



## APROVECHAMIENTO INTEGRADO DE ENERGÍA SOLAR PARA CALEFACCIÓN DE AMBIENTES, AGUA CALIENTE Y COCCIÓN COMUNITARIA EN EL ALTIPLANO ARGENTINO

C. Mueller<sup>1</sup>, H. Kleine-Hering<sup>2</sup>

Solar Global e.V./Solar Institut Juelich, Heinrich-Mussmann Str.5, D 52428 Juelich; E-mail: [c.mueller@sij.fh-aachen.de](mailto:c.mueller@sij.fh-aachen.de)  
Fundación EcoAndina /ITAGH Consulting Group; Oller 492, RA 4600 S.S. de Jujuy; E-mail: [office@itagh.com](mailto:office@itagh.com)

**RESUMEN** - Se describe la tecnología utilizada para calefacción y calentamiento solar de agua para edificios públicos, desarrollados en dos pueblos de la puna argentina. Los sistemas instalados consisten en un colector solar de aire, un almacén térmico de piedras y un intercambiador de calor para el uso doméstico de agua caliente. Además se presentan las características de un reflector concentrador con foco fijo tipo Scheffler, destinado a cocinas comunitarias.

**Palabras clave:** Calefacción, cocción, colector de aire caliente, almacén térmico, concentrador de foco fijo.

### INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se desarrolla en forma conjunta entre la asociación alemana Solar Global e.V, el Instituto de Investigación Solar en Juelich y la Fundación argentina EcoAndina, con sedes en Jujuy, Salta y Chubut. Es financiado en conjunto entre el ministerio Federal de Cooperación y los participantes mencionados.

El objetivo del proyecto es la puesta en práctica del concepto de manejo integrado de tecnologías solares. En este caso, con aplicaciones en cocción, calefacción y agua caliente. Los Beneficiarios directos son los usuarios de dos edificios públicos destinados a jardines infantiles, en dependencias de los centros vecinales de Cusi Cusi y Ciénaga (Jujuy, Argentina). Cada uno de ellos está provisto de un dispositivo de calefacción, un sistema de cocción y una instalación de agua caliente. Todos ellos están accionados por energía solar y se encuentran integrados para su uso. Mediante la formación teórica y práctica a personal local, se transfiere el "know how" necesario para la construcción y el mantenimiento de estos sistemas.

### CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los pueblos seleccionados se ubican en el extremo norte del altiplano argentino, en la puna jujeña, a una altura de 3.600 metros, en un ambiente semiárido donde las condiciones climáticas se caracterizan por ser extremas: hay una gran amplitud térmica diaria, con diferencias hasta 30 grados entre día y noche, temperaturas mínimas de hasta 12 grados bajo cero en invierno, frecuentes y fuertes vientos y una insolación muy alta durante el día. Otro punto a considerar es la baja densidad del aire en las altitudes de aplicación, que significa una disminución de unos 30% por volumen movido en el transporte calórico.

