

SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA SOLAR CON ELEMENTOS DE RECICLAJE

Virginia Miranda Gassull^{1*}, Alfredo Esteves^{2*}, Ma. López de Aslain^{3}, Fernando Buenaventura^{4*}**

*Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales
(INCIHUSA) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Científico Tecnológico – CCT CONICET Mendoza C.C.131 C.P. 5500
Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370

e-mail: arg.vmiranda@gmail.com, aesteves@lab.cricyt.edu.ar

**Universidad Internacional de Andalucía – Sede Iberoamericana La Rábida
Paraje Palos de la Frontera s/n - Huelva – España

RESUMEN: El trabajo presenta resultados preliminares de un sistema de calentamiento de agua sanitaria con energía solar fabricado con botellas de PET, formando una cámara de aire sobre cada caño de conducción de agua. Estos caños son de polipropileno de ½” de diámetro pintados con pintura negro mate. Las botellas de PET son colocadas por duplicado brindando un doble recubrimiento a los caños para mejorar su rendimiento, en el contorno interior de la botella interna se coloca un papel reflejante para redirigir la radiación hacia el caño. El costo total es de \$102,30 cada calentador, lo que permite que sea un sistema accesible para las comunidades de bajos recursos. Las mediciones preliminares arrojaron como resultados, en la situación mas desfavorable, temperaturas de 42° C° luego de un período de calentamiento de 5 hr.

Palabras Clave: energía solar, materiales plásticos reciclados, agua caliente solar,

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 Instalado en Combemtu Brasil-Comisión del Bien Estar 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 casero de Camilo Rojas (Chile) que realizó un Calentador solar tipo cajón con tubos interiores dentro de la caja de madera con una cubierta de vidrios. Camilo Rojas,2006

Proyecto colector solar pasivo, hecho con botellas descartables de PET, que oficiaron 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 hr. alcanzar una temperatura de 60-85 °C en un día claro, sin nubes. Serrano P. 1995

Publicación ASADES de un Calefón Solar de Bajo Costo con colector Plástico Plano construido en parte con elementos de descarte: Perspectiva Económica. Busso, Arturo J. et al,1999

Publicación ASADES de un Colector Solar acumulador integrado con un plano. El colector acumulador está constituido por un tanque metálico, hermético, pintado con negro mate y cubierto por dos placas de policarbonato alveolar. Jorge Follari et al,1999.

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 recicla (800 tn.) y el restante 60% queda en los canales, basurales, etc. *Secretaría de Medio Ambiente, 2009.*

¹ Becaria de Maestría UNIA (*Universidad Internacional de Andalucía-España*)

² Investigador Independiente CONICET

³ Profesional Principal UNIA (*Universidad Internacional de Andalucía-España*)

