

Informe técnico

Calentador solar de aire con almacenaje de calor para calefacción de edificios y procesos industriales

Dr.-Ing. Christoph Müller

2017



Contenido

1	Conceptos realizados.....	3
1.1	Calefacción directa	3
1.2	Calefacción con acumulación de calor	4
1.2.1	Acumulación en las paredes del edificio	4
1.2.2	Acumulación en piso radiante.....	4
1.3	Comparación con sistemas solares usando agua.....	6
2	Calentador solar de aire	8
3	Fabricación	9
4	Instalaciones en Argentina	10
4.1	Catálogo de instalaciones.....	13
5	Instalación en Bolivia.....	16
6	Instalaciones en Ladakh y Kargil (India)	18
6.1	Catálogo de instalaciones.....	21
7	Software	22
8	Secadores	23
9	Literatura.....	25



Figura 1: Calefacción solar de la Escuela de Misa Rumi/Argentina

1 Conceptos realizados

Los conceptos presentados en este informe muestran diferentes soluciones técnicas de sistemas solares de calefacción las cuales fueron desarrolladas y realizadas con ayuda del autor en proyectos en Argentina, Bolivia y India durante los últimos 20 años en el marco de proyectos de investigación y cooperación técnica. Se analizó cada caso para elegir el concepto mas adecuado. En este informe se describe un sistema activo de una calefacción con un calentador solar de aire en el techo. Cada concepto tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, en comparación con un sistema solar pasivo (ej. muro Trombe) es, que se puede implementar en edificios ya existentes. Es un sistema muy fiable en cuanto el aprovechamiento de aire como portador de calor- nunca se congela o sobrecalienta y fugas no tienen gran impacto. La instalación mas antigua esta en funcionamiento desde 1997. Los conceptos descritos en los capítulos siguientes fueron aplicados en edificios existentes:

1.1 Calefacción directa

La energía necesaria para la calefacción se obtiene mediante un calentador solar de aire ubicado en el techo. El concepto mas sencillo y económico es generar aire caliente e impulsarlo directamente a la habitación, pero tiene la desventaja que no se calienta la habitación en la noche. Este sistema esta diseñado principalmente para habitaciones, las cuales solo se usan durante el día, por ejemplo escuelas, jardines de infantes y oficinas. En este caso es importante orientar el calentador en dirección Este para que puede ayudar al calentamiento de la habitación temprano en la mañana. Como el aire caliente es mas liviano y sube, el perfil de temperatura en una habitación no es muy favorable (frio abajo, caliente arriba, ver figura 2).

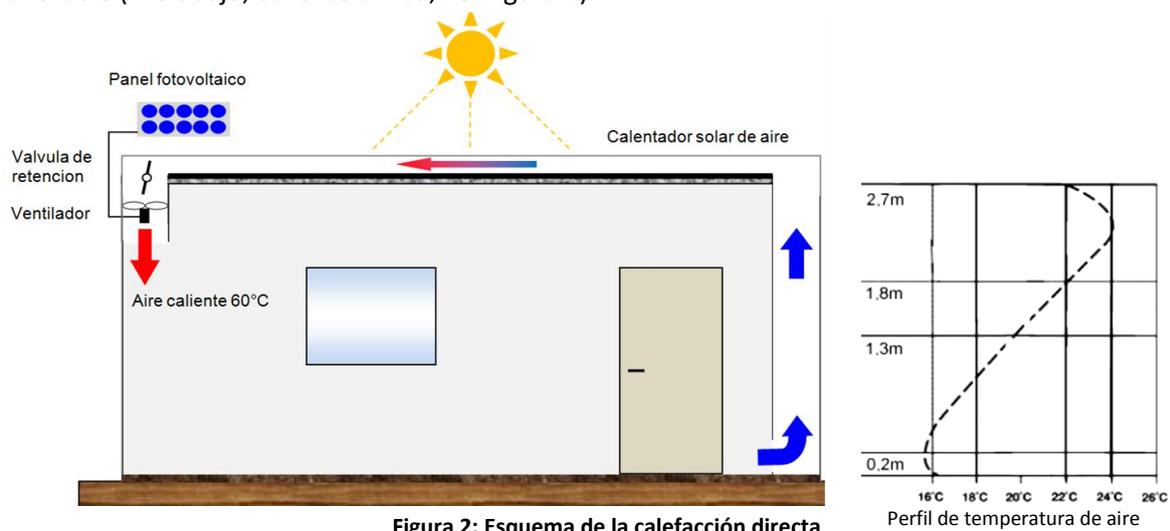


Figura 2: Esquema de la calefacción directa

Debido a las diferentes densidades entre el aire caliente y frío, se requiere un ventilador para impulsar el aire caliente desde el calentador solar hacia la habitación que se encuentra abajo. El ventilador de 40-120 vatios funciona mediante un panel solar. Este fuente fotovoltaico, además de no depender de una red eléctrica, tiene la ventaja de regular el flujo de aire automáticamente, en forma casi proporcional a la radiación. Así el sistema no requiere un aparato electrónico adicional, lo cual lo hace mas robusta. Una válvula de retención cierra automáticamente cuando el ventilador se apaga, evitando la pérdida de aire caliente en la noche.

- + Económico
- + Instalación fácil y rápido
- + Mínima modificación estructural de la casa
- Perfil de temperatura desfavorable (pie frio, cabeza caliente)
- Calefacción solo durante horas con sol

inferior y en los laterales. Cuando el acumulador se encuentra cargado a su máxima capacidad energética, la temperatura en su interior aumenta a más de 50°C. La potencia calórica de la calefacción está limitada por la superficie y espesor del piso que se encuentra arriba del almacén, por donde salen entre 50- 100 W/m².

La gran ventaja de este sistema de calentamiento es que incide sobre la temperatura resultante, en la que intervienen la temperatura radiante y la temperatura del aire. Al haber una temperatura radiante más alta, puede disminuir la temperatura del aire dos o tres grados, reduciendo las pérdidas de calor del edificio hacia el exterior. Al mismo tiempo se aumenta la sensación térmica. Es un sistema que produce movimientos reducidos del aire, dada la baja temperatura de emisión y el tamaño de la superficie caliente. Conviene por ello en habitaciones de techos altos, evitando en gran parte el problema de la estratificación térmica del aire, que acumularía el aire caliente en la parte superior de la habitación (ver figura 4).

