

## **CALENTAMIENTO DE AGUA POR CONVECCIÓN NATURAL UTILIZANDO UN CONCENTRADOR SOLAR. PRIMERAS EXPERIENCIAS #**

V. Aramburu<sup>1</sup>, N. Diaz<sup>1</sup>, A. Iriarte<sup>2,4</sup> y L. Saravia<sup>3,4</sup>  
Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca  
Avda. Belgrano 300 C.P. 4700, vmaramburu@yahoo.com.ar

**RESUMEN** - En zonas de la puna son necesarios dispositivos de bajo impacto sobre el medio ambiente, que permitan obtener agua caliente. Por ello, se presenta el diseño de una instalación solar térmica destinada a proveer de agua caliente a viviendas y pequeños centros de consumo de tipo productivo. La misma utiliza la energía captada del sol por un concentrador tipo parabólico. Los ensayos se realizan colocando el tanque de almacenamiento a una altura similar a la de una vivienda tipo, y la circulación de agua es por efecto termosifón. Se miden la temperatura, el tiempo de calentamiento, y la radiación solar disponible normal al plano del concentrador. Se determina la eficiencia global del dispositivo. De los resultados obtenidos, se observa que el diseño se presenta como una nueva alternativa en equipos domésticos de calefacción de agua dentro del sistema multipropósito de los concentradores solares profundos para la Puna.

**Palabras Clave:** energía solar, calentamiento de agua, eficiencia global.

### **INTRODUCCIÓN.**

La crisis energética instalada en el marco nacional como un problema latente potencia el desarrollo y el interés de fuentes de energía alternativas, provenientes de recursos renovables. Algunos de los numerosos problemas sociales que aquejan a nuestra región, encuentran respuestas en el ámbito de la energía solar. De alguna manera se trata de mejorar la calidad de vida de ciertos sectores sociales que no disponen de acceso a bienes y servicios que les permitan adecuadas condiciones de alimentación, salud, vivienda, trabajo y educación.

Entre las numerosas aplicaciones de los desarrollos de instalaciones solares térmicas, se encuentra muy difundida la construcción de sistemas domésticos destinados al calentamiento de agua en viviendas. Actualmente existen en el mercado numerosos equipos de este tipo. La implementación de estos dispositivos tecnológicos requieren de equipos probados, de prestaciones óptimas y que, a su vez, utilicen tecnología de calidad garantizada.

Los sistemas más comunes de captación de la energía solar son los llamados colectores térmicos. El colector térmico esta conformado por una superficie que expuesta a la radiación solar, permite absorber el calor y transmitirlo a un fluido. En función de la temperatura deseada se necesitará un determinado tipo de colector y un dimensionamiento concreto, y así obtener agua caliente a media y baja temperatura para poder disponer de ella en utilidades tanto domésticas como productivas. Existen varios tipos y modelos de colectores térmicos, siendo más empleados los colectores de placa plana.

El colector térmico de placa plana es el más difundido en la actualidad. Consiste básicamente en una caja hermética aislada, capaz de soportar las inclemencias meteorológicas, en la que se disponen una serie de tubos que conducen un fluido portador, el cual es calentado por transferencia de calor proveniente de la placa. La placa está formada por una lámina metálica, aunque en algunos modelos puede ser de material plástico. En ocasiones, a fin de aumentar el poder de absorción se suele revestir la placa con una capa de color negro, sometiéndola a un proceso electroquímico que evite la pérdida de sus cualidades con el paso del tiempo. El fluido portador normalmente es agua.

El proceso de calentamiento se puede resumir en que el agua fría ingresa al colector por la parte inferior. Cuando se calienta en su recorrido por la placa recibe calor a medida que avanza. Inicia su recorrido de manera que cuando llega a la parte superior del colector, sale de él alcanzando la temperatura esperada en función del rendimiento del colector. El fenómeno físico que explica este funcionamiento en los equipos de Energía Solar Térmica es el efecto termosifón, principio según el cual, el agua al calentarse sufre un movimiento de convección natural vertical debido a la disminución de su densidad por el aumento de la temperatura. Esto provoca, que el agua contenida en un depósito se encuentre estratificada, ocupando las posiciones más altas, las de mayor temperatura. En consecuencia la idea fundamental consiste en tomar el agua contenida en la parte inferior del depósito (la más fría), hacerla circular a través de los colectores para elevar su temperatura y devolverla

---

# Parcialmente financiada por UNCa, PFI, PDL

<sup>1</sup> Becario UNCa

<sup>2</sup> INENCO, Grupo Catamarca, UNCa

<sup>3</sup> INENCO, UNSa

<sup>4</sup> Investigador del CONICET

de nuevo a la parte superior del depósito (la más caliente), de esta forma se va transformando el agua fría en caliente. El mismo depósito sirve de acumulador para disponer de agua caliente en los períodos de baja o nula radiación.

