

Calentador solar ecológico automatizado con base en botellas PET

Solar heater ecologic automated based in PET bottles

Anderson Felipe Luján¹, Andrés Felipe Isaza²,
Eduardo Alexander Duque³, Sebastián Chica⁴

Fecha de recepción: 31 de mayo de 2013

Fecha de aceptación: 20 de julio de 2013

Resumen

El artículo presenta los resultados obtenidos en la elaboración de un prototipo de calentador solar automatizado. Es un sistema de calentamiento solar para agua, con base en recirculación natural y 100% ecológico. Utiliza una serie de tubos construidos con botellas PET reutilizadas, capaces de captar los rayos del sol, provocando en su interior un efecto invernadero, mediante el cual el calor generado es absorbido por el agua de todo el sistema, sin necesidad de utilizar ningún tipo de combustible. Mediante la teoría del cuerpo negro y varias propiedades de la física óptica, se logra que el agua conserve gran parte del calor que se absorbe con el sol durante el día. El agua incrementa su temperatura hasta unos 45-50°C.

PALABRAS CLAVE: Botellas PET, calentador solar, cuerpo negro, efecto invernadero, efecto termosifón, energías renovables, radiación solar, reciclaje.

- 1 Tecnólogo, Mecatrónica, Coordinación Semillero de Investigación SAURO. Institución Universitaria Pascual Bravo. lujan@pascualbravo.edu.co
- 2 Tecnólogo, Mecatrónica, Ing. Electromecánica, Coordinación Semillero de Investigación S-GiiEN. Institución Universitaria Pascual Bravo. Instituto Tecnológico Metropolitano Institución Universitaria. isaza@pascualbravo.edu.co
- 3 MSc(c) Ing., Química, Administrativa, Coordinación Línea de Investigación, Área de Energías. Institución Universitaria Pascual Bravo. Universidad Nacional de Colombia. duque@pascualbravo.edu.co
- 4 Tecnólogo, Mecatrónica, Ing. Industrial. Institución Universitaria Pascual Bravo. Universidad Nacional De Colombia. sebastian.chica@pascualbravo.edu.co

Abstract

This article presents the results obtained in the elaboration of a prototype of solar heater. The automated solar heater is a solar heating system for water, based in natural recirculation and 100% ecologic. Uses a series of tubes constructed with PET bottles reused, able to capture the sun's rays, causing inside a greenhouse effect, whereby the heat generated is absorbed by the water throughout the system, without using any fuel. Through black body theory and various properties of optical physics, it makes the water keeps much of the heat that is absorbed with the sun during the day. The water increases its temperature until a 45-50°C

KEYWORDS: PET bottles, heater solar, black body, greenhouse effect, thermosyphon effect, renewable energy, solar radiation, recycling.

1. Introducción

Durante años los problemas más grandes en el mundo han sido la producción de plásticos, el efecto invernadero y el uso excesivo de energía eléctrica [34], [35]. Ahora, más que nunca, se necesita de desarrollos tecnológicos o innovaciones ecológicas que puedan acabar o disminuir, en cierto porcentaje, la contaminación global. El cambio climático que se produce ha planteado la responsabilidad que deben asumir las naciones, y en especial, los actores del sector industrial y empresarial como principales agentes del cambio [34], [35].

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, se pensó en reutilizar las botellas tipo PET y las envolturas metalizadas de los alimentos en la construcción de un calentador solar ecológico para agua, aprovechando, al mismo tiempo, la fuente energética limpia y gratuita del Sol, que no produce efectos secundarios, reutilizando el PET, y evitando la contaminación con este material de desecho [6], [8], [26].

En Colombia existen algunas regiones que poseen unas condiciones favorables de radiación solar que facilitarían el uso de los calentadores ecológicos, como efectiva solución de gran impacto industrial y social; más aún, al tener en cuenta que muchas de ellas se encuentran apartadas y que no están conectadas al sistema eléctrico, presentan necesidades básicas insatisfechas de urgente atención[2].

Este documento está organizado de la siguiente manera: en la segunda sección se muestran las estadísticas sobre la producción y consumo de plásticos en el país; en la sección tres se describe gráficamente el comportamiento

de la radiación solar en el país y en la ciudad de Medellín; en la sección cuatro se muestran los antecedentes del prototipo. Se explica el desarrollo, la funcionalidad y el diseño del circuito de control en la sección 5 y 6; se finaliza con los resultados y conclusiones en las secciones 7 y 8.

2. Producción y consumo de plásticos en Colombia

La producción de plásticos data de 1869, cuando se creó el celuloide que en 1884 dio origen a la película fotográfica. Sin embargo, puede decirse que la industria de los plásticos es del siglo XX. Su crecimiento, desarrollo, aplicaciones e impactos en la sociedad y la economía han tenido lugar en los últimos cien años, lo que convierte a la industria del plástico en un invaluable aporte a la historia de la civilización y a la fabricación de productos esenciales ^[1].

Desde el comienzo de la década de los sesenta se produjo un marcado crecimiento en la industria de los plásticos. Actualmente, la producción mundial es diez veces mayor que en aquella época y alcanza aproximadamente cien millones de toneladas anuales.

