

# Diseño e implementación de un sistema termosolar con residuos de aparatos eléctricos y electrónicos<sup>1</sup>

Gustavo Adolfo Mina Mera<sup>2</sup>, Julián Andrés Vivas Pereira<sup>3</sup>,  
Juan Fernando Flórez Marulanda<sup>4</sup>

## RESUMEN

**Introducción.** Este artículo presenta el diseño, implementación y evaluación del comportamiento térmico de un sistema termosolar a escala, construido a partir de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. **Objetivo.** Definir requerimientos mecánicos y funcionales basados en las características de los materiales usados y de las condiciones socioambientales de la zona de estudio. **Materiales y métodos.** En la construcción del sistema termosolar se emplean lentes fresnel de retroproyectors de acetatos,

aceite de motor usado, partes de computadores y de reproductores de DVD. Los materiales electrónicos son reutilizados en procesos de producción de energía limpia, convirtiendo un problema ambiental en una posible solución energética. **Resultados.** Para la evaluación térmica del sistema se propone un análisis sectorizado, determinando la radiación solar y la temperatura en lugares estratégicos para plantear un modelo matemático del comportamiento de la cocina solar. **Conclusión.** Se estableció el comportamiento térmico de dos zonas de la cocina y la eficiencia de

1 Artículo original del trabajo de investigación Propuesta de un prototipo termosolar basado en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos para zonas rurales en valles interandinos del departamento del Cauca, realizado entre el 13/05/2017 y el 20/03/2018 en el departamento del Cauca.

2 Ingeniero Ambiental de la Universidad del Cauca. Correo electrónico: gmina@unicauca.edu.co. ORCID: 0000-0003-1882-3067

3 Ingeniero Ambiental de la Universidad del Cauca. Correo electrónico: jandresvivas@unicauca.edu.co. ORCID: 0000-0002-3946-641X

4 Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, especialista en Informática Industrial, especialista en Redes y Servicios Telemáticos, magíster en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, docente de planta en el Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control de la facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Correo electrónico: jflorez@unicauca.edu.co ORCID: 0000-0003-1646-4419

Artículo recibido: 24/10/2018; Artículo aprobado: 17/12/2018 Autor para correspondencia, Juan Fernando Flórez Marulanda. Correo electrónico: jflorez@unicauca.edu.co

las mismas. La eficiencia energética (KW/m<sup>2</sup>) de las zonas evaluadas es de 16,86 %, evidenciando pérdidas máximas del 44,49 % en tramos poco aislados y eficiencias del 91,28 % en tramos aislados térmicamente con fibra de vidrio reciclada de 3 cm de grosor.

**PALABRAS CLAVE:** sistema termosolar, tratamiento de desechos, eficiencia energética, reciclaje.

## Design and implementation of a thermosolar system with waste of electrical and electronic equipment

### ABSTRACT

**Introduction.** This paper present the design, implementation and evaluation of thermal behaviour of scale thermosolar system, it built from waste electrical and electronic equipment. **Objective.** Define mechanical and funcional requirements based on employed material's characteristics and socio-environmental conditions of the zone of study. **Materials and methods.** In the construction of thermosolar system, Fresnel lens of acetate overhead projector are used oil motor, computers and DVD players parts. Where the electronics materials are reused in process of clean energy production, transforming an environmental problem in a posible energy solution. **Results.** For system thermal evaluation a

sectorized análisis is proposed , the solar radiation and themperature was determined in stretegics places to propose a mathematical model of the solar kitchen behaviour. **Conclusion.** It was established the thermal behaviour of two kitchen zones and its efficiencies. The energy efficiency (KW/m<sup>2</sup>) of the evaluted zones is 16.86 % showing maxim losses of 44,49 % in weak isolated sections and efficiencies of 91,28 % in isolated sections of recycling fiberglass whit 3 cm of thickness.

**KEY WORDS:** Thermosolar system, Waste treatment, Energy efficiency, Recycling.

## Projeto e implementação de um sistema solar térmico com resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos

### RESUMO

**Introdução.** Este trabalho apresenta o projeto, a implementação e a avaliação do comportamento térmico do sistema solar térmico de escala, construído a partir de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. **Objetivo.** Definir requisitos mecânicos e funcionais baseados nas características dos materiais usados e nas condições socioambientais da zona de estudo. **Materiais e métodos.** Na construção do sistema solar térmico, são usadas

lentes de Fresnel de proyectores de acetatos, óleo de motor usado, partes de computadores e aparelhos de DVD. Os materiais eletrônicos são reutilizados em processos de produção de energia limpa, transformando um problema ambiental em uma possível solução energética. **Resultados.** Para a avaliação térmica do sistema é proposta uma análise setorizada, determinando a radiação solar e a temperatura em locais estratégicos para propor um modelo matemático do comportamento de uma cozinha solar. **Conclusão.**

Estabeleceu-se o comportamento térmico de duas zonas da cozinha e seus eficiências. A eficiência energética (KW / m<sup>2</sup>) das zonas avaliadas é de 16,86 %, apresentando perdas máximas de 44,49 % em seções menos isoladas e eficiências de 91,28 % em seções isoladas de fibra de vidro reciclável com 3 cm de espessura.

