

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CALENTADOR SOLAR DE TUBOS DE VACIO CON ACUMULADOR. PROPUESTA DE METODO DE ENSAYO

¹Jorge A. Caminos, Sebastián Russillo², Adrián D'Andrea³, Carlos G. Pacheco⁴,

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe

Grupo de Estudios Sobre Energía

TEL.:0342 4697858/Fax: 0342 4690348 - Lavaise 610, CP.: S3004EWB, Santa Fe, Argentina.

jcaminos@frsf.utn.edu.ar; srusill@frsf.utn.edu.ar; adandrea@frsf.utn.edu.ar; cpacheco@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN: Al no contar, nuestro país, con un protocolo de ensayos normalizado para calentadores de agua solar de tubos evacuados termosifónicos con tanque acumulador, el Grupo de Estudios sobre Energía de la Universidad Tecnológica Nacional. – Facultad Regional. Santa Fe, adquirió un equipo de estas características y se propuso poner en práctica una serie de ensayos con el objetivo de obtener curvas características de funcionamiento del equipo. Se estudio la influencia de distintas condiciones climáticas en su desempeño. Se obtuvieron diversas conclusiones resultantes de analizar la energía solar incidente y la trasferida al agua. En una segunda instancia, se pretende ensayar comparativamente diferentes equipos bajo idénticas condiciones, obteniendo así información comparativa, ventajas y desventajas de equipos con este tipo de tecnología.
Palabras clave: colector – solar – radiación – energía.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el gasto energético que realizamos en calentar agua para nuestro consumo, se refleja en un enorme costo económico, sin olvidar el daño al ambiente que generan la amplia utilización de combustibles fósiles. Es por esto que laboratorios de desarrollo tecnológico alrededor del mundo están en la constante búsqueda de tecnologías que permitan aprovechar de mejor forma una fuente inagotable de energía que es el sol.

En Argentina, la tecnología de los colectores solares está todavía en una etapa de desarrollo. Existen varios fabricantes nacionales, pero tecnológicamente limitados, y con un grado de desarrollo intermedio.

Fuera del país, en algunos lugares como España, se ha avanzado aun más en esta tecnología, aunque su aplicación masiva todavía recién esta empezando a ser implementada. Estos avances en dicho país fueron favorecidos por una legislación acorde a las circunstancias, en donde ya se está implementando el Código Técnico de la Edificación⁵, que obliga a los edificios de nueva construcción y a los que se rehabiliten, a dotarse de colectores solares térmicos para calentar el agua de uso sanitario y, donde las haya, las piscinas climatizadas.

La importancia del presente estudio, radica en el hecho de ayudar a promover y mejorar la tecnología existente en el país, pues la permanente evolución del mercado requiere una necesaria evolución de las propuestas tecnológicas que lo satisfagan, siendo necesaria una permanente búsqueda de nuevas y mejores soluciones en los productos ofrecidos. Muchas veces los mejores resultados tecnológicos alcanzados se deben en gran medida a la activa interacción entre la investigación universitaria y la producción privada.

METODOLOGÍA, DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS Y ESTUDIO DE PÉRDIDAS

En base a lo mencionado anteriormente, se realizaron ensayos a partir de los cuales se obtuvo información experimental para poder realizar posteriormente las curvas características de funcionamiento.

El equipo instalado en la terraza de nuestra Facultad es un calentador de agua solar de 30 tubos de alto vacío tipo termosifónico, con tanque acumulador para un volumen total de 226 litros. El equipo esta ubicado a una altitud de 35 m.s.n.m. y a 31,6° de latitud sur. El colector posee una inclinación de 42° y se encuentra orientado al norte.

Se realizaron ensayos simulando distintas condiciones operativas (los cuales denominamos “con consumo” y “sin consumo”) a fin de estudiar detalladamente el equipo. Durante los distintos ensayos realizados no se modificó la inclinación del calentador solar de agua.

El registro de los parámetros meteorológicos se realizaron mediante una estación meteorológica, marca: “PEGASUS”, modelo “EP 3000” con consola inalámbrica modelo: EP 1000 instalada en La Facultad, la cual proporciona los datos necesarios de: Radiación solar, temperatura ambiente, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento.

Para el monitoreo del calentador se instalaron registradores electrónicos de temperatura marca “Novus” modelo Log Box-AA, los cuales almacenan los valores de temperatura de entrada, salida y temperatura media del tanque acumulador obtenidos mediante sensores de temperatura tipo Pt100.

Los consumos de agua fueron determinados con un medidor de agua tipo volumétrico instalado en la cañería de alimentación de agua fría.

¹ Profesional UTN

² Profesional UTN

³ Profesional UTN

⁴ Profesional UTN

⁵ Conjunto de normas que deberán cumplir los edificios con el objetivo de mejorar su calidad.

Analizando la información obtenida se confeccionaron tablas y gráficos representativos de las distintas condiciones ensayadas, los cuales se detallan a continuación.

Ensayos sin consumo:

Durante el tiempo total de ensayo, el calentador de agua se mantuvo fuera de servicio, por lo que se estudio el desempeño del mismo sobre un volumen de agua constante, en un lapso de tiempo acotado a las horas de presencia de radiación.

