

ISSN: 2007-2112

PUBLICACIÓN SEMESTRAL, AÑO 8,
NÚMERO 16/ 2016
REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
DE LA FACULTAD DEL HÁBITAT DE LA UASLP.
PRECIO EN MÉXICO: \$60.00
EN EL EXTRANJERO: 8.00 USD



H+D

HÁBITAT MAS DISEÑO

DIRECTORIO

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Manuel F. Villar Rubio

Rector

Anuar Abraham Kasis Ariceaga

Secretario general

Luz María Nieto Caraveo

Secretaria académica

Fernando Toro Vázquez

Secretario de investigación

Facultad del Hábitat

Daniel Jiménez Anguiano

Director

María Alejandra Cocco Alonso

Secretaría académica

María Elena González Sánchez

Coordinadora del posgrado de la Facultad del Hábitat

Benjamín Fidel Alva Fuentes

Coordinador de Investigación de la Facultad del Hábitat

Ilse Itzell Oliva Herrera

Ismael Posadas Miranda García

Diseño editorial

CEDEM, Centro de Diseño Editorial

Multimedia, Facultad del Hábitat

Ruth Verónica Martínez Loera

Editora

Eulalia Arriaga Hernández

Redacción

Mtra. Ana Luisa Oviedo Abrego

Traducción al Inglés

Mtra. María del Huerto Bettini

Traducción al Portugués

H+D HABITAT MAS DISEÑO, año 8, número 16, Julio-Diciembre 2016, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Álvaro Obregón #64, Centro Histórico, C.P. 78000. San Luis Potosí, S.L.P. A través de la Facultad del Hábitat por medio del Instituto de Investigación y Posgrado del Hábitat. Con dirección en: Niño Artillero # 150, Zona Universitaria C.P. 78290. San Luis Potosí, S.L.P. Tel. 448-262481. <http://habitat.uaslp.mx>, Editora responsable: Ruth Verónica Martínez Loera. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2010-120716055100-102, ISSN: 2007-2112. Licitud de Título y Licitud de Contenido: 15577. Registrada en el Catálogo y Directorio LATINDEX ISSN-L 2007-2112 e indexada en: EBSCO México, Inc. S.A. de C.V. Impresa en los Talleres Gráficos Universitarios, Av. Topacio esq. Blv. Río Española s/n, Fracc. Valle Dorado, C.P. 78399, San Luis Potosí, S.L.P. Distribuida por la Facultad del Hábitat con dirección en Niño Artillero # 150, Zona Universitaria C.P. 78290. San Luis Potosí, S.L.P. Este número se terminó de imprimir el mes de julio de 2016 con un tiraje de 1000 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a través de la Facultad del Hábitat.

COLABORADORES EN ESTE NÚMERO

Laura Teresa Gómez Vera

Verónica Zendejas Santín

Antonio González García

Virginia Miranda Gassull

Alfredo Esteves

Víctor Manuel Gutiérrez Sánchez

Marco Tulio Peraza Guzmán

Laura Edith Mendoza Ruiz

Ricardo Carrillo Maciel

Isabel Quintana Ruiz

Andrea Argel Lozano Silva

Azael Pérez Peláez

Miguel Ángel Rubio Toledo

Samuel Roberto Mote Hernández

Ana Isabel Pérez-Gavilán A.

Alejandro Cerecero Alvarado

Alejandro Pérez Cervantes

COMITÉ EDITORIAL Y DE ARBITRAJE

Dr. Félix Beltrán Concepción

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco

Dra. Luz del Carmen Vilchis Esquivel

Universidad Autónoma de México

Dra. Eugenia María Azevedo Salomao

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Mtra. Guadalupe Gaytán Aguirre

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Luis Alberto Torres Garibay

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

M.E. Ana Luisa Oviedo Abrego

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dra. María Elena Molina Ayala

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. Ricardo Villasis Keever

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

MEU. Benjamín Fidel Alva Fuentes

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Mtro. Jorge Aguillón Robles

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Mtra. Norma Alejandra González Vega

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Los artículos publicados en H+D HABITAT MAS DISEÑO son sometidos a un estricto arbitraje de pares ciegos.



COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA CON ELEMENTOS RECICLADOS

COMPARISON OF TWO HEATING SANITARY WATER SYSTEMS WITH RECYCLED ELEMENTS

COMPARAÇÃO DE DOIS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE AGUA SANITÁRIA COM ELEMENTOS RECICLADOS

VIRGINIA MIRANDA GASSULL
ALFREDO ESTEVES

Recibido: 27 de octubre de 2016
Dictaminado: 20 de noviembre de 2016
Aceptado: 30 de noviembre de 2016

RESUMEN

Palabras Clave
energía solar, materiales plásticos
reciclad, agua caliente solar.