**Palavras chave:** Sistema solar térmico, Tratamento de esgoto, Eficiência energética, Reciclagem.

---

## INTRODUCCIÓN

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) emplean corriente eléctrica para su funcionamiento, al igual que los dispositivos necesarios para generar, transmitir y medir dichas corrientes y campos (Araújo *et al.*, 2012). Los nuevos diseños, aplicaciones, innovaciones y ventajas de financiamiento, junto con la obsolescencia programada, hacen que la tasa de recambio de los nuevos AEE se acelere (Meng, Thornberg y Olsson, 2014; Vega, 2013). Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) son el tipo de desecho de mayor crecimiento en la Unión Europea (UE), con 9 millones de toneladas generadas en 2005, y un crecimiento de más de 12 millones de toneladas para el 2020 (Tuncuk *et al.*, 2012). Los RAEE son una mezcla compleja de materiales y componentes que por su contenido peligroso causan graves problemas ambientales y de salud. Estudios realizados afirman que un 25 % de los RAEE son componentes

reutilizables, un 72 % de materiales reciclables y un 3 % de elementos potencialmente tóxicos (Vega, 2013; Reig, Mancinas y Nogales, 2014).

La producción de RAEE en Colombia está en continuo aumento debido al poder adquisitivo de la creciente clase media, en el 2008 se producían cerca de 0,7 kg de RAEE por habitante (Sandoval, 2011). De todos los aparatos de las TIC que entran al sistema de reciclaje colombiano cada año, tan solo se recicla el 0,5 % de los materiales peligrosos, magnitud similar estipulada para los componentes de mayor valor, debido a sus características físicas que dificultan su reciclado (Rodríguez *et al.*, 2013). Una de las formas más eficaces de lograr un tratamiento adecuado de estos residuos es hacer uso de los instrumentos legales tradicionales, en Latinoamérica solamente Costa Rica y Colombia tienen normas específicas para los RAEE, en Colombia se desarrollaron tres resoluciones que reglamentan la gestión posconsumo de

las computadoras y periféricos, las pilas y baterías, y las bombillas. Otra vía de gestión en posconsumo de los RAEE es suministrar componentes reutilizables a otros sistemas, como por ejemplo lentes de fresnel a sistemas termosolares que son tecnologías ecosostenibles.

Los sistemas termosolares usan radiación solar concentrada como fuente de energía para ser transformada en calor. Existen sistemas que alcanzan rangos de temperatura para aplicación doméstica ( $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), siendo el caso de algunas cocinas solares (Chacón, R. Velázquez, 2016), que convierten la energía solar en calor para preparar alimentos contenidos en un recipiente. También permiten procesos importantes como la pasteurización y esterilización (Cuce y Cuce, 2013). Las cocinas solares se clasifican según tipo de colector y rango de temperatura (Yettou *et al.*, 2014) en tres categorías principales de cocinas de tipo: caja, concentración y no concentración. Dentro de estas categorías se incluyen las cocinas de aplicación directa o indirecta, cocinas con o sin almacenamiento térmico y cocinas con o sin sistemas de seguimiento solar. Las cocinas solares de tipo directo utilizan la radiación solar directa en el proceso de cocción, mientras que las cocinas indirectas utilizan un fluido de transferencia para transmitir el calor desde un punto a otro, (Panwar, Kaushik y Kothari, 2012). El almacenamiento de energía térmica permite cocinar durante las horas sin sol o cuando hay baja radiación, superando la principal limitación de las cocinas solares. Siendo esta parte una ventaja para Colombia ya que su

radiación solar media es de  $4,5\text{ kWh/m}^2$ , el pico con mayor recurso solar se encuentra en el área correspondiente al departamento de la Guajira con  $6\text{ kWh/m}^2$ , el de menor recurso se ubica en diversas zonas siendo inferior a  $3\text{ kWh/m}^2$ . La radiación que reciben algunas zonas del territorio llegan a durar  $12\text{ h/día}$ , registrando incluso los índices más altos a nivel mundial junto con los registrados en África (Vélez-Pereira et al, 2013). El departamento del Cauca cuenta en promedio con 4 horas de sol al día, valor que varía notablemente en las diferentes zonas biogeográficas (Morales, Vivas y Gómez, 2015), las zonas de los valles del río Patía y río Cauca cuentan con los niveles de radiación anual y brillo solar más altos del departamento, de  $4\text{ a }5\text{ kWh/m}^2$  y de  $5\text{ a }6\text{ h/día}$  respectivamente.

