

Artículos

Diseño y medición del rendimiento de un colector solar de agua sanitaria construido a partir de botellas recicladas de doble capa

Design and measurement of the performance of a solar sanitary water collector built from recycled bottles of double layer

Miranda Gassull, V.

CONICET-Mendoza, Facultad de Ingeniería-Carrera de Arquitectura y en el Instituto CIFOT-Facultad de Filosofía y Letras, UnCuyo, Mendoza, Argentina.

Contacto: arq.vmiranda@gmail.com

Palabras claves: energía solar, materiales plásticos reciclados, calefón solar, vivienda masiva

Keywords: solar energy, recycled plastics, solar heating, housing

Resumen

El estudio de calefones solares ha avanzado con alto grado de desarrollo en las últimas décadas. En este sentido, se propone comparar las ventajas y desventajas de utilizar doble capa de plástico en calefones solares con elementos reciclados respecto del uso de una capa simple de botellas PET. Los productos que se comparan se determinan por 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 respecto de una 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 como es la incorrecta disposición de residuos sólidos plásticos, desaprovechando su potencial socioeconómico. 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 del rendimiento de un sistema de agua sanitaria solar realizado con caños de polipropileno (P.P.) y un diseño de cubierta transparente con una botella de PET reciclado y con dos botellas de PET reciclado, estimando cual es el óptimo para cierto tipo de clima.

Abstract

The study of solar water heating has advanced with a high degree of development in the last decades. In this sense, it is proposed to compare the advantages and disadvantages of using double layer of plastic in solar water heaters with recycled elements with respect to the use of a single layer of PET bottles. The products that are compared are determined by a solar water heating system made with recycled and reused PET bottles in the province of Mendoza, Argentina. This project deals with an energy problem in housing as the energy needed to produce domestic hot water (DHW) for home use in low-income populations living in areas far from urban centers and, therefore, net. It is also an alternative to an environmental problem such as the incorrect disposal of plastic solid waste, wasting their socio-economic potential. We propose an alternative to reduce energy consumption in the use of heaters: thermos tanks or instantaneous water heaters that use gas, electricity or firewood for its operation. In the following article we present and compare the results of a solar sanitary water system made with Polypropylene (PP) pipes and a transparent cover design with a recycled PET bottle and two bottles of recycled PET, estimating which is the best for a certain type of climate.

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.

En Brasil se implementó el Programa de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Hídricos en el cual se desarrolló un manual de calentador solar con botellas de plásticos recicladas que en su interior tiene tetrapack pintados de negro (Alano J. et al, 2006). El calefón solar de bajo costo con colector plano construidos con elementos plásticos descartados realizados por el equipo de investigación de la Universidad del Nordeste Argentina liderada por el investigador Busso Arturo, (1998) en el marco del proyecto «Desarrollo Rural Sustentable Mediante Energización con Energías Renovables» es el antecedente principal que demuestra su viabilidad técnica para ser usado en calentamiento de agua en instalaciones donde las exigencias de extracción sean bajas (uso doméstico).

La ONG «Nos» de Chile desarrolló el Proyecto colector solar pasivo, hecho con botellas descartables de PET que ofician de colector acumulador. Este sistema consiste en un gabinete aislado térmicamente por detrás, en el que se colocan las botellas. El 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).

Se tomaron dos antecedentes sobre colectores acumuladores, por un lado se estudió el colector acumulador integrado, el cual contiene un colector plano constituido por un tanque metálico, hermético, pintado con negro mate y cubierto por dos placas de policarbonato alveolar (Fasulo et al, 1999). Por otro lado el colector acumulador solar de bajo costo es un sistema que 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). También se estudió un sistema aplicable cuando se necesita gran cantidad de agua tibia como es proyecto de pozas o estanques solares. Los colectores horizontales pueden ser convectivos o no convectivos. Un detalle de las pozas convectivas es que el agua se encuentra alojada en una especie de bolsa de algún material plástico de PVC o polietileno grueso (Kreither et al, 1981).

