

**SISTEMA DE COLECTOR INTEGRADO AL BOILER C. I. B.**

V. Tacchi.

ASADES. ATECIC. ISES.

La Rioja 57- 5000 Córdoba- Rep. Arg.

Tel.0351 4214494

A. Monrós N.

Profesional Independiente, CIC.CAI.ATECIC.

Aarón Castellanos 2906-Córdoba Rep. Arg.

Tel.0351-658708

**RESUMEN:** El trabajo se refiere a las pruebas comparativas efectuadas con el 3er. Prototipo experimental presentado en un anterior trabajo, V. Tacchi, A. Monrós (2004), y siempre con el 3er. prototipo, a las pruebas de eficiencia preliminares, efectuadas en el “Laboratorio de Certificaciones de Colectores y Sistemas Solares del C.R. ENEA (Trisaia 22/05/06), y de la experiencia acumulada en Córdoba con el 4to. Prototipo durante el año 2005. Se expone también sobre una variante prevista en el texto de la patente, que permite usar materiales de menor costo, y contemporáneamente hacer frente a posibles problemas de corrosión metalúrgica o de congelamiento (climas muy rígidos). Por otro lado se comentan las razones que justifican el elevado rendimiento encontrado en el nuevo sistema, y se hace referencia brevemente, al sistema de comando electrónico de la puerta de la cual está provisto, enunciando además algunas características útiles, para un buen rendimiento de los sistemas para calentamiento de agua domiciliaria. **Palabras clave:** entropía, entalpia, utilizabilidad, sistema.

**INTRODUCCION**

A fines de la década de 70, principalmente en Japón y E.U., se usaron simples depósitos de agua bajo vidrio que expuestos al sol, la calentaban, con un uso de la misma, prácticamente contemporáneo a la existencia de radiación solar. En la misma época, uno de los autores de este trabajo construye un prototipo compuesto por varios tubos verticales, ubicados en el interior de una caja vidriada y aislada, con una disposición, que permitía el uso diferido del agua calentada. La experiencia no pasó mas allá de una comunicación a los expertos en el tema, no teniendo en el tiempo ninguna trascendencia ni continuidad. En los últimos diez años, se presentaron equipos llamados “compactos”, sin puertas ni superficies espejadas exteriores, tanto en Italia como en Grecia, empleados sobre todo en casas de fin de semana e instalaciones de “camping”, con las mismas características de la producción Japonesa y Norteamericana, es decir muy buen rendimiento de captación de la energía solar, pero con muy poco mantenimiento de las temperaturas. Hace seis años, se retomó la experiencia, mencionada anteriormente, pero aplicando una teoría y diseño completamente novedoso, de muy buen rendimiento y con características informadas, en V. Tacchi y A. Monros (2004).

**DESCRIPCION DEL 3ER.PROTOTIPO**

Está compuesto por cuatro tubos horizontales de 190 mm. de diámetro, superpuestos y ubicados en una cama aislante, con una inclinación de 45° con una puerta provista interiormente de una superficie espejada, que refleja la radiación sobre los tubos ubicados detrás de una cubierta de vidrio, que también permite la entrada directa de la radiación, constituyendo un “sistema”. El volumen de agua es de 260 L. y la ventana al sol de 2,14 m<sup>2</sup> con una relación de 124 L./ m<sup>2</sup> (fig.1).



*Figura 1: 3er. Prototipo, con puerta abierta*

Los tubos están conectados entre si, según el esquema de la figura 2 y tres de ellos están provistos por válvulas automáticas de no retorno, normalmente abiertas que impiden la subida del agua mas fría desde la parte inferior de cada depósito ubicado mas abajo y del agua fría de reposición que entra durante el consumo de agua caliente al primer depósito inferior, válvulas que se cierran automáticamente por las diferencias de presión que se originan durante el consumo.