El objetivo del mismo fue determinar la capacidad del calentador solar para elevar la temperatura del agua, repitiendo el proceso en diferentes épocas del año, a fin de obtener valores estacionales de funcionamiento.

Mediante un sensor de temperatura colocado en el interior del tanque acumulador se tomaron mediciones a lo largo del ensayo, las cuales fueron registradas periódicamente en periodos de 10 minutos.

Las mediciones de condiciones atmosféricas fueron registradas por la estación meteorológica, la cual se instalo junto al equipo ensayado. El solarímetro se instalo respetando el ángulo de inclinación del colector solar del calefón.

Ensayos con consumo:

Con el presente ensayo se pretendió estudiar el desempeño del calefón solar simulando condiciones normales de funcionamiento. Para tal fin, y teniendo en cuenta el volumen de agua total del tanque acumulador, se procedió a realizar tres extracciones diarias, totalizando un volumen de 150 litros de agua. Las extracciones se realizaron en periodos de tiempo irregulares de la siguiente forma: A media mañana se extrajeron 50 litros. Luego, al medio día, se extrajeron otros 30 litros. Por último, se extrajeron 70 litros a últimas horas de la tarde, sin presencia de radiación solar.

Luego de cada extracción se repuso el tanque acumulador con agua fría desde el tanque principal de La Facultad. Este equipo posee un dispositivo con sistema de paso por flotante, el cual se encarga de que la reposición del tanque acumulador sea relativamente lenta. De esta manera se evita un descenso brusco en la temperatura del agua.

La operación se repitió durante 3 días seguidos en días de pleno invierno, comprendidos entre el 21/07/2010 y el 23/07/2010, lo que permitió analizar las respuestas del equipo ante consumos típicos en un marco de condiciones ambientales desfavorables para el funcionamiento del calentador.

A diferencia del ensayo anterior, se tomaron mediciones de todos los parámetros necesarios durante las 24 horas del día, agregando además el registro de la temperatura del agua de reposición. Todos los parámetros fueron registrados continuamente cada 10 minutos.

Estudio de pérdidas:

Para el estudio de las mismas, se trabajo con datos de registros que posee el G.E.S.E. sobre mediciones de temperatura media del agua en el tanque acumulador y las respectivas temperaturas ambiente correspondientes a cada día de los ensayos. Debido a que las pérdidas por aislamiento dependen principalmente de la diferencia entre estas temperaturas, se desarrollo un gráfico, detallado como *gráfico 10*, que muestra el % de perdidas para distintos valores de diferencia de temperatura entre agua caliente y temperatura ambiente.

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS SIN CONSUMO:

Ensayo realizado el 23 de Febrero del 2010:

Temperatura ambiente promedio durante el ensayo: 27,4 °C

Radiación solar promedio durante el ensayo: 421,113 w/m²

Temperatura promedio del tanque: 72,5 °C

Energía Absorbida por el agua 3457,8 kcal = 827.22 kJ

Energía Recibida 5342,318 kcal = 1278 kJ

Rendimiento Térmico: 46%

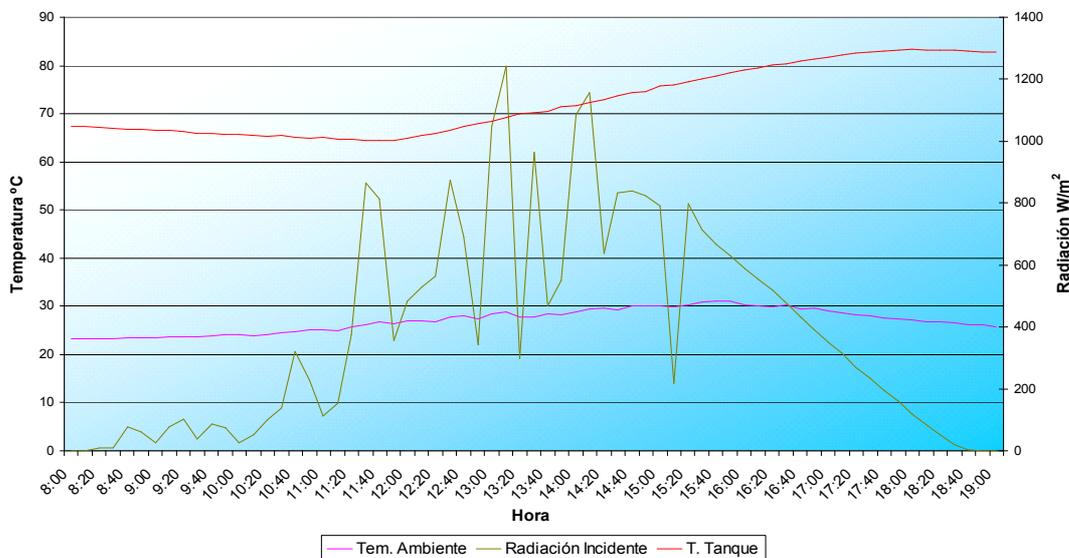


Gráfico 1: Datos registrados a lo largo del día cada 10 minutos. Verano

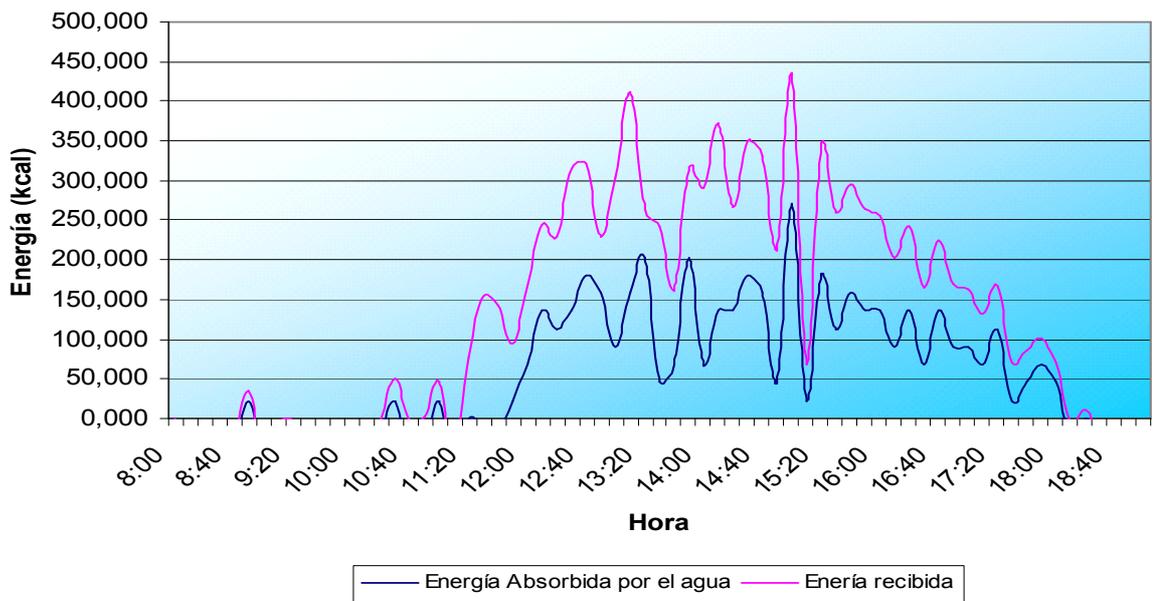


Gráfico 2: Variación de energía incidente vs. Variación de energía en el agua. Verano

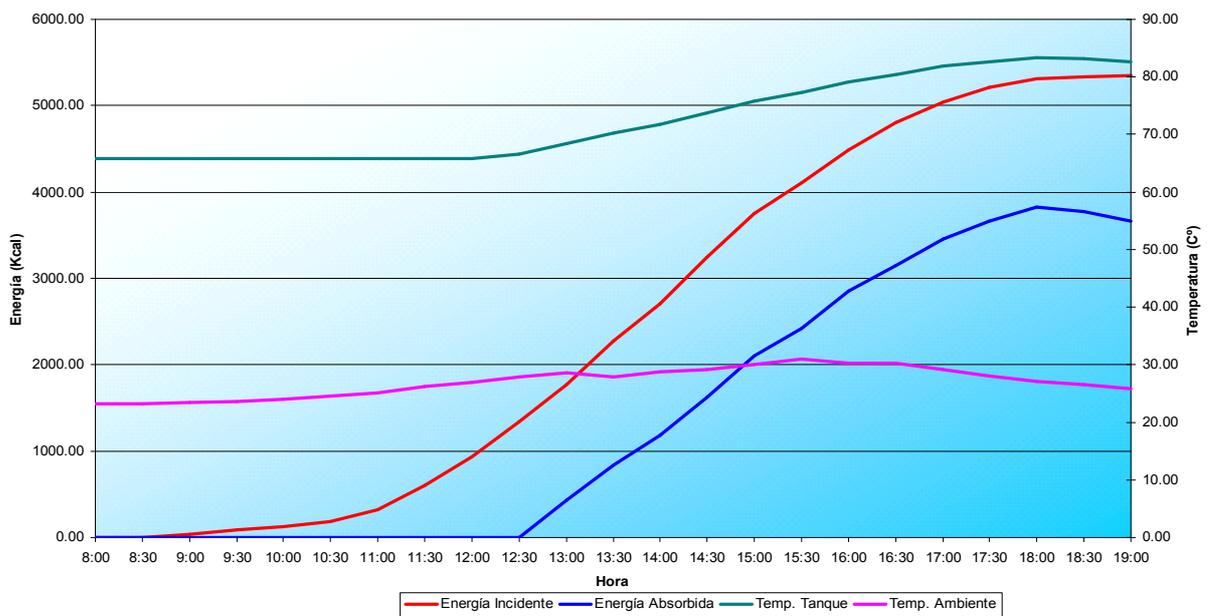


Gráfico 3: Energía acumulada. Verano

Ensayo realizado el 24 de Junio del 2010:

Temperatura ambiente promedio durante el ensayo: 17,7 °C
 Radiación solar promedio durante el ensayo: 545,908 W/m²
 Temperatura promedio del tanque: 58,1 °C
 Energía Absorbida por el agua: 4452.2 kcal = 1065,12 kJ
 Energía Recibida: 12158.6 kcal = 2908,75 kJ
 Rendimiento Térmico: 50%