Este artículo es parte del proyecto final de tesis realizado para la Maestría en “Energías Renovables” dictado por la Universidad Internacional de Andalucía en Sevilla, España. El producto es un sistema de calentamiento de agua sanitaria con energía solar fabricado con botellas recicladas y reutilizadas de PET en la provincia de Mendoza, Argentina. Dicho proyecto trata de la problemática energética en la vivienda como la energía necesaria para producir el agua caliente sanitaria (ACS) para el uso domiciliario en poblaciones de bajos recursos o que habitan en zona alejadas a los centros urbanos y por ende a los servicios de red. Además es una alternativa a una problemática ambiental de la incorrecta disposición de residuos sólidos plásticos, desaprovechando su potencial económico. Se propone una alternativa de reducción del consumo energético en el uso de calentadores: termo tanques o calefones instantáneos que utilizan gas, electricidad o leña para su funcionamiento. En el siguiente artículo se presentan y comparan los resultados de un sistema de agua sanitaria solar realizado con caños de polipropileno (P.P) y un diseño de cubierta transparente con 1 botella de PET reciclado y con 2 botellas de PET reciclado, estimando cual es el óptimo para cierto tipo de clima.

Keywords
solar energy, recycled plastic
materials, solar hot water

ABSTRACT

This article is part of the dissertation project for obtaining the MA in Renewable Energies by the International University of Andalusia in Seville, Spain. The product is a sanitary water solar-energy heating system made from recycled and reused PET bottles in the province of Mendoza, Argentina. This project deals with the energy problem in housing which is needed to produce domestic hot water (ACS for its initials in Spanish) to use in low-income populations living in areas far from urban centers and consequently to water network services. It is also an alternative to the environmental problem of incorrect disposal of plastic solid waste, wasting its economic potential. An alternative for reducing the energy consumption in the use of heaters: thermos tanks or instant water heaters that use gas, electricity or firewood for their operation is proposed. The following article presents and compares the results of a solar sanitary water system made with polypropylene pipes (PP for its initials in Spanish) and a transparent cover designed with one and two PET recycled bottle, estimating the optimal for a certain types of climate.

Palavras-chave:
energia solar, materiais plásticos
reciclados, água quente solar.

RESUMO

Este artigo e parte do projeto final de tese realizado para o mestreado em "Energias Renováveis" ditado pela Universidade Internacional de Andalucia em Sevilla, na Espanha. O produto é um sistema de aquecimento de água sanitária com energia solar fabricado com garrafas recicladas e reutilizadas de PET na província de Mendoza, na Argentina. Dito projeto é sobre a problemática energética na moradia como a energia necessária para produzir a água quente sanitária (ACS) para o uso domiciliário em populações de baixos recursos ou que moram em zonas remotas aos centros urbanos e conseqüentemente aos serviços de rede. Além, é uma alternativa a uma problemática ambiental da incorreta disposição de resíduos sólidos plásticos, desaproveitando seu potencial econômico. Se propõe uma alternativa de redução do consumo energético no uso de aquecedores: tanques térmicos ou aquecedores instantâneos que utilizam gás, eletricidade ou lenha para seu funcionamento. No seguinte artigo se apresentam e comparam os resultados de um sistema de água sanitária solar realizado com canos de polietileno (P.P) e um desenho de cobertura transparente com uma garrafa de PET reciclado e com duas garrafas de PET reciclado, estimando qual é o ótimo para certo tipo de clima.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran variedad de tecnología respecto al calentamiento solar térmico del agua. La búsqueda de antecedentes se enfatizó en los calentadores que utilizan materiales reciclados. y/o materiales plásticos de distinto tipo. Existen varios programas que han aportado sistemas que utilizan materiales reciclables:

- *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 tiene tetrapack pintados de negro. José Alcino Alano et al, 2006.
- *Proyecto colector solar pasivo, hecho con botellas descartables de PET,* que ofician de colector acumulador de Pedro Serrano del Canello de Nos, una 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, esto permite en el lapso de 3 h alcanzar una temperatura de 60 85 °C en un día claro, sin nubes. Serrano P. 1991.
- *Calefón solar de bajo costo* con colector Plástico Plano construido en parte con elementos de descarte: Perspectiva Económica. Busso, Arturo J. et al, 1999.
- *Colector solar acumulador integrado con un colector plano.* El colector acumulador está constituido por un tanque metálico, hermético, pintado con negro mate y cubierto por dos placas de policarbonato alveolar. Fasulo et al, 1999.
- *Colector acumulador solar de bajo costo,* este sistema consiste en un tanque horizontal con división interna que permite mantener la estratificación interior para mantener la acumulación de agua caliente y a la vez de permitir la colección solar. Esteves et al, 2005.
- *Proyecto de pozas o estanques solares como colectores horizontales.* Las mismas pueden ser convectivas o no convectivas. Un detalle

de las pozas convectivas es que el agua se encuentra alojada en una especie de bolsa de algún material plástico (PVC o polietileno grueso). Esto es aplicable cuando se necesita gran cantidad de agua tibia. Kreither et al, 1981.

