

# Eficiencia de una terma solar con colector de tubos verticales

## Efficiency of a solar thermal with vertical tubes collector

Milton Américo Huanes Mariños<sup>1</sup>, Miguel Ángel Barrena Gurbillón<sup>2</sup> y Heraldo Jairzinho De la Cruz Baca<sup>3</sup>

Recibido: 02 de diciembre de 2015  
Aceptado: 10 de diciembre de 2015

### Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de una terma solar con un colector de 1 m<sup>2</sup> de tubos verticales de cobre de ½". La experiencia se realizó en el campus UPAO II, de la ciudad de Trujillo (33 msnm y temperatura ambiente, promedio, de 20°C), región La Libertad. El tanque de almacenamiento de agua caliente fue de 100 L. La evaluación se realizó de enero a marzo, del 2015 lapso en el que predominaron los días soleados; la temperatura inicial y máxima del agua fueron 26 y 42 °C, respectivamente, el valor de la radiación

solar fue 0,18 - 0,54 kW.h/m<sup>2</sup>, con un máximo de 0,96 a las 13:00 h. La terma solar empleó la radiación solar directa y la difusa, con un incremento mínimo de 10 °C en el agua, con lo que se suministra al usuario agua a una temperatura adecuada para el aseo personal. La eficiencia térmica en día soleado para la terma fue de 31%.

**Palabras clave:** terma solar, agua caliente, radiación solar, eficiencia térmica.

### Abstract

The aim of this research was to determine the efficiency of a solar thermal, equipped with a 1 m<sup>2</sup> collector with 1/2" cooper vertical tubes. The experimental work was carried out in UPAO campus II of Trujillo city (33 mosl, ambient temperature, average, 20 °C), region La Libertad (Peru). A 100 L tank was used for hot water. The evaluation was done from january to march, 2015, with sunny days. The initial and maximum temperatures of water were 21 °C and 42 °C, respectively; The value of solar radiation

was 0.18 – 0.54 kW.h/m<sup>2</sup> with a maximum of 0.96 at 13:00 h. Direct and diffuse solar radiation was used, with a minimum increase of 10 °C in the water, with which, a person is provided with a suitable temperature water for his grooming. The thermal efficiency, in sunny day, of the thermal was 31%.

**Key words:** Solar thermal, hot water, solar radiation, thermal efficiency

1 Doctor. Docente Principal de la Universidad Privada Antenor Orrego.

2 Doctor. Docente Principal de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (Chachapoyas). Presidente de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional Altoandina de Tarma (Junín).

3. Químico Industrial. Técnico Analista de LABINM, Universidad Privada Antenor Orrego.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua para la ciudad de Trujillo es captada del canal CHAVIMOCHIC, que la trae del río Santa formado por el deshielo de los glaciales de la región Ancash; también se provee de pozos tubulares del valle de Santa Catalina (Moche). El campus UPAO II tiene un pozo tubular, siendo el agua fría, excepto en el verano (enero a marzo), por lo que su empleo para la higiene personal es causa de enfermedades bronquiales (resfriados severos o neumonía) y reumatoides. La disponibilidad de agua caliente para el aseo personal permitirá fortalecer los hábitos de higiene personal y resguardar la salud del personal de campo y establo del campus UPAO II, previniéndolos de resfriados severos y neumonías, así como enfermedades de la piel (micosis, excemas, etc.) y digestivas (diarreas, parasitosis, infecciones bacterianas, etc.), estas últimas principalmente debido al inadecuado o nulo lavado de manos antes de consumir sus alimentos.

En el análisis de las causas de mortalidad por ciclos de vida, las infecciones respiratorias agudas continúan siendo la primera causa (77 por 1000 habitantes). En niños menores de 1 año las enfermedades respiratorias agudas también están consideradas como la primera causa de mortalidad. Las enfermedades de las vías respiratorias superiores ocupan el primer lugar para los grupos de niños y adolescentes. En escolares, las primeras causas son las enfermedades respiratorias de las vías superiores (27,37%) (Plan Sectorial de Prevención y Atención de Emergencias y Desastres del Sector Salud, 2004).