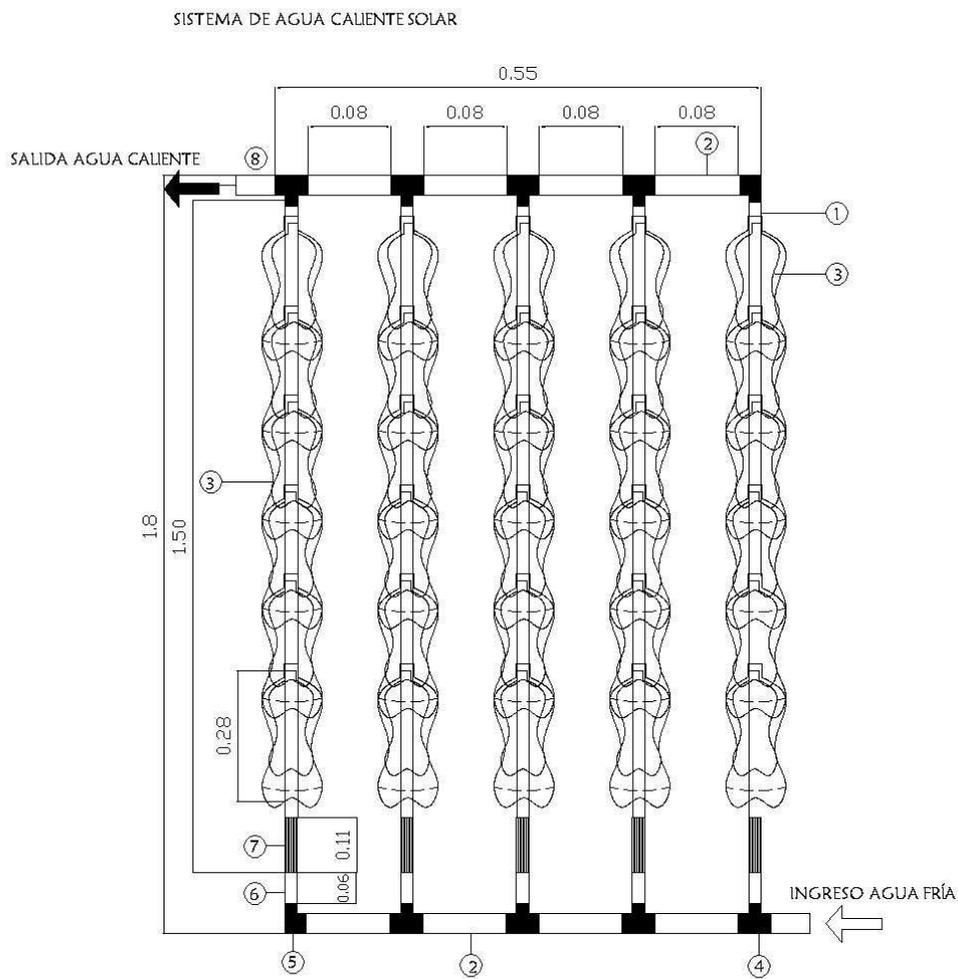
⁴ Técnico Asociado CONICET

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. El reciclado del envase de PET pos consumo es 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 preliminares de la conformación de un calefón solar destinado a calentar agua para una familia de escasos recursos construido con botellas de PET. Se presenta la tecnología para su armado con los materiales y detalles técnicos y resultados preliminares de su comportamiento térmico.

DISEÑO DE LA TECNOLOGÍA

El sistema se compone en su totalidad de materiales plásticos, 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. La Fig. 1 muestra el plano del colector con medidas y referencias de cada elemento empleado.



Referencias de la Fig. 1

1-Ramal -Caño Polipropileno Tricapa ½" de 1,50 m. cada ramal pintado con pintura negro mate.

2-Colector- Caño Polipropileno Tricapa 1", niple de 0,08m. Se utiliza 0,60m de caño en total.

3-Doble Botella PET con papel reflejante interno. El calentador utiliza 30 botellas de 2lt. Y 30 botellas de 1,5 lt (12 para cada caño – 6 interior y 6 exterior).

4-Tee con reducción 1” - ½”. Se utilizan 8 en total

5-Codo con reducción 1” - 1/2”. Se utilizan 2 en total

6-Niple de ½ “. Se utilizan 4 en total

7-Cupla ½”. Se utilizan 4 en total

8-Espiga roscada macho ½”. Se utilizan 2 en total (para conectar el tanque).

A continuación se describe cada una de las partes:

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 teniendo en cuenta: resistencia a la intemperie y a los ataques físicos y químicos, temperatura de trabajo, peso, costo. 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.*

La Tabla 1 muestra las propiedades más importantes de cada material plástico posible de utilizar en la conducción de agua.

Tabla 1: Resumen comparativo de las características de los distintos caños de plásticos. Jaime Nisnovich, 1998

Propiedades Físicas	Policloruro de Vinilo (P.V.C.)	Polipropileno (P.P.)	Polietileno (P.E.)
Temp. De Trabajo	de 0°C a 60°C	de 0°C a 100°C	de -15°C a 60°C
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	0,7 mm. a 0,8 mm.	1,1 mm. a 1,5mm.	2,2 mm.
Conductividad térmica	0,13 Kcal.	0,22 Kcal. A 0,24Kcal.	0,35 Kcal.
Otras propiedades			
Sistema de Unión	pegada (cementada) Roscada	Roscada Termofusión	Enchufe en caliente
Uso	Agua Fría	Agua Fría y Caliente	Agua fría
Costos (x 6.00 m)	\$21.00	\$ 18.80	\$11,00

En base a la información indicada, se prefirió utilizar como material para los caños, el polipropileno 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. Al polipropileno se le agregan una serie de sustancias para mejorar sus características básicas: protectores de rayos U.V, retardadores de envejecimiento, inertes que aumentan su resistencia mecánica, etc.