En este trabajo se presenta un diseño alternativo de una instalación solar térmica para el calentamiento de agua. En la misma se utiliza un modelo parabólico de concentrador solar como fuente de energía. El proceso de calentamiento se realiza por convección natural del agua entre la caldera y el tanque de acumulación. Se realiza el control del sistema, y se evalúa su comportamiento para distintas condiciones climáticas. Se determina el nivel de estratificación de la temperatura en el interior del tanque de almacenamiento, en función de la altura de trabajo y su relación con el establecimiento de criterios de consumo para la transferencia del sistema a unidades habitacionales tipo domiciliario y microemprendimientos de tipo familiar, donde el concentrador realiza diferentes prestaciones.

El trabajo se centra en la determinación de la eficiencia global del dispositivo, atendiendo a la energía útil aportada por el equipo y la energía total aportada por el sistema de captación durante los ensayos de campo. Se tiene en cuenta la posición relativa del tanque de acumulación respecto del foco del concentrador, como así también el tipo de conexiones y accesorios adecuados, que permitan la circulación de agua por efecto termosifón entre la caldera y el tanque de acumulación. Se asume como hipótesis de trabajo que el sistema diseñado utilizando un concentrador solar permite elevar la temperatura del agua en el tanque de acumulación a valores apropiados para el uso doméstico específico y productivo a pequeña escala.

## MATERIALES Y MÉTODO

### *Descripción del calentador*

El dispositivo diseñado es un equipo solar doméstico no integrado, es decir que el sistema de captación de energía y el sistema de acumulación están dispuestos en forma separada. Las partes constituyentes son: a) El concentrador con la caldera, y b) El depósito o tanque de almacenamiento de agua. Una vista general se muestra en la Figura 1.



*Fig.1. Vista general del equipo de calentamiento*

**a) Concentrador-Caldera:** el concentrador de tipo parabólico está montado sobre una estructura metálica como se muestra en la Figura 1. En el foco del concentrador se coloca una caldera de volumen cilíndrico de 10 cm. de diámetro y 34 cm. de longitud, de una capacidad aproximada de 2,7 litros, con conexiones de entrada y salida de agua.

La caldera se recubre con una cubierta de vidrio pirex para favorecer el proceso de calentamiento, disminuyendo las pérdidas de calor por la acción del viento.

**b) Tanque de Almacenamiento:** como depósito de almacenamiento del agua caliente se utiliza un tanque de 200 litros de capacidad. El mismo se encuentra revestido con material aislante: lana de vidrio, poliuretano expandido y una cubierta de plástico, para evitar el intercambio de calor con el medio ambiente. El aislante tiene un espesor de 10 cm. Las mismas precauciones se tuvieron en cuenta para la construcción de la tapa del depósito.

**Accesorios:** Las mangueras utilizadas para la conexión entre la caldera y el tanque de almacenamiento son similares a las utilizadas en sistemas de calefacción convencionales. Las mismas se aislaron con lana de vidrio recubierta con cinta aislante, con el fin de hacer mínima las pérdidas de calor hacia el medio. Todos los materiales utilizados encuentran en el mercado local.

### Metodología de trabajo

El proceso de calentamiento consistió básicamente en permitir la circulación de agua entre el tanque de almacenamiento y la caldera. Entre los detalles constructivos, se destaca la realización en el tanque de dos conexiones, una en la base del mismo que lleva el agua desde el tanque hacia la caldera y la otra, que conduce por convección, el agua desde la caldera hacia el tanque. De este modo se tiene un circuito cerrado en el cual, durante el proceso de calentamiento, el fluido de trabajo circula por efecto termosifón.