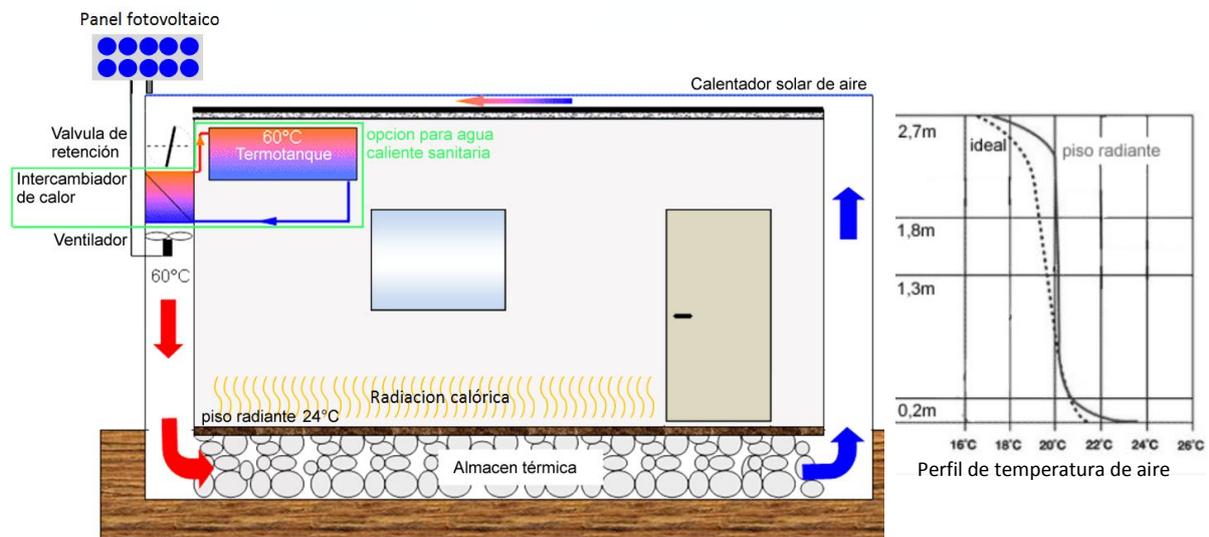


Figura 4: Esquema de la calefacción con almacén en el piso

Opcionalmente transfiere mediante un intercambiador de calor una parte de la energía a agua de uso sanitario. Desde la chimenea el aire atraviesa el almacén térmico y vuelve a la entrada del colector. El intercambiador de calor está diseñado de tal forma que se transfiere suficiente energía térmica para calentar una cantidad de agua definida a 60°C para consumo. El agua caliente se almacena en un tanque con aislamiento térmico situado debajo del techo. La circulación desde el intercambiador de calor hacia el tanque se genera por convección natural (termosifón).

- ⊕ Calefacción día y noche, con gran capacidad, almacenaje >1 día sin sol
- ⊕ Mínima ocupación de superficie en la casa
- ⊕ Calienta por radiación y convección- ideal distribución de temperatura
- ⊕ Baja consumo energético de la calefacción
- ⊕ Uso de materiales locales y baratas para el almacén (piedras y cemento))
- ⊖ Sistema complejo, hay que abrir el piso para construir el almacenaje
- ⊖ Experiencia necesario para planificación y realización

1.3 Comparación con sistemas solares usando agua

Sistemas con calentadores solares de aire no están tan conocidos y divulgados como los sistemas solares basados en agua como portador de calor. La siguiente tabla explica las diferencias principales, ventajas y desventajas de ambas tecnologías:

	Sistema solar usando agua 	Sistema solar usando aire 
Capacidad calórica del caloportador	Agua tiene alta capacidad calórica -> solo es necesario un flujo de pequeño volumen por cada m ² del colector solar (0,03 m ³ /m ² h), lo cual reduce el tamaño del conducto, y el esfuerzo de aislamiento. 	Baja capacidad calórica -> altas velocidades de volumen de aire por cada m ² del colector solar (40 m ³ /m ² h) requieren conductos grandes. 
Temperaturas bajo zero	Peligro de congelación , control regular de aditivo anticongelante es necesario, ya que el sistema se daña por congelamiento 	No existen problemas de congelación. 
Estancamiento	Alta presión de vapor o alto grado de evaporación a temperaturas de estancamiento, especialmente en verano. 	No existen problemas de sobrecalentamiento. 
Complejidad/costos	Por lo general, los materiales resistentes a la corrosión como cobre, aluminio y acero inoxidable deben usarse en los sistemas solares de agua, lo que aumenta los costos. Los tubos de vacío pueden ofrecer una solución más económica. En todo caso, se usan muchos componentes especiales , que no están disponibles fácilmente. 	Se pueden usar materiales más simples y menos costosos disponibles localmente . El esfuerzo de trabajo para los conductos y el almacenamiento de calor en piedras podría ser mayor. Genera más empleos y valor agregado. 
Reparacion	La reparacion del sistema de agua necesita personal previamente capacitado y con herramientas especiales . 	La reparación de vidrios, conductos, etc. puede ser realizada por el propietario. 
Circulación	Bombas de agua alimentadas por CA, que dependen de redes inestables o necesitan inversores de CA para el suministro de FV. 	Ventiladores de corriente continua con suministro de FV directo-> independiente / sin conexión a la red, robusto, sin dispositivos electrónicos de control y larga vida útil. 
Fugas	Sensible a fugas en el circuito de agua: cuando falta agua en el circuito, el funcionamiento es imposible. 	Sin problemas de fugas , sin daños, sin riesgo para el medio ambiente o la salud pública. 

Eficiencia	<p>La eficiencia a temperaturas elevadas es más alta que la de los sistemas simples basados en aire. Esto hace posible un tamaño de colector un poco más pequeño (vease figura 5).</p> <p style="text-align: center;">+</p>	<p>La eficiencia es competitiva en temperaturas más bajas. A temperaturas elevadas, el área del colector debe ser un poco mayor que la de un sistema de agua solar para lograr el mismo rendimiento energético (vease figura 5).</p> <p style="text-align: center;">-</p>
Almacenamiento	<p>Los tanques de almacenamiento de agua caliente ofrecen una capacidad calorífica de 35 kWh / m³ (dT = 30K). Los tanques deben estar hechos de materiales resistentes a la corrosión con ánodo de sacrificio, que debe controlarse regularmente. La mezcla de anticongelante / agua en el circuito solar debe separarse del almacenamiento mediante un intercambiador de calor.</p> <p style="text-align: center;">-</p>	<p>La cámara de piedras ocupa aproximadamente cuatro veces más volumen que el almacenamiento de agua caliente con el mismo contenido de energía. Su construcción está completamente hecha con material y trabajo local.</p> <p style="text-align: center;">+</p>
Distribución de calor a la habitación	<p>Se necesita un sistema de calefacción por piso radiante o radiadores con tuberías y bomba para la circulación (caro y componentes especiales). Se pueden realizar sistemas mas complejos para calentar varias habitaciones.</p>	<p>El calor se transmite a la habitación a través de la conducción y convección natural, por la superficie del almacen en el piso de la habitación. Opcional por un flujo directo de aire caliente. Realización simple sin componentes activos.</p> <p style="text-align: center;">+</p>
Agua caliente para el uso sanitario	<p>Se puede proporcionar desde el tanque de almacenamiento de agua.</p> <p style="text-align: center;">+</p>	<p>Se puede proporcionar agua caliente colocando un intercambiador de calor en el flujo de aire. Desde el intercambiador el agua circula a un termo aislante. Funciona sin bomba y agente anticongelante.</p>



Figura 5: Tamaños de colectores planos, tubos de vacío y calentadores solares de aire con rendimiento similar

2 Calentador solar de aire

El calentador calienta el aire mediante la absorción de radiación solar en una superficie negra de chapa (absorbedor). El absorbedor se encuentra debajo de un vidrio. El absorbedor se calienta y transfiere el calor en forma convectiva al flujo de aire que circula por el espacio entre chapa y vidrio. La cara inferior del absorbedor se encuentra térmicamente aislado. El calentador de aire esta construido en forma modular con dimensiones de 2,51 m x 0,82 m de cada modulo. El concepto modular y autoportante permite de adaptar el calentador a casi todos los tamaños y necesidades térmicas y estructuras existentes. En la mayoría de las aplicaciones realizadas el calentador tiene una superficie entre 12 - 60 m², lo que corresponde a una potencia térmica entre 5 kW a 20 kW. La eficiencia del diseño en cuestión se encuentra en un nivel medio comparado con otros modelos (fig.7). El calentador no solo sirve para la calefacción pero también para otras aplicaciones donde se aplica aire caliente, ej. el secado industrial de frutas y vegetales. Las ventajas competitivas son:

Diseño robusto

- sin peligro de congelamiento y sobrecalentamiento, poco mantenimiento, facil transporte

Concepto modular

- adaptación ideal a las estructuras existentes y potencias requeridas

Autoportante

- facilita la realización sin subestructuras y a bajo costo

Fabricación local

- materiales/trabajo local, facilita mantenimiento, disminuye costos

Poco peso (12kg/m²)

- facilita transporte y instalación

Buena relacion coste-beneficio - alta rentabilidad con costos menores a 40 USD/m²



Figura 6: Concepto autoportante permite orientación optimizada en forma de galería

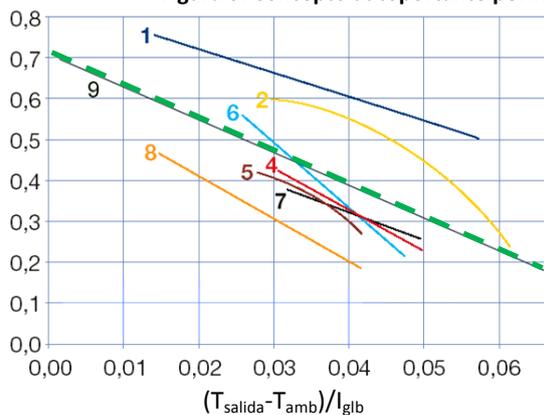


Figura 7: Eficiencias de calentadores solares de aire (Hastings)

1. Flujo inferior, acanalado, selectivo
2. Absorbedor en material textil con flujo transversal
3. Absorbedor perforado, sin cubierta de vidrio
4. Absorbedor liso con flujo inferior
5. Absorbedor rugoso con flujo inferior y encima
6. Como 4 pero flujo en ambos lados
7. Absorbedor trapezoidal, flujo inferior
8. Absorbedor liso con flujo encima
9. **Propio diseño**

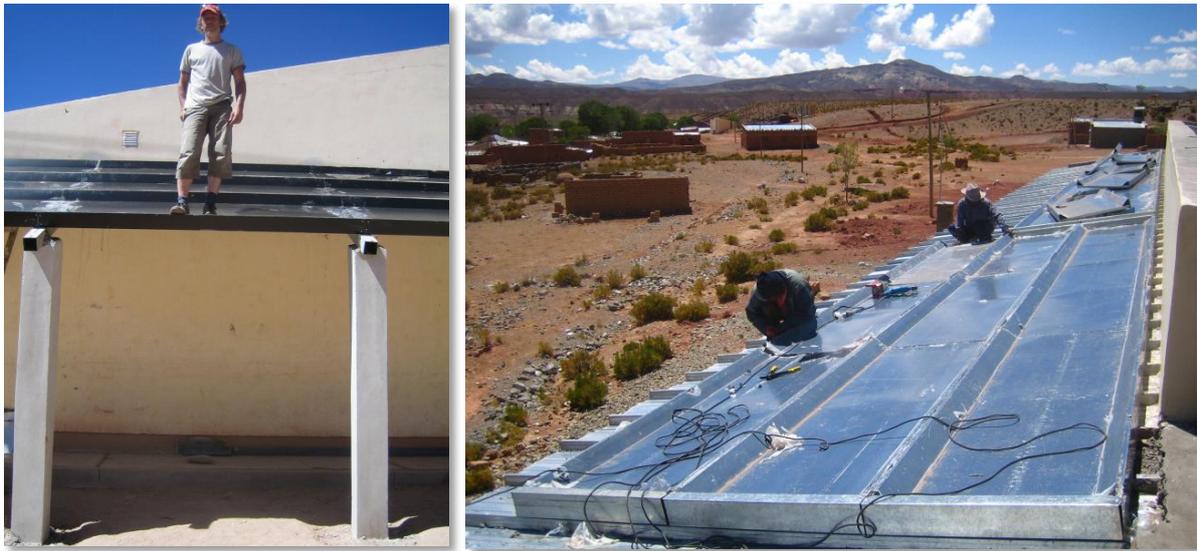


Figura 8: Concepto autoportante soporta el peso de una persona (izquierda), ensamblaje de modulos (derecha).

3 Fabricación

El calentador solar de aire se construye actualmente en Argentina, Bolivia y en India. Aparte de una dobladora (3 m) y tijera de chapa no se requieren herramientas especiales para su construcción. El Know-How de la fabricación y las programas del dimensionamiento del sistema se transfieren mediante la empresa Simply-Solar Gbr de Alemania en el marco de un contrato de licencia.



Figura 9: Fabricación de calentadores solares de aire en Bolivia y Argentina



Figura 10: transporte de 120 modulos (250m²) con un camion en Gujarat/India y con una camioneta en Argentina



4 Instalaciones en Argentina

La región donde se ha implementado el proyecto queda en la provincia de Jujuy, específicamente en el altiplano argentino cerca de la frontera con Bolivia el cual se sitúa a 3500 a 4000 metros de altura. Se extiende sobre una gran parte de los Andes bolivianos, chilenos, argentinos y peruanos. En esta zona reinan condiciones climáticas extremas. A excepción de una corta temporada de lluvia, domina durante todo el año una intensa sequedad. Las temperaturas oscilan en invierno entre los 10°C a 15°C durante el día y hasta -20°C en la noche. Por otro lado, la radiación solar promedio de la región es de 6-7 kWh/m² por día, la cual corresponde a una de las más intensas del mundo. El grupo beneficiario abarca 20 pueblos indígenas en el Altiplano argentino. Las actividades económicas principales son: La ganadería, la agricultura y la pequeña minería. La región es una de las más pobres de Argentina con un ingreso promedio anual de 700 US\$.

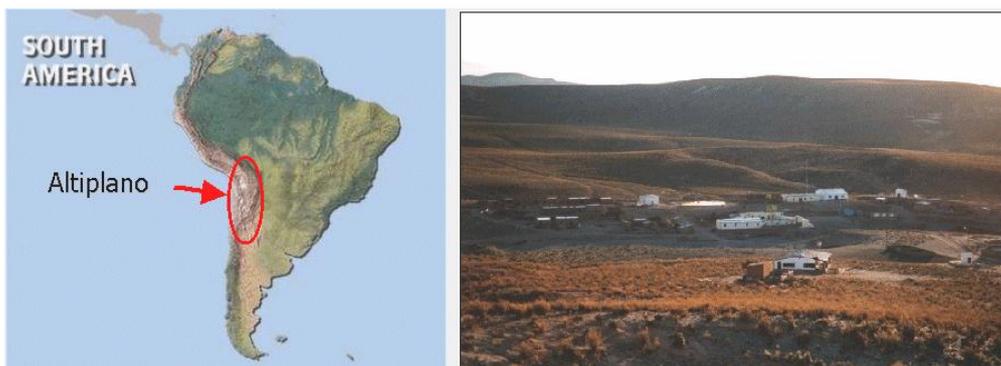


Figura 11: Ubicación del Altiplano y un típico pueblo con 150 habitantes (Misa Rumi)