La principal materia prima para la producción de plásticos, además del gas natural, es el petróleo. El 5% del petróleo extraído se utiliza para la fabricación de plásticos, lo que representa una mínima cantidad de recursos no renovables, comparado con las ventajas y beneficios que se derivan de su transformación en incontables productos útiles. Adicionalmente, comparados con los materiales inorgánicos, los plásticos requieren un menor consumo energético durante su transformación porque se procesan a temperaturas de operación más bajas.

En Colombia, la industria del producto se ha caracterizado por ser, en condiciones normales, la actividad manufacturera más dinámica de las últimas tres décadas, con un crecimiento promedio anual del 7%.

El impacto ambiental en la producción de materias primas y en la industria transformadora de resinas plásticas es poco significativo debido a factores como: la no utilización de combustibles fósiles, bajo consumo de energía eléctrica, poca demanda de agua, bajo nivel de emisiones atmosféricas y vertimientos, y facilidad de reciclar los residuos sólidos industriales, en particular los termoplásticos, dentro de sus procesos o en los de otras industrias.

Por su parte, la disposición final de los residuos plásticos tiene un impacto ambiental alto en la medida en que los residuos sólidos son eliminados en botaderos a cielo abierto ^{[12], [19], [25]}, siendo ésta una práctica que predomina en la mayoría de los municipios de Colombia. Según la Política de Manejo Integral de Residuos Sólidos expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, esta práctica se ha favorecido por la falta de aplicación de tecnologías alternativas para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos; falta de coordinación interinstitucional del tema; falta de recursos financieros por parte de los municipios; énfasis en la determinación de los costos de recolección y transporte, de forma que la tarifa de aseo no involucra los costos reales de un sistema de eliminación, tratamiento o disposición final; falta de empresas de aseo consolidadas que ofrezcan alternativas en el manejo de los residuos sólidos (las empresas establecidas ofrecen las tradicionales fases de recolección, transporte y disposición final, únicamente), entre otras, todo lo cual origina un desconocimiento municipal de la existencia de tecnologías alternas para el manejo de los residuos sólidos.

TABLA 1. Vida útil en algunas aplicaciones de los plásticos en Colombia

Tuberías de PVC en construcciones	Vida de la vivienda
Tuberías de PVC en infraestructura	Hasta cincuenta años
Cajas de polipropileno para herramientas	Diez a quince años
Cajas de polietileno de alta densidad para bebidas	Cinco a siete años en promedio
Películas de invernadero de polietileno	Dos a tres años
Envases para productos de higiene y aseo	Uno a dos años
Bolsas plásticas de polietileno	Menor de un año
Envases PET	Menos de seis meses o más de un año si son retornables

Considerando el concepto de vida útil, se puede afirmar que el volumen de residuos plásticos urbanos será siempre inferior al total del consumo de plásticos. En el caso colombiano, el consumo de plásticos en el período 1997 a 2000 está alrededor de las 530.000 toneladas anuales, en tanto que el volumen de residuos plásticos urbanos estimado se encuentra entre 220.000 y 280.000 toneladas por año ^[1].

3. Radiación solar colombiana

En la Figura 1 se ilustra una aproximación de promedios anuales diarios de la cantidad de energía de la radiación solar que incide por metro cuadrado de superficie horizontal sobre el territorio colombiano.

La medida a la intensidad se indica en el mapa mediante convenciones de colores desde el azul oscuro hasta el rojo oscuro. La unidad de la energía utilizada corresponde al kilovatio hora (equivalente a 3,600 kilo-julios) [2].

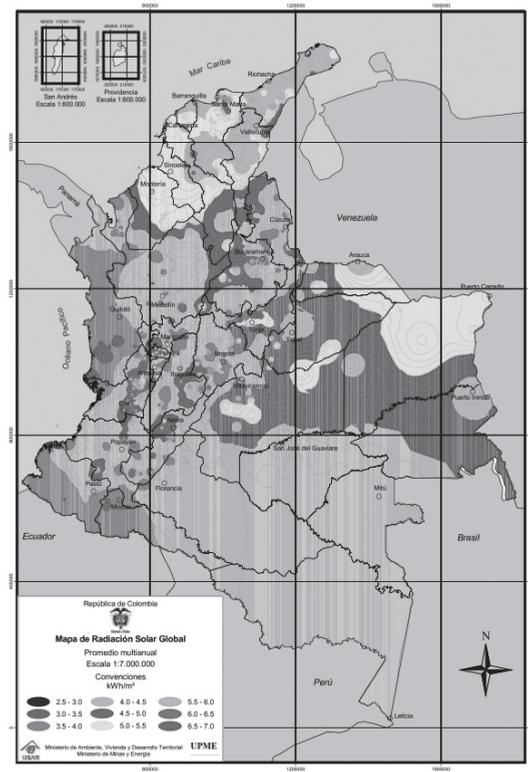
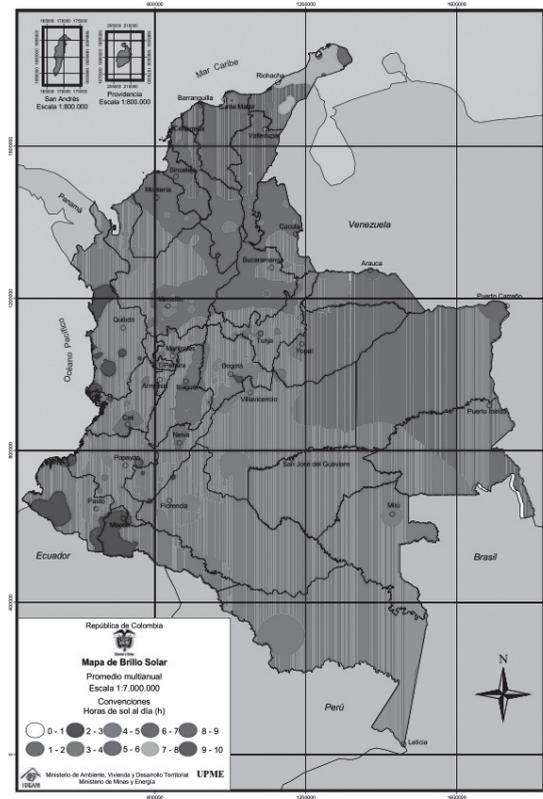