En Mendoza se producen diariamente un valor medio de 750 gramos de basura por persona, brindando un total aproximado de 1.100 toneladas por día de residuos sólidos urbanos. No existen en la provincia registros oficiales del número exacto de residuos PET, ya que la recolección no es discriminada por material, pero se estima que se producen unos 2000 Toneladas de envases PET al año, donde sólo el 40% se reutiliza (800 t) y el restante 60% queda en los canales, basurales, etc. Secretaría de Medio Ambiente, 2009.

El PET, uno de los materiales de envasado que más ha incrementado su consumo en los últimos años, por sus características, liviano, irrompible, etc. El problema es su acumulación en la vía pública, particularmente en Mendoza, su acumulación en los canales y acequias constituye un serio problema. Por lo tanto, es especialmente interesante de reciclar. La reutilización del envase de PET pos consumo es una ventaja medioambiental ya que en su fabricación se consume energía de modo intenso y en reemplazo de otros productos, tales como el vidrio u otros plásticos (utilizados como cubierta solar) se ahorraría una cantidad importante de materias primas dando lugar a un producto ecológicamente valioso que orientado hacia sistemas autoconstruidos sirve también como vehículo de desarrollo de las personas en estos ambientes.

En este trabajo se presentan los resultados comparados del armado de dos (2) calefones solares destinados a calentar agua para una familia de escasos recursos diseñados con botellas descartadas de PET.

METODOLOGÍA

En la primera etapa se hace uso de datos secundarios y bibliográficos de clima registrados por el Servicio Meteorológico Nacional. A partir de los cuales se diseña y evalúa la solución técnica, to-

mando en cuenta la radiación solar sobre distintos planos por el método de Liu y Jordan (Duffie et al, 1992).

A partir de la solución técnica, se construyen prototipos en los cuales se proponen soluciones tecnológicas de detalles constructivos y se evalúa el resultado de su aplicación. Esto conforma la tecnología de armado del producto tecnológico.

En el presente trabajo se hace uso del método científico en el cual, se proponen soluciones diseñadas, se evalúan teóricamente, se construyen modelos en escala 1:1, se evalúan experimentalmente y se analizan los resultados propiciando su mejoramiento y/o su transferencia al medio.

Para evaluar las características térmicas se hace uso de mediciones experimentales en la plataforma de ensayos térmicos de colectores solares perteneciente al Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – INCIHUSA, Mendoza, Argentina obteniendo de este modo, datos primarios que nos permitan registrar las variables características. Además se revisan ensayos similares realizados en el Laboratorio (Esteves et al, 1999, 2005). A partir de estos datos se elaboran las características térmicas de los sistemas ensayados.

Las mediciones de parámetros representativos se realizan cada 15 minutos, entre ellos: temperatura y humedad relativa del aire exterior, velocidad y dirección de viento con estación meteorológica marca Davis y radiación solar con sensor térmico Kipp y Zonen CM1. En el sistema se miden temperaturas del agua en el ingreso, egreso del colector y en el tanque acumulador utilizando sensores de termocupla de cobre-constantán y data loggers marca HOBO.

La eficiencia del sistema térmico se evalúa tomando en consideración la relación entre la energía útil al medir el calentamiento del agua en el intervalo de tiempo y la energía solar recibida por el sistema en ese mismo intervalo (15 minutos).

ESTUDIO DE TECNOLOGÍA EXISTENTE UTILIZANDO ELEMENTOS RECICLADOS

Evaluación y crítica de la tecnología existente. Los diseños de los sistemas expuestos si bien funcionan y tienen un rendimiento razonable, adolecen de algunas consideraciones importantes al

momento de querer transferir la tecnología. Por ejemplo en algunos casos, necesitan utilizar un vidrio para aumentar la temperatura del agua, acrecentando el costo del sistema y el costo ambiental de producir un material para la cubierta de éstos colectores. En otros casos necesitan materiales extras para conformar la estructura que sostiene al colector ampliando la necesidad de conocimientos técnicos para su armado.

En otros casos, los sistemas desaprovechan las mejores condiciones de los materiales y elementos utilizados, como por ejemplo pintar las botellas de plástico color negro, lo que no permite que los rayos solares penetren por todo el diámetro de la botella, sólo se calienta la cara que mira al sol.

DISEÑO DE OPCIONES A LA TECNOLOGÍA EXISTENTE

En base a todas estas consideraciones se ha diseñado un sistema de calentamiento de agua de bajo costo, pero tratando de ser consecuente con la duración y rendimiento del mismo.

