

PROTOTIPO DE SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-ELÉCTRICO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA PARA MATE

Toranzos V.J.⁽¹⁾, Aquino C. de Jesus⁽¹⁾, Brázzola C.R.⁽²⁾, Busso A.J.⁽³⁾

⁽¹⁾ Depto. de Ingeniería. FaCENA, UNNE. 9 de Julio 1449. 3400 Corrientes.
E-mail: caquino@exa.unne.edu.ar victoranzos@gmail.com

⁽²⁾ Depto. de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, UNAM.
Juan Manuel de Rosas 325. 3360 Oberá. Misiones.

E-mail: brazzola@fiobera.unam.edu.ar Cátedra Instalaciones

⁽³⁾ GER – Grupo en Energías Renovables. FaCENA, UNNE.
Av. Libertad 5470. 3400 Corrientes.

RESUMEN: En el presente trabajo se describe la construcción y puesta en funcionamiento de un sistema de provisión de agua caliente para mate alimentado por un calefón solar que oficia de precalentador. Se exponen los detalles de la instalación y los datos relevados hasta la fecha. Así mismo, se presenta un modelo térmico simple de simulación para estado estacionario de operación y la comparación con el comportamiento medido mostrado por el sistema durante el período muestreado.

Palabras Clave: Calefón solar, precalentamiento solar de agua, eficiencia energética

INTRODUCCION

En el nordeste argentino y parte del noroeste y centro, la población tiene la característica de tener una costumbre arraigada que consiste en el consumo del mate, infusión que puede llegar a crear dependencia. La comunidad consumidora de mate atraviesa diferencias de distintos géneros. Lo consumen jóvenes y adultos, hombres y mujeres, ricos y pobres. Algunos lo prefieren bien caliente y otros no tanto, algunos con azúcar, otros con hierbas. Unos a la mañana, unos por la tarde, otros todo el día. Unos en recipiente vegetal (porongo), otros en vidrio, cerámica, etc.

Esta infusión requiere, además de otras cosas, agua a una temperatura entre 82 y 83°C (Zurlo et al, 1999). Este calentamiento se logra normalmente mediante el uso de gas (natural o envasado) o energía eléctrica, implicando ambos, el consumo de combustibles no renovables, en su gran mayoría de origen fósil. Es normal observar dispensadoras de agua caliente en estaciones de servicio, edificios gubernamentales, instituciones educativas públicas y privadas.

Con el objeto de reducir el gasto de energía eléctrica en las máquinas mencionadas, se propuso implementar un sistema de producción de agua caliente electro-solar, mediante el cual se caliente previamente el agua con la utilización de energía solar (Zurlo et al, 1999), contándose además con una resistencia eléctrica para llegar a la temperatura adicional necesaria.

Con el financiamiento de la actual Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Estudio Exploratorio E658/07Bis PET32); la Universidad Nacional del Nordeste y la Universidad Nacional de Misiones, se inició el diseño, construcción y evaluación del sistema, cuyos primeros resultados se exponen en el presente trabajo.

DIMENSIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Para realizar un dimensionamiento apropiado del sistema de dispensador sería necesario contar con datos de consumo diario de agua caliente, datos estos difíciles de conseguir en etapas previas a su construcción. Por este motivo, el dimensionamiento se realizó basado en un consumo estimado a partir del número de personas que habitualmente concurren al lugar y asignando una determinada cantidad de agua caliente consumida por día. De esta forma, se adoptó como consumo máximo 50 litros diarios.

Como se mencionó anteriormente, se considera como óptima una temperatura de agua para mate 83°C, y como temperatura de agua de red se usó la media anual, que para Corrientes es de 21,3°C. Si bien es posible calentar agua a 83°C exclusivamente por medio del sol, el sistema resultaría ineficiente por las elevadas pérdidas térmicas a esta temperatura. Por otra parte, la radiación solar dependerá de las condiciones meteorológicas, y un sistema puramente solar no sería capaz de asegurar el suministro de agua caliente en forma continuada. Por tales motivos se determinó que un sistema fiable y eficaz debería estar compuesto de dos etapas, una de precalentamiento solar y otra de calentamiento eléctrico que permita alcanzar y mantener la temperatura deseada.