El proceso de calentamiento puede sintetizarse de la siguiente manera: se llena el tanque con agua a temperatura de red, se realizan las conexiones entre el tanque y la caldera, y luego se orienta el concentrador. A medida que la temperatura del agua en la caldera asciende, comienza el proceso de convección hacia el tanque de almacenamiento. El agua caliente que ingresa al tanque se deposita en la parte superior, e inmediatamente se produce la realimentación de la caldera desde la parte inferior del tanque, donde el agua permanece a la temperatura de red. Este fenómeno se desarrolla de modo continuo mientras dura el ensayo.

Para medir la temperatura en el interior del tanque de almacenamiento, se utilizaron termopares de cromo - alumen, dispuestos según un eje longitudinal que pasa por el centro del tanque; esta disposición es equidistante desde la superficie libre del agua, definida por un flotante. Se dividió el volumen de agua en cinco secciones, cada una de ellas de 18 cm de espesor, a los fines de realizar un seguimiento del proceso de estratificación del agua. En la figura 2 se muestra un esquema de la disposición de los termopares en el tanque de acumulación.

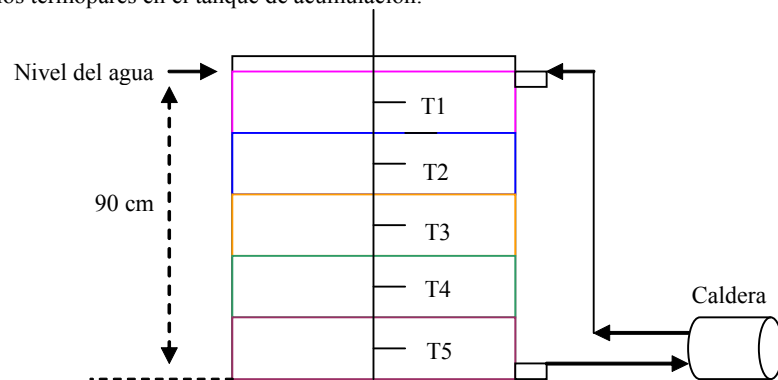


Fig. 2. Detalles de la disposición de los termopares en el tanque de acumulación.

### Características de los ensayos realizados.

Para medir el comportamiento térmico del sistema se realizaron tres ensayos, de aproximadamente 4 horas cada uno. Los mismos se llevaron a cabo en días de escasa nubosidad y con niveles aceptables de radiación solar. El concentrador se reorientó de modo casi permanente, cada 15 minutos. Con la misma frecuencia se realizaron las lecturas correspondientes a las temperaturas en el interior del tanque de almacenamiento, la temperatura ambiente, y a la radiación solar, tanto horizontal como normal al plano del concentrador.

En los tres ensayos, se colocó el tanque de almacenamiento un volumen de 200 litros de agua, a una altura de 3,50 m; asumiendo ésta como una altura promedio de una vivienda familiar, especialmente de la Puna o prePuna. En la Figura 3 se esquematiza la disposición general del equipo utilizado.

Los ensayos de campo se realizaron en dos instancias operativas. Primero se controló el funcionamiento del equipo en tres ensayos independientes, es decir que para iniciar cada de ellos se fijó como parámetro que la temperatura inicial del agua fuera la de la red.

En una segunda instancia, se hizo funcionar el equipo durante dos días consecutivos, manteniendo para el inicio del segundo día el agua calentada del día anterior. En esta instancia también se realizaron mediciones de la temperatura en el interior del tanque como se esquematizó en la Figura 2 y se registró la radiación normal al plano del concentrador.

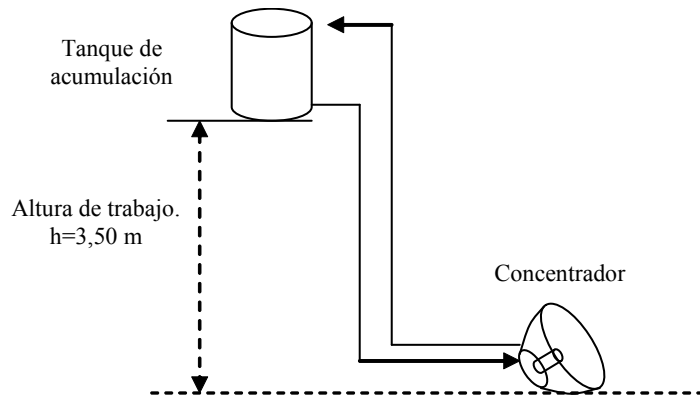


Fig. 3. Disposición del equipo para una altura de trabajo de 3,50 m.

