 5. Geometría de los tubos de cobre.

2) *Aislante*: Los tubos de cobres fueron aislados en la parte inferior para disminuir la razón de pérdida de calor. Se utilizó un aislante térmico reflectante comercial Prodex D5, este aislante está directamente en contacto con la sección inferior del tubo de cobre. También se emplean segmentos de tubo de PVC con el objetivo de sostener el aislamiento térmico. Debido a que el cambio de geometría del tubo de cobre no permitía su correcta adhesión. Adicionalmente, se agregó una capa selladora que debido a sus propiedades permite la adhesión de las tuberías al techo metálico. Se utilizó el sellador Alumband (Chova Ecuador). Este sellador, está compuesto de una lámina autoadhesiva de asfalto modificado con polímeros adhesivos. Las láminas poseen la cualidad de resistir al envejecimiento, los agentes atmosféricos y a la acción microbiológica. Las diferentes capas que conforman el aislamiento térmico se muestran en la Fig.6.

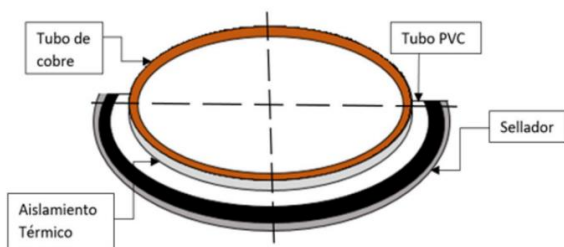


Fig. 6. Aislante del tubo de cobre.

3) *Selección de la bomba*: La energía térmica absorbida por los tubos de cobre fue removida mediante el mecanismo de convección. Los flujos turbulentos se utilizan de manera común en la práctica debido a los coeficientes altos de transferencia de calor asociados con ellos [13]. Se seleccionó una bomba centrífuga comercial de modelo KPF 30/1, esta fue fabricada por DAB Water Technology en Italia. La bomba opera en el rango del diseño del sistema, con un caudal aproximado de 0.80 m<sup>3</sup>/h y carga energética en metros columnas de agua (m.c.a) de 22 m.

El diagrama general del diseño del colecto solar, se muestra en la Fig. 7.

#### B. Construcción del prototipo

1) *Estructura*: La estructura finalizada del techo metálico se observa en la Fig 8. La misma estaba compuesta por 6 láminas de acero galvanizado de longitud de 3.66 metros. Adicionalmente, se realizó la instalación de colectores de agua de lluvia para trabajos posteriores.

2) *Serpentín*: Se fabricaron 2 serpentines debido a las dimensiones del techo y para reducir el peso del techo durante la instalación. Este método de fabricación permite que el serpentín fuera instalado con facilidad. El serpentín uno está conformado de 9 tubos de cobre y el serpentín 2 de 13 tubos de cobre. Luego de construido el serpentín se realizó una prueba de hermeticidad. La Fig. 9 muestra el serpentín antes de la instalación. El serpentín instalado, se observa en la Fig. 10. Se puede observar las capas del aislante y el sellador que permitió que el serpentín fuera adherido al techo.

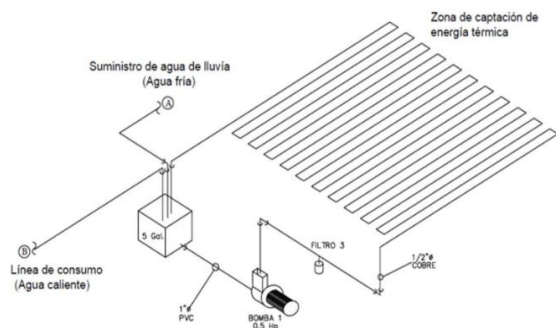


Fig. 7. Diagrama general del colector solar.



Fig. 8. Estructura del techo.



Fig. 9. Serpentín de cobre.



Fig. 10. Intercambiador de calor instalado.