La región ofrece como único recurso energético la escasa vegetación en forma de pequeños arbustos (tola). La explotación abusiva de este recurso, así como también un aumento en el número de habitantes, han llevado a una seria disminución de esta planta. Con ello también aumenta el tiempo y trabajo requerido para la recolección de este material de combustión. El objetivo es hacer accesible a la población la energía solar como alternativa a la actual combustión para cocinar, calentar y calentar agua. La incorporación de bombeo solar para regadío de gota a gota asegura el abastecimiento de alimentos, como por ejemplo la papa. En especial, para las mujeres y niños

significa esto una mejoría, cuyo diario vivir se ve directamente beneficiado. En el marco de cooperación con las organizaciones locales, fueron introducidas las siguientes tecnologías:

- Sistema solar de calefacción
- Cocinas solares familiares y comunitarias
- Sistemas solares calentamiento de agua

El proyecto se desarrolló en forma conjunta entre la Fundación alemana Solar Global e.V, el Instituto de Investigación Solar en Juelich y la Fundación argentina EcoAndina. Una mayoría de las instalaciones eran financiadas por el Ministerio Federal de Cooperación de Alemania (BMZ). Los beneficiarios directos son los usuarios de edificios públicos, de jardines infantiles y escuelas situadas en comunidades de la Puna Jujeña. Los pueblos seleccionados se encuentran a una altura de 3.600 metros y cuentan con una gran amplitud térmica diaria, con diferencias de hasta 30 grados entre día y noche, temperaturas mínimas de hasta -12°C en invierno, con vientos muy frecuentes y fuertes. Un punto importante a considerar en sistemas solares de aire es la baja densidad del aire en las altitudes donde se lleva a cabo dicha aplicación, lo cual significa una disminución de contenido calórico del aire de un 30% por volumen movido.

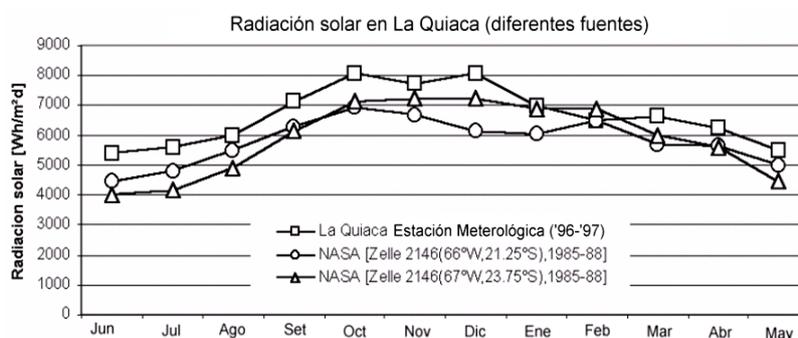


Figura 12: Radiación solar

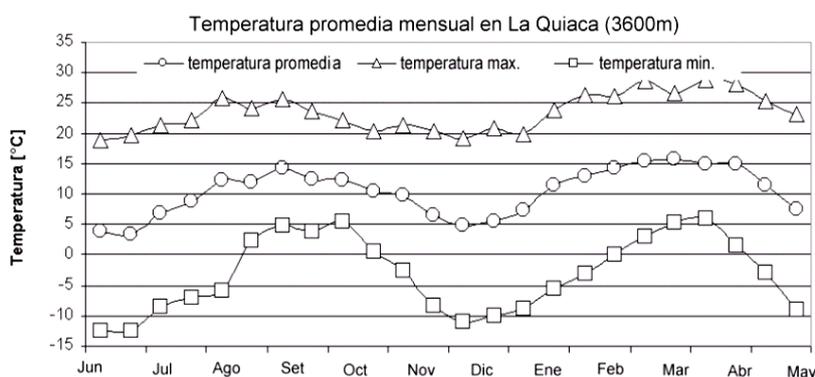


Figura 13: Temperaturas en La Quiaca

El sistema de calefacción solar se instaló en 10 edificios de la Puna calentando un total de 24 aulas y salones. La superficie de cada habitación es entre 25 a 120 m².

Mediante simulaciones con el programa MATLAB/SIMULINK se definió la demanda calórica anual de la calefacción con 110 kWh/m² por año. El valor promedio por edificio y día es de 36 kWh (temperatura min. 17°C durante el día y min. 14°C durante la noche). La simulación no toma en cuenta un mejoramiento de la eficiencia energética de la casa con aislamiento. Solo se requiere un cielorraso (en mejor caso con aislamiento) para disminuir las perdidas a través el techo. El dimensionamiento del calentador de aire se definió a partir de este valor mas de la necesidad de calentar unos 200 litros de agua por día a 60 °C para higiene personal.

En un típico día de invierno se midió en el techo de una casa una suma de radiación solar de 5 kWh/m². Esto significa que el colector solar de 28 m² recibe una insolación diaria de 140 kWh. Con una eficiencia promedio del colector de 43 %, quedan unos 60 kWh para la calefacción.

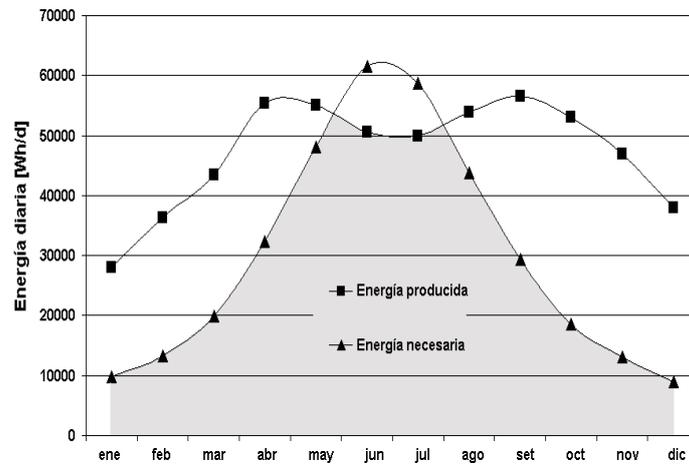


Figura 14: Energía producida y necesaria (colector 28m², casa 100m²)

Durante 9 meses del año el sistema solar genera más energía que necesita la calefacción. Solamente desde fines de mayo hasta principios de agosto falta aproximadamente el 20% de la energía necesaria. Pero en este período, la temperatura en la habitación llega todavía a un promedio de 12K más que en una casa sin calefacción (ver figura 15). Con calefacción solar, la temperatura en el jardín de infantes por las mañanas alcanza unos 20°C (amarillo), mientras en la escuela, donde no hay calefacción, la temperatura llega solamente a 7°C (azul). En la figura 15 se puede ver también que una casa con techo de barro (fabricado con materiales locales) pierde menos temperatura (rojo) durante la noche por tener un mejor aislamiento. Una combinación de techo autóctono, propio de las comunidades andinas, con una calefacción solar permitiría entonces un rendimiento y confort ideal. Además del dimensionamiento correcto de una calefacción solar esto destaca el rol importante de la eficiencia energética, que siempre debe estar tomado en cuenta para un proyecto optimizado y exitoso.