En el presente artículo se presenta el diseño, implementación y evaluación de un prototipo termosolar de una cocina de media temperatura que usa elementos reciclados y RAEE como una opción para satisfacer las necesidades energéticas en los procesos de cocción de alimentos de las zonas rurales de los valles interandinos del departamento del Cauca. El diseño del prototipo se realizó en el software SolidEdge, obteniendo los planos de construcción del sistema termosolar. En la etapa de construcción se utilizó RAEE tales como lentes de fresnel, partes de computadores y de reproductores de DVD, junto a elementos reciclados (tubos y recipientes metálicos, lubricante de motor usado y fibra de vidrio). La evaluación se desarrolló en la ciudad de Santander de Quilichao en el departamento del Cauca; recolectando

durante tres días datos de radiación, tiempo y temperatura. El análisis de dichos datos permitió concluir acerca de la funcionalidad y viabilidad del prototipo construido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utiliza una metodología de proyectos en ingeniería, enfocada en el reciclaje, que se inicia con el análisis de las variables de interés, seguido del diseño del prototipo a partir del análisis de los requerimientos funcionales y mecánicos, para proceder al diseño e implementación teniendo en cuenta las características de los materiales de construcción, finalizando con la evaluación de desempeño del equipo. En los sistemas termosolares se identifican de forma global 4 unidades principales: UCS (Unidad de Colector Solar), conformada por los elementos para el aprovechamiento de la energía solar. UTT (Unidad de Transporte Térmico) conformada por elementos de transferencia de calor de forma eficiente entre las distintas partes del sistema. UAA (Unidad de Almacenamiento y Aplicación), conformada por los elementos de almacenamiento de calor. UAS (Unidad Auxiliar de Soporte) conformada por los elementos de soporte a las otras unidades del sistema termosolar.

### Análisis físico-matemático

Las variables de interés en los sistemas termosolares son los rangos de temperatura de entrada y de salida, principalmente de la UTT. Se debe

realizar un análisis termodinámico desde su captación hasta su utilización, partiendo de las características geométricas de los componentes.

## Diseño del prototipo

### Aspectos funcionales

- Ubicación en el municipio de Santander de Quilichao- Cauca, Colombia.
- Capacidad de atender entre 1 y 3 usuarios hasta 3 horas.

### Aspectos mecánicos

Los valores de la UAS son seleccionados para coincidir con las características de las estufas convencionales (Yettou *et al.*, 2014) altura, largo, ancho, entre otros. Esta se subdivide en cuatro estructuras; soporte base con altura entre 1,20-1,30 m, longitud 2-3,5 m, con instalación en el patio de la casa. Soporte lentes, estructura que sostiene los lentes y brinda aislamiento, ancho de 0,32 – 0,34 m, largo mínimo de 2,4 m y altura de 0,15-0,20 m, de estructura triangular para minimizar el área de contacto con el ambiente y un ángulo de apertura de 60°. Soporte almacenamiento, estructura que soporta el peso de la UAA, es una mesa de altura de 1,20 – 1,30 m. Cimientos, parte inferior del soporte base, siendo 0,10 m más ancho que la base de tal soporte. UCS: Conformada por lentes fresnel reciclados de área de 0,09 m<sup>2</sup>, con punto focal principal a 0,15 m y temperaturas superiores a los 400 °C, la radiación solar concentrada

sale del lente con un ángulo promedio de 60 °; y lentes convexos reciclados con punto de concentración a 0,18 m y temperaturas superiores a los 500 °C (Hasan Nia *et al*, 2014).