El calentamiento del agua para higiene personal y limpieza representa un consumo energético importante en una vivienda. La demanda promedio es de 40 L/día/persona. En países en desarrollo es el 30 a 40% del consumo de energía de un hogar. El calentamiento del agua, a nivel mundial, es el segundo uso energético doméstico después de la calefacción y la refrigeración. La aplicación de la energía solar para este propósito, además de ser una alternativa ecológica, es una tecnología económicamente atractiva y competitiva (Agencia Internacional de Energía, 2006). Gran parte del año en Trujillo, el cielo es despejado permitiendo la presencia visible del sol, con una radiación solar diaria anual entre 4500 a 6000 Wh/m<sup>2</sup>, que no es debidamente aprovechada (Valera, 2007).

La terma solar permite calentar agua con la radiación solar y almacenarla para ser usada en cualquier momento. Consta de colector solar, tanque de almacenamiento de agua y sistema de tuberías (figura 1). En aplicaciones de energía solar, la eficiencia es el factor decisivo en la puesta a punto y rentabilidad de un sistema (Valera, 2007).

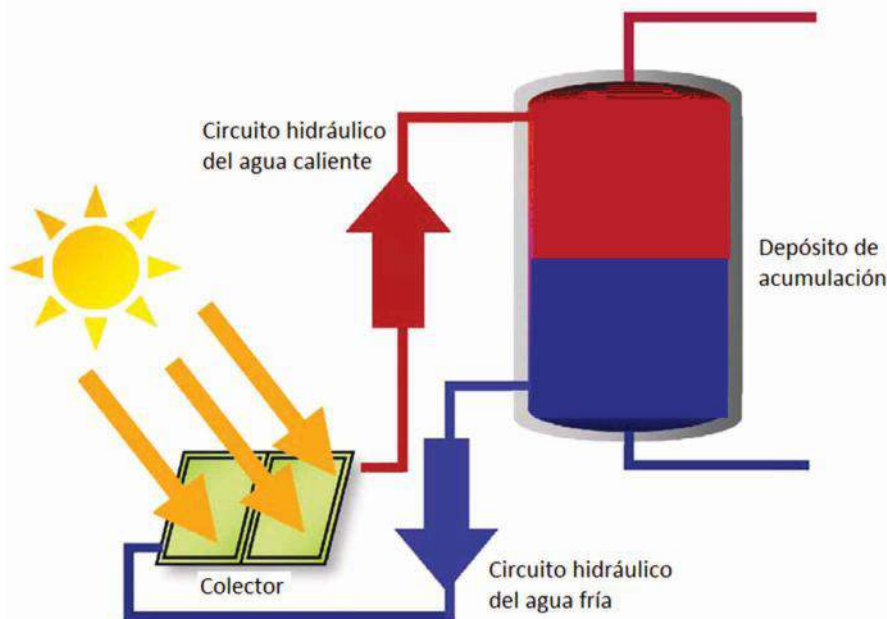


Figura 1. Terma solar.

Para eliminar de forma gradual y progresiva la utilización de combustibles fósiles no renovables y lograr una transición hacia las energías renovables, creando conciencia y el compromiso ne-

cesario de la industria, los políticos, y los usuarios finales hacia esta tecnología y al servicio que presta, se promueve la instalación domiciliaria de calentadores solares, de acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES): si en México se instalaran “cinco millones de metros cuadrados de calentadores solares, en menos de 10 años, el GLP equivalente dejado de consumir en los siguientes 20 años sería de 15 millones de toneladas, lo que además evitaría lanzar a la atmósfera casi 30 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, principal gas de efecto invernadero causante del cambio climático” (Pilatosky *et al.*, 2005).

La energía solar es radiación electromagnética que emite el sol compuesta de tres tipos: radiación infrarroja (42%), ondas de calor invisibles para el ser humano, pero sensibles al tacto; la radiación visible (46%), el único rango sensible para la vista humana; y la radiación ultravioleta (12%), no la podemos visualizar, causa la insolación de la piel en la playa y dependiendo de la sensibilidad, puede causar cáncer de piel, por ser radiación de alta energía. A la superficie terrestre llegan mayormente la radiación visible y la infrarroja, para diversas aplicaciones (fototérmicas, fotovoltaicas, etc.). La radiación solar terrestre tiene dos componentes: la radiación solar directa  $R_p$ , (incide directamente del sol) y la radiación solar difusa  $R_d$ , que procede de la bóveda celeste (Valera, 2007).