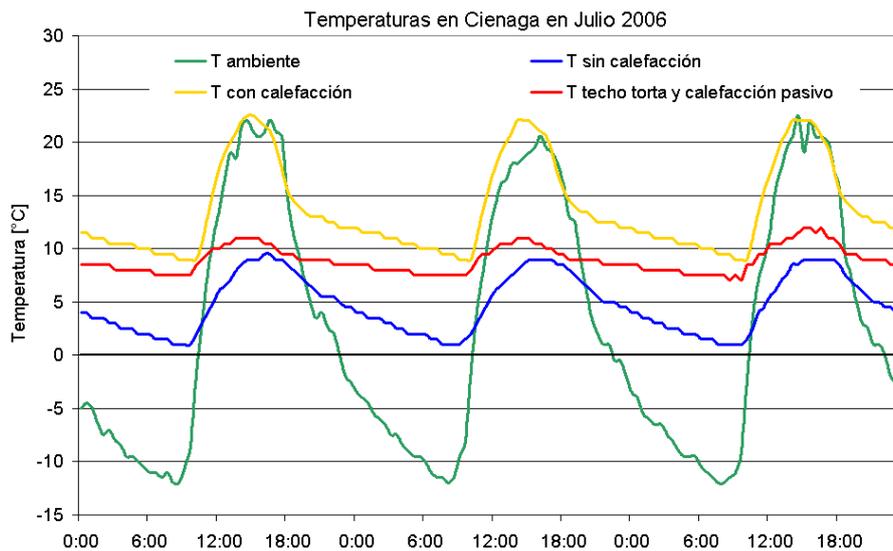


Figura 15: Comparación casa con y sin calefacción

4.1 Catalogo de instalaciones

Misa Rumi/ Provincia de Jujuy

Edificio: Jardín de infantes y escuela primaria Nro. 423
Calefacción: 3 aulas de 90 m² en total
Sistema: Colector 47m² + 2 almacén
Instalación: 2007
Institución: Bundesministerium für Zusammenarbeit (BMZ)
Fundacion Ecoandina
Proyecto: DeCoViPu
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Misa Rumi/ Provincia de Jujuy

Edificio: Jardín de infantes y escuela primaria Nro. 423
Calefacción: 1 salon de 120 m²
Sistema: Colector 30m² + almacén
Instalación: 1997 + 2007
Institución: Agemus
Solar Global e.V.
Fundacion Ecoandina
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Cienaga/ Provincia de Jujuy

Edificio: Jardín de infantes
Calefacción: 2 aulas de 127 m² en total
Sistema: Colector 33m² + almacén
Instalación: 2004
Institución: Bundesministerium für Zusammenarbeit (BMZ)
Fundacion Ecoandina
Solar Global e.V.
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Cienaga/ Provincia de Jujuy

Edificio: Escuela primaria N°435
Calefacción: 4 aulas de 126 m² en total
Sistema: Colector 4 x 16 m²
Instalación: 2008
Institución: Embajada Suiza
Fundacion Ecoandina
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Paicone/ Provincia de Jujuy

Edificio: Escuela primaria
Calefacción: 3 aulas de 44 m² cada uno
Sistema: Colector 36 m²
Instalación: 2007
Institución: Bundesministerium für
Zusammenarbeit (BMZ)
Fundacion Ecoandina
Solar Global e.V.
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Cusi Cusi/ Provincia de Jujuy

Edificio: Escuela polimodal
Calefacción: 3 aulas de 50 m² cada uno
Sistema: Colector 3 x19m² sin almacen
Instalación: 2007
Institución: Bundesministerium für
Zusammenarbeit (BMZ)
Fundacion Ecoandina
Solar Global e.V.
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



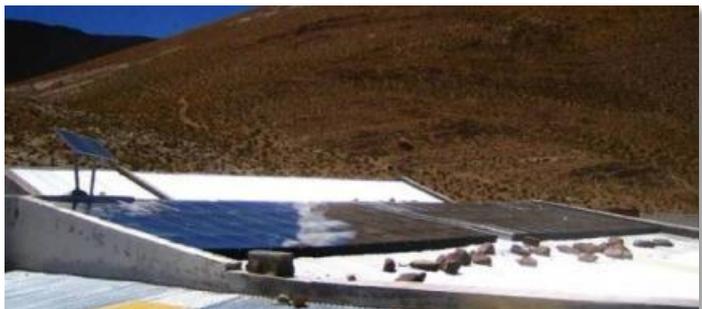
Cusi Cusi/ Provincia de Jujuy

Edificio: Jardín de infantes
Calefacción: Salon de 65 m²
Sistema: Colector 17 m² con almacen
Instalación: 2004
Institución: Bundesministerium für
Zusammenarbeit (BMZ)
Fundacion Ecoandina
Solar Global e.V.
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Lagunillas/ Provincia de Jujuy

Edificio: Escuela primaria
Calefacción: 5 aulas, 180m² en total
Sistema: Colector 49m² sin almacen
Instalación: 2007
Institución: Bundesministerium für
Zusammenarbeit (BMZ)
Fundacion Ecoandina
Solar Global e.V.
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Yavi/ Provincia de Jujuy

Edificio: Iglesia catolica
Calefacción: 1 salon de 160m² en total
Sistema: Colector 51m² con almacen
Instalación: 2010
Institución: Adveniat Alemania
Fundacion Ecoandina
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller





5 Instalación en Bolivia

En el 2015 se instaló un sistema de calefacción solar en la fabrica de queso orgánico, Flor de Leche en Achocalla, cerca de La Paz a una altura de 3800 m. Allí, un nuevo edificio fue diseñado para la integración de un calentador solar de aire y un correspondiente almacén térmico de piedras. El sistema está destinado para calentar una oficina con 80 m² en el invierno. En verano, se puede usar el flujo de aire caliente en procesos industriales como el secado. La simulación mostró que más del 90% de la demanda energética para la calefacción puede ser cubierta por el sistema solar. Figura 16 muestra la demanda mensual de calefacción y el suministro de energía para diferentes orientaciones del calentador solar durante el año. El calentador de aire de 33m² fue construido con un costo total de aproximadamente 20.000 bolivianos (2740 euros), que corresponde a un precio por metro cuadrado de 84 euros. Esto incluye todos los gastos como materiales, fabricación, transporte e instalación. El tiempo correspondiente de amortización a través del ahorro de leña y gas es solo de 2 años. Con este sistema se puede ahorrar la quema de 9 toneladas de leña cada año. A continuación se muestran algunas fotos del proyecto. En reuniones con directores de escuelas de la región, mencionaron la necesidad de calentar sus aulas en invierno. La aplicación del sistema en el contexto de proyectos sociales parece muy favorable ya que esto representa un gran ahorro en costos de energía. En actualidad existen otros proyectos y uno de ellos incluye una estación de investigación en los Andes bolivianos.