Cabe destacar que 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.

Es preciso señalar que el trabajo se desarrolla en la provincia de Mendoza, a partir de los avances del grupo de trabajo de Energías Renovables del Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (ex INCIHUSA) y actualmente Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía -INAHE- del Centro de Ciencia y Técnica del CONICET, Mendoza (Esteves et al., 1999, 2005). Por ello, resulta importante introducir las principales problemáticas de la provincia respecto a los residuos sólidos urbanos. En Mendoza se producen diariamente un valor medio de 1 kilogramo de basura por persona, expresado a nivel provincial en un total aproximado de 1.477 toneladas por día de residuos sólidos urbanos. Según Observatorio Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos de Argentina, se observa un incremento de la generación de RSU para Mendoza del 0,53 % anual desde 2005 hasta 2010. (Ob. Nacional de GRSU, 2012:4). No existen en la provincia registros oficiales del número exacto de residuos PET, ya que la recolección no es discriminada por material, sin embargo se estima que se producen diariamente un total de 500 toneladas de desechos plásticos en la provincia. (Dario Los Andes, 2013). La secretaría de Ambiente de la provincia en el año 2009 estimaba que se producían 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: 15).

El PET es 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 la acumulación en la vía pública. En Mendoza, este problema se agrava por la acumulación en los canales y acequias de riego, obstruyendo y contaminado el agua superficial.

Hay que destacar que Mendoza de las 14 millones de has. del total mendocino solo el 3% son has irrigadas, donde se concentra el 84% de la población. Mientras que el territorio restante es un vasto espacio árido restringido-limitado y desposeído de acceso al bien hídrico, que representa el 97% de la provincia, donde habita sólo el 16% de la población. (Miranda Gassull, V. 2017:97)

El sistema de irrigación es de suma importancia para la sustentabilidad ambiental, social y económica de la provincia. En este sentido es preciso señalar que todos los cauces sufren la acumulación de basura, según las mediciones efectuadas por personal técnico del Consejo de Inspecciones de Cauces del Río Mendoza permite apreciar en forma cuantitativa esta situación (evaluación cuantitativa del impacto ambiental generado por residuos sólidos en rama Jarillal y derivados). Del análisis efectuado se concluye que del volumen total de residuos arrojados, un 89,07 % corresponde a envases plásticos descartables. Sólo el 67 % corresponde a envases descartables de bebidas gaseosas (ASIC, 2006).

El resultado de diferentes estudios indica que el problema de contaminación del agua es de carácter cualitativo y cuantitativo. La calidad del agua se ve afectada por las sustancias contaminantes que se transmiten por los envases arrojados, mientras que la cantidad de agua se ve afectada por los atascamientos en los cauces de distribución del agua y obras de conducción como puentes y sifones, logrando así desbordes y pérdidas de caudal (según ASIC, 2006). Estas pérdidas son aproximadamente del orden del 40 % de acuerdo a mediciones efectuadas a la fecha por el INA (Instituto Nacional del Agua. 2006).

Por lo tanto, la reutilización del envase de PET pos consumo es una ventaja medioambiental ya que en su fabricación se consume energía de modo intenso. A su vez puede utilizarse en reemplazo de otros productos, tales como el vidrio u otros plásticos (utilizados como cubierta solar) para promover el ahorro de 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.

A partir de lo expresado, este trabajo tiene como objetivo evaluar el rendimiento de calefones solares diseñados con materiales plásticos reutilizados con el fin de proponer alternativas viables del re-uso de envases PET. Se presentan los resultados comparados de dos (2) calefones solares destinados a calentar agua para una familia de escasos recursos diseñados con botellas descartadas de PET.