## Implementación del equipo

Para dimensionar el sistema y obtener los planos mecánicos para la construcción de la cocina solar es necesario el uso de una herramienta de diseño asistido por computadora, CAD. En la parte de implementación se llevan a cabo dos etapas: construcción con RAEE donde se da cumplimiento a los requerimientos funcionales y mecánicos, y evaluación de desempeño planteando pruebas individuales para las unidades UCS, UTT y UAA, siguiendo estudios estándar (Jetter *et al.*, 2012) y (Kshirsagar y Kalamkar, 2014). Los distintos elementos, equipos y herramientas utilizados en la investigación son, en el diseño la herramienta CAD SolidEdge para una visualización y optimización de la estructura de funcionamiento, en la implementación lentes convexos y de fresnel adquiridos a

partir de un retroproyector 3M 1612 como concentradores térmicos, recipientes metálicos de diversos tamaños, tubos metálicos rectangulares para la base de la estructura y colectores térmicos, aceite de motor usado como fluido de transferencia energética, fibra de vidrio, lana aislante como material de recubrimiento térmico y 4 estaciones de monitoreo de temperatura con termocuplas tipo K.

## RESULTADOS

### Análisis físico matemático

Para el dimensionamiento de operación (Chacón y Velázquez, 2016), se relaciona la variación del número de personas (N) y tiempo de funcionamiento (t), con la energía útil ( $E_u$ ), masa ( $M_s$ ) y volumen ( $V_s$ ) de PCM, el área del colector ( $A_u$ ), y número de lentes fresnel necesarios. Con las relaciones establecidas se varió el número de personas (N) de 1 a 3 y el tiempo de operación (t) de 2 a 3 horas (tabla 1).

**Tabla 1.** Valores finales para la construcción de la cocina solar

$M_s$ (Kg)	$V_s$ (m <sup>3</sup> )	$E_u$ (KJ)	$A_u$ (m <sup>2</sup> )	# Lentes	N	t (s)
9,80	4,75	2.057	1,08	12	1	9.000

**Fuente:** elaborado por los autores.

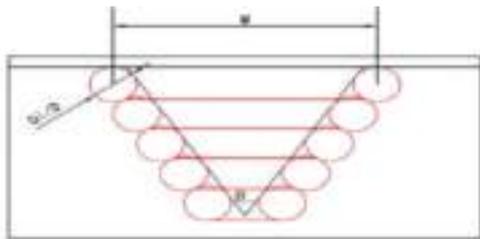
Con los parámetros establecidos (tabla 1) la cocina solar funciona un tiempo de 2,5 horas para una persona, al contar con 9,8 kg de PCM con un volumen

relacionado de 4,75 m<sup>3</sup>, necesitando un área del colector de 1,08 m<sup>2</sup> distribuida en 12 lentes de fresnel; generando una energía útil de 2.057 KJ.

## Cálculos para UTT

**Receptor térmico cónico:** en la UTT, encargada del proceso de transferencia térmica y transporte, necesita el cálculo del receptor solar cónico (Xie, Dai y Wang, 2013) (figura 1), para conocer la longitud de los tubos del receptor de calor

**Figura 1.** Variables de longitud de tubo del receptor cónico



**Fuente:** Xie, Dai y Wang, 2013.

A partir de una base de cálculos (Rovira *et al*, 2013), y considerando que el tanque de expansión está ocupado por un 40 % de HTF (Heat Transfer Fluid), (aceite de motor usado), se obtiene que:

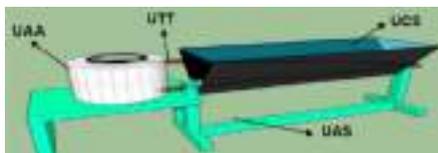
(Ecuación 1)

$$L'' = \frac{\pi W(D + W)}{4D \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad [m]$$

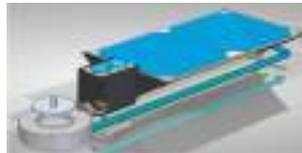
Donde D es el diámetro externo del tubo de cobre en m, W es el diámetro de la base del cono en metros, y  $\theta$  el ángulo de apertura del receptor en grados. Con  $W= 0.1m$ ,  $D= 0,013 m$ , y  $\theta =60^\circ$  se obtiene una  $L''=1,39 m$ . Se usan 12 receptores, uno para cada lente, por tanto, al multiplicar este valor por el total de receptores se tiene que la longitud total de tubo del receptor es de 16,68 m que sumado a los 9 m de la tubería sin conos daría un total de 25,68 m. Para el volumen total de aceite se toma el volumen de un cilindro (tubos) y de un paralelepípedo (tanque de expansión), para un funcionamiento adecuado conforme con los resultados de la tabla 1 se necesitan 3,585 L de HTF.

## Implementación del prototipo

Para el diseño CAD se parte de un esquema general del sistema termosolar con sus 4 unidades básicas (figura 2.a). Realizando una adecuación por aprovechamiento de superficie para la transferencia de calor se obtiene el diseño final (figura 2.b), para su posterior implementación (figura 2.c).



a. Organización modular.



b. Diseño final.



c. Sistema implementado.