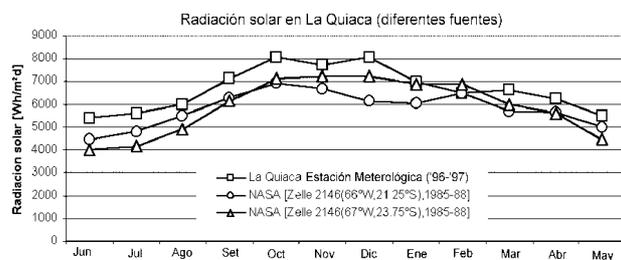


Figura 1: Radiación solar

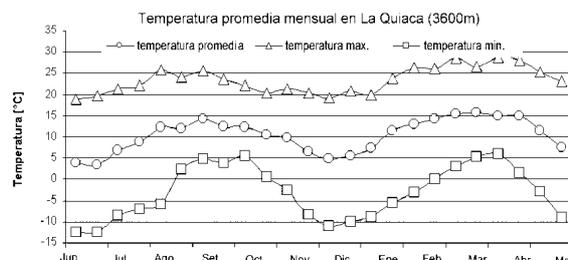


Figura 2: Temperaturas en La Quiaca

### CALEFACCIÓN DE AMBIENTES Y CALENTAMIENTO DE AGUA

El sistema de calefacción se instalará en los dos edificios. La superficie de cada habitación es de aprox. 120 m<sup>2</sup> y el correspondiente volumen a calefaccionar es de 300 m<sup>3</sup>. Mediante simulaciones con el programa MATLAB/SIMULINK se definió el requerimiento anual de energía para la calefacción con 115 kWh/m<sup>2</sup>. El valor promedio para cada edificio en su conjunto es de 40 kWh/d. El dimensionamiento del colector se desarrolló a partir de este valor y sobre la necesidad diaria de unos 200 l de agua caliente para la higiene personal.

La energía necesaria para la calefacción y el calentamiento del agua se obtiene mediante un colector solar para calentamiento de aire (con vidrio simple) ubicado sobre el techo. Este dispositivo genera calor mediante la absorción de radiación solar en una superficie negra, que se encuentra separada del vidrio por una cavidad de aire. La superficie se calienta y transfiere el calor en forma convectiva al flujo de aire que circula por el parte superior del colector (cavidad). La cara inferior de la superficie absorbente se encuentra térmicamente aislada. La superficie del colector es de 27 m<sup>2</sup>. Con aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup> de radiación solar entrante en el colector y un flujo volumétrico de aire de 0,4 m<sup>3</sup>/s, se logra elevar la temperatura del

<sup>1</sup> Profesional Principal SOLAR-INSTITUT JÜLICH

<sup>2</sup> Profesional Principal ITAGH

flujo en unos 54°C. El diseño se puede ver en la figura 3. Este tipo de colector se construye actualmente en Jujuy y su desarrollo puede servir también a otras aplicaciones, por ejemplo el secado industrial de tabaco, frutas y vegetales; para concentración de minerales, etc.

En un día típico de invierno se midieron en el techo del edificio seleccionado para la adquisición de datos, valores de 5 kWh/m<sup>2</sup>. Esto significa que la superficie de 27 m<sup>2</sup> del colector solar recibe una insolación diaria de 135 kWh. Si se considera un rendimiento de 47 % para el colector, quedan entonces unos 64 kWh disponibles para calefaccionar.

Debido a la diferencia de densidad entre el aire caliente y frío, se requiere una energía extra en la parte inferior del acumulador para mover el aire. El acumulador se dotó de un ventilador de 70 Watts y un panel solar adecuado para generar la circulación del aire. Esta instalación fotovoltaica, además de no depender de un red eléctrica, tiene la ventaja de regular el flujo de aire de forma proporcional a la radiación. El aire caliente ingresa a través de una chimenea aislada, interactúa dentro de un intercambiador de calor aire – agua, atraviesa un dispositivo denominado almacén térmico provisto de una retención unidireccional y vuelve al inicio.

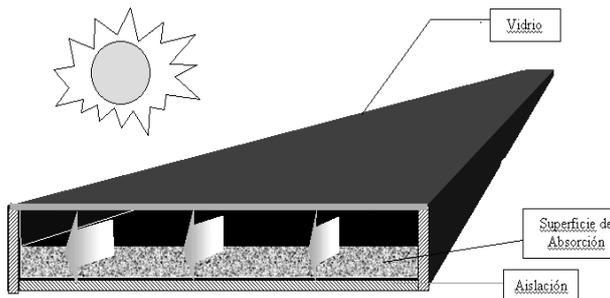


Figura 3: Esquema del colector

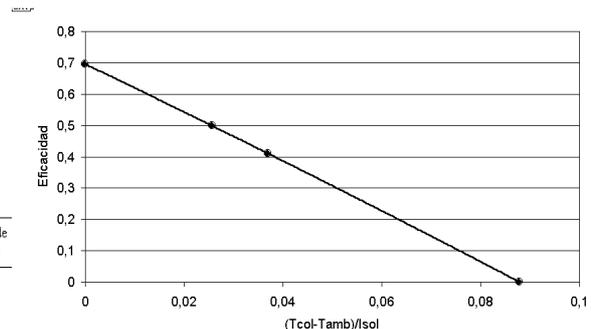


Figura 4: Línea -Característica del colector

El intercambiador de calor está diseñado de tal forma que se usa unos 10 kWh de energía calórica para calentar unos 200 l de agua para consumo a 60°C. El agua se almacena en un termo tanque situado debajo del techo. La circulación desde el intercambiador de calor hacia el termo tanque se genera por convección.

