

COLECTOR SOLAR DE COSTO BAJO

Juan Luis Mascaró¹, Alfredo Esteves², Diego B. Musskopf³, Eugenia A. Kuhn⁴

¹Departamento de Urbanismo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
e-mail mascaró_juan@conex.com.br

²Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda LAHV - INCIHUSA - CONICET, Argentina
aesteves@lab.cricyt.edu.ar

³CNPq, Facultad de Arquitectura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

⁴PROPEQS, Facultad de Arquitectura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
mascaró@vortex.ufrgs.br

RESUMEN: El trabajo presenta un colector solar de bajo costo para ser usado en las viviendas de interés social de la latitud - 30, con cielo de nubosidad 0,5 (en la escala de 0 a 1), caso de Porto Alegre, R. S., Brasil. El objetivo principal es sustituir la ducha eléctrica, usada por más del 70% de la población y responsable por gran parte del consumo pico de energía eléctrica de la población. El costo del colector desarrollado es menor de US\$ 50,00 y su durabilidad estimada es de 5 años. Un prototipo está en funcionamiento desde hace un año, presentando buenos resultados.

Palabras clave: energía solar, colector solar, calentamiento de agua, ducha solar

INTRODUCCIÓN

El consumo anual de energía eléctrica en Brasil aumentó de 38 TWh para 277 TWh entre 1970 y 1997, siendo mayor en los sectores residencial y comercial. El modelo consumista en boga se tradujo – entre otros - en la mayor adquisición de numerosos electrodomésticos de poca eficiencia energética, siendo acompañado por una edificación inhabitable sin el uso de la climatización e iluminación artificial. La ciudad fue construida siguiendo más los intereses del mercado inmobiliario que los criterios de salubridad y economía. La actual crisis de energía pone en evidencia la gravedad de la situación creada, principalmente para las áreas urbanas, que están sobre la amenaza de “apagones” y enfrentando medidas gubernamentales de aumento de las tarifas eléctricas y de los combustibles. Para los equipos de producción de agua caliente, el gobierno ofrece una línea de crédito para la fabricación de colectores de energía solar acompañada de un impuesto a la ducha eléctrica de 40 % y 15 % para las potencias superiores e inferiores a 4.000W, respectivamente, cuyo precio es del orden de los US\$ 10,00, siendo, por eso, el más usado en el país para este fin. Su sustitución principalmente para las clases de renta baja, no fue pensada hasta hoy, a pesar de que la ducha eléctrica es la responsable por el alto consumo de energía eléctrica residencial (Graça G. et al. (1986), siendo usada en el 70 % de las viviendas (Graça G. et al. (1985); en São Paulo, por ejemplo, la ducha eléctrica ocasiona 50 % de la demanda de energía en el horario de pico, entre las 18 h y las 21 h.

Las horas de sol en Porto Alegre (-30°) durante gran parte del año son suficientes para calentar los espacios interiores de los edificios cuando están bien orientados, así como para permitir un buen rendimiento de la energía solar que llega principalmente a las superficies horizontales en el invierno. Y es esa la superficie más disponible en la ciudad a través de los techos y pisos urbanos. Estudio realizados por Akbari sobre las islas de calor en las ciudades de Washington, Tucson y Arizona apuntan dos alternativas de fácil aplicación y eficientes para la reducción de la temperatura del aire durante el verano: el uso adecuado de la vegetación y la utilización de materiales de albedo alto (de mucha reflectancia de la radiación solar), principalmente en techos y superficies horizontales, que pueden reflejar hasta 90 % del calor recibido, reduciendo en 40 % la energía eléctrica usada para refrigeración del aire en la edificación.

Existen antecedentes respecto de la utilización de la energía solar para calentamiento de agua con sistemas de bajo costo (Boucigues et al, 1990; Serrano, 1991; Serrano 1992), que aunque representan ideas muy interesantes y sencillas, los costos incurridos en su conformación exceden las posibilidades del usuario a quien va dirigido este aprovechamiento o demandan una forma de uso que implica un cambio en las costumbres del usuario de manera que representa un impedimento más para la extensión del uso de la energía solar.