3) *Sistema de bombeo*: El sistema de bombeo está compuesto por una bomba centrífuga, una válvula antirretorno que permite el recorrido del fluido en una dirección y dos válvulas de globos para el control del flujo. Este sistema fue instalado por debajo del techo y contenía una estructura metálica ensamblada a las vigas mediante pernos, como se observa en la Fig 11.

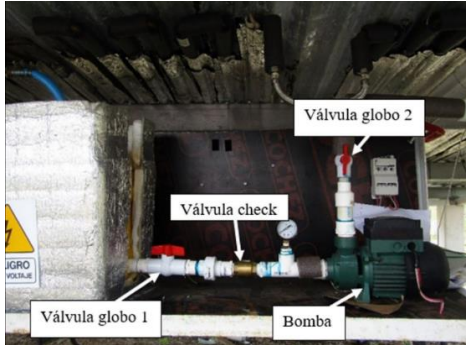


Fig. 11. Sistema de bombeo.

### C. Diseño experimental

La Fig. 12 muestra la ubicación de los instrumentos de medición durante la experimentación. También se observó que las casas y estructuras adyacentes durante este período del año, no generan sombras sobre el prototipo, esto durante las horas de [10:00 am – 15:00 pm].

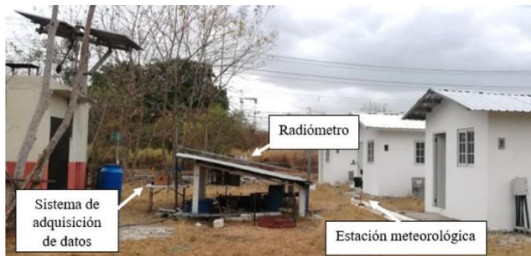


Fig. 12. Zona de experimentación.

1) *Instrumentación*: El prototipo cuenta con 8 termopares que registran la temperatura en distintos puntos de interés como lo son: un termopar en la entrada del serpentín y uno a la salida, 3 termopares en la superficie del techo, uno en la cresta y dos en los valles del techo, un termopar dentro del tanque. Un termopar fuera que registra la temperatura ambiente y otro en el aislante del colector solar. Además, se instaló un radiómetro modelo CNR1 fabricado por Kipp & Zonen, este permite medir la radiación solar incidente y reflejada sobre la superficie del techo. También se instaló una estación meteorológica Davis fabricada en Estados Unidos, esta permite conocer la velocidad del viento y humedad.

2) *Experimentación*: Debido a que el mes de febrero del 2018 presentó la mayor irradiancia solar, los experimentos se realizaron en el mes de febrero del 2019 durante un intervalo de [10:00 am – 15:00pm]. La experimentación se realizó con 2 caudales de trabajo 0.18 L/s y 0.16 L/s. La variación de los caudales se realizó mediante las válvulas de control del colector solar. La duración de los experimentos fue de 90 minutos.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Experimento con flujo de 0.18 L/s

La primera prueba fue realizada el 25/02/2019 durante el intervalo [10:46 am – 12:16 pm].

La Fig. 13 muestra que, inicialmente, hay un aporte de calor proveniente del ambiente y del techo, debido a que la temperatura del agua es inferior a estas temperaturas. Cuando la temperatura del agua fue superior a la temperatura del ambiente, entonces se generó una pérdida de calor entre el agua y el ambiente. También se muestra que la temperatura del techo se mantiene mayor que la temperatura del agua excepto en los intervalos de [4131- 4410]s y [4748 -5122]s.

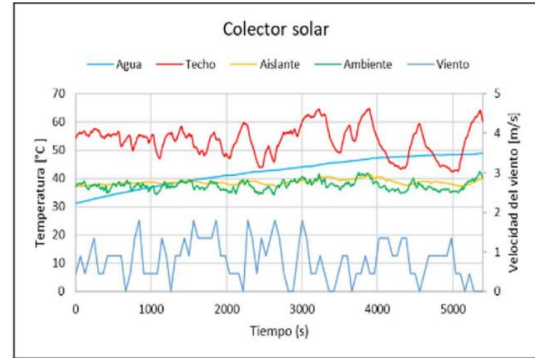


Fig. 13. Gráfico de temperatura y velocidad del viento durante la experimentación para un flujo de 0.18 L/s.