La eficiencia del sistema se determinó a partir de la relación entre la energía útil ganada por la masa de agua y la energía total entregada por el sistema de captación, durante el tiempo de ensayo. Para ello se tuvo en cuenta, los registros de la temperatura ambiente, la variación de temperatura en cada una de las secciones en que se dividió el tanque de acumulación, y la radiación normal al plano del concentrador. Para el cálculo de la eficiencia se utilizó la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{mC_p\Delta T}{A_c I} \quad (1)$$

En este balance de energía, se consideró para el área del colector la asociada a la apertura del concentrador.

#### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una muestra de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de la primera instancia de trabajo se presenta a continuación. En las Figura 4 se observa la evolución de la temperatura en el tanque de acumulación y los valores de radiación solar normal al plano del concentrador, para el Ensayo 1.

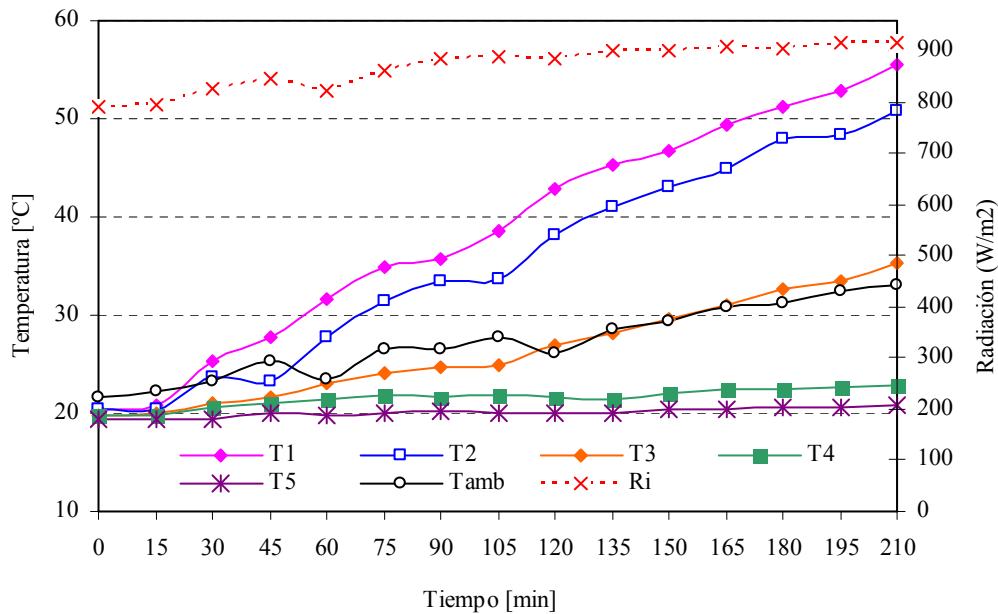


Fig. 4. Valores de temperatura y radiación normal al plano del concentrador para el ensayo 1

Del análisis de la gráfica anterior, se observa un importante incremento de la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento, sobre todo en las franjas superiores próximas a la superficie del mismo. Se alcanzan valores superiores a la temperatura ambiente en la primera y segunda porción referenciadas en la Figura 2 (T1 y T2), mientras que en las franjas inferiores la temperatura tiene valores menores a la temperatura ambiente (T3, T4 y T5). La T3, si bien esta en el mismo nivel de temperatura del ambiente, tiene casi 10 °C al final del día con respecto a la temperatura del agua de entrada o de la red domiciliaria.

Si promediamos los valores de T1 y T2, notamos que se alcanza un valor superior a los 50 °C, que es una temperatura apropiada para diferentes usos domésticos y productivos, asociado a un 40 % de volumen total del tanque de almacenamiento. La disponibilidad de agua caliente asociada a este volumen permite anticipar las óptimas prestaciones del equipo de calentamiento diseñado.

Los valores de temperatura para cada sección del tanque de acumulación, obtenidos al término de cada uno de los ensayos se muestran en la Tabla 1.