Nuestra propuesta propone usar esas superficies para coleccionar energía solar, principalmente en los barrios periféricos formados por viviendas unifamiliares, que tienen una cantidad importante de metros cuadrados de tejados por morador (en Porto Alegre es del orden de 6 m²/h) y un factor de cielo visible grande (mayor de 45°).

DATOS CLIMÁTICOS Y CONSUMO DE AGUA CALIENTE CALCULADA

La Tabla I muestra los datos climáticos de Porto Alegre, ciudad brasileña situada en la latitud 30° S, longitud 51° 11' W y altura media de 4 m sobre el nivel del mar; La nubosidad media es de 5 en la escala de 1 a 10. La temperatura del agua fría ha sido fijada a partir del valor de la temperatura mínima del aire, valor adoptado cuando existen tanques de reserva elevados como parte del sistema de suministro para el calefón.

Mes	Energía solar total [Wh/m ² día]	Nubosidad (%)	Calentamiento Estimado de 100 l de agua (0,38m ²) [°C]	Temp. Agua Fría [°C]	Temp. Agua Caliente [°C]	Temp. Med. del Aire [°C]	Temp. Méd. Max del Aire [°C]
Enero	8216,5	52	13,0	25,5	38,5	24,5	30,7
Febrero	7428	54	11,5	25,5	37,0	24,3	30,2
Marzo	6291,8	57	8,9	23,5	32,4	22,8	28,8
Abril	4888	48	8,4	20,5	28,9	20,2	26,1
Mayo	3771,6	55	5,6	17,5	23,1	16,3	22,4
Junio	3376,1	58	4,7	15,7	20,4	14,1	19,8
Julio	3771,6	57	5,3	15,5	20,8	14,1	19,9
Agosto	4888	58	6,8	15,8	22,6	14,9	21
Septiembre	6291,8	64	7,7	17,5	25,2	16,7	21,8
Octubre	7428	56	10,7	19,8	30,5	18,9	24,2
Noviembre	8216,5	55	12,2	21,6	33,8	21,0	27,1
Diciembre	8489,9	48	14,5	24,3	38,8	22,9	29,3

Tabla I: Datos climáticos de Porto Alegre, RS y del consumo y temperatura del agua

No hay normas brasileñas que determinen el volumen de agua caliente consumido por persona para el diseño de los colectores solares. Siendo un valor muy variable pues depende de usos y costumbres, estimamos un consumo de agua caliente por persona de 30 l/día para los adultos y 12 l/día para los niños (Kreither et al, 1981), siendo la composición de la familia media en Rio Grande do Sul de 5 miembros, 2 adultos y 3 niños. El consumo de agua tiene en cuenta que el agua caliente se usa para el baño, lavatorio y lavado de vajilla.

El calentamiento del agua del colector solar fue determinado usando la siguiente expresión:

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{útil}}}{\rho V C_p} = \frac{R_t \cdot \eta \cdot A_a}{\rho V C_p} =$$

Siendo:

R_t: Radiación solar total por día (KJ/m²).

A_a: Área colector (m²).

η : rendimiento térmico del sistema (tomado como 45-50 %).

ρ: densidad del fluido (kg/m³).

V: Volumen de agua a ser calentado (m³).

C_p: Calor específico del agua (KJ/kg.°C).

DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DESARROLLADO

El colector está proyectado de la siguiente manera:

El tanque acumulador es una caja de polipropileno de 170 litros, usada generalmente para mantener la temperatura de alimentos, que se encuentra en el comercio a un precio bajo; la caja ha sido sellada y tiene un respiradero pequeño para permitir la libre circulación del agua; La instalación hidráulica es la convencional, una entrada de agua fría provista de una válvula de flotante y una salida de agua caliente en la parte inferior de la caja debidamente aislada térmicamente. La tapa fue sustituida por una lámina de poli carbonato de 3mm de espesor. Para aumentar su vida útil, la caja está revestida por chapas de madera compensada proveniente de desechos de la construcción civil. La caja se apoya sobre una base de madera que distribuye su peso sobre el techo (Fig.1). El monitoreo del sistema fue hecho a través de la conexión de dos termómetros (uno para medir la temperatura del agua que llega de la red pública y otro la del agua que sale de la caja almacenadora) y un caudalímetro para medir el consumo de agua.