Luego de un período de calentamiento por insolación, o por un consumo parcial de agua caliente, y luego de finalizado éste, inicia una circulación transitoria por termosifón, entre depósito y depósito, que lleva a saturar con el agua a mayor temperatura el depósito superior, del cual se extrae el agua de consumo. La disposición de los conductos que unen los depósitos entre sí, es tal que la circulación en todos los depósitos se realiza siempre en el mismo sentido, prácticamente con el mismo volumen, y por lo tanto con la misma velocidad, de manera que se evitan turbulencias y mezclas indeseadas, preservándose el sistema de un aumento de entropía (estado mas probable al que tiende la materia), y que en caso de producirse, originaría un aumento de la temperatura del agua mas fría, a costa de la temperatura del agua mas caliente. Si bien este hecho no disminuye la entalpía del "sistema" (contenido total del calor) si disminuye la cantidad de agua caliente utilizable a una determinada temperatura mínima (por ejemplo 42° C), hecho que en una cierta medida obliga, para obtener la misma cantidad de agua caliente a 42 C., obtenible con el nuevo diseño, a aumentar la superficie de los paneles en los sistemas normales.

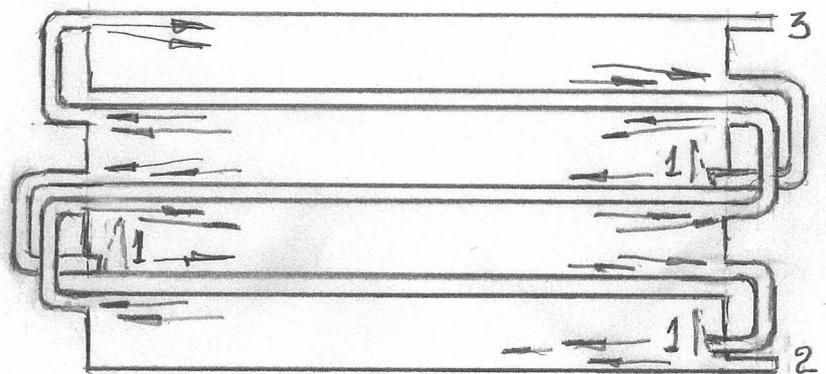


Figura 2: Esquema de circulación del 3er. Prototipo

- 1) Tres válvulas normalmente abiertas
- 2) Entrada de agua de red
- 3) Salida de agua caliente

Además en nuestro caso la transmisión de calor por las paredes de los comunes termotanques, se ve notablemente disminuida por la disposición de los depósitos que no están afectados por una continuidad física entre ellos, con una estratificación final concordante con el número de depósitos, lo que al final de la variación transitoria de temperatura en los depósitos, asegura el mantenimiento de las temperaturas medias de cada depósito al finalizar la jornada solar, o hasta el comienzo de una nueva jornada solar, hecho que previamente se complementó con una relativamente baja temperatura de circulación termosifónica entre depósito y depósito, gracias a conductos de sección adecuada. Esto asegura el mantenimiento de las temperaturas mas altas conseguidas en los depósitos superiores, al mismo tiempo que se obtiene, por estar los depósitos inferiores a una temperatura menor, una eficiencia mayor en precalentar el agua para obtener la temperatura mínima de utilización. Es de notar también que el movimiento termosifónico dentro de cada depósito se realiza con diferencias mínimas de temperatura, debido a que no hay resistencia al movimiento convectivo, por disponer de secciones de paso libres, notablemente mas grandes que las secciones de paso de los conductos de los paneles normales, en los que para extraer el calor producido en la superficie, se deben alcanzar temperaturas mayores con la consiguiente disminución de la eficiencia, por aumento de la temperatura media.

Con respecto a la muy alta inercia térmica del sistema, acotamos que lejos de ser una desventaja, conjuntamente a la casi doble relación L/m<sup>2</sup> de lo comunmente usado, produce una menor temperatura media de la superficie expuesta al sol. Dicha mayor inercia térmica luego de la puesta del sol, no es perdida hacia el medio ambiente, como es en el caso de los comunes colectores, que es conveniente tengan la menor inercia térmica posible, porque luego de la puesta del sol o con baja radiación, la puerta encargada de convertir el sistema en un boiler, se cierra evitando esa pérdida. Asimismo se puede sostener que la mayor inercia térmica, no se opone al hecho de obtener (según las condiciones de insolación) agua caliente en tiempos breves, puesto que las mayores temperaturas acumuladas en la parte superior de cada depósito, por la posibilidad de ubicarse en el depósito superior por circulación termosifónica, origina la disponibilidad en breve tiempo, de agua caliente.