El colector solar puede utilizar la radiación solar difusa (reflejada por las nubes), además de la directa. El calentamiento del agua en el colector y su paso al tanque de almacenamiento tiene lugar entre las 9 y las 15 horas; después, la temperatura del agua en el colector es menor que en la parte superior del tanque y se interrumpe el termosifón, el agua caliente permanece en el tanque, cuyo calor se conservará según el aislamiento dispuesto a su alrededor (Valera, 2007).

El sistema de tuberías transporta el agua fría o caliente a través de los elementos que forman la terma solar. Se puede utilizar tuberías de cobre, fierro galvanizado o plástico especial para agua caliente. Deben estar apropiadamente aisladas, tanto para su protección como para evitar las pérdidas de calor del agua.

Para la buena circulación natural del agua entre el colector y el tanque de almacenamiento; el tanque debe estar sobre el nivel del colector, cuanto mayor sea este desnivel y según la diferencia de alturas caracterizado por el punto de retorno, mayor será la velocidad de circulación, mejorando la eficiencia térmica (Gutiérrez, 2004).

La eficiencia energética ( $\eta_E$ ) de una terma solar se define como el cociente entre la energía térmica útil ganada por la terma y la energía solar recibida o disponible ese día. Se debe tener en cuenta la evolución de la temperatura en el tanque de agua y la radiación solar correspondiente. Un colector plano puede llegar a temperaturas entre 65-90°C con una eficiencia de 40-60% (Valera, 2007).

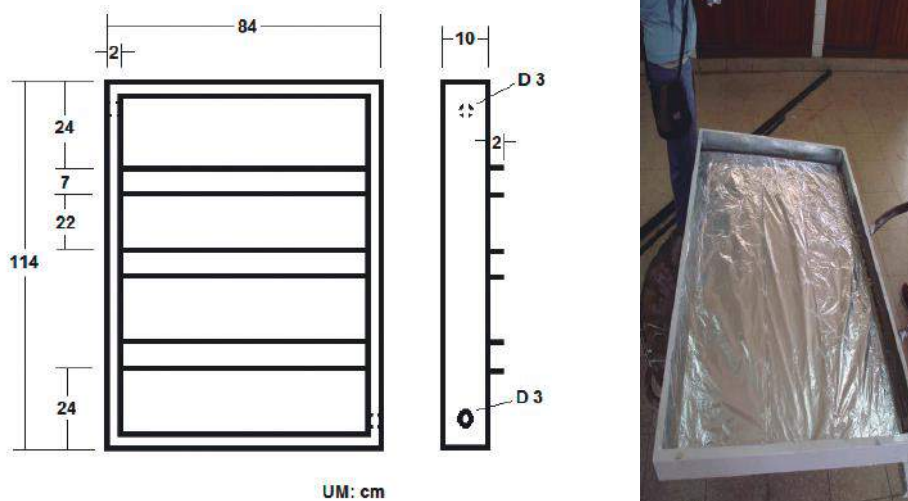
## II. MATERIAL Y MÉTODOS

La terma solar está constituida por un colector de 1 m<sup>2</sup> de tubos verticales de cobre, sistema de tuberías de PVC y tanque de almacenamiento de agua caliente de 100 litros.

### 2.1. Colector solar

- a) **Caja:** fue construida de plancha de fierro galvanizado de 1/20” de espesor, sus dimensiones y forma se muestran en la figura 2. El fondo se reforzó con tres canales del mismo material, sobre el que se colocó una plancha de triplay. Todo el interior se aisló con plancha de tecnopor de 1” forrada con papel de aluminio (figura 2) para aislante térmico y mejorar la eficiencia de la transferencia de calor de los tubos del colector solar al agua en su interior. Encima se colocará la parrilla de tubos soldada a una plancha de metal con canales para los tubos.
- b) **Parrilla de tubos:** constituida por 10 tubos de cobre de 1/2” x 1 m de largo soldados en su parte inferior y superior con tes y niples de cobre para tener una separación entre tubos de 10 cm (figura 3). Por la parte inferior de esta parrilla ingresará el agua fría y por la parte superior saldrá el agua caliente. La parrilla se soldó en varios puntos sobre una

plancha metálica acanalada, para que tengan un buen contacto y favorecer la transferencia de calor de la plancha a la parrilla, luego se pintaron con esmalte negro mate para maximizar la absorción del calor solar.