Ensayo	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T <sub>A</sub> [°C]	R <sub>N</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
1	55,6	50,8	35,3	22,8	20,8	27,2	870,8
2	50,3	36,6	18,5	17	15,4	20,8	882,4
3	59,3	39,4	22,4	21,4	20,3	23,4	860,4

Tabla 1. Registro de valores de temperatura en el interior del tanque de acumulación para ensayo, temperatura ambiente media y radiación normal promedio para los tres ensayos realizados.

Observando los resultados de la Tabla 1, notamos que una fracción importante, del orden del 50 %, del volumen de agua contenido en un tanque de acumulación de 200 litros, se halla a una temperatura promedio superior a los 43 °C. Expresado en otros términos, esto significa que disponemos de un volumen de agua aproximadamente de 100 litros, a una temperatura óptima para uso doméstico, al cabo de 4 horas de ensayo.

El comportamiento de la temperatura en el interior del tanque de almacenamiento tiene claras similitudes en los diferentes ensayos. Se nota un importante salto térmico entre las secciones del tanque de acumulación, que se acentúa en la zona superior.

Cabe destacar que los valores de radiación medidos durante los ensayos, son los típicos para el periodo invernal en la zona de la Puna en la franja horaria que se realizaron los ensayos; de este modo se prevé que el equipo de calentamiento diseñado puede ofrecer sólidas prestaciones.

En la determinación de la eficiencia del sistema, calculada según la expresión (1), se obtuvieron para los tres ensayos realizados, los siguientes resultados:

Ensayo	E <sub>U</sub> (MJ)	E <sub>T</sub> (MJ)	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>A</sub> (°C)	Eficiencia
1	11,07	23,98	20	27,2	0,46
2	7,38	27,54	14,5	20,8	0,27
3	6,97	25,27	19,2	23,4	0,28

Tabla 2. Registro de la eficiencia del sistema y su relación con la temperatura inicial del agua

De los valores registrados en la Tabla 2, se observa que en cada uno de los ensayos del equipo de calentamiento se obtienen valores similares para la eficiencia. Se destaca el valor obtenido para el ensayo 1, donde se hace notoria la influencia en la efectividad del proceso de convección de las condiciones térmicas iniciales del agua en el tanque de almacenamiento y la temperatura ambiente.

Durante la realización de los ensayos no se observó la presencia de factores climáticos adversos que afecten a la performance del equipo de calentamiento. La cubierta de vidrio pirex sobre la caldera del concentrador evitó las pérdidas por la acción del viento.

Para la segunda instancia de trabajo, donde se utilizó el equipo durante dos días consecutivos, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Figura 5.

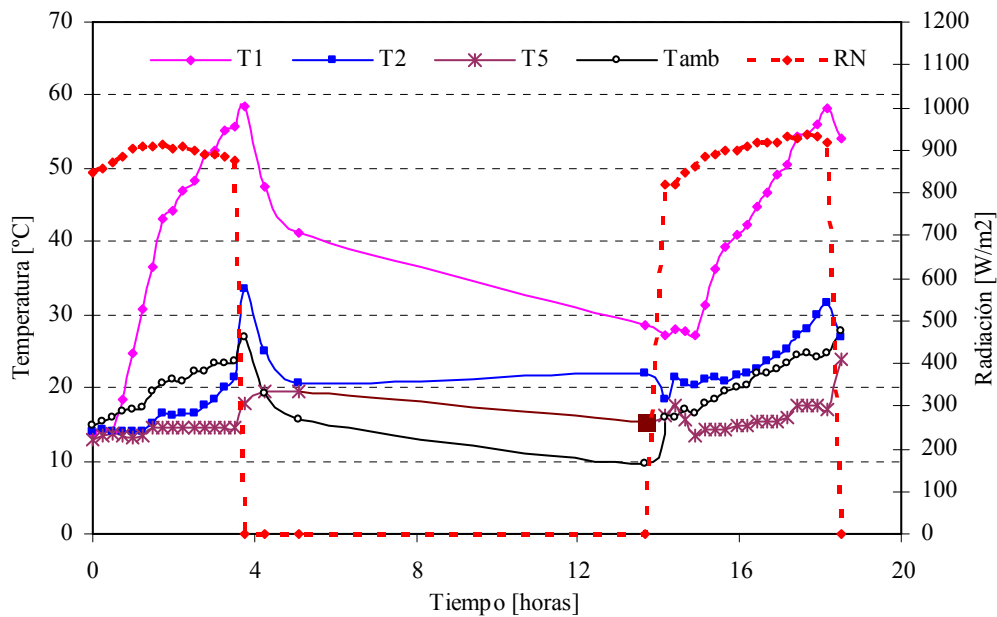


Fig. 5. Valores de temperatura y radiación para el equipo de calentamiento durante dos días sucesivos.