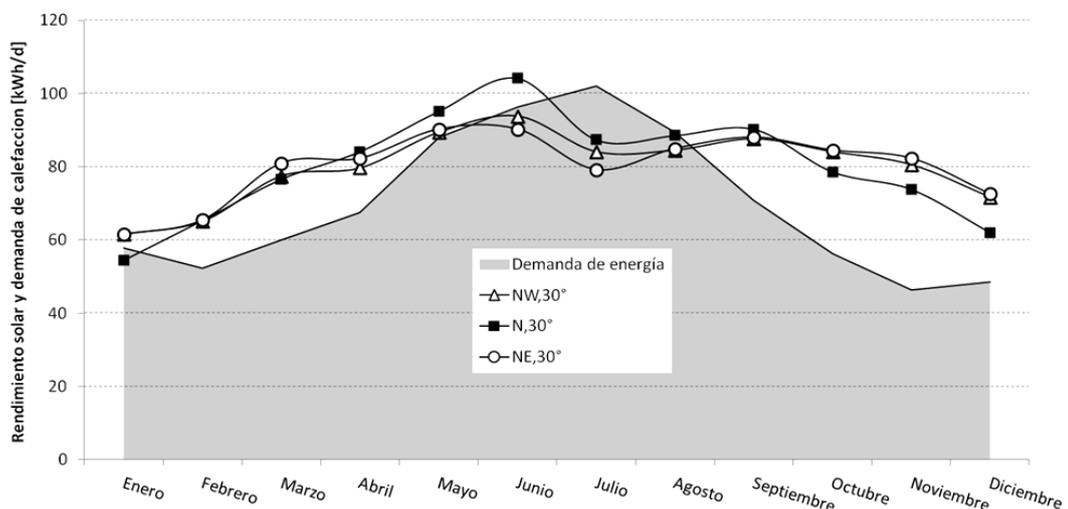


Figura 16: Rendimiento solar y demanda de calefacción durante el año



Figura 17: Lechería Flor de Leche en Achocalla



Figura 18: instalación del calentador solar de aire



Figura 19: Calentador solar de aire terminado



6 Instalaciones en Ladakh y Kargil/India (Proyecto IKI: SolLad)

La experiencia con el concepto de calefacción solar en el Altiplano fue aplicado en la región montañosa de Ladakh y Kargil en los Himalayas. Son regiones en el estado indio de Jammu y Cachemira. Por el norte se encuentran delimitada por las montañas Kunlun y la cadena de los Himalayas por el sur. Las regiones en el norte flanquean a los Himalayas - Dras, y los valles del Suru y Zaskar - reciben muy fuertes nevadas y todos los años permanecen aislados durante varios meses. Los veranos son cortos, aunque lo suficiente como para permitir el cultivo de granos en las zonas más bajas del valle del Suru. El clima del verano es seco y agradable, con temperaturas promedio entre 10 a 20°C, mientras que durante el invierno, la temperatura puede descender hasta -50 °C. Después de Siberia, es la zona habitada más fría del mundo.¹

Con fondos del BMUB/IKI, el proyecto se ejecutó desde 2013-2016 conjuntamente con el MNRE, GIZ, ITW, SIJ, expertos internacionales y instituciones locales en Ladakh, como Ladakh Ecological Development Group (LEDEG) y agencias estatales en Leh y Kargil (LREDA y KREDA). Una gran ventaja del sistema es que puede construirse e instalarse con materiales y recursos disponibles localmente. Durante el proyecto, las personas locales recibieron capacitación sobre los diversos aspectos del sistema, incl. fabricación de componentes, dimensionamiento e instalación. Además, el aislamiento básico de los edificios equipados

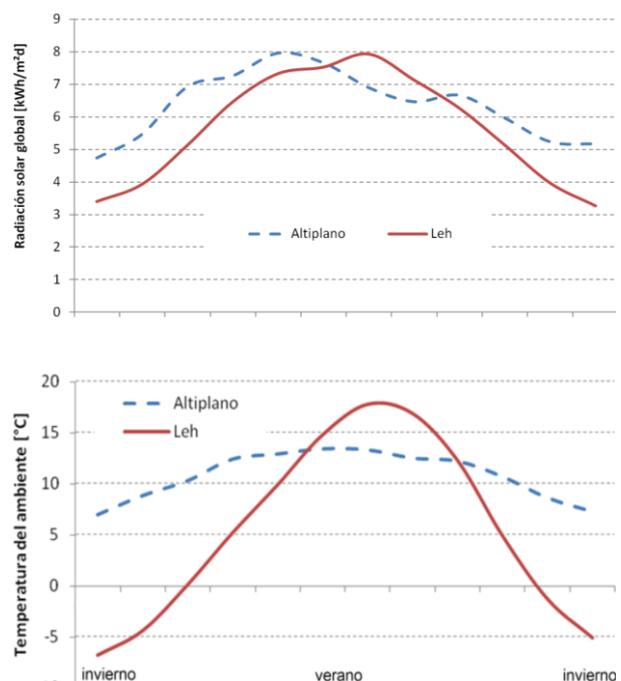


Figura 20: comparación del clima en Ladakh/Kargil y el Altiplano jujeño

¹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Ladakh>

con sistemas de calefacción solar fue parte del proyecto. Dentro de la fase de monitoreo, los datos recolectados durante invierno eran analizados para optimizar además el diseño del sistema.

Las condiciones climáticas en Ladakh y Kargil son mucho más difíciles que en el Altiplano argentino donde se diseñó originalmente el concepto de la calefacción solar. La temperatura promedio en el capital de Ladakh, Leh en 3500 m de altura, es 12 K más bajo en invierno que en el Altiplano. Al mismo tiempo la radiación solar es 20% menor en Ladakh y Kargil. La desventaja de este clima trae como consecuencia una demanda energética dos veces mayor en comparación con un edificio similar en el Altiplano. Según el análisis de la demanda energética y de la simulación del rendimiento solar, solo se puede lograr un efecto de calentamiento satisfactorio con una protección térmica adicional de las habitaciones. Una protección térmica básica se logró aplicando 50 mm de lana de vidrio o como alternativa local con 20 cm de aserraduras en las paredes exteriores de la habitación. Adicionalmente el uso de doble vidrio en las ventanas reduce las pérdidas.



Figura 21: Aislamiento con aserraduras

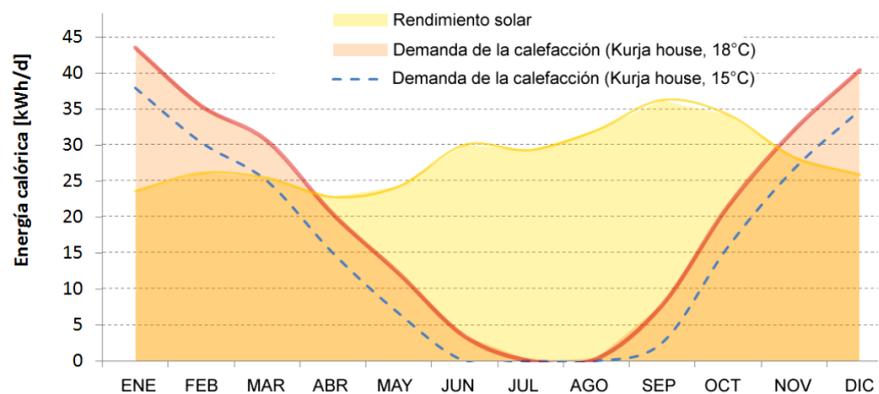


Figura 22: Rendimiento solar y demanda de la calefacción simulada

El rendimiento de las casas modelo ha sido monitoreado durante más de un año. En la figura 23 se puede ver la temperatura exterior, interior y del piso a lo largo de 10 meses desde 2013 a 2014. Durante este período, la temperatura interior cayó por debajo de 15°C solo en 5% del tiempo. Los resultados de la medición muestran que la temperatura promedio en la habitación era de 15 a 20 K por encima de la temperatura exterior durante los meses de invierno. Analizando los datos más en detalle se puede ver en figura 24, que las temperaturas en la casa modelo están muy estables durante los 24h del día, solo variando por 2-3K. La temperatura del almacenamiento se aumenta por 15K