**Figura 2.** Sistema termosolar

## Construcción

Para la construcción del sistema, se dividió el proceso de construcción por secciones de: soportes y bases de funcionamiento (figura 3.a-d); y

transferencia de calor (figura 3.e y 3.f). Para el recubrimiento de las secciones del sistema termosolar se utilizaron fibra de vidrio y lana aislante (reciclables); el acople de la UAA consistió en la unión de dos recipientes metálicos separados por material aislante.



a. Base metálica



b. Tanque recolector



c. Material de revestimiento.



d. Base terminada



e. Circuito de transferencia térmica simple



f. Circuito de transferencia térmica con recubrimiento

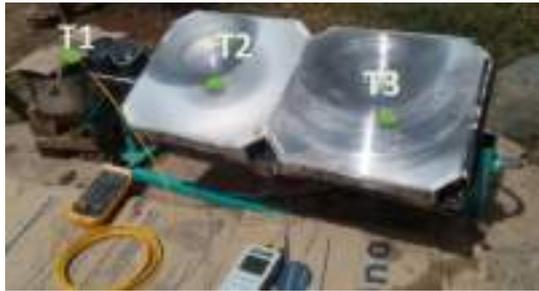
Figura 3. Montaje de circuito de transferencia térmica

## EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA TERMOSOLAR

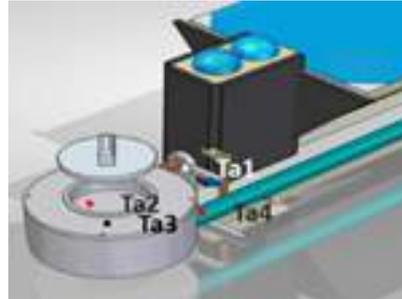
### Pruebas de la UCS, UTT y UAA

Para determinar el comportamiento térmico de la UCS y UTT se ubican termopares en los puntos especificados en la figura 4.a. En el exterior del tubo de cobre y al interior de los receptores se ubican los termopares  $T_2$  y  $T_3$ , mientras que  $T_1$  se coloca al interior de la UAA, en la zona donde se une la tubería con el recipiente intermedio que contiene

el HTF, un cuarto termopar  $T_4$  mide la temperatura ambiente. Para la UAA se sigue un procedimiento similar, se ubican termopares en los puntos especificados en la figura 4.b. En el interior de los tubos de entrada y salida ( $T_{\alpha 1}$ ,  $T_{\alpha 3}$ ), así como en el interior del contenedor PCM ( $T_{\alpha 2}$ ,  $T_{\alpha 4}$ ),  $T_{\alpha 2}$  se ubica en la mitad del PCM y  $T_{\alpha 4}$  se localiza a 1 cm de la pared del recipiente PCM. Esta prueba dura tres días. El día 1 las pruebas comienzan a las 9:15 a. m., los días 2 y 3 la primera lectura se toma a las 6 a. m. y la segunda se hace a las 9:30 a. m., esto con la intención de conocer el comportamiento térmico del prototipo y las pérdidas térmicas que ocurren en horas de la noche.