El sistema se compone en gran parte de materiales plásticos, que podrían ser reciclados, de modo de disminuir el impacto de los mismos y a la vez, constituirse en un producto útil. Consta de un circuito de agua adaptado para resistir las temperaturas que pudieran producirse en el sistema, una cámara de aire para disminuir el efecto convectivo que enfriaría al agua que circula por los caños, un sistema de redirección de la radiación solar por reflexión para mejorar la performance óptica y finalmente térmica del sistema.

Composición del Sistema

El sistema propuesto, se compone por 2 subsistemas que funcionan integrados, sumándole además del colector solar plano, un Tanque de Almacenamiento que permite mantener el agua caliente.

El primer subsistema está constituido por un "circuito de conducción del agua" que se va calentando con la incidencia de los rayos solares. El otro subsistema está constituido por la "cubierta transparente" que admite la ganancia óptica de energía solar, generando una cámara de aire que permite a la vez evitar las pérdidas térmicas.

Se confeccionaron 2 prototipos de prueba,

los cuales tienen equivalentes características de dimensionamiento. Cada unidad de estudio tiene una superficie colectora de 0,75 m² (1,80m x 0,55 m) Su diferencia radica en la cubierta transparente de envases PET descartados: uno está compuesto por una cubierta transparente por una capa de botellas PET y otro sistema que tiene doble capa de botellas PET. La Fig. 1 muestra los esquemas de diseño del sistema. En la Fig. 2 se muestra el colector terminado.

Cubierta transparente

La cubierta estudiada en los prototipos anteriores en general está constituida por una capa simple o doble de vidrio dependiendo de la zona donde se vaya a instalar el colector. En el proyecto se decidió utilizar las botellas de PET (Tereftalato de Polietileno) en su formato original.

La decisión de utilizar el PET como material de cubierta surge por la gran cantidad existente de estos residuos en el ambiente, sobre todo en los ambientes degradados. Sumado a la necesidad de solucionar la gestión de los residuos sólidos urbanos que está impulsando a diversas comunas de la zona al desarrollo de sistemas alternativos de reutilización y valorización de los envases usados.

Este material es maleable de fácil personalización, ya que las botellas de PET de 2,00 litros pesan aproximadamente 48 g (Carlos Ballesteros Martín, 1996). Este material es resistente a la intemperie (sol, lluvia, niebla, contaminación). Resiste a la radiación solar ultra-violeta sin amarillear y sin presentar fisuras superficiales, comunes a muchos otros materiales plásticos. Las propiedades ópticas son: transmitancia hasta el 80% de la luz visible, es muy superior a todos los otros plásticos transparentes. El índice de refracción es de 1.576 (SODIS News No. 3, Octubre 1998).

La Fig. 3 muestra la transmitancia en función de la longitud de onda. Se observa que este material tiene alta transmitancia en el espectro visible e infrarrojo, lo que indica que no posee efecto invernadero, por lo que su funcionamiento será menos eficiente que un vidrio y más parecido al polietileno.

El proceso realizado en las botellas es el siguiente: Los cortes en las botellas es un paso

importante ya que de su precisión dependerá el sostén de las botellas con los caños ramales del calentador, caso contrario se deberá realizar un sostén con otra alternativa (ej: pegamento, alambre, etc.) Los cortes se realizan en la parte superior de la botella, en el pico de la misma a 3 cm del borde, por lo que se recomienda utilizar un arco de sierra. El segundo corte se realiza en la base de la botella a 6cm del borde inferior. Ver Fig.4

La botella interior puede ser de 1,5l, si no se consiguieran las suficientes de este tamaño se utilizan los envases mayores, a los cuales se les produce un corte longitudinal (sin llegar a cortar la zona del pico de la botella) se disminuye su diámetro solapando ambos lados del corte y se los une con una abrochadora.

Posteriormente se coloca en el interior de la botella menor un papel reflejante que ocupa la mitad del diámetro de la misma. Para realizar esta tarea se recomienda realizar moldes aproximadamente 10 x 21,5 cm. A continuación, las botellas de menor diámetro (de 1,5 l) con el papel reflejante se introducen dentro de las botellas de mayor diámetro e insertando en el caño de polipropileno de 1/2".

Circuito de conducción de agua.

La conducción del agua se produce a través de los caños, que son sin duda, las arterias y venas de todo sistema de aprovisionamiento de agua, siendo elemento conductor cuya calidad y eficacia decide en gran parte el buen resultado de la instalación.

Los materiales posibles para los caños fueron previamente estudiados (ver Tab.1) teniendo en cuenta: resistencia a la intemperie y a los ataques físicos y químicos, temperatura de trabajo, peso, costo.