Figura 1. Mapa de radiación solar global.

Fuente: UPME.

Por su parte, la Figura 2 mediante convenciones de colores (la variación desde el blanco hasta el rojo indica una mayor intensidad) ilustra una aproximación de promedios anuales diarios del número de horas de sol, brillo solar, sobre el territorio colombiano.

El valor suministrado corresponde al número de horas que, en promedio, durante un día de cada mes o año, se puede observar el sol en el cielo.

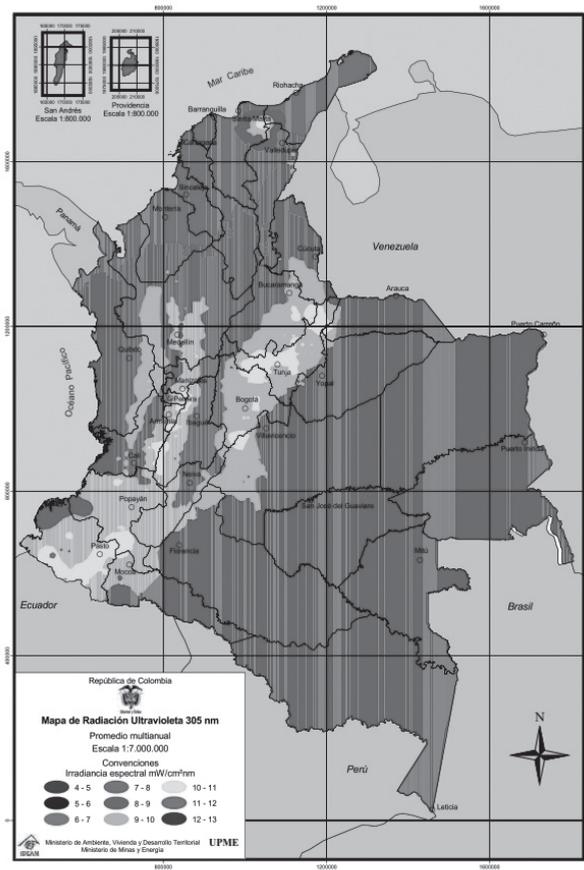


57

Figura 2. Mapa de brillo solar.

Fuente: UPME.

La Figura 3, mediante convenciones de colores, donde la variación desde el lila hasta el café indica una mayor intensidad, ilustra una aproximación de promedios mensuales de la intensidad energética de la radiación ultravioleta con longitud de onda 305 nm, que incide sobre el territorio colombiano. El valor suministrado de la energía corresponde a los $\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{nm}$ que en promedio, durante un día de cada mes o año, incide sobre un centímetro cuadrado alrededor del mediodía y centrada en la longitud de onda de los 305 nm.



75

Figura 3. Mapa de radiación ultravioleta.

Fuente: UPME.

La Figura 4, para la ciudad de Medellín, muestra gráficamente el comportamiento de la radiación solar incidente sobre paredes (superficies verticales) con diferente orientación y sobre la superficie.

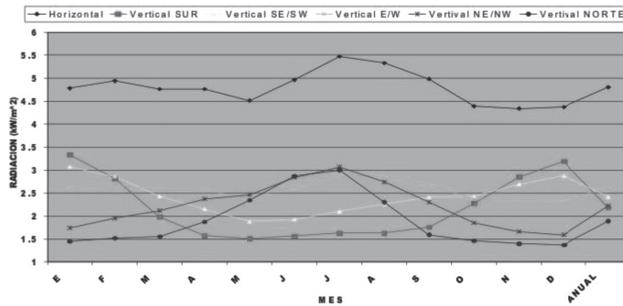


Figura 4. Radiación global sobre superficies en la ciudad de medellín.

Fuente: UPME.

Las superficies consideradas son la horizontal, empleadas como referencia, y las paredes con las orientaciones SUR, SE/SW, E/W, NE/NW y NORTE. En la gráfica, el eje de las x corresponde a los diferentes meses del año, y el denominado AN corresponde al promedio anual.