a. UTTrecubrimiento



b. UAA

**Figura 4.** Rotular la figura

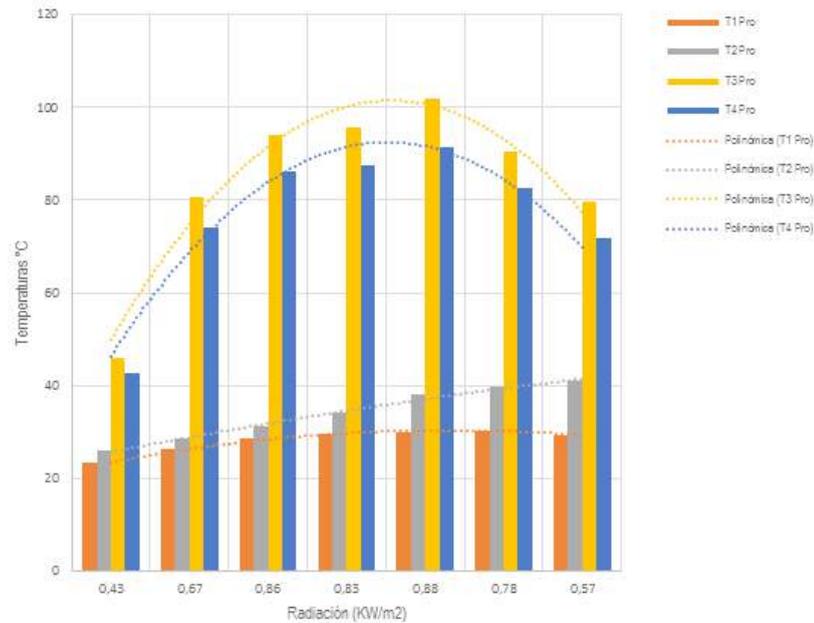
Las pruebas de la UTT inician en horas de la mañana (9:15 a. m.) y termina en horas de la tarde (4:00 p. m.). El registro de temperaturas es en intervalos de 15 minutos y datos de radiación cada hora durante los tres días que dura esta prueba, con su desarrollo se determina el comportamiento térmico de la UTT y de la UCS, planteando así una ecuación que permita determinar la temperatura del HTF en función de la radiación solar directa. Las pruebas para la UAA se realizan de dos formas a lo largo de cada día, primero se lleva a cabo la prueba de carga y posteriormente la de descarga, dichas pruebas consisten en: *Carga*, inicia en horas de la mañana en las que el cielo se encuentre totalmente despejado y termina cuando la  $T_{a2}$  supere los 220 °C, dicho valor es la temperatura aproximada a la que se da el cambio de fase del PCM. Durante este tiempo se monitorea la radiación solar y la temperatura en los 4 puntos especificados, en intervalos de tiempo de 15 minutos. Con esta información se obtiene una ecuación que permite conocer el tiempo que tarda en fundirse el PCM en función de la radiación solar y también se determina la eficiencia de transferencia térmica HTF-PCM.

*Descarga*, inicia inmediatamente después de que termina la prueba de carga y termina cuando la  $T_{a2}$  sea inferior a 100 °C. Las temperaturas se miden cada 15 minutos: tres horas después de que se termine esta prueba, se toma un último dato de temperatura. Esto para tener conocimiento de la usabilidad del prototipo en la noche y/o momentos de poca radiación, también es útil para establecer la temperatura de arranque de carga al día siguiente.

## DISCUSIÓN

### Ecuaciones de tendencia de la UCS y UTT

Para determinar el funcionamiento térmico de cada unidad del prototipo termosolar, se organizan los datos en la figura 5, que ilustra el promedio de los datos de radiación solar y de temperatura durante los tres días haciendo posible el trazar líneas de tendencia polinómica para obtener ecuaciones que modelan la UCS y UTT del prototipo en cuestión.



**Figura 5.** Relación de radiación solar y temperatura promedio de los días de ensayos de la UCS y UTT del prototipo

Con estos datos se obtienen las ecuaciones 2-5, que modelan el comportamiento térmico de la UCS y UTT del prototipo termosolar en función de la radiación solar ( $R_s$ ), indicando el respectivo ajuste de  $R^2$ , son:

$$T1 = -0,373R_s^2 + 3,9603R_s + 19,857 \quad (R^2 = 0,994) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$T2 = -0,1127R_s^2 + 3,5397R_s + 22,195 \quad (R^2 = 0,9885) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$T3 = -3,7048R_s^2 + 33,538R_s + 16,59 \quad (R^2 = 0,9569) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$T4 = -4,0635R_s^2 + 37,091R_s + 16,871 \quad (R^2 = 0,9563) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

La ecuación 2, correspondiente a T2, permite determinar la temperatura que alcanzará el HTF dentro de la UAA. Esta será la temperatura que se tiene en cuenta para el posterior análisis de dicha unidad.

## Eficiencia térmica de la UCS y UTT

La eficiencia general de esta unidad del prototipo termosolar se determina en tramos, siendo el tramo 1 el que parte de la T4 hasta la T3, el tramo 2 es el que va del T3 al T2 y el tramo 3 es el que va de T2 a T4.

Tramo 1:  $\eta = \left(1 - \frac{|T_3 - T_4|}{T_3}\right) * 100$   $\eta = \left(1 - \frac{|T_3 - T_4|}{T_3}\right) * 100$  (Ecuación 6)

Tramo 2:  $\eta = \left(1 - \frac{|T_3 - T_2|}{T_3}\right) * 100$   $\eta = \left(1 - \frac{|T_3 - T_2|}{T_3}\right) * 100$  (Ecuación 7)

Tramo 3:  $\eta = \left(1 - \frac{|T_4 - T_2|}{T_4}\right) * 100$   $\eta = \left(1 - \frac{|T_4 - T_2|}{T_4}\right) * 100$  (Ecuación 8)

Se presenta la información de eficiencia energética (KW/m<sup>2</sup>) de la UTT y UCS del prototipo termosolar (tabla 2). El análisis de las unidades estudiadas parte de que la eficiencia promedio de un lente de fresnel es cercana al 92 %.