Tipos de Polipropileno:

- Homopolímero
- **Polipropileno Copolímero** (Tipo elegido) Es una variante mejorada con el agregado de sustancias que lo hacen más blando, flexible y con mejor resistencia a los impactos.
- Polipropileno Copol. Random

Es un plástico más flexible que el P.V.C que puede soportar temperaturas más altas sin reblandecer, apto para la conducción de agua caliente a temperaturas de hasta 120°C.

Los caños de polipropileno tricapa utilizados en los ramales del colector son de ½” y están pintados con doble capa de pintura negro mate. Conexiones: las conexiones son roscadas utilizando cuplas, niples, uniones Tee reducción y codos reducción.

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.

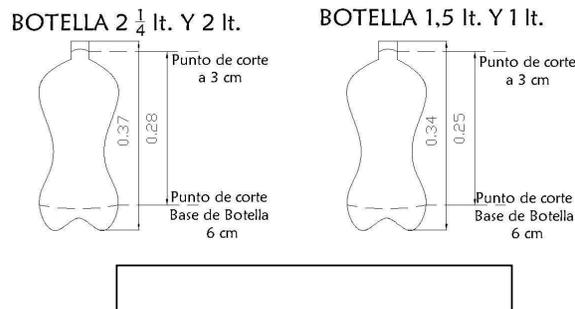
La decisión de utilizar el PET como material de cubierta surge por la gran cantidad existente de estos residuos en el ambiente, sobretodo en los ambientes degradados. Sumado a la necesidad de solucionar la gestión de los residuos sólidos urbanos que está impulsando a diversas comunas de la zona al desarrollo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

El proceso realizado en las botellas es el siguiente:

a) Recolección domiciliaria de botellas tipo PET cristal desde 2 1/4 lts. hasta 1lt., de diferentes marcas como Coca Cola, Pepsi, Talca, etc. Se pueden utilizar botellas de otros colores pero se aconseja las tipo cristal para una mayor penetración de la radiación. Se recolectan varios tamaños ya que se utiliza doble botella, las de 1,5 y 1lt. entran en el interior de las botellas de 2 y 2 ¼ lt.

b) Lavado de botellas y retiro de etiquetas y demás embalajes.

c) Luego se realizan los cortes en las botellas: Este paso es muy 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. 2.

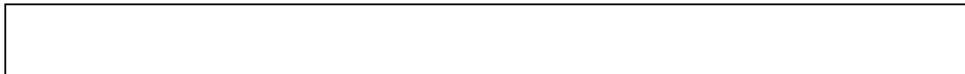


La botella interior puede ser de 1,5lt, si no se consiguieran las suficientes de este tamaño se utilizan los envases mayores, a los cuales se les produce un corte longitudinal (sin llegar a cortar la zona del pico de la botella) se disminuye su diámetro solapando ambos lados del corte y se los une con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

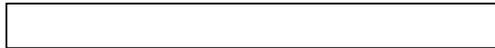
d) Posteriormente se coloca en el interior de la botella menor un papel reflejante que ocupa la mitad del diámetro de la misma. Para realizar esta tarea se recomienda realizar moldes aproximadamente 10 x 21,5 cm. Ver Figura 3.



d) A continuación, las botellas de menor diámetro (de 1,5 lt) con el papel reflejante se introducen dentro de las botellas de mayor diámetro y insertando en el caño de polipropileno de 1/2". Ver Fig. 4.



La Fig.5 muestra el colector solar armado finalmente con una superficie colectora de 1.50 m x 0.50 m. Utilizando los materiales indicados previamente.



RESULTADOS PRELIMINARES

Costos resultantes

El costo final del sistema alcanza los \$ 102,30 (US\$ 26.9 – 09/2009) por cada 0.75 m² de superficie colectora por lo que un sistema para una familia tipo sería necesario 5 colectores, es decir, \$ 511,50. La Tabla 2 muestra el detalle de los costos incurridos. Es de destacar que el sistema podría ser armado con uniones por termofusión, lo que ahorraría en la adquisición de los accesorios.