2. Caja del colector solar.

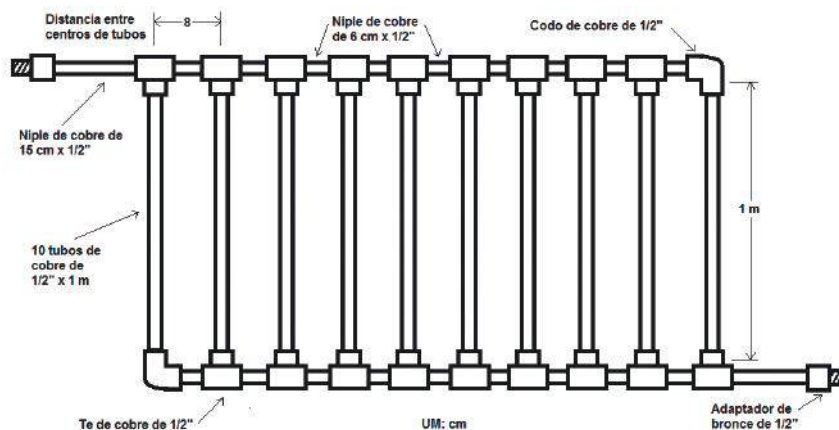


Figura 3. Parrilla de tubos de cobre para el colector solar.

c) **Tapa del colector:** de vidrio de 4 mm de espesor, fijado a la caja con silicona para un buen sellado.

## 2.2 Sistema de tuberías

Todas las tuberías y accesorios del circuito hidráulico del agua fría y del agua caliente son de PVC de 1/2", aisladas con tecnopor.

## 2.3 Tanque de almacenamiento de agua

Se empleó un tanque cilíndrico de polietileno de 100 litros, con un volumen de trabajo de 80 litros de agua, para su aislamiento térmico se hizo una caja con listones de madera y plancha de triplay de 0,4 cm de espesor, en cuyo interior se colocó planchas de tecnopor de 1" y luego se asentó el tanque. La caja tiene una puerta para acceso al tanque y se la protegió con un techo de policarbonato. En este tanque se almacenará el agua que se caliente en el colector solar, y el aislamiento térmico permitirá mantener caliente el agua el mayor tiempo posible. Este tanque tiene una entrada de agua de abastecimiento a 10 cm de su base, la que sirve también como salida de agua al colector; tiene una conexión en su tercio superior para entrada del agua caliente que vendrá del colector; a 5 cm arriba de esta última conexión se instaló la tubería de salida de agua caliente para su consumo (figura 4).

## 2.4 Sistema de abastecimiento de agua

Servirá para regular la entrada de agua del sistema de abastecimiento al tanque de almacenamiento, de manera que se mantenga siempre en su volumen de trabajo (80 L), y reponga el agua que consume el usuario. Para este sistema se empleó una válvula de ingreso de agua al tanque de un inodoro, la cual se instaló adecuadamente para su funcionamiento efectivo dentro de un balde de 20 litros, en una repisa al costado de la caja del tanque de almacenamiento de agua caliente (figura 5).