Materiales y metodos

En la primera etapa se hace uso de datos secundarios y bibliográficos de clima registrados por el Servicio Meteorológico Nacional aplicados a la provincia de Mendoza. A partir de los cuales se diseña y evalúa la solución técnica, tomando 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 de diseño experimental construidas en modelos de escala 1:1. A su vez se evalúan teóricamente, 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 - INAHE, 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 HOB0.

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).

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-Prototipo construido de estudio

El sistema propuesto, se compone por dos (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 dimensión y diseño. Cada unidad de estudio tiene una superficie colectora de 0,75 m² (1,80m x 0,55 m). La 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 Figura 1 muestra los esquemas de diseño del sistema. En la Figura 2 se muestra el colector terminado.

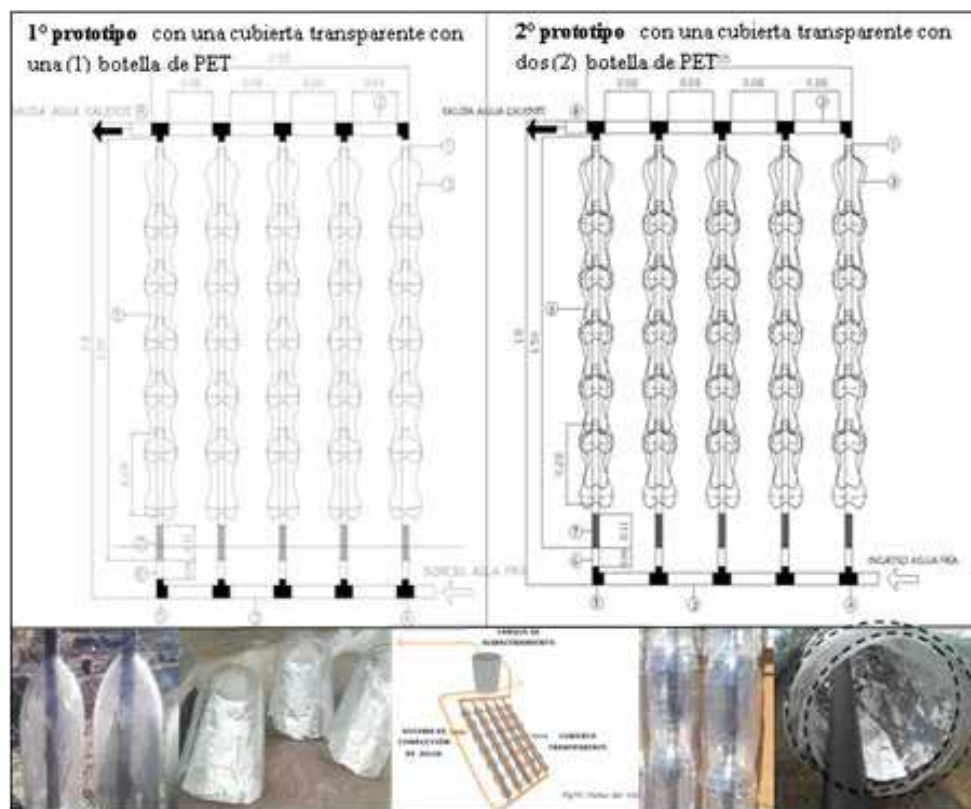


Figura 1
Diseño de los dos (2) prototipos armados. 1° con una cubierta transparente con una (1) botella de PET, el 2° cubierta transparente con dos (2) botellas de PET.
Fuente: elaboración propia, (Mendoza, 2010).

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.