Tabla 2: Resumen de unidades y precios de los elementos utilizados

Descripción Materiales	Costo unit.	Cant.	Precio calentador x
Botellas PET	\$0,00	60	-
Caños de Polipropileno ½" TIGRE (6.00mts)	\$18.80	6m	\$18.80
Caños de Polipropileno 1" TIGRE (6.00mts)	\$45.20	0,60m.	\$ 4.50
Union Tee Reducción	\$3.60	8	\$28.80
Codo reducción	\$3.20	2	\$6.40
Cuplas	\$ 2	5	\$ 10
Niples	\$ 2	5	\$ 10
Espiga roscada	\$1.15	2	\$2.30
Adapatadores ½"	\$ 7	2	\$ 14
Teflón	\$2.50	3	\$7.50
PRECIO TOTAL X CALENTADOR (sin Tanque)			\$ 102,30

Temperaturas resultantes

Se realizaron mediciones térmicas del trabajo del sistema. Las temperaturas se han medido en el ingreso al colector y salida del colector con termocuplas Tipo T, conectadas a un Data-logger HOBO. Además se midió la temperatura del agua dentro del tanque de acumulación de 20 lt de plástico que no poseía aislación térmica. Los resultados se muestran en la Fig. 6. Como se puede apreciar, durante varias horas se mantiene la temperatura alrededor de 40°C, aunque mediciones más prolongadas serán necesarias para cuantificar la curva de rendimiento y de ese modo poder dimensionar el sistema.

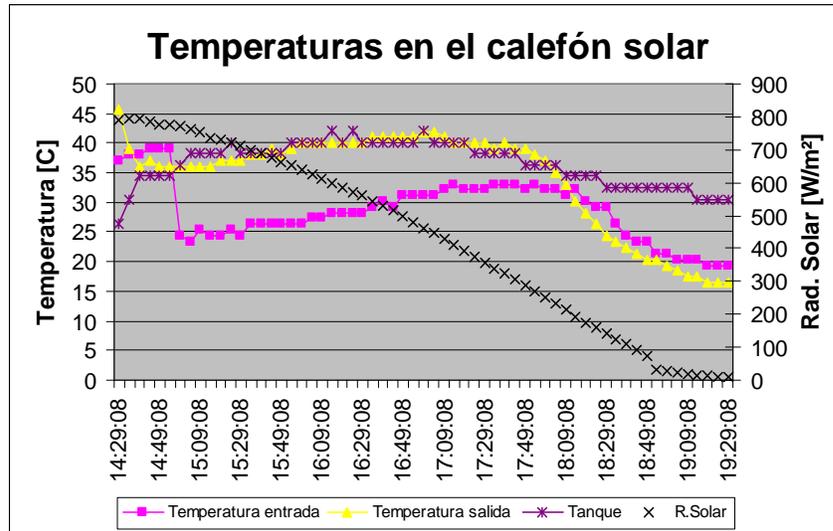


Fig. 6: temperaturas de ingreso, egreso, tanque y r.solar para el colector

Como una aproximación, en Duffie and Beckman, se indica que Lof and Close and Cooper en sus trabajos, han observado que bajo un amplio rango de condiciones el incremento de la temperatura que experimentan diversos tipos de colectores con circulación natural es aproximadamente 10°C, tal como se ha medido y se puede observar en la Figura 6.

Con los datos obtenidos se realizó la curva de rendimiento, tomando en cuenta la radiación solar y las condiciones de operación del sistema. La misma se indica en la Figura 7 e incluye la ecuación y el coeficiente de determinación, siendo sólo válida para ese rango de condiciones a causa de que para condiciones más desfavorables de temperatura del aire, los valores de rendimiento caen abruptamente.