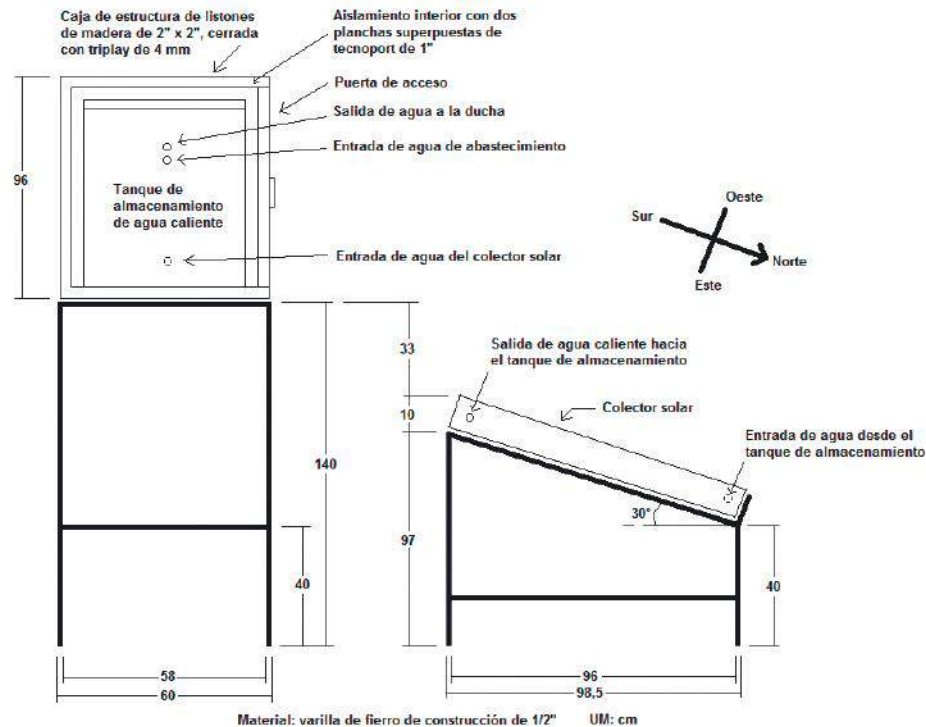


Figura 4. Dimensiones y disposición de los componentes de la terma solar.

## 2.5 Ubicación de la terma solar

El colector solar se ubicó en la línea norte-sur, con el lado sur levantado  $30^\circ$  para asegurar que le dé sol todo el día por estar así en la trayectoria del sol (figura 5). Su extremo más bajo se ubicó a 40 cm del suelo. El tanque de almacenamiento de agua se ubicó detrás del colector (en el lado sur), para que no le haga sombra, a 35 cm sobre el borde superior del colector, sobre una estructura de varillas de hierro de  $3/4$ ".

## 2.6 Llenado de la terma solar

Se abre la llave de ingreso de agua de la red de abastecimiento. El agua entrará al balde a través de la válvula de tanque de inodoro, circulará de allí por tubería de PVC de  $1/2$ " hacia el fondo del tanque y de éste hacia la parte inferior del colector, en cuya entrada se colocó un termómetro para medir la temperatura del agua. El agua circulará de manera ascendente por los tubos del colector, de donde pasará al tanque aislado para su almacenamiento. Cuando el agua en el tanque alcance el nivel de 80 L, la boya de la válvula dentro del balde cerrará el ingreso de agua, y quedará la terma solar lista para su funcionamiento.



Figura 5. Terma solar instalada en el campus UPAO II.

### III. RESULTADOS

Se registraron los datos desde las 8:00 hasta las 16:00 horas, cada 30 minutos, durante 30 días. Los resultados promedio de los datos se graficaron para determinar la tendencia, la influencia y la relación entre ellos.

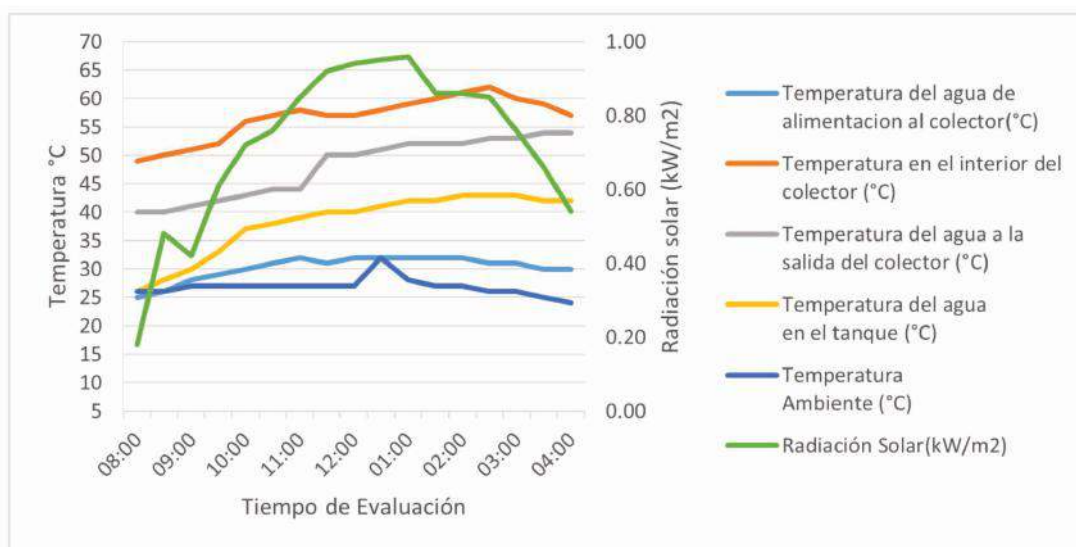


Figura 6. Resultados promedio de evaluación de la terma solar.