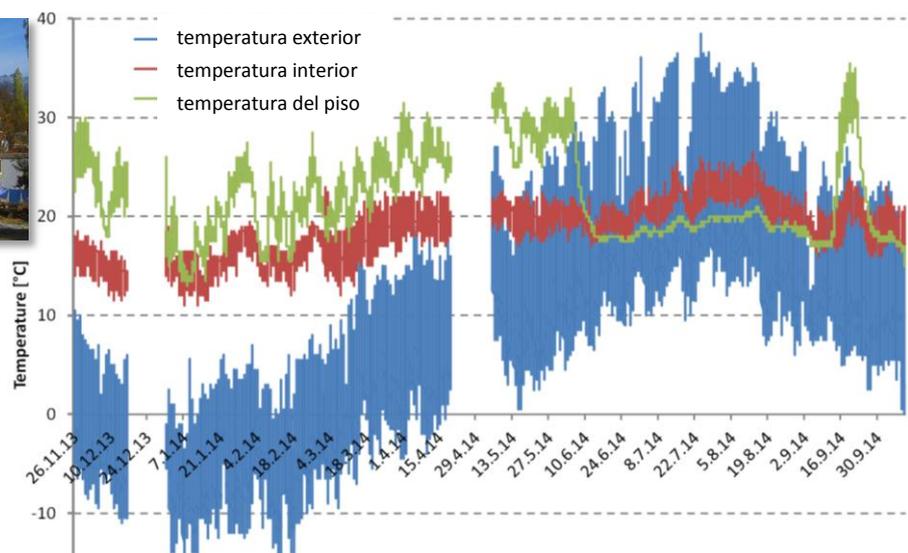


Figura 23: temperaturas en la casa modelo Kurja en Leh

durante días con mucho sol, aportando 10 K en la noche. De esta manera queda un saldo positivo de calor en el almacenaje para días nublados. También se puede ver en figura 24 que una habitación sin calefacción (celeste) tiene una temperatura de 15 K menos.

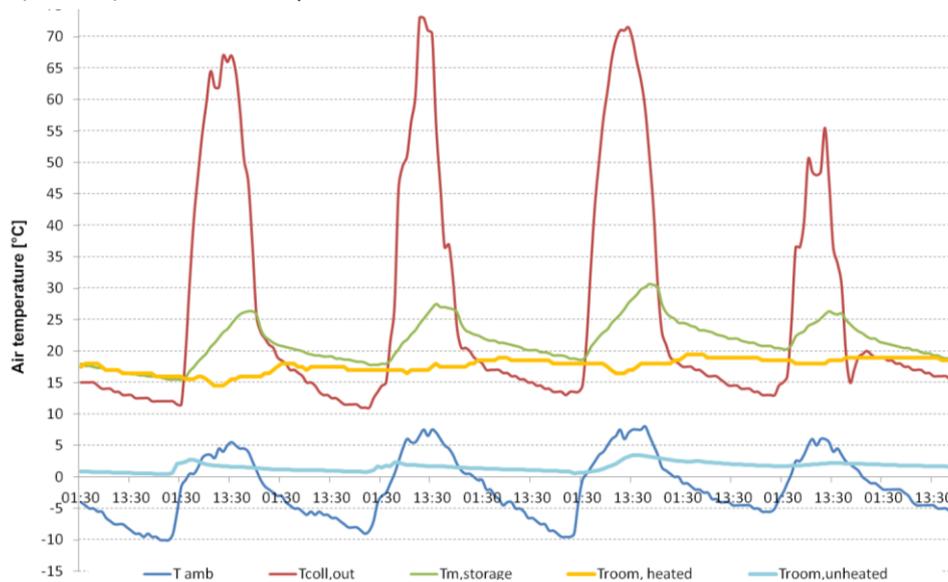


Figura 24: temperaturas en la casa modelo Kurja (23.-26.2.2014)

En las otras casas modelo se lograron resultados similares, lo cual resultó en la misma decisión de los habitantes de remover el horno a leña o gas convencional (bukhari). El confort en las habitaciones aumentó significativamente por la disponibilidad de una habitación caliente por 24 horas. No es mas necesario calentar el horno y esperar que se caliente la habitación. No se contamina la habitación con humo el cual impacta la salud y no hay que buscar, comprar o transportar combustible. Adicionalmente el uso de la energía solar contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con **2,5 toneladas de CO2 por casa y año**. El proyecto piloto actuó como ejemplo para futuras réplicas. El gobierno de India esta actualmente planificando un programa de subsidios para equipar 1000 casas en Kargil y Ladakh.



Figura 25: Salon con piso radiante en la casa de Mohammad Ghulam

6.1 Catálogo de instalaciones

Mohammad Ghulam/Kargil/India

Edificio: Particular
Calefacción: 1 habitación de 19m²
Sistema: Colector 32m² con almacén
Instalación: 2015
Institución: BMUB/IKI, MNRE/KREDA, GIZ
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Kurja Guesthouse/Leh/India

Edificio: Particular
Calefacción: 1 habitación de 16m²
Sistema: Colector 32m² con almacén
Instalación: 2013
Institución: BMUB/IKI, MNRE, GIZ
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Dumting/Leh/India

Edificio: Particular
Calefacción: 1 habitación de 17m²
Sistema: Colector 32m² con almacén
Instalación: 2013
Institución: BMUB/IKI, MNRE, GIZ
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Mohammad Abas/Kargil/India

Edificio: Particular
Calefacción: 1 habitación de 20m²
Sistema: Colector 32m² con almacén
Instalación: 2015
Institución: BMUB/IKI, MNRE/KREDA, GIZ
Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



Escuela islamica/Kargil/India

Edificio: Escuela
 Calefacción: 2 aulas, 20m² cada una
 Sistema: Colector 2x8m² sin almacen
 Instalación: 2016
 Institución: BMUB/IKI, MNRE/KREDA, GIZ
 Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