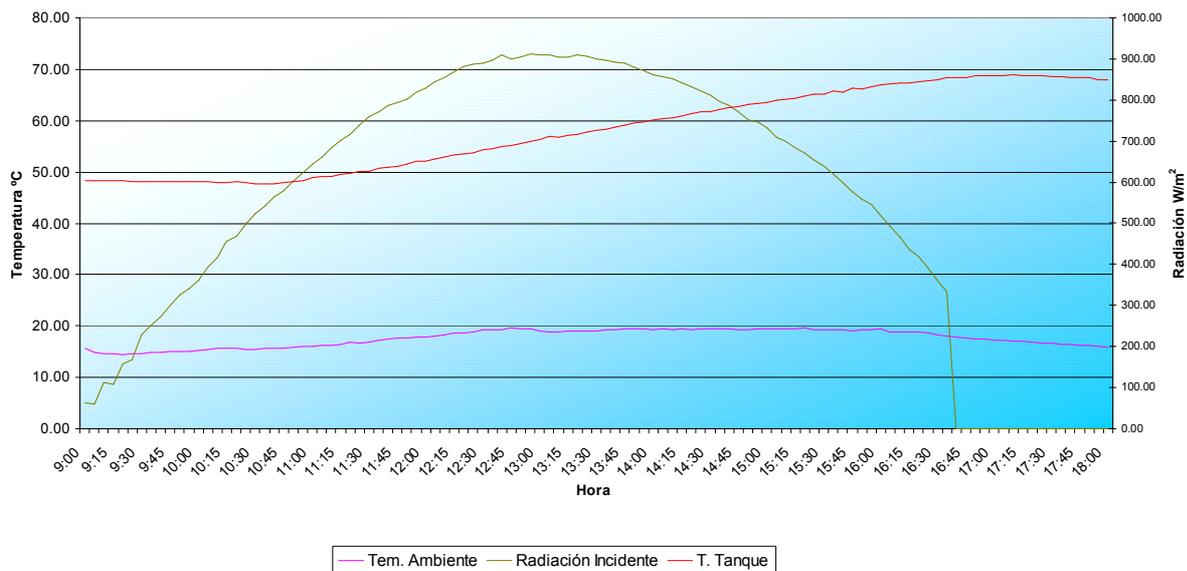


Grafico 4: Datos registrados a lo largo del día cada 5 minutos. Invierno

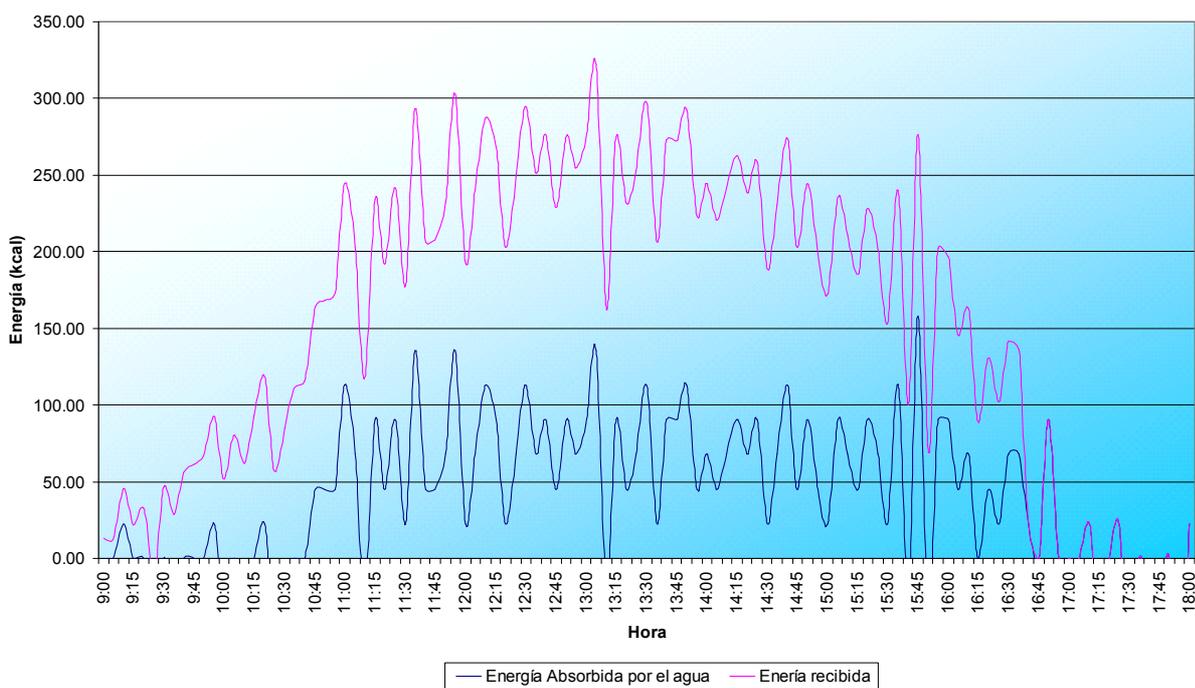


Grafico 5: Variación de energía incidente vs. Variación de energía en el agua cada 5 minutos. Invierno