## Eficiencia de la terma solar

En base a lo propuesto por Valera (2007), se calculará con la ecuación:

$$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$$

Energía térmica ganada:  $E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$

Donde:

$m$ : masa de agua en la terma = 100 L =  $1 \times 10^5$  g

$c$ : calor específico del agua = 4,18 J/g. °C

$\Delta T$  = Temperatura máxima del agua (4:00 pm) – Temperatura del agua en el tanque al inicio (8:00 am), °C.  $\Delta T = 42^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} = 16^\circ\text{C}$

$$E_T = (1 \times 10^5 \text{ g})(4,18 \text{ J/g. } ^\circ\text{C})(16^\circ\text{C}) = 6,69 \times 10^6 \text{ J}$$

Energía solar recibida:  $E_S = e_s \cdot A$

Donde:

$e_s$ : Energía solar recibida, se calcula por el área bajo la curva de radiación solar vs tiempo, calculado mediante el método del área de los rectángulos bajo esa curva.  $e_s = 6,0 \text{ kWh/m}^2$

$A$ : Área del colector solar,  $\text{m}^2$ .  $A = 1 \text{ m}^2$

$$E_S = (6,0 \text{ kWh/m}^2)(1 \text{ m}^2) = 6,0 \text{ kWh} \times x$$

$$E_S = 2,16 \times 10^7 \text{ J}$$

$$\eta_E = 6,69 \times 10^6 \text{ J} / 2,16 \times 10^7 \text{ J}$$

$\eta_E = 0,31$ ; en porcentaje la eficiencia será de 31 %

## IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó la eficiencia de una terma solar para agua con un colector solar plano de 1 m<sup>2</sup> hecho con tubos y accesorios de cobre de ½" y tanque de almacenamiento de agua caliente de 80 litros de volumen de trabajo. Para día soleado, la temperatura máxima del agua en el tanque de almacenamiento fue de 42°C, una ganancia de temperatura de 16°C, eficiencia de 31% con una radiación solar de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>. Vigo y Trigoso (2012), evaluaron una terma solar de 100 L de agua con un solo colector hecho de tubería y accesorios de CPVC de ½" y para este mismo tipo de día reportaron que la temperatura máxima del agua en el tanque de almacenamiento fue de 44°C, una ganancia de temperatura de 24,5°C, eficiencia de 52% con una radiación solar de 5,42 kWh/m<sup>2</sup>. Montenegro (2013), evaluó una terma solar de 100 L de agua con dos colectores conectados en paralelo, el primero hecho de tubería y accesorios de CPVC de ½" y el segundo hecho de tubería y accesorios de PVC de 1"; para este mismo tipo de día reportó que la temperatura máxima del agua en el tanque de almacenamiento fue de 57°C, una ganancia de temperatura de 35°C, eficiencia de 69% con una radiación solar de 5,81 kWh/m<sup>2</sup>. La eficiencia está directamente relacionada con el incremento de temperatura logrado, el que fue mayor en las termas evaluadas en Chachapoyas porque el agua al inicio está a una temperatura más baja que en Trujillo.

Asimismo, Montenegro (2013), concluyó que el colector hecho con tubería y accesorios de CPVC de ½" fue más eficiente que colectores hechos con tubería de mayor diámetro, este es el primer motivo por el que se empleó tubería y accesorios de cobre de ½" para construir el colector solar de la terma motivo de la presente investigación. El segundo motivo es que el cobre (conductividad térmica de 380 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> (fisicanet.com, 2014) es mejor conductor del calor que el PVC (conductividad térmica de 0,25 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> (plasticbages.com, 2014). La terma solar permite calentar agua con la radiación solar y almacenarla para ser usada en cualquier momento. La eficiencia y vida media de un calentador solar depende de los materiales y el diseño empleados (Valera, 2007). Este es el tercer motivo por el cual la parrilla de tubos del colector solar se hizo de cobre, su caja de plancha de fierro galvanizado y el soporte del colector y del tanque de almacenamiento de agua caliente se hicieron de varilla de fierro de ½".