Durante estos intervalos, el agua le transfiere energía al techo metálico, además, se observa que la temperatura del techo descendió cuando aumentó la velocidad del viento. Esto fue debido a la remoción de energía térmica producto del fenómeno de convección forzada sobre la superficie. Durante esta prueba, la temperatura máxima de 60.68 °C, se registró en el valle de la superficie del techo. la temperatura máxima en la cresta fue 56.66 °C y el agua alcanzó 49.97 °C. Estos datos se obtuvieron con una radiación promedio durante la prueba de 597.84 W/m<sup>2</sup>.

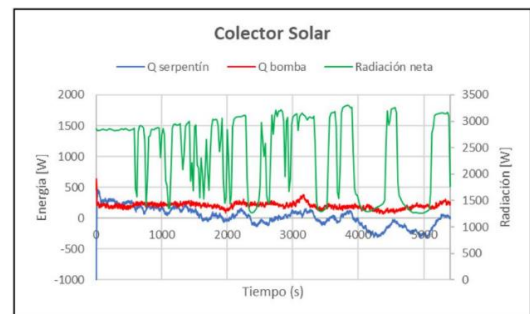


Fig. 14. Energía absorbida por el colector solar.

La Fig. 14 muestra una relación proporcional entre el espectro de radiación neta y la energía aprovechada por el serpentín. El serpentín calentó el agua durante los primeros 1600 segundos, luego el agua al circular por el serpentín perdió energía térmica. La energía neta aprovechada del techo durante la experimentación fue de 126.68 KJ. Además se observa que la bomba también aportó energía térmica al agua. La energía aportada por la bomba fue de 1171.38 KJ, este resultado indica porque se refleja una baja energía neta aprovechada por el serpentín.

### B. Experimento con flujo de 0.16 L/s

La prueba fue realizada el 26/02/2019 durante el intervalo [11:30 am – 1:00 pm].

La Fig. 15 muestra que la temperatura del techo fue mayor que la temperatura del agua durante la prueba. Se muestra una pequeña diferencia de temperatura entre el aislante y el ambiente. Similar al experimento previo, esto indica que el aislante funcionó de forma apropiada. También se muestra que la temperatura del techo al finalizar la prueba fue mayor que la temperatura del agua. Por ende, el agua podría haber seguido aprovechando energía térmica del techo. Durante esta prueba, la temperatura máxima  $65.68^{\circ}\text{C}$  fue registrada en el valle de la superficie. En la cresta de la superficie se registró una temperatura máxima de  $61.18^{\circ}\text{C}$  y el agua registró  $49.89^{\circ}\text{C}$ . La radiación incidente promedio de esta prueba fue de  $887.34\text{ W/m}^2$ .

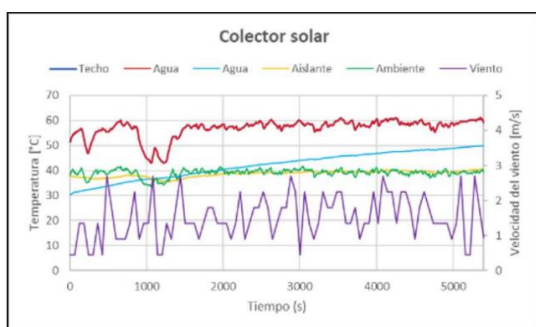


Fig. 15. Gráfico de temperatura y velocidad del viento durante la experimentación para un flujo de 0.16 L/s.

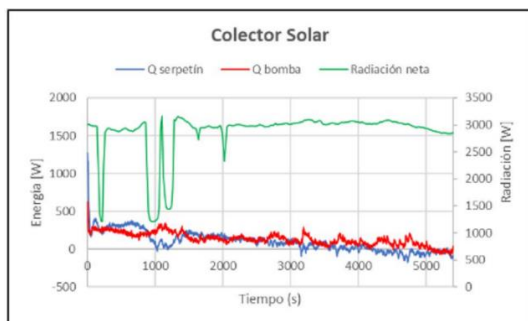


Fig. 16. Energía absorbida por el colector solar.