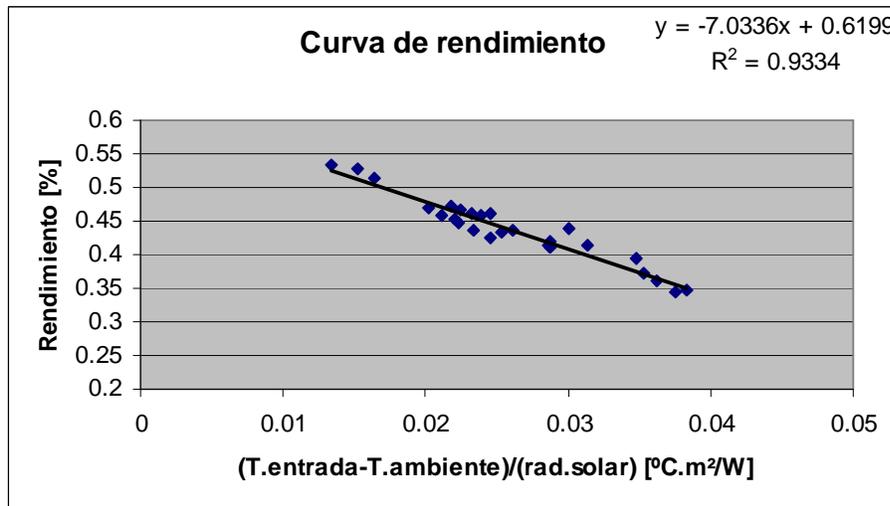


Fig. 7: curva de rendimiento del colector solar propuesto.

CONCLUSIONES

Se presenta la factibilidad de armado del sistema de aprovisionamiento de agua caliente sanitaria solar utilizando materiales reciclados-PET- y caños de polipropileno. Tiene como ventajas, el costo reducido (el costo final del sistema alcanza los \$ 102,30 (US\$ 26.9 – 09/2009) por cada 0.75 m² de superficie colectora) tanto de su construcción como de su mantenimiento. La simpleza en su fabricación, lo hace accesible a todos, enfatizando su utilización en las comunidades de bajos recursos que tiene dificultades serias al momento de tener que adquirir o efectuar el mantenimiento de los artefactos. El rendimiento térmico presenta valores apropiados a un calentamiento suficiente para las horas del día de mayor radiación. Estos resultados preliminares podrían mejorarse con diseños más acabados que serán ensayados en lo sucesivo.

Permite la ejecución por parte de cualquier integrante de la familia ya que es técnicamente sencillo, lo que facilita el alcance de aquellos que menos tienen.

Ayuda a mantener el medioambiente saneado (menos residuos sólidos) al reciclar materiales y además evitar el consumo de combustible y el impacto negativo que ello conlleva.

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>
- Amílcar Fasulo, Jorge Follari y Jorge Barral, 1999- “Colector Solar acumulador integrado con un plano” *Revista ASADES*
- Busso, Arturo J., Aeberhard, Arturo F., 1999-“Calefón Solar de Bajo Costo con colector Plástico Plano construido en parte con elementos de descarte: Perspectiva Económica”- *Revista ASADES*
- Camilo Rojas, 2006-“Calentador Solar de bajo costo de PVC sin termotanque” <http://micalentadorsolar.com.mx/documents/version5.html>
- Duffie J., Beckman W. 1992. *Solar Engineering of Thermal Process*. J. Wiley. Cap. 12, pp. 499.
- Grupo de Trabajo Técnico del Convenio de Basilea, 2001 “Directrices para la Identificación y Gestión Ambientalmente racional y para su eliminación sobre los restos de cables con revestimiento plástico”-Revisión 6– Texto editado.
- Jaime Nisovich, 1998-“Manual Práctico de Instalaciones Sanitarias”. Edit. El Hornero.
- Kreith K., Keith E. 1981. *Solar Energy Handbook*. Ed. Mc Graw Hill, N.Y.
- Serrano P. 1995. *Energía Solar para Todos*. Ed.
- Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Mendoza, 2009. *Cálculos estimativos de los Residuos sólidos Urbanos Metropolitanos*.
- Programa del Estado de Paraná Brasil, 2008-“Calentar agua mediante energía solar reutilizando botellas PET” <http://desenchufados.soygik.com/calentar-agua-mediante-energia-solar-reutilizando-botellas-pet/>

Abstract

This paper shows the preliminary results of solar water heating system built with recycled plastic materials: PET bottles and Polypropilene tubes. The PET bottles take form an air chamber around the PP tubes and they are put one into the other in order to grow thermal performance of the collector. The cost of the system are \$ 102.3 (US\$ 26.9) for each collector. People of low income can access to this technology to obtain heat water. The temperature measures indicate that it's possible get several hours with 42°C.

Keywords: solar energy, recycled plastic materials, solar water heating