Por la localización del país (en el hemisferio norte), es importante anotar que las paredes que mayor cantidad de energía reciben son las paredes del este, y la de menor cantidad es la pared norte. La cantidad de energía recibida por las paredes S y SE/SW aumenta en la medida en que éstas se encuentren más hacia el norte.

4. Antecedentes

Países como Brasil y Chile han venido implementando, en comunidades no interconectadas al sistema eléctrico, proyectos de calentadores solares de agua con materiales reciclables con muy buenos resultados [11], [15], [20], [23]. Algunos de ellos son:

- Programa de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Hídricos de Brasil: Ing. José Alcino Alano Brasil. Este programa desarrolló un manual de calentador solar con botellas de plásticos recicladas que en su interior tienen tetrapack pintado de negro.
- José Alcino Alano, 2006. Proyecto Instalado en Combemtú Brasil, Comisión del Bienestar del Menor de Tubarão, Brasil, de colectores solares realizados con botellas PET para el aprovisionamiento de agua sanitaria

para obras de mayor envergadura, con un sistema similar presentado al proyecto anterior.

- Programa del Estado de Paraná, Brasil, 2008. Proyecto colector solar pasivo, hecho con botellas descartables de PET, que ofician de colector-acumulador, de Pedro Serrano del Canello de Nos, ONG de Chile. Este sistema consiste en un gabinete aislado térmicamente por detrás, en el que se colocan las botellas. Este gabinete posee una ventana por delante que se abre para permitir la renovación de la carga de agua; en el lapso de tres horas alcanza una temperatura de 60-85 °C en un día claro, sin nubes. Serrano P., 1995.

5. Descripción y desarrollo del calentador solar

El sistema básicamente se compone de un acumulador, un colector solar y un sistema electrónico auxiliar. El acumulador es un termo tanque de cincuenta litros recubierto con una pintura térmica que le brinda un aislamiento del ambiente, conservando por más tiempo el agua caliente. Tiene cinco vías: la primera es el tubo de entrada del agua al acumulador, la segunda vía sale del acumulador hacia el colector, la tercera sale del colector nuevamente hacia el acumulador, la cuarta es la salida del agua, y la quinta es la purga de vapor de agua. El colector solar plano aloja los envases de PET, los cuales tienen un recubrimiento interno con papeles metalizados (envolturas reciclables), capaces de acaparar los rayos del sol, provocando en su interior un efecto invernadero, mediante el cual el calor generado es absorbido por el agua de todo el sistema y transferido a las tuberías de agua. Estas tuberías están recubiertas de una pintura negra que permite mejor acumulación de calor en su interior, de acuerdo con la teoría del cuerpo negro, generando una mayor eficiencia del sistema. Los tubos de PET están pintados en la parte posterior con una pintura negra con el fin de que los rayos solares que inciden sobre éstos no se reflejen en el ambiente. El sistema funciona por efecto termosifón, es decir, el agua caliente pierde densidad y peso por lo que tiende a ascender de manera natural dentro del acumulador, mientras que el agua fría tiende a descender hasta los tubos del colector, ya que tiene mayor peso y densidad. El movimiento del agua se realiza sin necesidad de bomba y no necesita ningún componente eléctrico o mecánico.

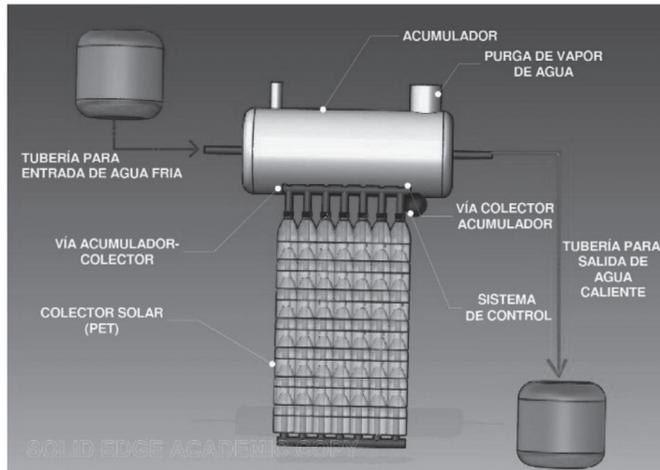


Figura 5. Diagrama del proceso. Construcción propia.

5.1. Funcionalidad

Al verter el agua en el acumulador ocurre una bifurcación en las dos primeras vías, ya que se llena el acumulador y se desvía hacia el colector, coperando totalmente de agua la tubería interna, lo que dirige el líquido hasta la salida del colector, que sería la tercera vía. Con esto el sistema queda completamente lleno de agua.

Cuando inciden rayos solares sobre el colector solar este comienza a transferirle calor al agua que hay dentro de los tubos, gracias al efecto termosifón que conlleva a que el agua fría caiga a la parte inferior y la caliente ascienda al acumulador, debido a que es menos densa.

El sistema tiene un control electrónico auxiliar en caso de ausencia de rayos solares, incluyendo la noche, el cual asegura que el agua esté caliente con la ayuda de una resistencia eléctrica, siempre y cuando sea necesario, utilizando un sensor de temperatura en la salida y una fotocelda en el colector. Además, el sistema detecta el nivel de agua en el acumulador, el cual si tiene un nivel muy bajo, con la ayuda de una electroválvula en la entrada se llenaría hasta el nivel óptimo.