**Tabla 2.** Datos de eficiencia energética por tramos de la UTT y UCS de la cocina solar.

Hora	Eficiencia energética (KW/m <sup>2</sup> )				Eficiencia global (%)
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Energía total Perdida	
9:15	0,40	0,22	0,14	0,29	32,16
10:00	0,61	0,22	0,08	0,58	12,54
11:00	0,79	0,26	0,10	0,77	11,05
12:00	0,76	0,27	0,11	0,73	12,74
13:00	0,79	0,30	0,12	0,76	13,99
14:00	0,71	0,31	0,15	0,63	19,41
15:00	0,51	0,26	0,15	0,42	26,38
<b>Promedio</b>	<b>0,65</b>	<b>0,26</b>	<b>0,12</b>	<b>0,60</b>	<b>18,32</b>

Al observar la eficiencia promedio en cada tramo de la UTT y UCS se determina que la zona donde se presentan la mayor cantidad de pérdidas térmicas es la que corresponde al tramo 2. Esta zona presenta una eficiencia térmica de 40,61 %. En dicho tramo se hallan los lentes convexos donde la zona de recepción es el tubo sin receptores cónicos. En este tramo hay cerca de 38 cm de longitud entre tubo de cobre y manguera, de los cuales aproximadamente 11 cm se hallan sin aislamiento ya que es la zona de influencia de los puntos

de concentración de los dos lentes convexos, ocasionando que se pierda la mayor parte de los 0,36 KW/m<sup>2</sup> que se desperdician en promedio en el tramo 2. La manguera de mayor longitud, que se halla por fuera de la UAS y que hace parte del tramo 3, presenta una eficiencia del 44,49 %. El tramo 1 fue el que mejor comportamiento presento, este contaba con los receptores cónicos, el aislamiento térmico de 2 cm de grosor en 30 cm de los 34 cm de longitud de tubería que lo componen, y con un ingreso mayor de energía. La eficiencia

promedio de esta zona es del 91,28 %. Las unidades evaluadas (UTT y UCS) tienen una eficiencia energética (KW/m<sup>2</sup>) de aproximadamente 16,86 %.

Al iniciar el análisis del comportamiento térmico del prototipo termosolar se realizó una prueba de puesta a punto donde se sometió el sistema a las condiciones reales. El propósito de esta prueba era determinar la ubicación adecuada de la unidad auxiliar respecto al sol y precisar la zona de influencia del punto de concentración. En el periodo de puesta a punto se llenó la UTT con agua, la UAA no tenía instalado el recipiente contenedor PCM por lo que incluso dicho volumen estaba ocupado por agua. Después de 4 horas y una vez calibrado el sistema respecto a la posición del sol entre las 12 p. m. y la 1 p. m. se daba por terminada la prueba, fue entonces cuando se estimó que la temperatura del agua estaba por encima de los 60 °C, el cual es un valor insuficiente para dar cumplimiento a los objetivos y requerimientos planteados. Fue entonces que se decidió disminuir el volumen de la UTT añadiendo la manguera termorresistente de diámetro 3/8 de pulgada, permitiendo una reducción de fluido de 200 ml con la intención de alcanzar temperaturas mayores. Es posible que el cambio del tubo de cobre aislado por la manguera termorresistente no haya sido una decisión acertada, ya que al observar los cálculos es evidente que la eficiencia en la sección de la UTT, compuesta por la tubería de cobre más el aislamiento de fibra de vidrio de 2 cm de grosor, es superior a la de las secciones compuestas por la manguera, aunque

cabe resaltar que las características de los fluidos usados son muy diferentes.

## CONCLUSIONES

Se desarrolló una cocina solar funcional con las unidades principales de los sistemas termosolares (UCC, UTT, UAA, y UAS) con una metodología ecoamigable, utilizando elementos reciclados y RAEE obteniendo una solución alternativa al incremento de desechos y desperdicio de la energía solar. La cocina tiene un tiempo de operación para una persona de 2 a 4 horas dependiendo de la radiación solar con la que se cuente y un sistema de seguimiento solar manual para el aprovechamiento óptimo de la luz solar. La superficie de contacto entre el recipiente con los alimentos y la energía colectada debe maximizarse y al mismo tiempo se debe garantizar la menor cantidad de pérdidas posible durante y después del proceso de preparación de los alimentos.