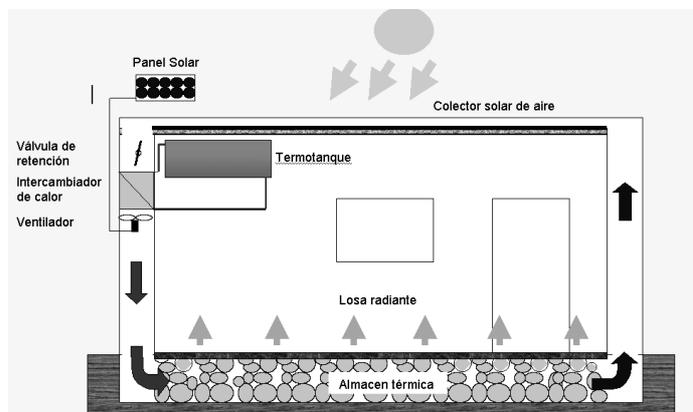


Figura 6: Esquema de la calefacción

Figura 5: Colector solar de aire en Misa Rumi (Altiplano)

### EL ALMACÉN TÉRMICO (LOSA RADIANTE)

El almacén térmico para calefacción se activa con aire caliente proveniente de un colector. El fluido es forzado por un ventilador y retorna por una chimenea. El dispositivo de almacenamiento está ubicado en la pared o en el piso del edificio y transmite su calor mediante losa radiante y/o ventanillas de convección. El acumulador térmico se compone esencialmente de una gran masa de piedras seleccionadas, que completan una carga aproximada de 12 toneladas distribuida dentro de una bóveda de unos 10 m<sup>3</sup>. El diámetro de las piedras se selecciona considerando la pérdida de presión en el acumulador y la transferencia de calor del aire caliente a los mismos. El acumulador tiene aislamiento térmico en las superficies superior y exteriores. Cuando el acumulador se encuentra cargado a su capacidad energética máxima, lo que significa un aumento de temperatura de 40°C en su interior, la energía disponible asciende a 110 kWh.

## COCINAS SOLARES COMUNITARIAS CON CONCENTRADOR DE FOCO FIJO

Para facilitar la cocción, es recomendable una instalación fija y techada, preferentemente ubicada en el interior del edificio seleccionado. Una de las soluciones más útiles consiste en un espejo parabólico, excéntrico y plegable; que rota en sincronía con el sol sobre un eje orientado paralelamente al eje de rotación de la tierra. El espejo concentrador puede estar ubicado afuera de la casa. Mantiene un punto fijo de foco mediante plegamiento interno mecánico, adaptado a las diferentes estaciones del año. El espejo excéntrico, por razones geométricas, se materializa a partir de una sección de un parábola de gran tamaño. La luz reflejada por la parábola se concentra en un foco fijo distante varios metros. El eje para el movimiento diario de la parábola se encuentra orientado en dirección Norte-Sur e inclinado paralelamente al eje de rotación terrestre. Esto simplifica el seguimiento, reduciéndolo a un movimiento uniforme de rotación sobre un solo eje. El foco se fija al ubicarlo sobre la prolongación del eje de rotación. La distancia entre foco y centro del parábola depende de la forma parabólica de diseño. La luz reflejada durante el día solamente gira alrededor de su propio centro de rotación, con lo cual el foco se mantiene estático.