Para evitar una posible explosión del acumulador por el aumento de presión se dispone de un sensor que garantiza que la presión permanezca

constante, de manera tal que, al sobrepasarse la presión de control, se abre una válvula en la purga del acumulador.



Figura 6. Calentador solar – Prototipo inicial. Construcción propia.

5.2. Diseño electrónico del sistema de control

Para entender el sistema de control general, se muestra en la Figura 7 el diagrama de bloques, compuesto por los sensores, la adecuación de las señales, y finalmente el control de encendido y apagado de una resistencia eléctrica.

5.2.1 Control ON-OFF

El objetivo de este sistema es mantener constante la temperatura del agua en el tanque, con la ayuda de un sensor de temperatura LM35. Este sensor, en conjunto con una fotocelda, analiza en tiempo real la temperatura y la luz solar, respectivamente, de modo tal que si la cantidad de luz solar y la temperatura del agua son muy bajas, el electrodo se enciende. Si por el contrario, la temperatura se encuentra a 35°C , el electrodo se desactiva por un período de treinta minutos; independiente del nivel de incidencia de la luz solar, esto con el objetivo de tener un mayor ahorro de consumo eléctrico.

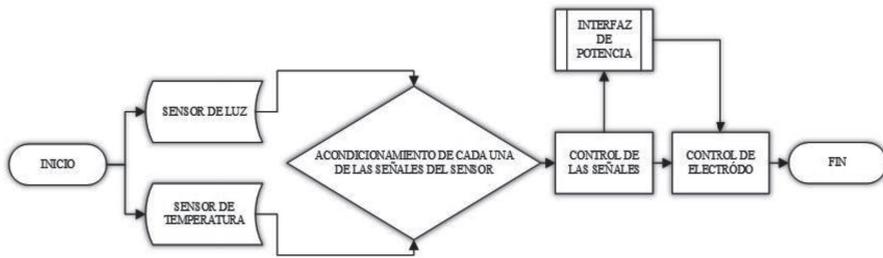


Figura 7. Diagrama de bloques del sistema de control

Para la adecuación de señales se recurrió a la implementación de amplificadores operacionales. Del mismo modo, para la fotocelda se utilizó un amplificador operacional configurado en modo comparador; éste si posee un voltaje mayor en el terminal no inversor (+), que en el inversor (-), entrega a la salida, el voltaje positivo de la fuente y viceversa, si el inversor es mayor que el no inversor, envía cero voltios a la terminal de salida.

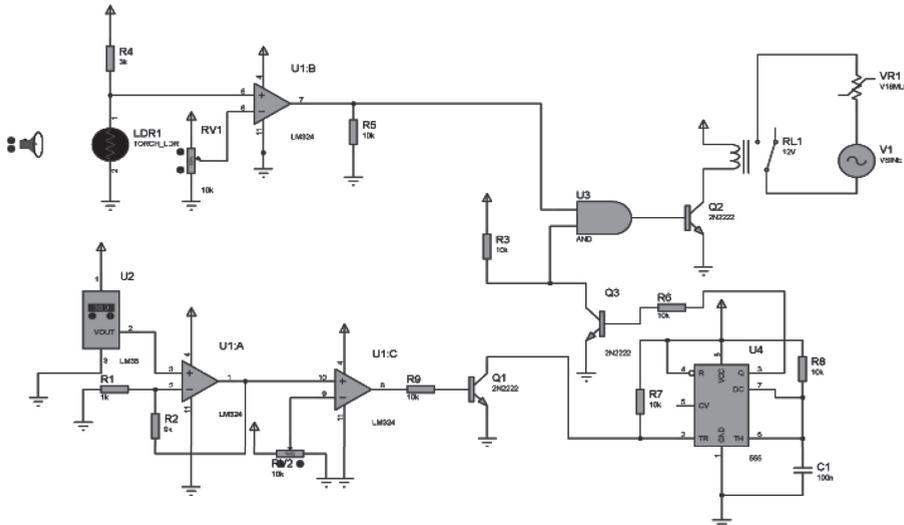


Figura 8. Sistema de control: circuito electrónico

En el circuito de la Figura 8, puede apreciarse que la fotocelda realiza un divisor de voltaje con una resistencia. Al medir la resistencia de la fotocelda

con la menor cantidad de luz solar que generaba energía útil para calentar el agua, se obtuvo como resultado 2,543 KΩ. Para calcular el valor de la resistencia se recurrió a la ecuación (1) “divisor de voltaje de Kirchhoff”.

$$V_{fotocelda} = \frac{V_{fuente} \cdot Resistencia}{2,543 + Resistencia} \quad (1)$$

Conociendo que el voltaje de la fuente es equivalente a cinco voltios se despeja el valor de la resistencia, obteniendo un valor de tres voltios, en la fotocelda.

$$3 = \frac{5V \cdot Resistencia}{2,543 + Resistencia}$$

En el acondicionamiento de la señal del sensor de temperatura se utilizó un amplificador operacional en modo no inversor. Para calcular sus resistencias deben considerarse los siguientes pasos:

- Definir la temperatura a la que va a llevarse el agua.
- Conocer las transformaciones que hace el sensor de temperatura LM35. Este sensor caracteriza la señal de manera lineal con una pendiente de 10mV/°C.
- Con estos datos se define el voltaje de la salida del amplificador operacional. En este caso, tres voltios.
- Utilizar la ecuación (2) del amplificador operacional, en modo no inversor.