Figura 2
Imágenes del colector terminado con un Tanque de almacenamiento sin aislar. Fuente: elaboración propia (Mendoza, 2010)

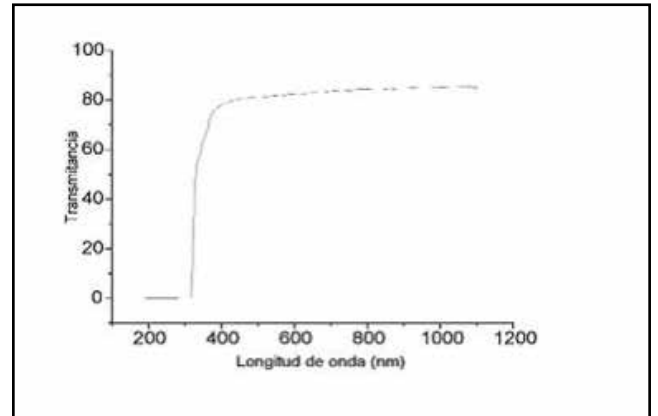


Figura 3
Transmitancia de botellas PET. Fuente: Litter, Marta I., Héctor D. Mansilla. 2003. «Desinfección Solar de Aguas en Comunidades Rurales de América Latina». Argentina. Editado por Proyecto OEA AE 141/2001.

Este material es maleable de fácil personalización, ya que las botellas de PET de 2,00 litros pesan aproximadamente 48 g. Este material es resistente a la intemperie (sol, lluvia, niebla, polución). 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 N° 3, Octubre 1998, 13-14).

La Figura 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 6 cm del borde inferior (Ver Figura 4).

La botella interior puede ser de 1,5 l, 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.

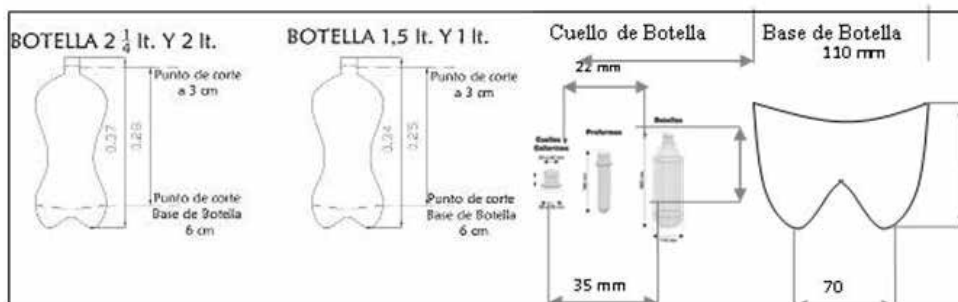


Figura 4
Esquema de corte de las botellas. Fuente: elaboración propia (Mendoza, 2010).

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 ½”.

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 Tabla 1) teniendo en cuenta: resistencia a la intemperie y a los ataques físicos y químicos, temperatura de trabajo, peso, costo.

		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	<u>Resblandec.: 120°C</u> Fusión: 200°C	<u>Resblandec.: 175/180°C</u> Fusión: 260°C	<u>Resblandec.: 115/135°C</u> Fusión: 230°C
	<u>Coefic. Dilatación Lineal /m</u>	0,7 mm a 0,8 mm	1,1 mm a 1,5mm	2,2 <u>mm.</u>
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) – <u>Económ</u>	\$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, Jaime. (1998) «Manual Práctico de Instalaciones Sanitarias». Argentina, Editorial. El Hornero. Estudio de costos realizado en 2009.

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.

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. Sus características principales son: transparente, irrompible, ligero, brillante, 100% reciclable.

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.

Comparación del sistema con cubierta de dos (2) botellas y sistema con cubierta de una (1) botella de PET

Para el cálculo del área colectora necesaria del sistema se utiliza el método desarrollado por CENSO-LAR (2010), impartida en los cursos virtuales, en los que tiene en cuenta la ganancia solar y las pérdidas térmicas a partir de la ecuación de rendimiento del sistema. El área colectora se calcula en base a la cantidad de colectores necesarios de 0.75 m² (área de los prototipos diseñados). Posteriormente se calcula el nivel de ahorro energético para una variabilidad en la cantidad de colectores. Se han utilizado indicadores de Gases de Efecto Invernadero - GEI en cuanto a las tasas de emisión indicadas en el IPCC - Intergubernamental Panel of Climate Change, 2001.