Figura 1 – La caja del colector solar apoyada en una base de madera sobre el tejado.

El prototipo fue mejorado en dos etapas: la primera incorporó superficies reflectoras de papel aluminio para aumentar la radiación sobre la lámina de policarbonato (Fig.2 y 3); la segunda tuvo como objetivo reducir las pérdidas de calor, revistiendo las superficies internas con una lona negra (disminución de la reflectancia) e incorporando una segunda lámina de policarbonato a la tapa de la caja.

El prototipo está instalado en una vivienda operaria del barrio Tristeza, en Porto Alegre; su montaje fue hecho por el usuario (obrero de la construcción civil) con la orientación del investigador, así como también el monitoreo.



Fig. 2: Detalle de la utilización del papel aluminio



Fig. 3: El policarbonato del colector solar

COSTOS

Material	Cantidad / volumen	Costo total
Caja de propileno	170 litros	US\$ 30,26
Grifo de boya	1 unidad	US\$ 1,5
Flange	3 unidades	US\$ 5,37
Lamina de poli carbonato	1 m ²	US\$ 32,1
Lona negra	1 m ²	US\$ 0,15
Papel Aluminio	2 m ²	US\$ 0,40
	Total	US\$ 69,78 (+10%)

Total	US\$ 76,76
--------------	-------------------

Tabla II – Costos de los materiales del colector solar

Material	Cantidad / Volumen	Costo total
Caño CPVC	6 metros	US\$ 16,35
Registro	2 unidades	US\$ 24,93
Conexiones (T,L)		US\$ 5,00
	Total	US\$ 45,93 (+10%)
	Total	US\$ 50,52

Tabla III – Costo de instalación del colector solar

El costo del colector resulta posible de ser pagado por una familia de bajos ingresos. Pero, lo más importante es el ahorro de los 600 Kwh. por año que la ducha eléctrica consume por familia y que representan una inversión media de US\$ 600,00 para suministrar energía eléctrica cuando cada nueva ducha es incorporada al uso del mercado.

MEDICIONES REALIZADAS

Se realizaron mediciones con el fin de conocer el comportamiento térmico del aparato. Las mediciones fueron realizadas a las 8h y a las 19 h; estas últimas tenían como objetivo verificar la captación máxima de energía solar por el prototipo mientras que las de la mañana evaluaban la capacidad de conservar el calor almacenado durante la noche.

Los resultados obtenidos durante las mediciones del mes de enero (periodo caliente) informaron de un aumento medio de la temperatura del agua de 5,4 °C en el periodo de la mañana y 5,7 °C a la tarde. Esa pequeña variación de temperatura registrada muestra la eficiencia del sistema para guardar calor durante la noche.

La colocación del papel de aluminio produjo un aumento de 2,1°C en las temperaturas registradas a la tarde (7,8 °C), llegando a una variación máxima de 10 °C entre la temperatura del agua de entrada en la caja y la de salida; pero, las pérdidas térmicas nocturnas aumentaron proporcionalmente, alcanzando una variación media de 2,8 °C.

Las últimas mejoras incorporadas fueron monitoreadas durante el mes de marzo. La variación media de temperatura en el periodo de la tarde fue de 6,1°C para los 7 días de cielo cubierto (14 de medición) y de 11°C para los días de cielo claro, lo que representa un aumento medio de 5,2 °C con relación al prototipo anterior. En la Tabla IV se indican las mediciones efectuadas en el mes de marzo. Se puede observar que en los días de cielo claro la temperatura del agua que sale del colector se mantiene entre 38 °C y 47 °C.