Fijando la temperatura deseada de precalentador en 65°C, usando los datos de radiación solar de la zona, el consumo de agua estimado y las características de tanques y paneles comerciales, se determino el área necesaria de colección (Duffie & Beckman, 1991; ASHRAE Standards, 1977; Normas IRAM, 1983).

MATERIALES Y METODOS

ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA HIBRIDO PROPUESTO

En la Figura 1 se presenta el esquema general adoptado para el sistema híbrido de calentamiento de agua cuyos componentes principales son: el calefón solar y el tanque secundario de dispensado de agua (Fig.2).

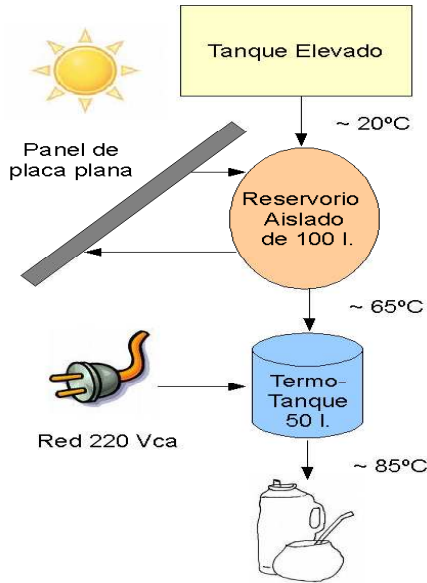


Figura 1.- Descripción esquemática del sistema híbrido de calentamiento de agua caliente para mate



Figura 2.- Fotografía del dispensador de agua caliente instalado en el segundo piso de de la Facultad de Ciencias Exactas UNNE (área de Física).

CALEFÓN SOLAR: La Figura 3 muestra una fotografía del calefón y estructura de soporte montados en la terraza de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNNE. El calefón solar utilizado es de tipo comercial fabricado por la firma TRANSSSEN de origen Brasileiro. El mismo está compuesto por:

- *Sistema de captación solar:* constituido por un panel de placa plana de 1.72 m² de área, con cubierta única de vidrio, orientado al norte con una pendiente de 43°. La Figura 5 muestra las características técnicas de los paneles que provee la firma TRANSSSEN.



Figura 3.- Fotografía del calefón solar instalado en la terraza de la Facultad de Ciencias Exactas UNNE.



Figura 4.- Fotografía donde se aprecia la electroválvula de ingreso de agua al dispensador y el termo-tanque de 50 l. instalado en su interior.

- *Almacenamiento de agua caliente:* Se utilizó un tanque diseñado para sistemas solares, con capacidad de 100 lts., elevado unos 0.30 m por encima de la cota superior del panel solar. La ubicación y las conexiones se realizaron buscando que el sistema funcione adecuadamente por termosifón. En la Figura 6 se presentan las características técnicas del reservorio TRANSEN y en la Figura 7 se presenta un esquema de conexiones del sistema.

LINHA BRASIL	Copacabana					Itapuã			
	H2.0	V2.0	H1.7	V1.7	V1.4	1.0	V1.7	H1.7	V2.0
Largura (m)	2	1	1,72	1	1	1	1	1,72	1
Comprimento (m)	1	2	1	1,72	1,40	1	1,72	1	2,02
Classificação INMETRO	B	B	B	B	B	B	A	A	A
Eficiência	53,5%	53,5%	53,5%	53,5%	53,5%	53,5%	55,3%	55,3%	55,3%
Produção Esp. Energia kWh/mês	149,3	149,3	127,8	127,8	105,5	75,0	133,9	133,9	156,3
Produção Esp. Energia kWh/mês/m²	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	77,4	77,4	77,4
Tubulação									
Material	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre
Diâm. Entr./Saída (mm)	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Peso (Kg)									
Vazio	25,2	23,5	21,5	20	16,7	12,4	23	24,4	26,5
Cheio	33,7	29,5	28,8	25,5	21,7	16,7	28,5	31,7	32,5

Figura 5.- Características técnicas de paneles declaradas por el fabricante. (Obtenido de www.transsen.com.br)