En la parte de construcción y evaluación de la cocina se desarrolló de tal forma que su operación y caracterización sea sencilla, donde la caracterización de sus unidades con respuesta de la temperatura en función de la radiación solar son polinomios de segundo orden directos, indicando que hay un aprovechamiento de la energía solar aun existiendo zonas con pérdidas térmicas, por falta de revestimiento, del 56 %, tales pérdidas son por conducción es decir por el contacto entre tubo y ambiente.

El uso de los lentes fresnel reciclados es una alternativa ambientalmente viable, ya que la unidad de colector solar alcanza temperaturas mayores a los 100 °C en los picos de radiación solar, sin embargo, para obtener un mayor incremento de temperatura es necesario colocar dos o más lentes de fresnel en serie.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad del Cauca por el apoyo prestado en la realización de esta investigación.

## REFERENCIAS

- Araújo, M. G., Magrini, A., Mahler, C. F. y Bilitewski, B. (2012). A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, 32(2), 335–342. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.020>
- Chacón, R. Velázquez, N. (2016). Ingeniería, investigación y tecnología. Análisis y diseño de un sistema de generación eléctrica termosolar con concentrador de disco parabólico y motor Stirling de 2.7 kW enfriado por aire. *Analysis and Design of a Dish / Stirling System for Solar*, XIII, 1–13.
- Cuce, E. y Cuce, P. M. (2013). A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*, 102, 1399–1421. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.002>
- Jetter, J., Zhao, Y., Smith, K. R., Khan, B., Decarlo, P., Hays, M. D., ... Hays, M. D. (2012). Pollutant Emissions and Energy Efficiency under Controlled Conditions for Household Biomass Cookstoves and Implications for Metrics Useful in Setting International Test Standards. *Environmental Science & Technology*, 46(19), 10827–10834. <http://doi.org/10.1021/es301693f>
- Kshirsagar, M. P. y Kalamkar, V. R. (2014). A comprehensive review on biomass cookstoves and a systematic approach for modern cookstove design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 580–603. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.039>
- Meng, X., Thornberg, B. y Olsson, L. (2014). Strategic proactive obsolescence management model. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 4(6), 1099–1108. <http://doi.org/10.1109/TCPMT.2014.2316212>
- Morales Velazco, S., Vivas Quila, N. J. y Gómez Medina, V. (2015). Variables biofísicas de doce sistemas agrosilvopastoriles en la meseta de Popayán-Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 11. [http://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)11-21](http://doi.org/10.18684/BSAA(13)11-21)
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C. y Kothari, S. (2012). State of the art of solar

- cooking: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3776–3785. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.026>
- Reig, R., Mancinas-Chávez, R. y Nogales-Bocio, A. (2014). An approximation to the configuration of Spain's audiovisual media in 2014. The case of Canal Sur TV. *Revista Latina de Comunicación Social*, 69, 593–617. <http://doi.org/10.4185/RLCS-2014-1026en>
- Rodríguez, B., Angélica, L., González, E., Reyes, R., Lorena, S., Torres, R. y Andrés, F. (2013). Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos . Enfoque de dinámica de sistemas Management system of waste electrical and electronic equipment . System dynamics approach.
- Rovira, A., Montes, M. J., Varela, F. y Gil, M. (2013). Comparison of Heat Transfer Fluid and Direct Steam Generation technologies for Integrated Solar Combined Cycles. *Applied Thermal Engineering*, 52(2), 264–274. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.12.008>
- Sandoval, J. C. (2011). Gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos mediante estrategias de producción más limpia. *Journal de Ciencia E Ingeniería*, 3(1), 16–20.
- Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A., Yazici, E. Y. y Deveci, H. (2012). Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling. *Minerals Engineering*, 25(1), 28–37. <http://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.09.019>
- Vega, O. A. (2013). Efectos colaterales de la obsolescencia tecnológica. *Revista Facultad De Ingeniería*, 21(32), 55–62. <http://doi.org/10.19053/01211129.1434>
- Vélez-Pereira, A. M., Vergara Vásquez, E., Barraza Coronell, W. y Agudelo Yepes, D. (2013). Determinación de un modelo paramétrico para estimar la radiación solar. *Ingenium*, 7(18), 11. <http://doi.org/10.21774/ing.v7i18.347>
- Xie, W. T., Dai, Y. J. y Wang, R. Z. (2013). Thermal performance analysis of a line-focus Fresnel lens solar collector using different cavity receivers. *Solar Energy*, 91, 242–255.
- Yettou, F., Azoui, B., Malek, A., Gama, A. y Panwar, N. L. (2014). Solar cooker realizations in actual use: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 288–306. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.018>