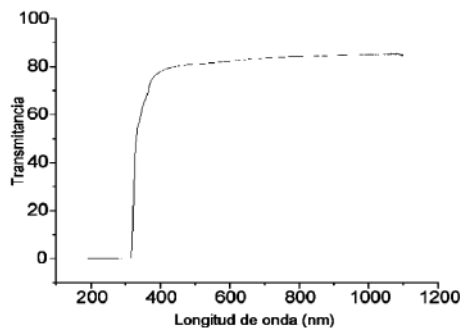
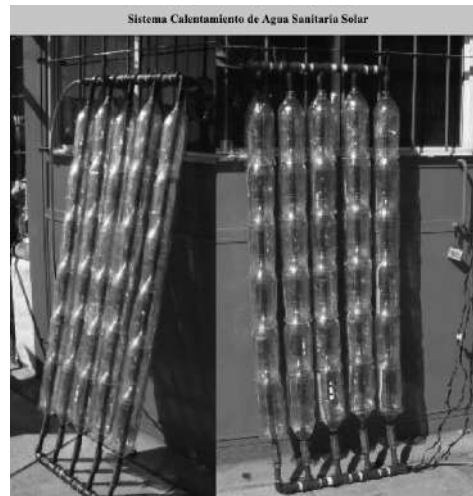
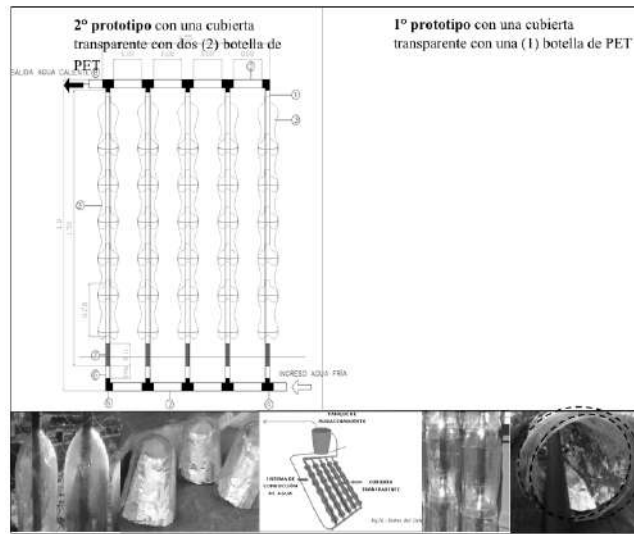


Figura 1. Diseño de los dos (2) prototipos armados. 1º con una cubierta transparente con una (1) botella de PET, el 2º cubierta transparente con dos (2). Fuente: Elaboración propia, Mendoza, 2010.

Figura 2. Imágenes del colector terminado con un Tanque de almacenamiento sin aislar.

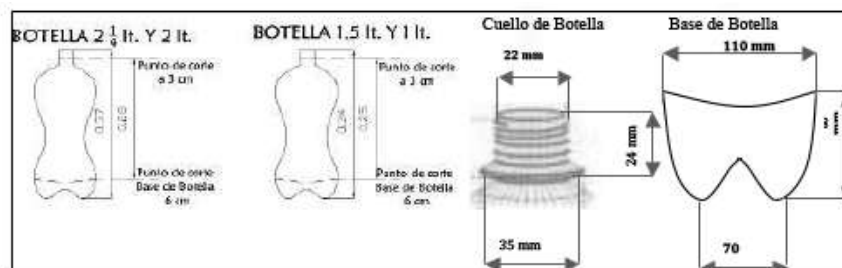


Figura 3. Transmitancia de botellas PET. Fuente: Litter et al, 2001.

Figura 4. Esquema de corte de las botellas

Desde un principio se descartaron los caños de polietileno, porque no son aptos para conducir agua caliente (soportan satisfactoriamente agua hasta la temperatura de 60°C, siendo su punto crítico 70°C, aunque son muy económicos. Por la misma razón se descartaron los caños de PVC, ya que no soportan altas temperaturas de trabajo. Las componentes ultravioleta de la radiación solar (UVR) constituyen aproximadamente el 5 % del espectro solar pero pueden ocasionar degradación en los materiales plásticos, que en general no tienen buena resistencia a estos agentes por lo que se deben proteger convenientemente.

La resistencia a los rayos UV afecta directamente a la vida útil que estos caños tendrán, aproximadamente los tubos de polietileno tienen utilidad hasta unos 30 años, mientras que los tubos de PVC y Polipropileno alcanzan hasta 50 años de vida útil, siempre y cuando se los proteja (Grupo de Trabajo Técnico del Convenio de Basilea, 2001).

En base a la información indicada, se prefirió utilizar como material para los caños, el polipropi-

pales son: transparente, irrompible, ligero, brillante, 100% reciclable.

Los caños de polipropileno tricapa utilizados en los ramales del colector son de $\frac{1}{2}$ " y están pintados con doble capa de pintura negro mate. Conexiones: las conexiones son roscadas utilizando cuplas, nipples, uniones Tee reducción y codos reducción.