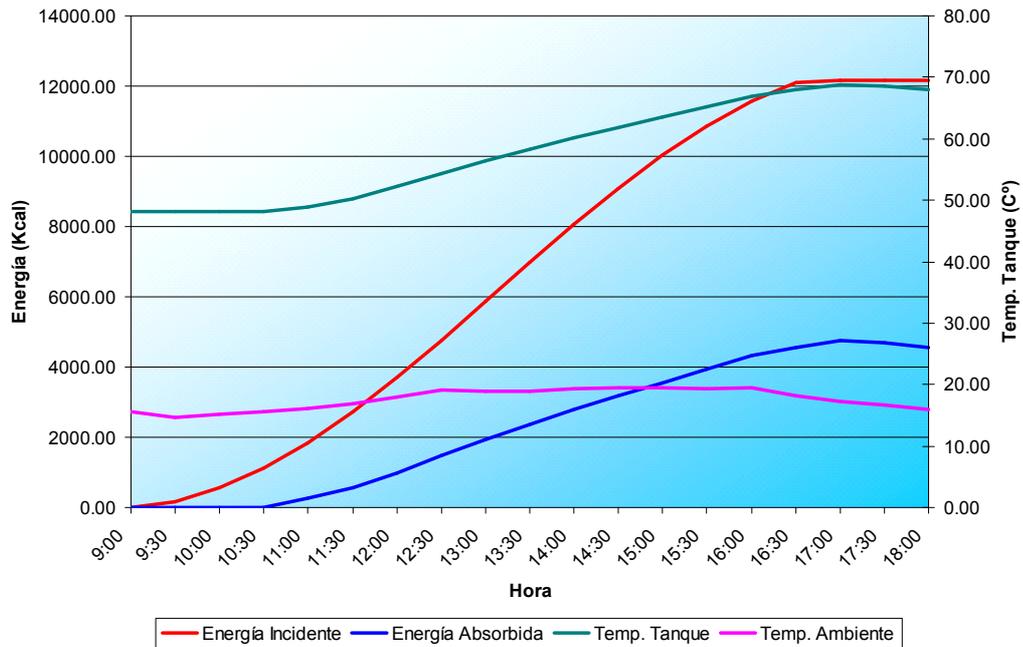


Gráfico 6: Energía acumulada. Invierno

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS CON CONSUMO:

Primer día: 21/07/2010

Radiación total: 62056 W/m²

Temperatura promedio de ingreso de agua fría: 10,64 °C

Rendimiento Térmico: 64%

Pérdidas Térmicas (00:00 a 08:00 hs.): 904 kcal = 216,27 kJ

Temperatura ambiente promedio (00:00 a 08:00 hs.): 6,91 °C

Energía total extraída: 6202 kcal = 1483,73 kJ

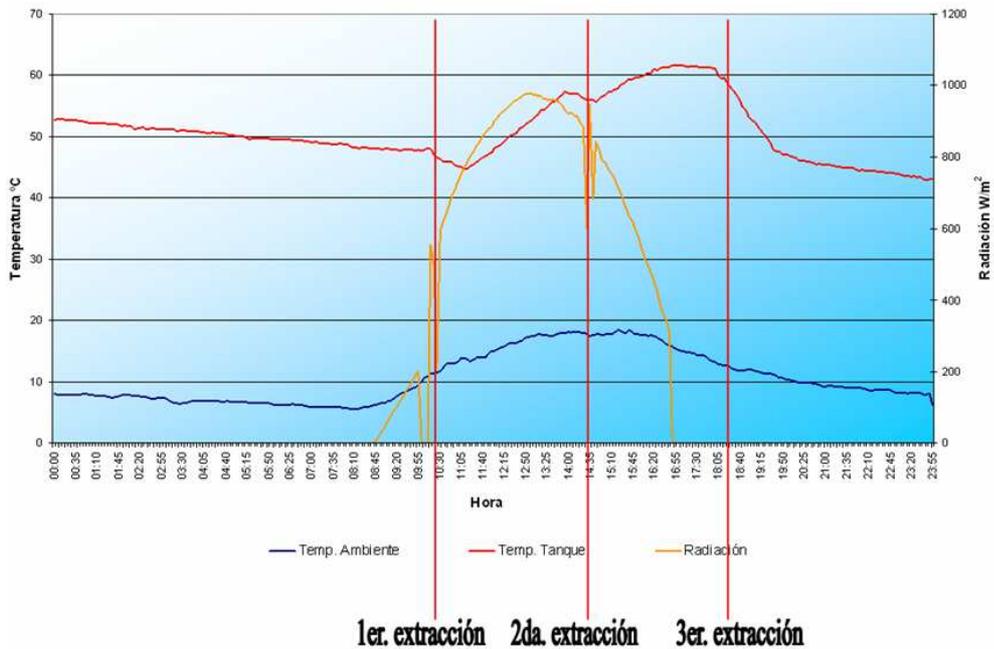


Gráfico 7: Datos registrados a lo largo del día cada 5 minutos, con detalle de extracciones invierno