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (2)$$

Siendo,

V_{out} =Voltaje de salida

V_{in} =Voltaje del sensor LM35

$R2$ =Resistencia de retroalimentación

$R1$ =Resistencia que va a tierra

- Para calcular los valores de las resistencias, debe suponerse el valor de una de ellas, y así, calcular el valor la otra. Se eligió R2, asumiendo para R1 un valor igual a 1 KΩ.

Con esto se asegura que cuando el sensor LM35, detecte una temperatura de 35°C, envía tres voltios a la salida del amplificador operacional. La salida de esta señal es llevada a un amplificador operacional, en modo comparador para que se obtenga un voltaje positivo y que sirva para activar un transistor NPN, que activa el temporizador realizado con un circuito integrado NE555, el cual evita que se vuelva a encender el electrodo, si la temperatura del sensor LM35 baja a 34°C.

Como puede detallarse en el circuito de la Figura 8, las señales de la fotocelda y el sensor LM35, van a una compuerta AND; ésta tiene como condición la información de la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de la compuerta lógica AND

SENSOR DE TEMPERATURA	FOTOCELDA	SALIDA DE LA COMPUERTA AND
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Si se aprecian las entradas de la compuerta lógica AND, en la Figura 8 se observa la implementación de una resistencia como pull-down en la salida del amplificador operacional de la fotocelda, es decir, un cero lógico, y en la salida del amplificador operacional del sensor de temperatura LM35, una resistencia como pull-up, es decir, un uno lógico; por lo tanto, es entonces, cuando el sensor de temperatura LM35 alcanza los 35°C que envía un cero lógico con la ayuda del temporizador NE555 y el transistor NPN, lo que indica que la entrada de la compuerta lógica AND en la señal del sensor de temperatura, recibe un uno lógico. Cuando la temperatura que analiza el sensor es menor a 35°C y la fotocelda detecta una ausencia de luz aprovechable por el colector, envía un uno lógico a la compuerta AND.

Sólo cuando la compuerta AND envía un uno lógico, a su salida enciende el electrodo; como se garantiza en las condiciones de la Tabla 2, y en las cuales se mantiene desactivada.

6. Características comerciales de los calentadores de agua eléctricos y solares

6.1. Calentador de agua eléctrico

La oferta en el mercado, referente a este tipo de calentadores de agua y sus características principales, oscila entre 60 Lts/Min y 130 Lts/Min, respecto a la capacidad de agua para calentar; 3.800–7.000 vatios en cuanto al consumo energético, un rango de operación de voltaje entre 120–240 voltios, un peso que va de 10 a 50 kilogramos, y un precio que fluctúa de \$1.000.000 a \$5.000.000 ^{[36], [37]}.

6.3. Calentador solar de agua

Por su parte, los calentadores solares disponibles en el mercado, en promedio, son desarrollados para abastecer hasta seis personas en un hogar, y con una capacidad de doscientos Litros; poseen un peso alrededor de trescientos cincuenta kilogramos y una temperatura máxima estimada de 45°C. Sin embargo, y por el uso de materiales de alta tecnología, así como de un sistema anticongelante, el costo es muy similar al de los calentadores eléctricos convencionales ^[38].

7. Resultados

Se construyó una estructura desarmable como soporte para el tanque y el colector, que permite la regulación del ángulo de inclinación de este último elemento. Con el colector formando un ángulo de 37°, orientado hacia el Este, y con solo treinta litros de agua en el tanque, ya que el colector está constituido de solo cuatro ramales, lo que determina una distribución de la masa de agua en el sistema de 7,5 Lts. /ramal. Cada ramal está compuesto por seis botellas pintadas de negro y recubiertas con papel metalizado. A su vez, cada botella tiene una longitud de treinta centímetros de largo y doce centímetros de diámetro. El área total del colector equivale a siete m². Por su parte la tubería es de veinte mm de diámetro externo y diecisiete mm de

diámetro externo, mientras que el tanque posee las siguientes dimensiones: cincuenta centímetros de largo y veinticinco centímetros de diámetro.



Figura 9. Calentador solar – Prototipo final. Construcción propia

Se realizaron mediciones térmicas del trabajo del sistema. Las lecturas de temperatura del agua en el interior del tanque de almacenamiento se realizaron mediante un par de termocuplas tipo K, ubicadas una, en la zona superior, y la otra en el fondo del mismo. Las lecturas de temperatura ambiente se realizaron con un termómetro de mercurio de -10°C a $100^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Los resultados han sido muy positivos, alcanzando temperaturas alrededor de los 50°C . En la Figura 10 se ilustran las mediciones ponderadas.