Se pone énfasis en sostener que los rendimientos de un sistema aumentan, si se obtiene una temperatura media de la superficie de captación de la radiación solar diaria, lo más cercana a la de la temperatura mínima de utilización. Toda mejora en el diseño de los sistemas en este sentido, mejora la eficiencia de los mismos, V. Tacchi, A. Rapallini, (1986), cosa que creemos haber alcanzado en una buena medida con el presente diseño, hecho que no impide se alcancen luego, temperaturas mayores.

**PRUEBAS COMPARATIVAS**

El 3er. Prototipo que se muestra en la Figura.1, fue enviado a Europa y probado contemporaneamente (ver Figura 3), a un buen producto de serie ofrecido en el mercado, de 300 L. y 4.2 m2 de paneles (71.5 L./ m2). Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:



Figura 3: Pruebas por comparación del 3er. Prototipo.

En la 2da. y 3ra. columna se expresa la cantidad de agua extraída, con mas el agregado de agua de la red (a 22° C.) para obtener agua a 42° C. en cada sistema. En la 4ta. y 5ta. columna se compara, en MJ./m2, el neto extraído de cada sistema, sin agregado de agua de red.

Fecha:	Sistema Comercial		Prototipo		Sistema Comercial		Prototipo		Relación
	litros	grados C	litros	grados C	MJ/m2	MJ/m2	MJ/m2		
23/09/04	369,2	42	338,5	42	13,19	24,48	1,86		
27/09/04	152,6	42	163,8	42	5,67	11,57	2,04		
28/09/04	167,0	40	187,2	40	5,84	12,19	2,09		
29/09/04	227.1	42	227,8	42	7,82	15,37	1,96		

Los datos fueron tomados siempre de manera contemporánea, con la fiscalización de un integrante de la empresa fabricante del sistema de serie, con los resultados arriba consignados y que prácticamente doblan el rendimiento del de serie, si se comparan los resultados teniendo en cuenta la superficie de captación de 2.14 m2 para el 3er. prototipo y de 4.2 m2 para el de serie. Otras pruebas realizadas dieron resultados semejantes. Es de notar que la eficiencia del C.I.B., es aún mayor si se realizan más extracciones durante el día solar, porque en este caso en el equipo de serie el aumento de entropía es notablemente mayor al del C.I.B., debido a conducción de temperatura, turbulencias, etc.

También se realizaron pruebas de mantenimiento de temperatura, durante 67 hs., tapando el panel de serie y manteniendo cerrada la puerta del C.I.B., con resultados muy parecidos en los dos ejemplares en prueba:

01/10/04 en el de serie.....56,3° C;      en el prototipo.....59° C  
 04/10/04 “ “ “ “ .....40,8° “      “ “ “ “ .....45,5° C



Figuras. 4 y 5: Fotografías del 4to. Prototipo abierto y mientras se cierra.

#### 4to PROTOTIPO

Fue construido en Córdoba, durante los primeros meses del año 2005, Figuras 4 y 5 y luego ensayado abundantemente, con resultados semejantes al 3er. prototipo. Se efectuaron importantes modificaciones en el diseño. Consta de dos tubos de 250 mm de diámetro en lugar de los cuatro tubos de 190 mm. del 3er. Prototipo. La capacidad fue llevada a 282 L, con una superficie de 2,10 m<sup>2</sup> (133 L/ m<sup>2</sup>) y se ensayó un sistema de circulación sin válvulas, como estaba previsto en una de las variantes de la Patente. Desde el 17/05/05 hasta el 26/05/05, se sumaron 10 días de prueba. No se hicieron extracciones durante los días 20, 21, y 22; por estar nublado el día 20 y por estar cerrada la fábrica, donde se hacían las pruebas los días 21 y 22. La electrónica comandó la apertura y el cierre de la puerta según la experiencia de varias semanas de uso, con una potencia de radiación solar de aproximadamente 210 W/m<sup>2</sup>, y con una variación del ángulo de reflexión mensual, de la puerta espejada según la posición del sol. Este criterio será objeto de evaluación futura. La temperatura máxima alcanzada fue de 81° C. Las extracciones efectuadas fueron: el 17 de 273 L; el 18 de 92,7 L; el 19 de 286,5L; el 23 de 444 L; el 24 de 246 L; el 25 de 259 L; y el 26 de 322 L, siguiendo el criterio de interrumpir la extracción cuando se llegaba a una temperatura inferior a los 42° C. No obstante los tres días sin extracción y un día completamente nublado, la cantidad de agua extraída alcanzó los 1923 L. con un promedio, contando 9 días de sol, de 100 L/m<sup>2</sup> con temperaturas superiores a los 42° C, luego de mezclar con agua de red a 16° C, confirmando un rendimiento aproximadamente doble, que el de los sistemas convencionales. Se debe aclarar que lo producción, de agua a 42° C, se refiere al sistema panel- termotanque y no a la producción o eficiencia de los colectores. En otras series de pruebas se alcanzaron rendimientos semejantes, y en una de ellas por una mayor insolación se alcanzó una temperatura máxima de 92°C.