La Fig. 16 muestra que el serpentín calentó el agua durante los primeros 3000 segundos. Luego, el agua perdió energía durante la circulación por el serpentín, similar a las pruebas previas. La energía aprovechada por el techo fue de  $560.38\text{ KJ}$ , esta energía es mayor a la energía aprovechada en el experimento con un flujo de  $0.18\text{ L/s}$ . Además, la energía aportada por la bomba fue menor que el experimento a  $0.18\text{ L/s}$ , presentando un valor de  $745.79\text{ KJ}$ .

### IV. CONCLUSIÓN

Los valores de temperaturas registrados sobre el techo muestran su potencial como material con capacidad de absorber la radiación solar. El prototipo desarrollado demostró aprovechar la energía térmica del techo, ya que se observó

variaciones en la energía del agua recirculante que fueron directamente proporcional al espectro de radiación solar incidente. Sin embargo, la interfase de contacto del techo y las tuberías debe ser mejorada para aumentar la transmitancia de la energía térmica del techo hacia el agua. Al analizar colectores solares, se debe tener en consideración el aporte de la bomba recirculante para evitar confusión en los resultados. Además, se observó que, a caudales bajos, se puede mejorar la capacidad de aprovechamiento de energía térmica del prototipo. Sin embargo, se observó que debido a que la superficie del prototipo está expuesta al ambiente, se cede calor al ambiente y se disminuye la temperatura de la superficie.

### AGRADECIMIENTO

Agradecemos al SENACYT (Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación) por su aporte económico en la realización de esta investigación. De igual forma, agradecemos al CINEMI (Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria) por brindar su apoyo con estructuras y recurso humano para culminar las distintas fases de esta investigación. Al Centro de Investigación (CIHH) por su solidaridad con los equipos complementarios e información valiosa para esta investigación. Se agradece al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la República de Panamá, por su apoyo financiero parcial en la realización de este proyecto.

### REFERENCIAS

- [1] Kalogirou, Soteris, "Solar energy engineering," Segunda edición, 2014.
- [2] Maggi, Sebastián, "Modelamiento térmico de un panel fotovoltaico con disipador de calor operando en el norte de Chile," Chile, 2013.
- [3] Nandwani, Shyam, "Energía solar. Conceptos básicos y su utilización," Univ. Nac. Hered. (Costa Rica), 2005.
- [4] Contraloría general de la República de Panamá. [En línea]. Disponible: <https://www.contraloria.gob.pa/>
- [5] Clima de Panamá. Un país de costas 2018. [En línea]. Disponible: <http://www.clima-de.com/panama/>.
- [6] Santiago, Panamá: clima y vegetación. 2007. [En línea]. Disponible: <https://geografia.laguia2000.com/climatologia/panama-clima-y-vegetacion>.
- [7] Díaz, Osttuhén, "La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico y efecto en el confort del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana," 2012.
- [8] Saadatian, Omidreza, "A review of energy aspects of green roofs, Renew. Sustain. Energy Rev.," 2013.
- [9] Han, Rubing Xu, "Zhimaao and Qing, Yutao Study of Passive Evaporative Cooling Technique on Water-retaining Roof Brick," 2017.
- [10] Al-Kayiem, Hussain Sreejaya, K.V y Chikere, Aja "Experimental and numerical analysis of the influence of inlet configuration on the performance of a roof top solar chimney, Energy Build.," 2018.
- [11] Kindangen, Jeffrey y Umboh, Markus "Design of evaporative-cooling roof for decreasing air temperatures in buildings in the humid tropics," 2017.
- [12] Nandwani, Shyam "Calentador solar de agua: Tipo circulación - construcción, funcionamiento y uso," 2005.
- [13] Cengel, Yunus and Ghajar, Afshin "Transferencia de calor y masa," 2011