COMPARACIÓN DEL SISTEMA CON CUBIERTA DE DOS (2) BOTELLAS Y SISTEMA CON CUBIERTA DE UNA (1) BOTELLA DE PET

El rendimiento del sistema se puede calcular a partir de la Ecuación 1.

$$\eta = \frac{Qu}{Ac.Gt} = \frac{F_R}{Gt} (Gt.(\tau\alpha) - U_L(T_{fi} - T_a))$$

Donde:

F_R = factor de extracción del calor del colector.

T = transmitancia solar del vidrio o cubierta.

a = absortancia solar del elemento absorbedor.

Qu = Calor útil entregado por el sistema y destinado al calentamiento de agua [W]

Ac = Área colectora de radiación solar [m²]

Gt = radiación solar transmitida y efectivamente absorbida en el elemento colector [W/m²]

$F_R (T_a)$ y $F_R U_L$ son dos parámetros que definen cómo trabaja el colector. $F_R (ta)$ es la indicación de cómo la energía solar es absorbida por el mismo y el $F_R U_L$ es indicación de cómo la pierde. Estos dos parámetros indican en forma simple, cómo el colector se desempeña en un clima determinado.

Se ha calculado el rendimiento del sistema tomando en cuenta el cálculo del calor útil Qu , el cálculo del flujo másico, y finalmente el cálculo del rendimiento del sistema y se ha graficado en función del parámetro $T_{fi}-T_a/Gt$ que tiene en cuenta la temperatura del fluido al ingreso del colector, la temperatura ambiente y la radiación solar incidente.

El rendimiento usualmente se expresa como una curva, en función de la ecuación (2)

		Policloruro de Vinilo	Polipropileno	Polietileno
	Abreviaturas	P.V.C	P.P.	P.E
	Uso	Agua Fría	Agua Fría y Caliente	Agua fría
Propiedades Físicas	Temperatura de trabajo	de 0°C a 60°C	de 0°C a 120°C	de -15°C a 60°C
Propiedades Mecánicas	Temperatura de fusión	Resblandec.: 120°C Fusión: 200°C	Resblandec.: 175/180°C Fusión: 260°C	Resblandec.: 115/135°C Fusión: 230°C
	Coefic. Dilatación Lineal /m	0,7 mm a 0,8 mm	1,1 mm a 1,5mm	2,2 mm.
Propiedades Térmicas	Conductividad Térmica [Kcal/m.°C.hr]	0,13	0,22 a 0,24	0,35
Otras Propiedades	Costos x 6.00 m (08/2009)	\$21.00 (US\$ 5,50) - Altos	\$ 18.80 (US\$ 4,90) - Económ	\$11,00 (US\$ 2,90) - Más económico

Tabla 1.

Resumen comparativo de las propiedades más importantes de cada material plástico posible de utilizar en la conducción de agua.

Fuente: Nisnovich,1998. Estudio de costos. Septiembre 2009

leno pintado con esmalte sintético para evitar un envejecimiento prematuro del sistema. Por otro lado, la temperatura de trabajo podría superar los 60°C, por lo cual, queda descartado utilizar caños de polietileno y/o PVC.

El polipropileno estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo. Sus características princi-

$$\frac{(T_{fi} - T_a)}{G_t}$$

Donde T_a y G_t representan las condiciones climáticas de temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y radiación solar global instantánea (W/m^2) respectivamente; T_{fi} = representa la temperatura del agua que ingresa al colector ($^{\circ}\text{C}$).

Resulta interesante observar comparativamente las dos curvas, una con sistema de doble botella en la cubierta y papel reflejante arrugado y la otra con una sola botella y papel reflejante autoadhesivo. La Figura n° 5 presenta las dos curvas para cada uno de los sistemas ensayados y se las ha extendido hasta cortar al eje de abscisas de modo de conocer la diferencia real entre ambas. Las figuras características, es decir, $F_R (ta)$ es la indicación de cómo la energía solar es absorbida por el mismo y el $F_R U_L$ es la figura de cómo se pierde la energía. Estos dos parámetros indican en forma simple, cómo el colector se desempeña en un clima determinado. La siguiente Tab. 2 resume los resultados encontrados:

Sistema	$F_R (ta)$	$F_R U_L$
2 botellas	0.6199	7.0336
1 botella	0.7694	9.2374

Como se puede apreciar, el sistema con dos botellas, tiene una ganancia óptica (valor de $F_R (ta)$) menor, dado la segunda botella intercepta parte de la energía solar que tiene una ordenada al origen menor para las dos botellas. Sin embargo, en el caso de las pérdidas térmicas dado por la figura de $F_R U_L$ mantiene un valor menor por lo tanto serán menores las pérdidas térmicas del sistema. Esta situación se pone de manifiesto hacia las condiciones climáticas más adversas, sin embargo, el efecto de colocar dos botellas, no aporta demasiado, sólo a partir de $(T_{fi}-T_a)/G_t = 0.07$ se observa una ventaja, no antes. Por lo tanto, este análisis es indicativo de que para cuando las condiciones climáticas sean cercanas o peores que estas, se podría utilizar la doble botella. Ver Fig.5