En las evaluaciones realizadas en la presente investigación con la terma de tubería y accesorios de cobre, se obtuvo un incremento mínimo de temperatura del agua de 10°C, lo que

garantiza que este tipo de terma solar brindará agua al usuario a una temperatura superior a 25°C para el aseo personal u otras actividades, evitando exponerlo al agua a menores temperaturas, con esto se contribuirá a mejorar la calidad de vida de las personas y se protegerá su salud. Actualmente, la terma solar abastece con 80 litros de agua caliente para el aseo personal de los trabajadores del Fundo UPAO II.

Según Valera (2007), en día soleado con temperatura ambiente promedio de 19°C y radiación solar de 5,15 kWh/m<sup>2</sup>, un colector solar plano de tubos de cobre en 7 horas alcanza una temperatura de 60°C y una eficiencia de 43%. Un colector solar plano de tubos de PVC, en el mismo tiempo sólo llega a 46°C con una eficiencia de 28%. Debido a que la temperatura del agua en Trujillo fue de 26°C, el incremento de temperatura fue menor, por este motivo su eficiencia en día soleado fue de 31%.

El costo de una terma solar se puede recuperar en base al ahorro que genera por no consumir energía eléctrica ni cualquier tipo de combustible (generadores de CO<sub>2</sub>) para calentar agua. Su otra ventaja es que como el agua no se calienta a más de 60°C, no se producirán incrustaciones en el interior de los tubos por presencia de sales de calcio o magnesio en el agua. Su mantenimiento solo consiste en una limpieza periódica del vidrio que cubre el colector solar para conservar su eficiencia.

La energía solar proveniente de la radiación solar directa o difusa, llega a la superficie terrestre todos los días, por tanto está disponible todo el año y su empleo no genera riesgos para los usuarios. La terma solar no produce ruidos, gases de escape, ni olores, no causan impacto negativo al medio ambiente y sus equipos son de carácter ecológico. Toda terma solar tiene aislante térmico para afrontar las condiciones climáticas extremas tales como heladas, granizos y tormentas.

Los resultados del presente proyecto de investigación permitirán transferir una tecnología adecuada y eficiente, de costo accesible a las familias de zona urbana o rural, para brindarle confort y una opción para reducir el consumo de energía eléctrica, leña o gas natural, para calentar agua; lo cual reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero que están causando un fuerte impacto ambiental.

## ***V. CONCLUSIONES***

La terma solar con un colector solar plano de 1 m<sup>2</sup> hecho con tubos y accesorios de cobre de ½" y tanque de almacenamiento de agua caliente de 80 litros de volumen de trabajo, en día soleado alcanzó una temperatura máxima del agua en el tanque de almacenamiento de 42°C, una ganancia de temperatura de 16°C y eficiencia de 31% con una radiación solar de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>.

La terma solar evaluada en la presente investigación, en las condiciones más adversas (día nublado), produce un incremento mínimo de temperatura del agua de 10°C, con lo que brindará al usuario agua a una temperatura adecuada para el aseo personal, resguardando su salud.

## ***VI. AGRADECIMIENTOS***

A la Universidad Privada Antenor Orrego, por el financiamiento otorgado para la presente investigación. A la Administración del Campus UPAO II, por las facilidades para la instalación de la terma solar.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gutiérrez Iglesias, V. 2004. Manual de autoconstrucción del calentador solar de bajo coste. Argentina.
- [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03\\_conductividad.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php). Consultado el 02 de marzo de 2014.
- <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>. Consultado el 02 de marzo de 2014.
- Montenegro Zumaeta, Nixon M. 2013. Determinación de la eficiencia y capacidad de una terma solar con dos colectores en serie de 1m<sup>2</sup> cada uno. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Pilatowsky, I. 2005. Sistema de calentamiento solar de agua. Editorial Grupo Grabado de Morelos S.A. México. Pág. 45.
- Plan Sectorial de Prevención y Atención de Emergencias y Desastres del Sector Salud. 2004. [http://www.indeci.gob.pe/planes\\_proy\\_prg/p\\_estrategicos/nivel\\_nac/psec\\_pad/pspad\\_minsa.pdf](http://www.indeci.gob.pe/planes_proy_prg/p_estrategicos/nivel_nac/psec_pad/pspad_minsa.pdf).
- Valera Palacios, A. 2007. Energía solar II. Edición a cargo de la Asamblea Nacional de Rectores. Lima – Perú.
- Vigo Cruz, Lady V. y Ronal R. Trigoso Valle. 2012. Eficiencia térmica de un calentador solar de agua de 80 litros con colector de 1 m<sup>2</sup>. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.