#### NUEVO PROTOTIPO Y PRUEBAS EN CURSO

A la fecha (mayo 2006), se hallan en construcción tres ejemplares de 300 L con tres tubos de 250 mm. de diámetro con sup. de entrada de sol de 2.09 m<sup>2</sup> y 143 L/m<sup>2</sup>. Uno de los ejemplares será enviado al Instituto INENCO de Salta, Argentina para su evaluación. También en estas semanas se están haciendo las primeras evaluaciones, en el "Laboratorio de Certificaciones de Colectores y Sistemas Solares del C. R. de ENEA, Trisaia, Italia, dirigido por el Ing. Giovanni Braccio, con el 3er. Prototipo, con pruebas de eficiencia, confrontando la energía solar ingresante, con la energía térmica extraída, en el mismo lapso, con resultados diarios que confirman en primera visión, las pruebas efectuadas por comparación. Las pruebas en ENEA se completarán con temperaturas más elevadas y en ocasión de varias extracciones efectuadas durante el día solar.

#### DISEÑO ALTERNATIVO DEL SISTEMA C.I.B.

Entre los diseños propuestos, tenemos uno que se adapta a particulares tecnologías constructivas, o bien a determinados climas muy rígidos. Se prevé una arquitectura semejante a las anteriormente descritas, con la particularidad que los tubos encargados de acumular calor, no están ocupados por el agua circulante a calentar, sino por un líquido estacionario compuesto por agua, antioxidantes, y o anticongelantes que no se renueva. La extracción de calor se realiza desde el depósito superior, por medio de un intercambiador particular, que puede ser de volumen elevado, en función del presunto volumen de agua extraída cada vez que se usa, y del tiempo que transcurre entre una y otra extracción, con miras a disminuir o anular, el salto de temperatura normal en los intercambiadores de tipo instantáneo, incremento que podría producir un aumento de entropía, o lo que es lo mismo una disminución de la cantidad de agua caliente a la mínima temperatura de "Utilización".

Los conductos que unen tubo con tubo, son los mismos de los usados en el 3er. Prototipo, pero de mayor sección y con la particularidad de que ya no son mas necesarias las válvulas automáticas y que la circulación termosifónica no se interrumpe durante la extracción del agua de consumo. (ver esquema de la fig.6)

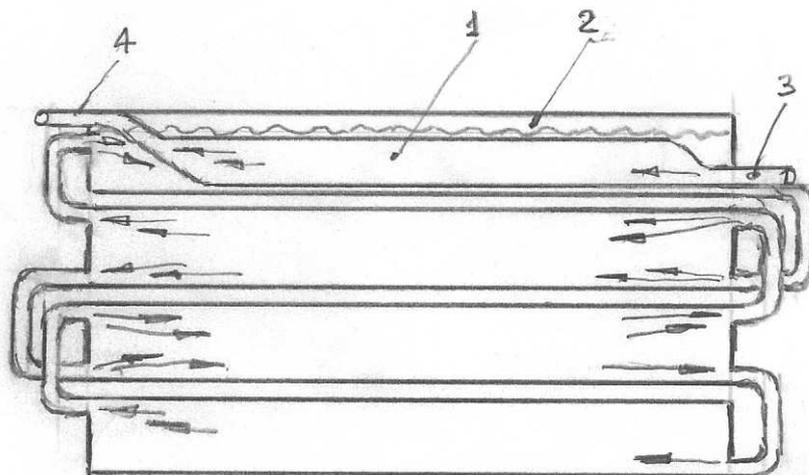


Figura 6: Esquema del diseño alternativo

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1) Intercambiador S.V.T. (Sup. Volumen, tiempo) | 2) Volumen de expansión (pulmón) |
| 3) Entrada de agua de red                       | 4) Salida de agua caliente       |

Una ulterior ventaja se refiere a los materiales posibles de emplear en la construcción de los depósitos, porque en este caso son de menor costo al no tener que hacer frente a corrosión alguna, ni a la presión del agua de la red. Por otro lado se señala,

que en esta alternativa es necesario destinar un volumen en función de la variación volumétrica del líquido acumulador de calor, por la variación de temperatura del mismo.