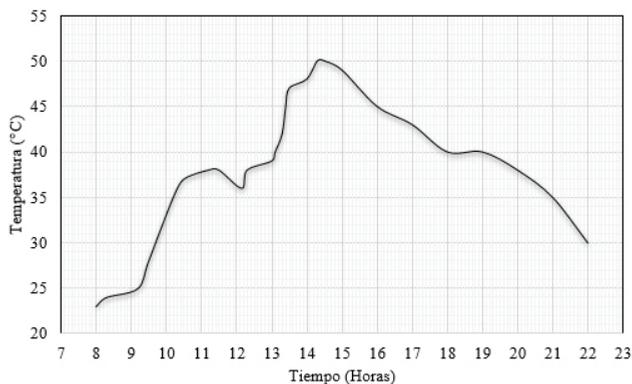


Figura 10. Gráfica de temperatura promedio obtenida con el calentador solar

La gráfica anterior muestra el comportamiento de la temperatura en el tanque de almacenamiento iniciando desde las 8:00 a.m. con una temperatura de 23°C, llegando a los 35°C en dos horas de funcionamiento y alcanzando una temperatura máxima de 50°C entre la 1:00 y 2:00 p.m.

8. Conclusiones

El desarrollo de nuevos dispositivos, cuyo funcionamiento se fundamenta en la implementación de energías renovables, son de gran impacto en los sectores industrial y social.

El circuito electrónico de control es muy económico logrando una mayor comodidad del usuario, cuando hay escasez de luz solar.

En comparación con los calentadores comerciales de agua, tanto el costo de adquisición como el consumo energético, es considerablemente más bajo gracias a la reutilización de elementos que en principio serían considerados “basura”.

Se evidencia una reducción en la demanda de potencia eléctrica por parte del sistema, ya que el circuito de control sólo funciona en horas de la noche.

En general, el funcionamiento del calentador es óptimo, con resultados evidentemente similares a los sistemas de calentamiento de agua comerciales.

Por la ubicación geográfica de Colombia, y acorde con el robusto nivel de radiación en todo su territorio, la ejecución e implementación del dispositivo, dispone de una alta viabilidad.

El proyecto busca servir como solución ambiental para el tratamiento y reutilización de botellas PET.

Por su simplicidad, respecto a la construcción del dispositivo, el sistema es totalmente versátil para su instalación en cualquier infraestructura con cualquier tipo de configuración y complejidad.

9. Referencias

- [1] Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible. Guías Ambientales: Sector Plásticos. Principales procesos básicos de

transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Bogotá: 2004, ISBN 958-97393-4-2.

- [2] Colombia. Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Atlas de Radiación Solar de Colombia. Bogotá: UPME - IDEAM.2005.
- [3] P. Bocchieri, A. Loinger, Società Italiana di Fisica. “A conjecture concerning the classical theory of black-body radiation”. *Lettere al Nuovo Cimento*, Volume 4, Issue 7, pp. 310-312, 1970, ISSN 0375-930X, 10.1007/BF02753345.
- [4] M.S. Elmosbahi, A.W. Dahmouni, C. Kerkeni, A.A. Guizani, S. Ben Nasrallah. “An experimental investigation on the gravity assisted solar heat pipe under the climatic conditions of Tunisia”. *Energy Conversion and Management*, Volume 64, December 2012, pp. 594-605, ISSN 0196-8904, 10.1016/j.enconman.2012.06.009.
- [5] M.N. Nieuwoudt, E.H. Mathews. “A mobile solar water heater for rural housing in Southern Africa”, *Building and Environment*, Volume 40, Issue 9, September 2005, pp. 1217-1234, ISSN 0360-1323, 10.1016/j.buildenv.2004.11.024.
- [6] A. Busso, A. Aeberhard, G. Figueredo. “Primeros resultados experimentales de un calefón solar de bajo costo con colector plástico plano”. *Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas-UNNE*, 1999.
- [7] D.A. Bainbridge. *The Integral Passive Solar Water Heater Book*. Breadboxes, batchers, and other types of simple solar water heaters, 1981.
- [8] G. A. López Martínez, J. A. Mantilla López, B. H. Poveda Suarez. “Evaluación de un calentador solar de agua fabricado con tubería PVC en serie y envases PET translucidos”. *Tecnura*, Vol. 16. Edición Especial, pp. 120 - 128. Octubre 2012.
- [9] A. Busso, A. Aeberhard, G. Figueredo. “Un colector solar plano construido con elementos plásticos de descarte: viabilidad técnica y construcción”. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 2(1), 1998.
- [10] A. Busso, A. Aeberhard, G. Figueredo. “Calefón solar de bajo costo con colector plástico plano construido en parte con elementos de descarte: primeros resultados experimentales”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2(1), 1998
- [11] V. M. Gassull, A. Esteves, M. López de Aslain, F. Buenaventura. “Sistema de Calentamiento de Agua Sanitaria Solar con elementos de reciclaje”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 13, 2009. Argentina.