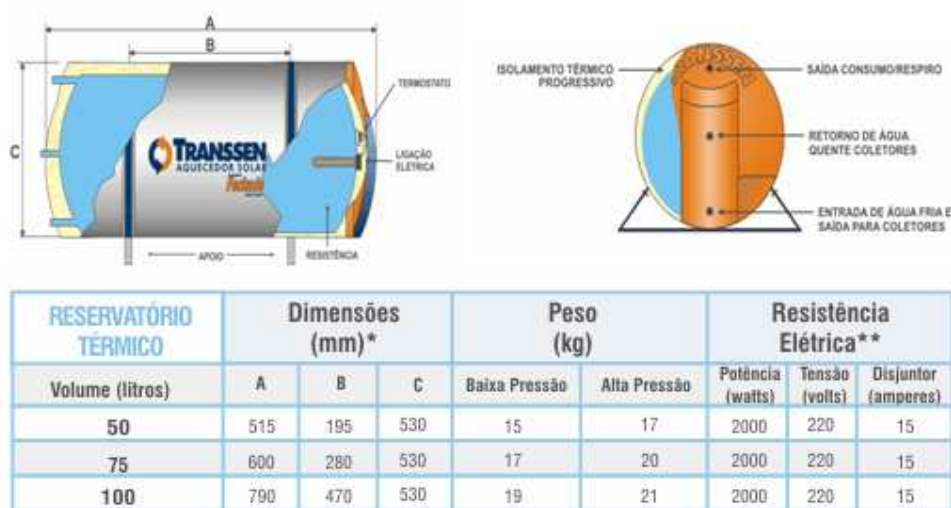


Figura 6.- Características técnicas del reservorio declaradas por el fabricante. (Obtenido de www.transsen.com.br)

La estructura soporte se construyó con caño estructural de 0.02x0.02 m para soportar el panel y el reservorio de agua. La misma se ancló al piso y a la pared lateral por medio de tacos de tarugos con la finalidad de darle estabilidad frente a la acción de vientos.

DISPENSADOR: Se modificó un dispensador en desuso, reemplazando el tanque interior por un termotanque eléctrico de 50 lts. de uso domiciliario. El ingreso de agua es controlado por una electroválvula que se comanda desde un pulsador situado en el frente. El equipo cuenta además con un termómetro de aguja para indicar al usuario la temperatura del agua.

La distribución de agua del sistema se realizó con mangueras de polietileno de media pulgada (manguera negra) recubiertas con de espuma de polipropileno de 0.01 m de espesor. La instalación incluye además grifos para permitir el mantenimiento y purga del sistema.

Para monitorear las variables necesarias para evaluar el funcionamiento del sistema, se instaló un caudalímetro de agua del tipo domiciliario con una precisión de 0.1 litro y un medidor de energía eléctrica General Electric tipo 1-27-A. Los valores de caudal y energía se registran manualmente en períodos cortos de algunos días. Como sensores de temperatura se utilizaron termistores NTC (resistencia de coeficiente negativo de temperatura) o el circuito integrado (IC) LM35. Para la medición de radiación solar se utilizó un solarímetro de celda fotovoltaica ubicado sobre el plano del colector solar térmico. La señal del sensor es amplificada por un amplificador implementado con un IC LM358 y enviada al adquirente de datos. Los datos son

adquiridos a través de un módulo de adquisición RIAC QFA16, con 8 canales analógicos, 8 digitales y 4 de control, y son transferidos a una PC por el puerto serial RS232. La adquisición y registro de datos se realiza a intervalos de 5 minutos. Las temperaturas registradas son: temperatura ambiente, temperatura de ingreso de agua al reservorio, temperatura de reservorio (se insertó el sensor en la toma intermedia penetrando unos 0.15 m en el interior del tanque) y temperatura de dispensador (igual disposición que el en caso anterior). Para el proceso de adquisición y registro de datos se elaboró un programa utilizando el software Visual Basic V.6.0. Este programa permite controlar el módulo RIAC y generar un archivo de texto plano con las medidas realizadas, permitiendo, de esta forma, la adquisición de datos en periodos prolongados sin la intervención de un operador. En la Figura 8 se aprecia la interface grafica principal del programa de adquisición y en la Figura 9 un registro de radiación solar y temperaturas para un período de 15 días.