#### **SIN SEGUIR UN ORDEN DE MERITO, POSIBLES RAZONES QUE EXPLICAN EL NOTABLE AUMENTO DE EFICIENCIA.**

- a) Disminución de la temperatura media de la superficie que recibe la radiación
- b) Radiación solar acrecentada por la superficie espejada de la puerta
- c) Flujo del agua más ordenado durante la extracción y durante los movimientos convectivos
- d) La extracción y la circulación consiguiente, se produce secuencialmente desde la parte más caliente de cada depósito individual, sea durante su calentamiento sea durante la ausencia de radiación.
- e) Las temperaturas mayores existentes en los depósitos superiores, no aumentan la temperatura de los depósitos inferiores, por no existir continuidad física entre ellos, evitándose un aumento de "entropía", manteniéndose mejor las temperaturas más altas.
- f) No existe prácticamente, la posibilidad de circulación inversa
- g) Cuando el volumen de agua calentada es bajo, por estar ésta confinada en el depósito superior, con menor superficie de pérdida de calor que la del total del volumen de agua, la temperatura se mantiene por más tiempo.
- h) La baja concentración de la radiación, la reflejada más la directa, actúan sobre una misma superficie, ventaja apreciable si se la compara con la misma cantidad de radiación, que para ser obtenida en los sistemas normales, debe basarse en un aumento de la superficie de captación y por ende con mayores pérdidas.
- i) El rendimiento de captación del C.I.B., es mejor del rendimiento de los colectores totalmente húmedos, por disponer de secciones de circulación muy superiores, que favorecen la extracción de calor de la superficie expuesta, disminuyendo la temperatura media diaria de la misma, además de las otras características enunciadas.
- j) No existen cañerías exteriores que unen los colectores al termostato, que además son de sección reducida y que por pérdida de carga, aumentan la temperatura media necesaria, para obtener la circulación hasta el termostato, disminuyendo ulteriormente el rendimiento del colector
- k) En función de las razones expuestas, la adopción de una mayor capacidad de acumulación, de alrededor de 150 L/m<sup>2</sup>, aumenta la eficiencia del sistema, debido a una ulterior disminución de la temperatura media diaria.
- l) Superficie geoméricamente selectiva (entre depósito y depósito) en el rango del infrarrojo. (Efecto Francia).

#### **CONCLUSIONES**

Como consecuencia de lo expuesto en el artículo, se puede sostener que no siempre un aumento de eficiencia absoluto, en la transformación de la energía lumínica del sol en calor en los normales paneles es útil. Tampoco es útil o es secundario, como fin a sí mismo, evitar un aumento en los valores de entropía referidos a un determinado nivel de temperatura, si no se alcanzan niveles de temperaturas suficientes, que en el artículo vienen indicados como de "utilizabilidad", puesto que es inútil alcanzar eficiencias en ambos casos, si se obtienen con valores inferiores al mínimo, considerado necesario de 40-42° C. Así una eficiencia cercana a la unidad, conseguida en función de un nivel de temperatura inferior a la temperatura ambiente y cuyo nivel no alcanza a valores de "utilizabilidad", se debe considerar como un intento fallido, por lo que los valores de eficiencia deben relacionarse con los conceptos de exergía y energía. También se debe profundizar abundantemente la experimentación, con miras al calentamiento de agua para uso colectivo, hoteles, industrias, etc, sobre todo en respuesta al aumento del diámetro de los depósitos y de la relación con su longitud y del tiempo de respuesta para alcanzar temperaturas de "utilizabilidad", además de experimentar sobre las distintas tipologías propuestas, de esta nueva generación de calentadores solares de agua, y de la puesta a punto de la estrategia de apertura de la puerta y seguimiento de la altura del sol en forma, horaria, diaria, semanal o mensual, con la elección de criterios referidos a temperatura ambiente, insolación, viento y temperatura de almacenamiento y casos de servicios de agua caliente para las casas de fin de semana, etc.