Segundo día: 22/07/2010

Radiación total: 36723 W/m²

Temperatura promedio de ingreso de agua fría: 8,83 °C

Rendimiento Térmico: 71 %

Pérdidas Térmicas (00:00 a 08:00 hs.): 1107 kcal = 264,83 kJ

Temperatura ambiente promedio (00:00 a 08:00 hs.): 6,91 °C

Energía total extraída: 4360 kcal = 1043 kJ

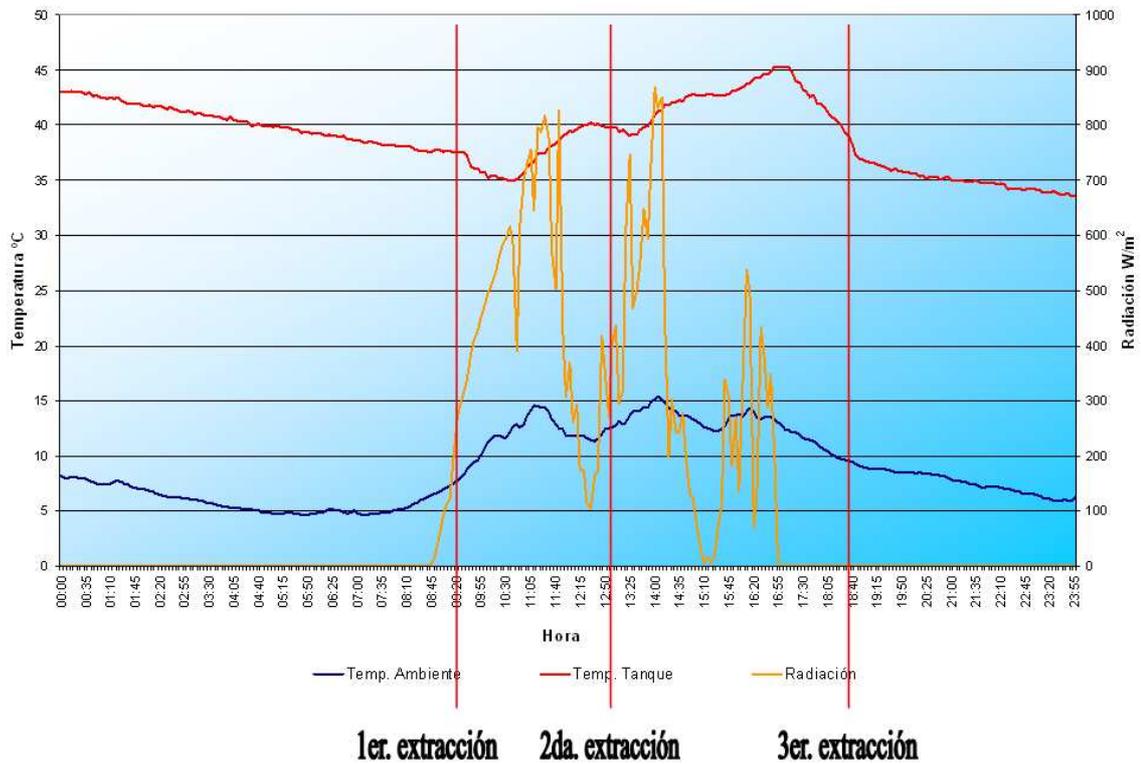


Gráfico 8: Datos registrados a lo largo del día cada 5 minutos, con detalle de extracciones invierno

Tercer día: 23/07/2010

Radiación total: 73352 W/m²

Rendimiento Térmico: 69 %

Pérdidas Térmicas (00:00 a 08:00 hs.): 768 kcal = 183,73 kJ

Temperatura ambiente promedio (00:00 a 08:00 hs.): 4 °C

Energía total extraída: 3023 kcal = 723.2 kJ

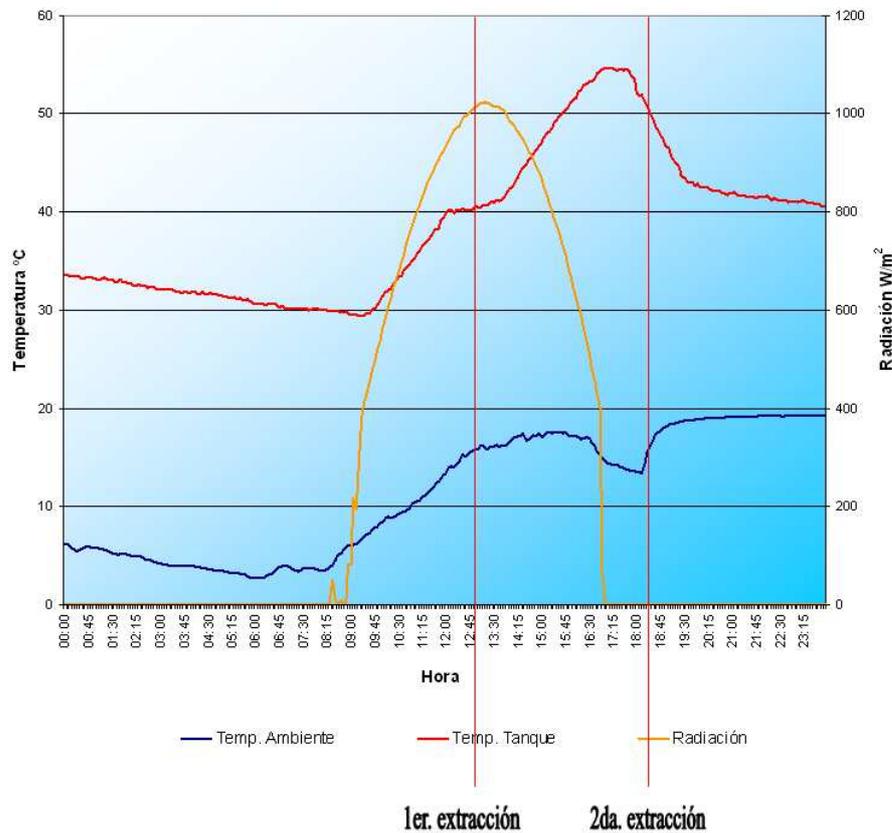


Gráfico 9: Datos registrados a lo largo del día cada 5 minutos, con detalle de extracciones invierno