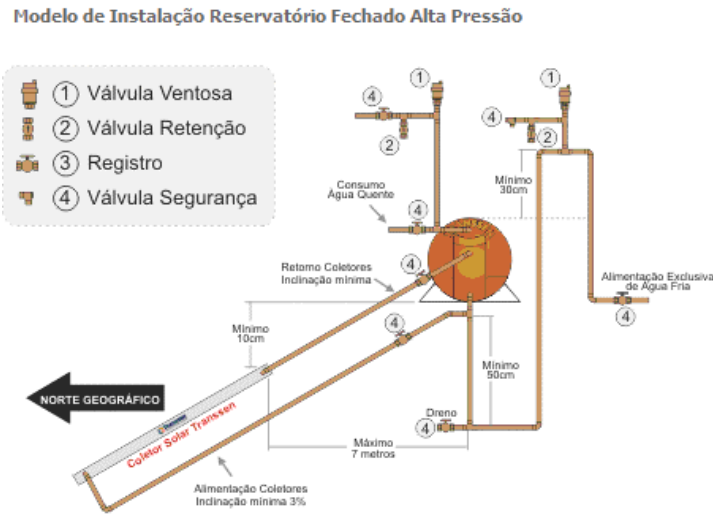


Figura 7.- Instalación sugerida por el fabricante. (Esquema obtenido de www.transen.com.br)

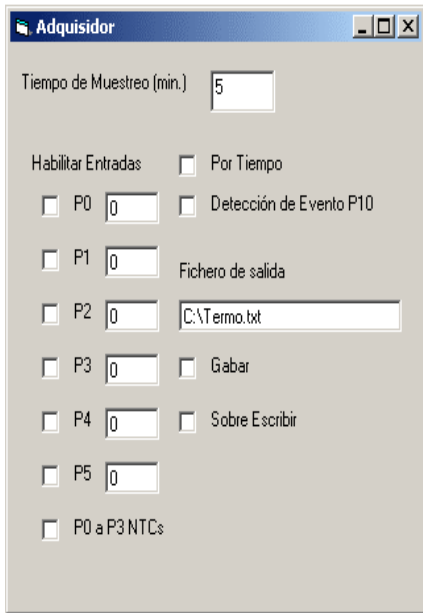


Figura 8.- Ventana principal del programa de adquisición y registro de datos.

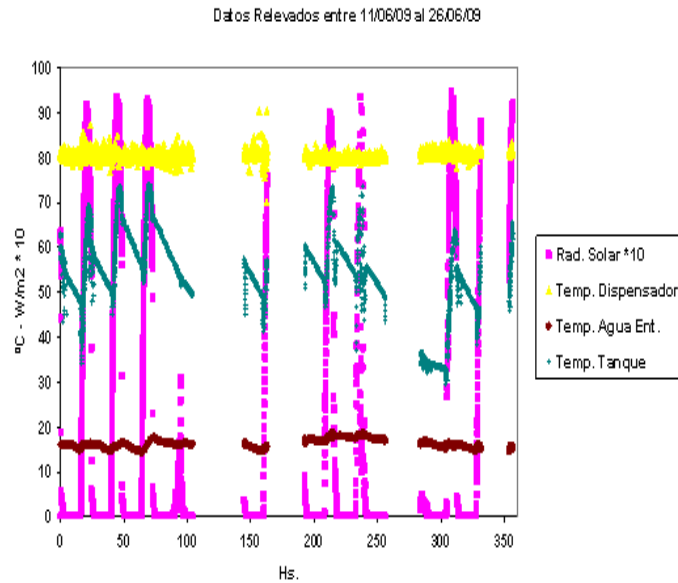


Figura 9.- Evolución de la temperatura del agua en el tanque y la radiación solar durante un periodo de 15 días.

RESULTADOS

Los datos relevados hasta la fecha no son suficientes para evaluar objetivamente el prototipo, sin embargo permiten conocer los parámetros básicos bajo los cuales funciona y, haciendo uso de un modelo ajustado a los datos experimentales, predecir su comportamiento.