Este tipo de concentradores solares grandes se encuentran actualmente en uso en diferentes lugares y países. Existen en el mundo más de 400 concentradores funcionando. En la India p.e. se está construyendo una cocina solar comunitaria para 18 mil personas, a partir de 100 concentradores similares al descrito. También se utilizan para panaderías industriales, preparación de grandes cantidades de agua caliente, generación de vapor o calor de procesos industriales. Actualmente se investiga su utilidad para sistemas de generación de frío mediante absorción y para la desalinación de aguas.

Datos técnicos del concentrador con 8m<sup>2</sup> de superficie:

Área de apertura (depende de la estación del año):	4,5 – 6 m <sup>2</sup>
Temperatura máxima en el foco:	~1000°C
Grado óptico eficaz máximo. (Espejo de aluminio):	84%
Grado óptico eficaz máximo. (Espejo de vidrio):	75%
Potencia de cocción máxima (I <sub>dir</sub> =800 W/m <sup>2</sup> ):	3,5 kW
Cantidad máxima. de ollas por reflector:	3
Tamaño de la olla:	30-80 L
Costo de materiales por reflector en Argentina:	1500 Pesos
Materiales:	perfiles de acero, espejos
Sistema de seguimiento:	electrónico o mecánico

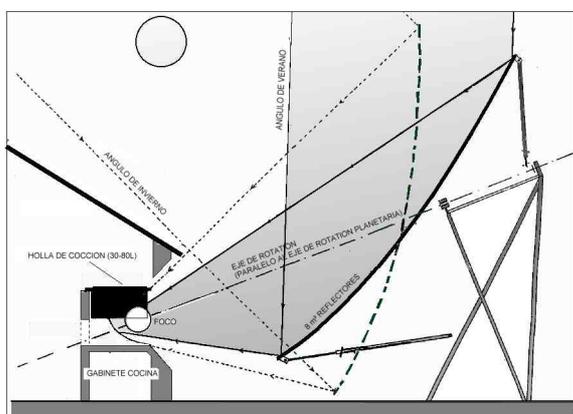


Figura 7: Esquema de funcionamiento del concentrador



Figura 8: Dos concentradores fabricados en Tilcara

## CONCLUSIONES

Ya hace unos años que existen prototipos instalados en el altiplano de los sistemas descritos de calefacción solar para ambientes y de concentradores. La experiencia demostró que su funcionamiento es satisfactorio. En busca de la optimización de los dispositivos, se ha acoplado a la calefacción un intercambiador de calor para agua caliente. Las primeras instalaciones fijas que utilizan los dispositivos integrados se están midiendo y evaluando. Los resultados serán presentados en un informe que se entregará a fines del corriente año. Especial atención fue puesta en la resistencia estructural contra vientos y otras características extremas del ambiente puneño, debido a que este aspecto constituyó uno de los principales criterios para la selección de los lugares de instalación.

## REFERENCIAS

Scheffler-Reflector: <http://www.dfg-vk.de/SolareBruecke/>

John A. Duffi, William A. Beckman: „Solar Engineering of Thermal Processes“; John Wiley & Sons, 1980

Seem, John Ervin, „Modelling of heat transfer in buildings“; UMI Dissertation Services, 1987.

Humpich, Klaus-Dieter, „Ein Beitrag zur Simulation des dynamischen Betriebsverhaltens von Wärmeversorgungsanlagen in Gebäuden“; VDI-Verlag Reihe 19, Nr.56.

Clarke, J.A. „Energy simulation in building design“; Adam Hilger Ltd, 1985.  
Nikolai. V. Khartschenko, „Thermische Solaranlagen, Grundlagen, Planung und Auslegung“; Springer Verlag.  
Recknagel, Sprenger, Schramek, „Taschenbuch für Heizungs + Klimatechnik“; Oldenbourg, 97/98

#### **ABSTRACT**

The technology for solar heating of public buildings in two villages in the Argentine Puna region is described. The system consists of a solar air heater, a pebble bed storage and a heat exchanger for domestic hot water use. Further on a concentrating solar reflector with fixed focus is used for the community-cooker (Scheffler reflector).

**Keywords:** space heating, solar cooking, solar air heater, pebble bed, fix focus