ESTUDIO DE PÉRDIDAS:

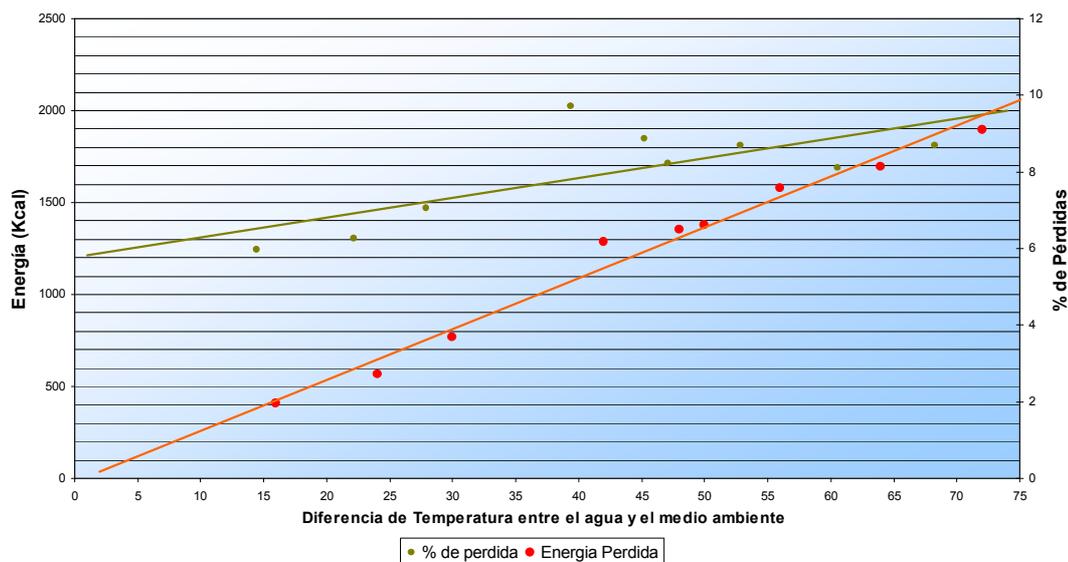


Gráfico 10: Pérdidas generadas por distintos niveles de diferencia térmica entre la temperatura del agua contenida en el tanque acumulador y la temperatura ambiente.

CONCLUSIONES PARTICULARES:

- *Ensayos sin consumo:*

En base a las gráficas detalladas en cada ensayo, se desarrollaron las siguientes conclusiones:

- *Datos registrados a lo largo del día:*

Como se puede observar en las gráficas, la respuesta del calentador de agua solar en diversas épocas del año es aceptable, ya que puede elevar la temperatura del agua en el interior del tanque hasta un valor promedio de 20 °C/día en un periodo de 7 a 10 hs aproximadamente, dependiendo de la época del año.

- *Variación de energía incidente vs. Variación de energía en el agua:*

Las variaciones de energía en el agua son directamente proporcionales a las variaciones de energía incidente, presentando leves variaciones en distintos momentos del día, debidas a los distintos porcentajes de pérdidas térmicas que se presentan en el equipo. Estas pérdidas no son constantes en el tiempo, ya que dependen de la temperatura ambiente, la temperatura del agua en el tanque acumulador y la velocidad del aire circundante entre otros.

- *Energía acumulada:*

El porcentaje de energía incidente absorbida por el agua prácticamente se mantiene constante a lo largo del ensayo (excepto en invierno), por lo que las variaciones de energía interna del agua son proporcionales a la energía incidente en todo momento del día. En temporadas de baja temperatura ambiente, como en invierno, se puede observar que el porcentaje de energía incidente, absorbida por el agua, varía a lo largo de todo el ensayo, es decir, la pendiente de la energía absorbida por el agua es cada vez menor en comparación con la energía incidente a lo largo del ensayo, esto se debe a que en esta medición de invierno, la temperatura ambiente se mantiene alrededor de los 15 °C mientras la temperatura del agua del tanque se eleva, generando en todo momento mayores diferencias en las temperaturas, y por consiguiente, mayores pérdidas en el aislamiento.

- *Ensayos con consumo:*

A lo largo del desarrollo de las gráficas representativas del ensayo, en la curva de temperatura interna del tanque se pueden visualizar los descensos debidos al ingreso de agua fría al tanque acumulador. El sistema de recarga de paso por flotante genera que la recarga de agua fría se dé en un lapso de tiempo superior a una hora. En horarios pico de radiación el descenso de la temperatura del tanque se reduce notoriamente, ya que la alta radiación solar calienta de forma más rápida el menor volumen que contiene el depósito, por lo que se compensan rápidamente las pérdidas energéticas en las extracciones.