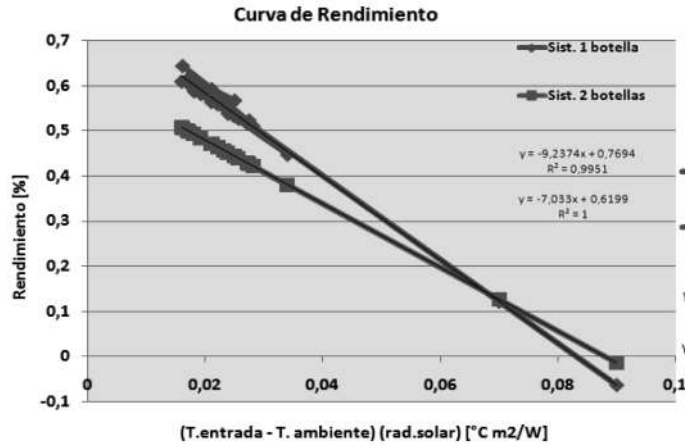


Tabla 2.

De los valores de $F_R (ta)$ y $F_R U_L$ de los 2 sistemas

Figura 5.

Curva de Rendimiento "comparación ambos sistemas".

COLECTOR CON 1 BOTELLA DE PET

Las pruebas se realizan utilizando los datos climáticos de la ciudad de Mendoza. Cuando se utiliza colectores solares con cubierta de 1 sola botella, se puede observar que al utilizar 5 colectores, proveemos energía solar que cubre el 79.7% de las necesidades anuales, esto se traduce en el ahorro de 7956.3 Mj/año de energía y en 446347 kg de CO2, 39.78 kg de NH4 y 0.80 kg N2O de GEI no emitidos a causa del ahorro energético.

En el caso de utilizar 4 o 6 colectores los niveles de ahorro variarán de acuerdo a la menor o mayor cantidad de colectores utilizados. Todo esto dependerá del costo de instalación del sistema y también su grado de amortización económica. Ver Tab.3

La Tab. 4 indica los montos incurridos en la implantación del sistema, costo del sistema con 4,5 o 6 colectores y la comparación con los costos económicos por ahorro de la energía. Para ello se ha considerado un costo del colector de \$ 127.6 pesos argentinos (US\$ U\$S 19.80 - 12/2013). Además se suma el costo del tanque de almacenamiento que se calcula en \$ 700 (US\$ U\$S 108.80 - 12/2013).- considerando un tanque de 225 l de capacidad térmicamente aislado y con las conexiones necesarias. El costo total es el resultado de sumar costo de colectores y costo del tanque más un 20% por los gastos de conexión del sistema.

Cantidad de Colectores	Ahorro [%]	Energía Ahorrada [kWh/año]	Emisiones ahorradas [kg/año] - Gases de Efecto Invernadero		
			CO2	NH4	N2O
4	74,2	7402,0	415251,4	37,01	0,74
5	79,7	7956,3	446347,8	39,78	0,80
6	86,6	8639,1	484651,2	43,20	0,86

Cantidad de Colectores	Costo del sistema [\$]	Ahorro Anual [\$ /año]	Amortización Económica [años]
5	1723,2	584,1	2,95
6	1875,8	619,3	3,03
7	2028,5	665,2	3,05

Tabla 3: Como se puede observar, el sistema con botella simple, tiene una amortización de más de dos años y medio en todos los casos, es decir, si se dispone del dinero para colocarlo, se podría comprar los 6 colectores y el sistema se amortizará con el ahorro en 2.8 años, es decir, 2 años y 9 meses.

Tabla 4: Costos \$, ahorro anual y amortización económica para diferentes cantidades de colectores en el sistema.

COLECTOR CUBIERTA TRANSPARENTE DE 2 BOTELLAS

Para el caso de utilizar un colector con 2 botellas, se incluye aquí los resultados de la Tab.5 y Tab.6, que indica la cantidad de energía ahorrada y las emisiones de GEI anuales. Se puede observar, que el sistema con doble botella, reacciona negativamente en el Clima de Mendoza, ya que provee un menor ahorro dado que las condiciones climáticas son tales que disminuye el rendimiento a causa de que la doble botella tiene mayores pérdidas ópticas y la mejora en la menor transmitancia térmica no aparece. Por lo tanto, es una

Tabla 5: Ahorro de energía para diferentes cantidades de colectores de doble botella.