El rendimiento del sistema se puede calcular a partir de la Ecuación 1¹.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_t} = \frac{F_R}{G_t} (G_t(\tau\alpha) - U_L(I_{fi} - T_a))$$

Donde:

- FR = factor de extracción del calor del colector.
- τ = transmitancia solar del vidrio o cubierta.
- α = absorvancia solar del elemento absorbente.
- 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]

FR (τ α) y FR UL son dos parámetros que definen cómo trabaja el colector. FR (τ α) es la indicación de cómo la energía solar es absorbida por el mismo y el FR UL 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 Tfi-Ta/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.

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

Donde:

Ta y Gt representan las condiciones climáticas de temperatura del aire (°C) y radiación solar global instantánea (W/m²) respectivamente; Tfi = representa la temperatura del agua que ingresa al colector (°C).

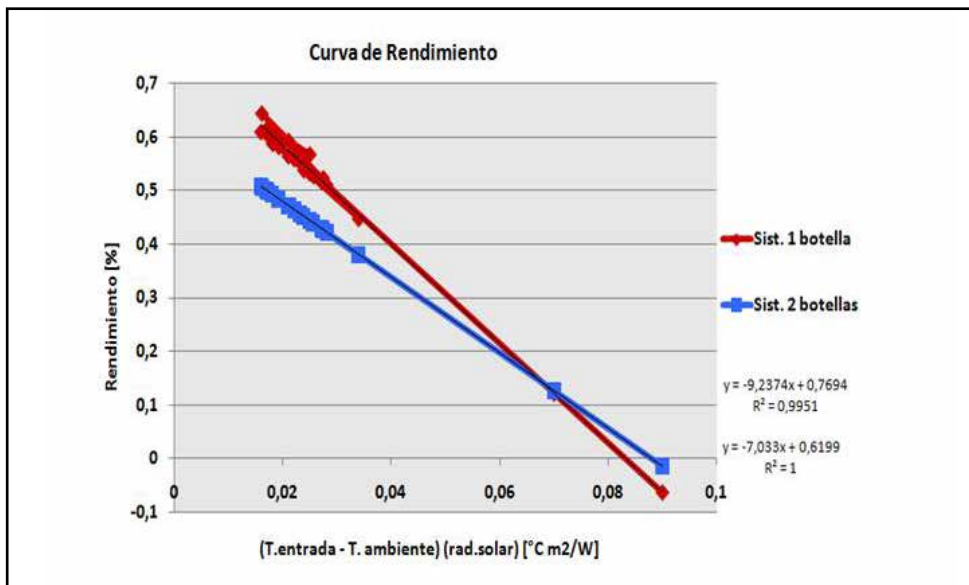


Figura 5
Curva de Rendimiento «comparación ambos sistemas».
Fuente: elaboración propia (Mendoza, 2010).

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 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, $FR (\tau\alpha)$ es la indicación de cómo la energía solar es absorbida por el mismo y el FR_{UL} 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 Tabla 2 resume los resultados encontrados:

Sistema	$FR (\tau\alpha)$	FR_{UL}
2 botellas	0.6199	7.0336
1 botella	0.7694	9.2374

Tabla 2
Valores de $FR (\tau\alpha)$ y FR_{UL} de los 2 sistemas. Fuente: elaboración propia (Mendoza 2010).

Como se puede apreciar, el sistema con dos botellas, tiene una ganancia óptica (valor de $FR (\tau\alpha)$) 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 FR_{UL} 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 $(T_{fi}-T_a)/G_t = 0.07$