En la Figura 5, se observa el comportamiento del equipo de calentamiento durante el periodo de ensayo y en condiciones de baja y nula radiación; se manifiesta la necesidad de mejorar el aislamiento realizado en el tanque de acumulación ya que durante el periodo nocturno se observan variaciones significativas de la temperatura en su interior.

Se puede notar que cuando el equipo se utiliza en forma sistemática, ofrece una respuesta adecuada. La temperatura en el interior del tanque de acumulación presenta un importante salto térmico. Se destacan los valores de T1 y T2, cuyos registros están muy por encima del valor de la temperatura ambiente.

La eficiencia determinada para este ensayo fue de 0,34 y se encuentra dentro del orden de la presentada en la Tabla 2, para la primera instancia de trabajo.

## CONCLUSIONES

Con los ensayos realizados se comprobó que es posible incorporar a los usos potenciales de un concentrador solar tipo parabólico, el de suministrar energía a un equipo de calentamiento de agua.

A partir de los resultados obtenidos, se observa en general un comportamiento aceptable del equipo. El mismo proporciona un importante salto térmico para el agua situada en la porción media – superior del tanque de acumulación. Esto refleja la rápida respuesta que ofrece el concentrador durante el proceso de calentamiento.

Los valores de eficiencia determinados para el equipo están por debajo de la eficiencia de equipos domésticos convencionales de venta en el mercado que utilizan la energía solar para su funcionamiento.

Entre otros aspectos a destacar se cuentan: la sencillez del sistema diseñado y de su instalación, el bajo costo de los materiales empleados, y su fácil operatividad y mantenimiento.

Asimismo, cabe destacar que el costo del equipo de calentamiento se amortiza aún más si tenemos en cuenta los otros usos domésticos y productivos del concentrador de foco profundo; pues al ser un equipo de multipósitos la actividad de calentamiento de agua puede realizarse en coordinación con otras actividades, (cocción de alimentos, pasteurización, destilación, etc.)

Sin embargo, aunque los datos presentados muestran una respuesta general aceptable del equipo, existen ciertos factores de diseño pasibles de ser mejorados. También es necesario realizar la transferencia efectiva del equipo de calentamiento a un emprendimiento productivo o vivienda de la Puna para evaluar sus prestaciones y adecuación al uso.

En posteriores ensayos se realizarán mediciones del sistema completo con el propósito obtener una mejor evaluación del equipo y así ofrecer una sólida alternativa en sistemas de calentamiento de agua.

## NOMENCLATURA

$E_U$  : Energía útil ganada por la masa total de agua.  
 $E_T$  : Energía total aportada por el sistema de captación.  
 $T_i$  : Temperatura inicial del agua.  
 $T_A$  : Temperatura ambiente media.  
 $R_N$  : Radiación normal promedio.

## REFERENCIAS

Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, Wiley Interscience, New York.  
Saravia L. (2004), Diseño Gráfico de Concentradores de Tipo CPC, AVERMA, Vol 8 No 1 ISSN 03295184  
Saravia, L.N. Salvo, R. Echazú, C. Fernandez. (2005) Diseño y ensayos en banco de pruebas de un colector para agua con CPC. AVERMA. Vol. 9. ISSN 03295184

**ABSTRACT:** In zones of Puna they are necessary devices of low impact on environment, that allow to obtain hot water. For that reason, the design of a thermal solar installation appears destined to provide with hot water to houses and small centers of consumption of productive type. The same one uses the caught energy of the sun by a concentrator parabolic type. The tests are made placing the tank of storage to a height similar to the one of a house type, and the water circulation is by effect thermosiphon. The temperature, the warm up time and the radiation solar available normal to the plane of the concentrator is registered. The global efficiency of the device is also determined. Of the obtained results, it is observed that the design appears like a new alternative in domestic equipment of water heating within the system multipurpose of the solar concentrators deep for the Puna.

**Keywords:** solar energy, water heating, global efficiency.