Durante el ensayo, el calentador generó un salto máximo en la temperatura del agua de 13,2°C el primer día, 10°C el segundo día y 26°C el tercer día, el cual es considerado entre la primera extracción y la última. De esta manera, se concluye que el calentador solar, frente a situaciones climáticas desfavorables, logró durante todos los días elevar cada vez mas la temperatura del agua, brindando agua cada vez mas caliente en cada extracción a lo largo del día.

En cuanto a la respuesta térmica que presenta el equipo en servicio, se destaca como la temperatura en la última extracción del ensayo es superior a la temperatura en la primera extracción realizada en el comienzo, con lo que se concluye que el equipo se desempeñó satisfactoriamente a lo largo de tres días de pleno invierno, brindando un servicio de agua a 50°C en promedio de 150 litros diarios.

- *Estudio de pérdidas:*

Como se explicó anteriormente, las pérdidas dependen directamente de la diferencia de temperatura entre el agua contenida en el tanque acumulador del calefón solar y la temperatura ambiente.

Como se puede observar en los ejes de ordenadas (gráfico 10), las pérdidas nocturnas están acotadas por debajo de un 10% de la energía total del agua en el interior del tanque, mostrando valores entre 400 kcal y 2000 kcal en los casos más desfavorables.

Las situaciones que presentan mayores pérdidas se dan en verano, donde el eficiente desempeño del calentador solar incrementa la temperatura del agua caliente a valores cercanos a los 100°C, presentando grandes diferencias con la temperatura ambiente, y así generando pérdidas de mayor magnitud.

CONCLUSIONES GENERALES:

De los ensayos realizados en distintas épocas del año, bajo distintas condiciones atmosféricas se obtuvieron las siguientes conclusiones:

En horas de incidencia solar, el equipo se mostró capaz de elevar la temperatura media del tanque acumulador en la totalidad de su volumen, más allá de brindar servicio en un marco de condiciones atmosféricas desfavorables.

Durante el invierno, el calentador brindó un servicio de agua caliente a temperatura no menor a 35°C, promediando valores que rondan los 50°C durante el día. Las pérdidas nocturnas, desde el punto de vista energético, son menores que en verano, pero su incidencia en la calidad de funcionamiento es mayor, ya que por la mañana el equipo responde a los consumos necesarios con bajas temperaturas de funcionamiento, las cuales se elevan rápida y eficientemente por la tarde.

En cuanto a las pérdidas térmicas diurnas durante el funcionamiento, se observó que las variaciones en la energía interna del agua respondieron a las variaciones en la energía incidente sobre el colector solar del equipo. El porcentaje de diferencia entre ambas varía según las pérdidas presentes en cada período de medición, dadas por las diferentes condiciones atmosféricas y de funcionamiento en cada momento.

Como se detalló en el cálculo de rendimiento de los diferentes ensayos realizados, el porcentaje de energía solar que captó el agua en el interior del calentador varió considerablemente según la época del año, presentando valores menores en épocas invernales, donde si bien la radiación solar elevó la temperatura del tanque acumulador, las bajas temperaturas ambientes generan mayores pérdidas durante todo el día.

Durante cada ensayo realizado, el desempeño en servicio del equipo presentó una inercia térmica característica de su principio de funcionamiento por termosifón. Esto genera un retraso en el incremento de la temperatura del agua respecto de la radiación incidente, demandando un tiempo de respuesta irregular proporcional a la radiación solar incidente y a la temperatura de funcionamiento del equipo. Este comportamiento tiene sus ventajas al caer el sol, ya que la temperatura del agua en el tanque acumulador se mantiene aproximadamente constante, compensando las pérdidas durante un período de tiempo posterior a la caída del sol.

El equipo presentó un rendimiento térmico promedio acotado entre el 46 % y el 50 % para ensayos sin consumo, mientras que para ensayos con simulación de consumo real, el mismo mostró valores comprendidos entre el 60 % y el 70 %. Esta diferencia se debe a que, a lo largo de los ensayos sin consumo, el salto térmico generado en el agua durante las horas diurnas es mayor, generándose de esta manera mayores pérdidas por aislamiento en el tanque acumulador.

REFERENCIAS

Revistas científicas

Energía y tú – Revista científico-popular trimestral de Cubasolar – No. 39 (julio-septiembre, 2007) -Cuba

Libros

Jose Maria De Juana Sardón – 2007 - Energías Renovables para el desarrollo – 1° edición - Editorial Thomson Paraninfo - España

Thierry Cabiro, Albert Pelissou, Daniel Roux – 1984 – El calentador solar de agua – Editorial Manuel Company - España

Nestor Quadri – 2005 - Energía solar – 4° edición - Editorial Alsina - Argentina

Rey Martinez, Velasco Gómez - 2005 - Bombas de calor y energías renovables en edificios – Editorial Thomson Paraninfo – España

ABSTRACT:

In the absence of our country, with a standardized test protocol for solar water heaters evacuated tube thermosiphonic with accumulator tank, the Grupo de Estudios Sobre Energia the Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe, purchased a computer for these characteristics and proposed to implement a series of tests in order to obtain operating characteristic curves of the team. The influence of climatic differences in performance. We obtained several conclusions from analyzing the incident solar energy and transfer to the water. In a second instance, it is intended to test different teams comparatively under identical conditions, thus obtaining comparative information advantages and disadvantages of computers with this technology.

Keywords: collector – solar – radiation – energy