MES	Rad. Horiz.	Rad. Incl.	Temp.diurna	Dif. Temp.	Dif. Temp./l	Rendimiento
ENE	903.7	732.0	26.85	13.15	0.018	0.6034
FEB	900.9	819.8	25.70	14.30	0.017	0.6082
MAR	794.9	842.6	22.90	17.10	0.020	0.5819
ABR	628.2	766.4	18.65	21.35	0.028	0.5120
MAY	560.6	745.6	14.90	25.10	0.034	0.4583
JUN	515.9	686.1	11.25	28.75	0.042	0.3822
JUL	528.8	666.3	11.25	28.75	0.043	0.3707
AGO	739.0	857.2	13.70	26.30	0.031	0.4859
SET	955.6	993.8	16.55	23.45	0.024	0.5514
OCT	927.3	843.8	19.95	20.05	0.024	0.5499
NOV	945.2	765.6	23.45	16.55	0.022	0.5697
DIC	830.1	639.2	25.75	14.25	0.022	0.5634

Tabla 4
Cantidad de energía aportada del sistema. Fuente: elaboración propia (Mendoza 2010).

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 Figura 5).

Resultados

Colector con 1 botella de PET

Las pruebas se realizan utilizando los datos climáticos de la ciudad de Mendoza. Para estas consideraciones ahora veamos cómo sería el caso de utilizar colector de 1 botella.

La Tabla 3 muestra la superficie considerada por colector, las figuras características de su curva de rendimiento, la temperatura de uso y la simultaneidad que tiene en cuenta el desfase entre consumo y producción. Aquí estamos considerando que el 90% del agua se consumirá en el mismo día de producida.

Marca:	Sin Marca
Area Neta m2:	0.75
$F_R * \tau * \alpha$: (ord. al origen)	0.7694
$U_L * F_R$: (pendiente)	9.24
Temp. de uso °C:	40
Simultaneidad:	0.9

Tabla 3
Datos del colector de 1 botella. Fuente: elaboración propia (Mendoza 2010).

La Tabla 4 muestra valores procesados mensuales: radiación solar sobre superficie horizontal (W/m^2), Radiación sobre el plano del colector (W/m^2), temperatura diurna, diferencia de temperatura entre el consumo y el aire, la diferencia de temperatura sobre la radiación solar y el rendimiento calculado a partir de la curva. Esto nos brinda la cantidad de energía que el sistema proveerá y con ella la cantidad de agua caliente sanitaria.

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos: el salto térmico necesario entre la temperatura del agua fría y la temperatura de uso, la necesidad energética en Mega Joule MJ/mes, la Energía Solar Útil (MJ/mes)

y el déficit energético (MJ/mes) cuando se utiliza una cantidad de superficie colectora que produce las mismas ganancias totales anuales que las necesidades anuales.

Mes	Salto Térmico [°C]	Necesidad Energética [MJ/mes]	Energía solar [MJ/mes]	Déficit Energético [MJ/mes]
ENE	21.60	630.7	1123.4	0.0
FEB	22.70	598.6	1073.1	0.0
MAR	25.00	729.9	1026.1	0.0
ABR	29.10	822.2	794.8	27.5
MAY	32.70	954.8	605.2	349.6
JUN	36.20	1022.8	400.4	622.5
JUL	36.60	1068.6	413.6	655.0
AGO	35.00	1021.9	710.8	311.1
SET	32.30	912.7	853.7	59.0
OCT	28.90	843.8	1015.9	0.0
NOV	25.20	712.0	978.5	0.0
DIC	22.70	662.8	985.5	0.0
ANUAL		9980.9	9980.9	2024.6

Tabla 5
Datos de Resultados de la energía provista por el sistema de ACS. Fuente: elaboración propia (Mendoza 2010)

Cantidad de Colectores	Ahorro [%]	Energía Ahorrada [MJ/año]	Emisiones ahorradas [kg/año] Gases de Efecto Invernadero		
			CO ₂	NH ₄	N ₂ O
4.0	74.2	7402.0	415251.4	37.01	0.74
5.0	79.7	7956.3	446347.8	39.78	0.80
6.0	86.6	8639.1	484651.2	43.20	0.86

Tabla 6
Ahorros de energía para diferentes cantidades de colectores. Fuente: elaboración propia (Mendoza 2010).