En la Figura 10 se muestran los consumos de electricidad (línea azul) y agua (línea roja) para un periodo de 22 días. El consumo eléctrico del termostato (segunda etapa) se estimó considerando las pérdidas de calor y el consumo de agua funcionando sin la etapa precalentadora (línea amarilla). La diferencia observada entre el consumo medido (línea azul) y el estimado (línea amarilla), se debe a la energía aportada por el precalentador solar, o dicho de otra manera a la energía eléctrica ahorrada.

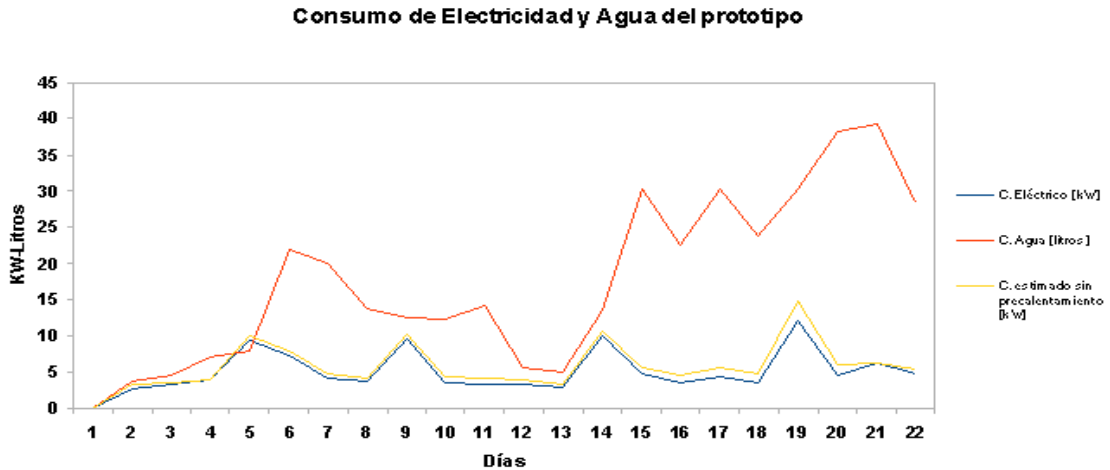


Figura 10.- Evolución del consumo de agua y de energía eléctrica del Dispensador.

Dado que el sistema utiliza electricidad para mantener la temperatura de la segunda etapa a 83°C, para compensar las pérdidas de calor, el precalentador solar no tendrá efecto sobre el consumo eléctrico si no existe consumo de agua caliente. Es deseable que se consuma una cantidad de agua lo más cercana posible a la de diseño. En la Figura 11 se muestra el ahorro de electricidad en relación al consumo diario. La dispersión de valores podría deberse a que los volúmenes de agua extraídos son irregulares y en las variaciones de la radiación solar recibida. Si se extrae cierta cantidad de agua por fracciones en periodos de varios minutos, la permanencia de agua en la canalización que une el tanque dispensador con el precalentador solar, enfría una masa de agua de 1,22 litros para la instalación en cuestión. Cuando esta masa ingresa en el tanque dispensador produce un sobre enfriamiento que debe ser compensado con un mayor tiempo de funcionamiento de la resistencia calefactora. Este hecho afecta el nivel de ahorro de energía que podría ocurrir si la extracción fuese continua. Por las características del lugar de la instalación, en una Facultad, los consumos se realizan en los recreos entre clases y de manera casi continua en cada uno.

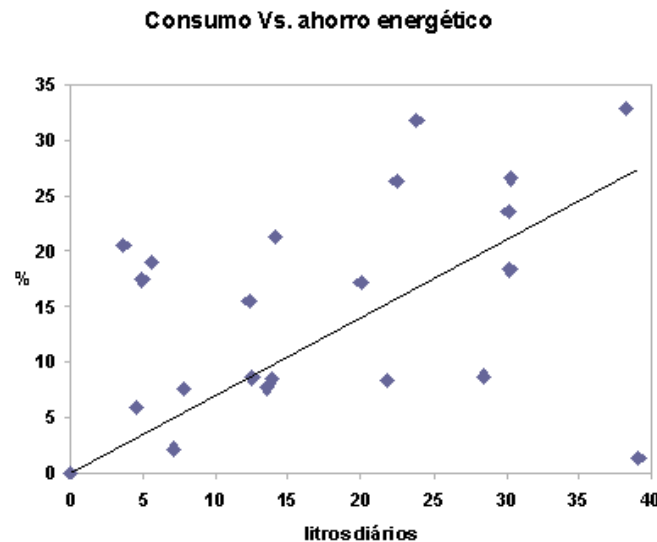


Figura 11.- Ahorro de energía eléctrica en función del consumo en litros.