Cantidad de Colectores	Ahorro [%]	Energía Ahorrada [kWh/año]	Emisiones ahorradas [kg/año] - Gases de Efecto Invernadero		
			CO2	NH4	N2O
5	75,6	7541,3	423065,1	37,71	0,75
6	80,1	7996,1	448578,6	39,98	0,80
7	86,0	8588,4	481811,1	42,94	0,86

Cantidad de Colectores	Costo del Sistema [\$]	Ahorro Anual	Amortización Económica [años]
4	1570,6	573,3	2,740
5	1723,2	616,2	2,796
6	1875,8	669,1	2,804

Tabla 6: muestra fehaciente de que el sistema con una botella será mejor para Mendoza. El costo del colector de cubierta transparente de dos botellas es igual al de una botella dada que las mismas se recolectan sin costo.

CONCLUSIONES

En las comunidades aisladas de las redes de suministro energético, el costo de utilizar la energía se incrementa y además resulta dificultoso de conseguir. Se dispone de radiación solar suficiente para producir el calentamiento de agua en términos razonables. Para ello resulta necesario utilizar sistemas de bajo costo, dada la situación social de los pobladores de tales enclaves.

Se presenta en este trabajo el armado y evaluación técnico-económica de un sistema solar para calentamiento de agua de bajo costo construido a partir de elementos reciclados. Se observa su costo resulta de entre \$ 1500 y 2100 pesos argentinos (U\$ 250-350) cuya utilización en el clima de Mendoza resulta en una amortización de entre 2.7 y 3 años dependiendo de la cantidad de colectores a utilizar.

Además permite obtener un ahorro en emisiones de GEI de 484651,2 kg/año de CO₂, 43,20 de NH₄ y 0,86 de N₂O (6 colectores del sistema con una (1) botella, y un ahorro en emisiones de GEI de 448578,6 kg/año de CO₂, 39,98 de NH₄ y 0,80 de N₂O para 6 colectores del sistema con 2 botellas.

Asimismo el sistema permite ser construido por autoconstrucción por lo que resulta interesante para ser transferido a través de las escuelas técnicas, talleres de autoconstrucción de vecinos, etc.

REFERENCIAS

- Alano F., Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, Gobierno del Estado de Paraná, Coordinadoría de Resíduos Sólidos - CRES ,2006. "Água Quente para Todos". <http://www.sema.pr.gov.br>
- Ballesteros Martín, C. Presidente ANEP "El envase de PET ante el reto del reciclado"1996.
- Busso, A. J., Aeberhard, A. F., 1999-"Calefón Solar de Bajo Costo con colector Plástico Plano construido en parte con elementos de descarte: Perspectiva Económica"- Revista ASADES
- Duffie J., Beckman W. 1992. *Solar Engineering of Thermal Process*. J. Wiley. Cap. 12, pp. 499.
- Esteves, A. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV-INCIHUSA) Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas

- (CRICYT). *Calentamiento de Agua de Energía Solar*.
Esteves A. Del 27/06 al 04/07 de 2003 -Curso de
*Calentamiento de Agua con Energía Solar – CCT CO-
NICET Mendoza, Argentina –*
- Esteves A., Buenanueva F. 2005. *Calefón Colector
Acumulador Unificado de Bajo Costo. Avances en
Energías Renovables y Medio Ambiente*. AVERMA.
Vol. 9, Secc. 3, 43-48. Impreso en la Argentina.
- Esteves A. Gelardi D., 1999. *Muro de Botellas de PET
para incrementar la inercia en invernaderos para cul-
tivos*. AVERMA N°3, Secc. 9, pp. 9 – 13.
- Fasulo, A.; Follari, J.; y Barral, J. (1999). *Colector So-
lar acumulador integrado con uno plano*. Acta de la
XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Ar-
gentina de Energías Renovables y Medio Am-
biente. <http://www.asades.org.ar/averma.php>
- Grupo de Trabajo Técnico del Convenio de Basi-
lea. (2001). *Directrices para la Identificación y Ges-
tión Ambientalmente racional y para su eliminación
sobre los restos de cables con revestimiento plásti-
co*”-Revisión 6– Texto editado.
- Kreither K., Keith E. (1981). *Solar Energy Handbook*.
Ed. Mc Graw Hill, N.Y.
- Nisnovich, Jaime. (1998). *Manual Práctico de Insta-
laciones Sanitarias*. Edit. El Hornero.
- Programa del Estado de Paraná Brasil. (2008).
*Calentar agua mediante energía solar reutilizando
botellas PET* [http://desenchufados.soygik.com/
calentar-agua-mediante-energia-solar-reutili-
zando-botellas-pet/](http://desenchufados.soygik.com/calentar-agua-mediante-energia-solar-reutilizando-botellas-pet/)
- Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de
Mendoza. (2009). *Cálculos estimativos de los Resi-
duos sólidos Urbanos Metropolitanos*.
- Serrano P. (1991). *Energía solar para todos*. Con Con.
Chile. Ong: El Canelo de Nos
- SODIS News No. 3, October 1998. p. 13-14 [http://
www.sodis.ch](http://www.sodis.ch) [R13] Zahn.