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 Tabla 7).

La Tabla 7 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 \$ 792 pesos argentinos (US\$ 19.80 - 09/2018). Además se suma el costo del tanque de almacenamiento que se calcula en \$ 3.800 (US\$ 108.80 - 09/2018).- 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	costo del sistema	ahorro anual (\$/año)	amortización económica (años)
4	8293	3026	2,74
5	9312	3330	2,796
6	10662,4	3802	2,804

Tabla 7
Costos \$, ahorro anual y amortización económica para diferentes cantidades de colectores en el sistema. Fuente: elaboración propia (Mendoza 2010).

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.

Colector cubierta transparente de 2 botellas

Para el caso de utilizar un colector con 2 botellas, se incluye aquí los resultados de la Tabla 8, 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 muestra fehaciente de que el sistema con una botella será mejor para Mendoza. Los costos del colector de cubierta transparente de dos botellas es igual al de una botella dada que las mismas se recolectan sin costo.

Cantidad de Colectores	Ahorro [%]	Energía Ahorrada [kWh/año]	Emisiones ahorradas [kg/año] Gases de Efecto Invernadero		
			CO ₂	NH ₄	N ₂ O
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

Tabla 8

Ahorro de energía para diferentes cantidades de colectores de doble botella. Fuente: elaboración propia (Mendoza 2010).

Discusion - Conclusiones

En Argentina, desde el 2004 se ha manifestado una crisis energética nacional inducida en gran parte por una neta conformación de energía no renovable en el consumo de la energía primaria, cabe aclarar que el 87 por ciento de la energía primaria proviene de combustibles fósiles. Los valores expuestos resultan excesivos, teniendo como epicentro de la crisis, el consumo de gas natural (GN) que representa el 49 por ciento de la energía primaria que consume la Argentina.

Esta situación energética se traduce al resto del país, y por lo tanto el área de estudio de investigación: Área Metropolitana de Mendoza (AMM) no escapa de la realidad nacional. 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 \$ 8200 y \$10.660 pesos argentinos (U\$ 215-280) 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.

Se puede expresar que cualquiera sea el sistema a utilizar se obtiene una energía ahorrada al año que resulta atractiva, demostrando ser una alternativa energética factible de ser utilizada.

En el caso de aplicarlo a Mendoza se concluye que es mayor el ahorro energético del colector de 1 botella PET, ya que se necesitan 5 colectores para llegar a un rendimiento equivalente que permita el 80% de ahorro energético (7956,3 kWh/año). Mientras que para el colector de 2 botellas PET se necesitan 6 colectores

Al disminuir el consumo en 80 % podemos enfrentar este consumo reducido con biomasa, sin generar desertificación dado que podemos alentar a que se crezca y se reponga los ejes planos (o al utilizar Algarrobo permitimos usar la madera que este árbol entrega anualmente).

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.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas del Ministerio de Ciencia e Innovación de Argentina en conjunto con la Universidad Internacional de Andalucía. Este trabajo forma parte del grupo de investigación liderado por el Dr. Alfredo Esteves del CCT-CONICET, Mendoza.