MODELIZACIÓN DEL CALEFÓN

Modelado en SCILAB:

Para simular el sistema térmico se recurrió a una analogía eléctrica, cuyo circuito equivalente se muestra en la Figura 12. Las suposiciones realizadas son las siguientes:

- * La radiación solar I varía como una senoide (medio ciclo): $I = I_{\max} \cdot \text{Seno}(\omega \cdot t)$
- * La potencia Q_{util} que recoge el panel: $Q_{\text{util}} = I \cdot A_c \cdot \eta$
- * La masa del reservorio actúa como un capacitor con capacidad: $C = m \cdot C_p$
- * Las pérdidas térmicas y las extracciones de agua se agruparon en una resistencia paralelo R_p .

Donde:

- I_{\max} : radiación solar pico (W/m^2).
- ω : frecuencia angular.
- t : variable temporal (s).
- A_c : área de colección.
- η : rendimiento del panel.
- m : es la masa de agua (kg).
- C_p : calor específico a presión constante ($\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$).

Como la medida de temperatura en el reservorio se realiza en la cercanía del ingreso de agua caliente proveniente del panel, se incluyó una resistencia serie R_s que considera los efectos de la inhomogeneidad en la distribución de temperaturas en el tanque.

El modelo se implementó en SCILAB, utilizando diferencias finitas para la resolución de las ecuaciones planteadas. En la Figura 13 se muestra el resultado de la simulación superpuesto a los datos experimentales en un período de dos días.

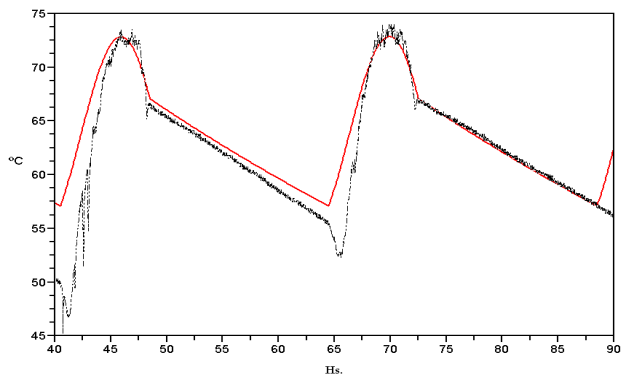
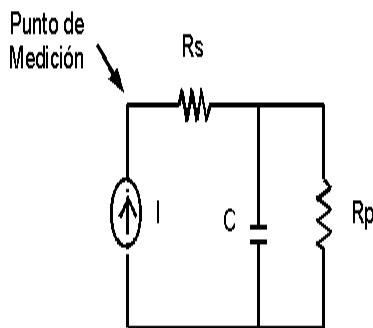


Figura 12.- Circuito eléctrico equivalente al sistema térmico representado por el calefón solar.

Figura 13.- Comportamiento del modelo de la fig. 11 (rojo), y datos medidos (negro).

El modelo planteado, si bien es simple, permite determinar las pérdidas de calor que ajustan a los datos experimentales así como también, predecir el comportamiento del sistema ante otras condiciones diferentes a las ensayadas (temperatura ambiente, radiación, consumo, etc.).

Modelado TRNSYS

Se implementó también un modelo en TRNSYS utilizando los módulos de colector plano y tanque estratificado incluidos en la librería del programa. El caudal termosifónico se determinó en función de las temperaturas y diferencias de alturas entre los distintos componentes del calefón. Para los datos de radiación solar, temperatura ambiente y consumo de agua se usaron medidas experimentales realizadas sobre el prototipo. Se ajustó el modelo buscando coincidencia con las mediciones de temperatura realizadas en el sistema.

El modelado en TRNSYS permite la incorporación de módulos ampliamente probados de manera rápida y sencilla. Al igual que el modelo anterior, nos permite predecir el comportamiento del sistema en condiciones diferentes a las ensayadas. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 14.