- [12] R. Raman, S. Mantell, J. Davidson, C. Wu, G. Jorgensen. "A review of polymer materials for Solar Water Heating Systems". Transactions of the ASME, Vol. 122, may. 2000.
- [13] M. Sachs. "Black body radiation from a self-consistent field theory of quantum electrodynamics". Il Nuovo Cimento Series 10, Volume 37, Issue 3, pp. 977-988, 1965.
- [14] E. Recami. "Black-body radiation and generalized theory of physical dimensions". Lettere al Nuovo Cimento, Volume 2, Issue 6, pp. 297-304, 1971.
- [15] A.M. Abdel-Ghany, I.M. Al-Helal. "Characterization of solar radiation transmission through plastic shading nets". Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 94, Issue 8, August 2010, pp. 1371-1378.
- [16] K. Chuawittayawuth, S. Kumar. "Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosyphon solar water heating system". Renewable Energy, Volume 26, Issue 3, July 2002, pp. 431-448.
- [17] F. Zhou, X. Tian, G. Ma. "Investigation into the energy consumption of a data center with a thermosyphon heat exchanger". Chinese Science Bulletin, Volume 56, Issue 20, pp. 2185-2190, 2011.
- [18] A. Bach. "On the fluctuation of black-body radiation". Lettere al Nuovo Cimento, Volume 42, Issue 8, pp. 443-446, 1985.
- [19] S. Rouif. "Radiation cross-linked plastics: a versatile material solution for packaging, automotive, Electrotechnic and Electronics". Radiation Physics and Chemistry, Volume 71, Issues 1-2, September-October 2004, pp. 527-530.
- [20] A. G. Khalimov, B. E. Khairiddinov, V. D. Kim. "Radiation performance of plastic bottles used as heat accumulating elements for a heliogreenhouse". Applied Solar Energy, Volume 46, Issue 4, pp. 292-295, 2010.
- [21] I. Brevik, E. Suhonen. "Relativistic coherence theory of Black-Body radiation within a transparent medium". Il Nuovo Cimento B Series 10, Volume 65, Issue 2, pp. 187-207, 1970.
- [22] I. Brevik, E. Suhonen. "Some aspects of the relativistic coherence theory of black-body radiation within a transparent medium". Il Nuovo Cimento B Series 10, Volume 60, Issue 1, pp 141-157, 1969.
- [23] M. Smyth, P.C. Eames, B. Norton. "Integrated collector storage solar water heaters". Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 10, Issue 6, December 2006, pp. 503-538.

- [24] A. G. Khalimov, B. E. Khairiddinov, V. D. Kim, G. G. Khalimov. "Thermal characteristics of plastic vessels as accumulators of solar radiation heat". *Applied Solar Energy*, Volume 46, Issue 2, pp. 100-103, 2010.
- [25] J. Gehring. "With radiation crosslinking of engineering plastics into the next millennium". *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 57, Issues 3-6, March 2000, pp. 361-365.
- [26] M.N. Nieuwoudt, E.H. Mathews. "A mobile solar water heater for rural housing in Southern Africa". *Building and Environment*, Volume 40, Issue 9, September 2005, pp. 1217-1234.
- [27] M. Arab, A. Abbas. "Model-based design and analysis of heat pipe working fluid for optimal performance in a concentric evacuated tube solar water heater". *Solar Energy*, Volume 94, August 2013, pp. 162-176.
- [28] D. A. Redpath, "Thermosyphon heat-pipe evacuated tube solar water heaters for northern maritime climates". *Solar Energy*, Volume 86, Issue 2, February 2012, pp. 705-715.
- [29] G. Bourke, P. Bansal. "New test method for gas boosters with domestic solar water heaters". *Solar Energy*, Volume 86, Issue 1, January 2012, pp. 78-86.
- [30] R. Tang, Y. Yang, W. Gao. "Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles". *Solar Energy*, Volume 85, Issue 7, July 2011, pp. 1381-1389.
- [31] B.R. Chen, Y.W. Chang, W.S. Lee, S.L. Chen. "Long-term thermal performance of a two-phase thermosyphon solar water heater". *Solar Energy*, Volume 83, Issue 7, July 2009, pp. 1048-1055.
- [32] K.S. Reddy, N.D. Kaushika. "Comparative study of transparent insulation materials cover systems for integrated-collector-storage solar water heaters". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 58, Issue 4, August 1999, pp. 431-446.
- [33] N. Roonprasang, P. Namprakai, N. Pratinthong. "Experimental studies of a new solar water heater system using a solar water pump". *Energy*, Volume 33, Issue 4, April 2008, pp. 639-646.
- [34] United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change 2010. Retrieved 16-6-2009, from <http://unfccc.int/2860.php>
- [35] P. M. Vitousek. "Global environmental change an introduction". *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23, 1-14, 1992

- [36] General Electric. Calentador de agua electrico Disponible en Internet: <http://espanol.geappliances.com/sdproducts/GE-Electric-Water-Heater-PE00S00KAG/g5/?REQUEST=SpecPage&Sku=PE30S09KAG>
- [37] Synergy Home Appliances. Calentador eléctrico a paso (Black) bifásico. Disponible en Internet: <http://synergyha.com/tienda/index.php/home-products/calentador-agua-electrico-a-paso-negro-bifasico.html>
- [38] Bosch, Brochure Sistema Termosifon, Disponible en Internet: http://www.bosch.com.mx/content/language1/downloads/triptico_b.pdf