Día de la Semana	Mañana			Tarde		
	Água fría (°C)	Água caliente (°C)	Diferencia (°C)	Água fría (°C)	Água caliente (°C)	Diferencia (°C)
Miércoles	18	24	6	25	32	7
Jueves	19	25	6	28	38	10
Viernes	21	29	8	35	47	12
Sábado	22	31	9	30	39	9
Domingo	24	29	5	25	34	9
Lunes	18	28	10	27	39	12
Martes	22	30	8	28	41	13
Miércoles	24	30	6	24	41	12
Jueves	24	30	6	25	32	7
Viernes	23	30	7	22	28	6
Sábado	20	25	5	25	27	2
Domingo	20	27	7	23	29	6

Lunes	17	24	7	27	33	7
Martes	17	25	8	27	34	8

Tabla IV – Temperatura del agua de entrada y salida del colector solar durante o día

CONCLUSIONES

- Con relación a su eficiencia, se verifica que en el verano, al agua que sale del colector alcanza temperaturas mayores que 32 °C, superiores a las necesarias para un baño caliente en esa estación. En el invierno, esa temperatura es 6,2 °C mayor que la del agua que llega de la red pública, siendo usado junto con la ducha eléctrica en posición “verano”, reduciendo su potencia de 5,4 kWh para 2,1kWh. Considerando que el gobierno solicita a la población que no demore en bañarse más de 8min y que el precio del Kwh. es hoy de US\$ 0,14 (R\$ 0,35), el uso del colector solar permitiría una economía de US\$ 10,00 (R\$ 25,00 mensuales), valor que representa 1/7 del sueldo mínimo actualmente vigente en Brasil.
- Con relación al contexto brasileño de crisis de energía, el proyecto se encuadra dentro de las políticas actuales de uso racional de energía, siendo viable como una alternativa para la reducción del consumo, principalmente en los horarios de pico.
- Del punto de vista económico el prototipo es aun más eficaz que algunas de las medidas adoptadas por el gobierno para enfrentar la crisis de energía; es posible comparar los resultados obtenidos con la sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes para la población de bajos recursos: mientras esa medida presenta una relación costo / beneficio de US\$ 0,1 (R\$ 0,25) por Watt (US\$ 8,00 para una economía de 80 W (R\$ 20,00), la instalación del colector solar significaría una relación costo / beneficio de US\$ 0,12 (R\$ 0,3) por Watt (US\$ 40,00 para una economía de cerca de 3.000 W).
- Los costos estimados son compatibles con los recursos de la población bajo poder adquisitivo, a la cual está dirigido el proyecto.

REFERENCIAS

- Graça G. et al. (1986). Consumos Residenciais de Energia e Refrigeração – Rio Claro. CESP, CPFL, ELETROPAULO, COMGAS, São Paulo.
- Graça G. e Borgluini R. (1985). Consumos Residenciais de Energia. Conselho Estadual de Energia de São Paulo.
- Kreider J. F. y Kreith F. (1981). Solar Energy Handbook. Ch.29 – Energy Conservation in Buidings. Ed. Mc. Graw Hill, New York.
- Serrano P. (1991). Energía Solar para Todos. Artesol. El Canelo de Nos, Chile.
- Serrano P. (1992). Tecnologías Campesinas de Chile, 2ª edición. Ed. FUGA, Chile.
- Boucigues A., Follari J. y Torres M. (1990). Un Colector Solar de Polipropileno, Actas de la 14ª Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar, pp. 211-218. Mendoza.

ABSTRACT: After consecutive oil crises in the seventies and in the eighties, researches on alternative energy sources have been intensified. However, with the fast adjustment in prices of fossil fuels, a significant spread, especially in underdeveloped countries and lower classes, has not been achieved. As a response to such trend, a low cost solar energy collector has been developed in order to used in homes of social interest in latitude 30°S and with an average nebulosity of 5 (Porto Alegre case). Its main purpose is to replace part of the energy consumed by a electric shower for solar energy (The former accounts for up to 8000W of power and high consumption in peak time currently.)The integrated system allows a single component to both capture and store water. Assembling would not cost more that US\$ 50.00 and the system would last for five years, guaranteeing simple replacement of it.