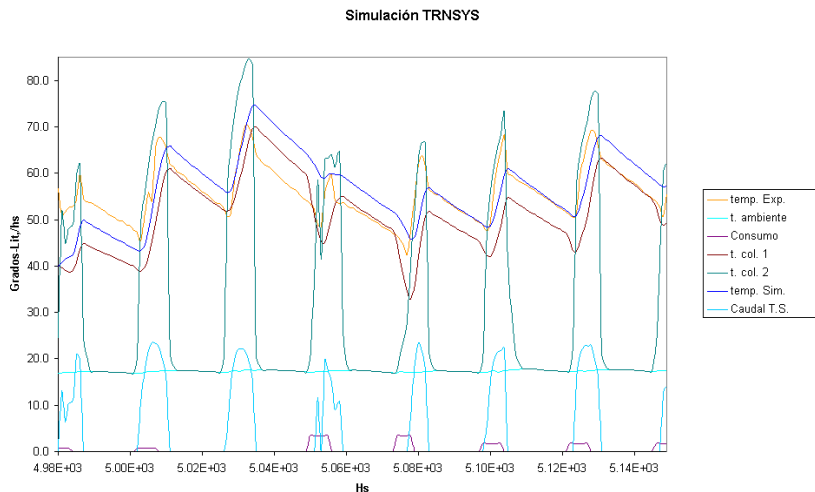


Figura 14.- Resultados de la simulación del sistema implementada en TRNSYS.

CONCLUSIONES

Si bien el prototipo se encuentra funcionando satisfactoriamente, se requiere tomar más datos para evaluar su rendimiento en períodos largos. Si el consumo de agua es bajo, el aporte solar es mínimo o nulo y el consumo eléctrico mantiene la temperatura del dispensador compensando las pérdidas en la aislación térmica. Por otro lado se espera que para consumos cercanos a los utilizados en el cálculo de dimensionamiento (50 litros diarios) el ahorro de energía eléctrica supere el 50%.

El sistema proyectado muestra un menor tiempo de recupero de la temperatura óptima de uso en las expendedoras debido al ingreso de agua precalentada por el equipo solar.

Lo mencionado en el punto anterior es un claro beneficio en el caso del establecimiento estudiado (educativo universitario), donde los requerimientos se realizan con picos coincidentes temporalmente con los descansos.

El sistema requiere de una menor utilización de energía eléctrica convencional, para realizar el salto de temperatura del agua, hasta llegar a los 83°C (temperatura de diseño de salida).

Comparándolo con el sistema sin precalentamiento, se observó que el sistema produjo satisfactoriamente, en un período otoñal, un ahorro de energía eléctrica superior al 30 % para extracciones diarias de 30 litros,

La utilización de las máquinas dispensadoras no es uniforme a lo largo de todo el año. Por ello se debe realizar un seguimiento anual para determinar un valor representativo de su eficiencia.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la ANPCyT - Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por financiar el Estudio Exploratorio E658/07Bis PET32 lo que ha permitido llevar a cabo este proyecto.

ABSTRACT: This paper describes the construction and operation of a system for providing hot water to mate fed using a solar water heater as pre-heater. Details are given of the facility and data collected to date. Also, we present a simple thermal model simulation for steady state operation and the comparison with the measured behavior shown by the system during the period sampled.

Keywords: solar wáter heater, solar wáter preheating, energy efficiency

REFERENCIAS

- ASHRAE Standars 93 – 77. (1977). American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Methods of Testing to determine the thermal performance of solar collectors.
- Duffie J.A. y Beckman W.A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd. Ed. John Wiley & Sons. New York.
- Normas IRAM 210002, (1983). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Colectores solares. Métodos de ensayo para determinar el rendimiento térmico.
- Zurlo, H.; Busso, A.; Figueredo, G.; Spotorno, R.; Benítez, F.; Sequeiro, A.; De Bortoli, M. y Monzón, S. (1999) *Ahorro de Energía Eléctrica, por Calentamiento Solar, en Dispensadoras de Agua Caliente para Mate*, Revista Averma, vol. 3, N° 1 y 2.