Además se debe aclarar que todas las pruebas efectuadas, tanto las de comparación con un producto de serie, como las efectuadas con el 4to. Prototipo, no han sido contrastadas con la integral diaria de energía ingresante y por lo tanto no se las debe considerar como pruebas de "eficiencia" de la transformación de la energía lumínica en calor, sino de "rendimiento" del "sistema" lo que permite por comparación con "sistemas" de los cuales se conoce su "eficiencia", tener una idea aproximada de la misma. También se debe decir para mayor claridad, que el notable aumento de rendimiento, se debe en buena parte a la concentración de energía obtenida por la superficie espejada de la puerta, que refleja la radiación sobre el panel que oficia también de acumulador de energía. Esta superficie espejada se obtiene, por el momento, con la superficie brillante del "llamado papel de aluminio para cocina", superficie que se obtiene a un bajo costo sea inicial, que de reposición, con muy baja incidencia en el costo total del "sistema". La superficie espejada tiene aproximadamente un 40% más de la superficie vidriada. Luego de recientes pruebas, efectuadas con un simulacro a escala 1 a 2, se puede considerar que la superficie espejada aporta diariamente desde un 25% hasta un 40% más de energía, según la hora, la limpidez atmosférica, la elevación del sol y su azimut, siendo atribuible a la arquitectura del "sistema", el aumento remanente de "rendimiento", cosa que será objeto de un tratamiento, más estricto y completo en un próximo artículo. Se debe también informar que en fecha reciente (última semana de julio 2006) está disponible el informe completo de 14 páginas sobre las pruebas efectuadas en el "Laboratorio de Certificaciones de Colectores y Sistemas Solares, del C.R. de ENEA (2da. Referencia de fecha 22/05/06 ) con pruebas de eficiencia referidas a la suma de la superficie vidriada y de la superficie espejada, medida como la dimensión entre las aristas del panel-boiler y de la puerta espejo, con una superficie de 5.27 m<sup>2</sup>, (contra los 2,10 m<sup>2</sup> de la superficie vidriada) de entrada de energía solar, con un caso de eficiencia del 40% y con valores semejantes a los sistemas normales en los demás casos, aún sin variar el ángulo de la superficie reflectante durante dos meses. En otras páginas del mismo informe, se rinde justicia al nuevo sistema, mostrando resultados muy por encima de los resultados de los sistemas normales. El todo será objeto de consideraciones futuras.

## REFERENCIAS

Tacchi V., Monrós A. (2004) Dispositivos Solares para calentar agua: nuevo prototipo experimental. ASADES. Averma Vol. 8 N° 1, 2004 ISSN 0329-5184

Trisaia 22/05/06 Informe verbal de pruebas efectuadas con método C S T G, desde el 14/04/06 hasta el 15/05/06 en el "Laboratorio de Certificaciones de Colectores y Sistemas Solares, del C.R. de ENEA Trisaia", Italia, Director Giacobbe Braccio,

Tacchi V. Rapallini A.(1986)"Colectores Solares en Régimen de Calor Sensible Versus Colectores Solares en Régimen Evaporativo" Reunión de ALES, 5to.Congreso Latino Americano de Energía Solar, Tomo 1,D41 a D52, Viña Del Mar, Chile.

Tacchi V. 1993 "El Diseño de los Termotanques Relacionados a un Mayor Rendimiento de Captación de los Paneles, Optimizando Asimismo el Mantenimiento de la Mayor Temperatura existente en las distintas zonas del Termotanque" Actas de la 16va. Reunión de Trabajo de la ASADES, La Plata, tomo I, p.p.485-490.

## ABSTRACT

The paper reports comparative tests carried out with the third experimental prototype of a Solar Water Heater and Boiler, as presented in a former paper, (V. Tacchi, A. Monrós 2004), as well as preliminary efficiency tests of the same third prototype in the C.R. ENEA in Trisaia, Italy (2006). Tests of the fourth prototype in Córdoba (Argentina) during 2005 are also reported. It includes comments on alternatives covered by the granted patent, which allow the use of cheaper materials, as well as overcoming corrosion or icing problems (in very severe climates). Comments about reasons that explain the high efficiency shown by the new system, and a brief reference to the electronic command of the door/reflective mirror together with a brief list of features that help to reach good efficiency in domestic water heating systems are also included.

**Keywords:** entropy, enthalpy, usefulness, efficiency, system