Bibliografía

- Alano J.** *Água Quente para Todos*. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA, Coordenadoria de Resíduos Sólidos - CRES, Gobierno del Estado de Paraná, Brasil. (2006). Disponible en: <http://www.sema.pr.gov.br/>
- ASIC.** *El problema de los Residuos Sólidos sobre la red de riego*. Publicación en línea, Mendoza, Argentina. 2006. Disponible en: <http://www.asicprimerazona.com.ar/asic/notas/residuos.htm>
- Ballesteros Martín, C.** El envase de PET ante el reto del reciclado. *Interpresas*. (1996). Disponible en <http://www.interepresas.net/Envase/Articulos/4213-El-envase-de-PET-ante-el-reto-del-reciclado.html>
- Busso, A. J., Aeberhard, A. F.** Calefón Solar de Bajo Costo con colector Plástico Plano construido en parte con elementos de descarte: Perspectiva Económica *Revista AVERMA*. (1999) Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php>
- Busso, A., Aeberhard, A., & Figueredo, G.** *Un colector solar plano construido con elementos plásticos de descarte: viabilidad técnica y construcción*. Argentina. Revista Avances en energías renovables y medio ambiente, (1998). 2(1).
- CENSOLAR, 2010.** *Sistemas de Aprovechamiento térmico II - Curso de Proyectista Instalador de Energía Solar*, Sevilla.
- Diario Los Andes.** *Mendoza genera 500 toneladas de residuos plásticos por día*. Zulema Usach. Publicación en línea, 26 de agosto 2013 Disponible en: <http://losandes.com.ar/article/mendoza-genera-toneladas-residuos-plasticos-734266>
- Duffie J., Beckman W.** *Economics of Solar Water Heating en Solar Engineering of Thermal Process*. Hoboken, New Jersey. Editado por John Wiley & Sons, Inc., (1992). Cap. 12
- Esteves A.** Curso de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Dictado en Junio Julio del 2003 en Mendoza, Argentina, Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV-INCIHUSA) Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas CCT CONICET Mza.
- Esteves A., Buenanueva F.** *Calefón Colector Acumulador Unificado de Bajo Costo*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Revista AVERMA. (2005). 9, 43-48. Disponible en : <http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php>
- Esteves A. Gelardi, D.** Muro de Botellas de PET para incrementar la inercia en invernaderos para cultivos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Impreso en la Argentina. *Revista AVERMA* (1999). Vol. 3, 9-13. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/averma.php>
- Fasulo, A., Follari J., y Barral J.** *Colector Solar acumulador integrado con uno plano*. Acta de la xxxvi Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Argentina. (1999) Disponible en <http://www.asades.org.ar/averma.php>
- Grupo de Trabajo Técnico del Convenio de Basilea.** *Directrices para la Identificación y Gestión Ambientalmente racional y para su eliminación sobre los restos de cables con revestimiento plástico-* (2001) Revisión 6- Texto editado.
- Kreither K., Keith E.** *Solar Energy Handbook*. New York, EEUU. Ed. Mc Graw Hill. (1981)
- Litter, M. I., Mansilla H. D.** *Desinfección Solar de Aguas en Comunidades Rurales de América Latina*. AICD. (2003)
- Miranda Gassull, V., Esteves, A., de Aslain, M. L., & Buenaventura, F.** Sistema de Calentamiento de Agua Sanitaria Solar con elementos de reciclaje. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, (2009). 13.
- Miranda Gassull, V.** *Hábitat de producción social en tierras secas de norte de la provincia de Mendoza*. Tesis Doctoral en Ordenamiento Territorial. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. 2017
- Nisovich, J.** *Manual Práctico de Instalaciones Sanitarias*. Argentina. Edit. El Hornero. (1998)
- Programa del Estado de Paraná.** *Calentar agua mediante energía solar reutilizando botellas PET*. Paraná, Brasil. (2008) Disponible en: <http://desenchufados.soygik.com/calentar-agua-mediante-energia-solar-reutilizando-botellas-pet/>
- Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Mendoza** *Cálculos estimativos de los Residuos sólidos Urbanos Metropolitanos*. (2009).
- Serrano P.** *Energía solar para todos*. Con Con. Chile. Ong: El Canelo de Nos. (1991). Disponible en: [http://www.elcanelo.cl/SODIS News Materiales: Envejecimiento de las Botellas de PET. \(1998\). \(3\) 13-14. Disponible en: http://www.sodis.ch/methode/anwendung/factsheets/ageing_s.pdf](http://www.elcanelo.cl/SODIS News Materiales: Envejecimiento de las Botellas de PET. (1998). (3) 13-14. Disponible en: http://www.sodis.ch/methode/anwendung/factsheets/ageing_s.pdf)