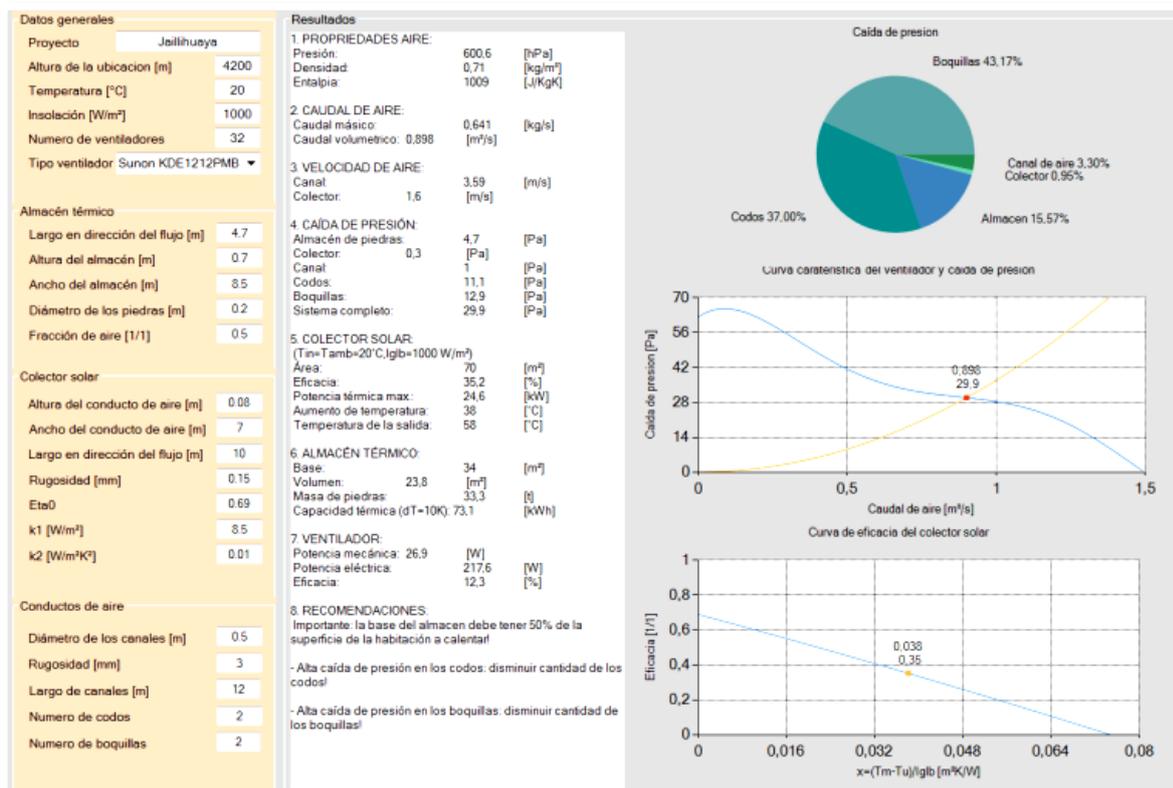
Mousin Ali House/Pashkum/Kargil/India

Edificio: Particular
 Calefacción: 1 habitación de 22m²
 Sistema: Colector 32m² con almacen
 Instalación: 2015
 Institución: BMUB/IKI, MNRE/KREDA, GIZ
 Dirección: Dr.-Ing. C. Müller



7 Software

Para dimensionar y conjuntar los componentes del sistema se ha desarrollado un software, cual calcula las perdidas de presión y el resultado de flujo en el circuito de aire, tal como potencias y rendimiento del colector según la orientación del calentador de aire y del panel fotovoltaico.



8 Secadores

Los calentadores de aire no solo fueron aplicados en sistemas de calefacción pero tambien en secadores solares. Para una cooperativa de Quinoa en Cusi Cusi/Argentina el secador con un calentador de aire de 60 m² seca 200 kg de Quinoa por día:

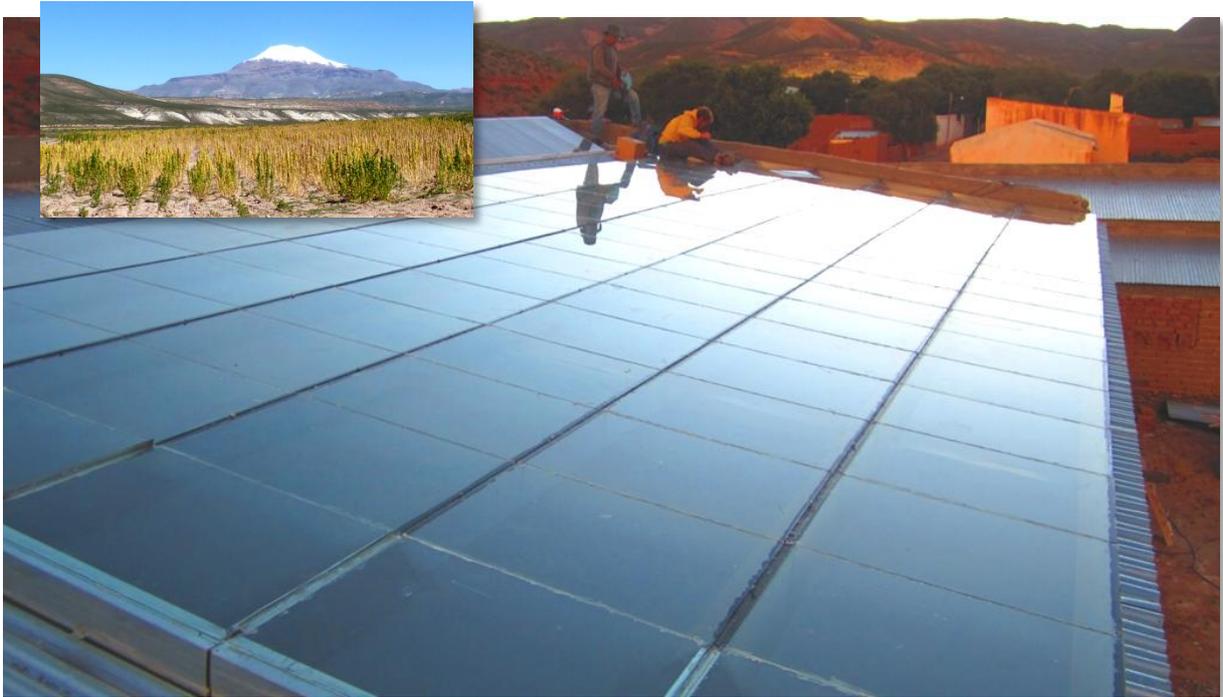


Figura 26: Calentador de aire en el techo del edificio del secador



Figura 27: Secador de inoxidable desarrollado para secar Quinoa. Los granos de Quinoa se descargan inclinando el lecho

Con apoyo de la Embajada Alemana en Argentina se financió un secador solar para la cooperativa de Yacoraite en 2007. Con el secador se pueden secar 150 a 200 kg de verduras o frutas por día. El secador se usa principalmente para conservar productos los cuales no lograron vender en el mercado. El secador sigue aun en uso después de 10 años con un mínimo mantenimiento.



Figura 28: Secador de 60m² para la cooperativa de Yacoraite/Argentina



Figura 29: tomates, ajo y orégano secado en el secador solar

9 Literatura

- „Entwicklung und Bau einer solaren Gebäudeheizung im Altiplano/Argentinien“, H.C. Müller, Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, Fakultät Maschinenbau, 1999
- „Uso de combustible vegetal y su disminución mediante aprovechamiento de energia solar“, H.C. Müller, Auftragsstudie für die FUNDACION ECOANDINA (Salta/Argentinien), 1998
- „Solar space heating as contribution to a solar supplied village on the Altiplano/Argentina“ C. Müller, K. Schwarzer, ICSC-Congress, 2001
- „Aprovechamiento integrado de energía solar para calefacción de ambientes, agua caliente y cocción comunitaria en la Puna Argentina“, C. Mueller , H. Kleine-Hering, ASADES, 2003
- „Entwicklung und Optimierung einer Gebäudeheizung für den Einsatz in Hochgebirgsregionen mit hoher solarer Einstrahlung“, H.C. Müller, K. Schwarzer, BMBF Abschlussbericht, FKZ: 1710401, Solar-Institut-Jülich, 2003
- „Entwicklung und Bau eines Luft-Wasser-Wärmetauschers für solare Luftkollektoren im Altiplano/Argentinien“, O. Bergmann, Diplomarbeit, Solar-Institut-Jülich, 2004
- "Solar thermal solutions for increasing energy demands in a sub-zero temperature climate in Ladakh, India" C. Müller, A. Anthrakidis, H. Drück, D. Kaufman, J. Götttsche, A. Shukla, T. Herzog, S. Dawa, Tsultim, Naro, T. Dorjay, OTTI, Solar Energy Technology in Development Cooperation, Frankfurt, Germany 2014
- 1. Informe GIZ/Comsolar "Solar Thermal Solutions for Increasing Energy Demands in Ladakh (SolLad)", C. Mueller, 2014
- 2. Informe GIZ/Comsolar "Solar Thermal Solutions for Increasing Energy Demands in Ladakh (SolLad)", C. Mueller, 2015
- 3. Informe GIZ/Comsolar "Solar Thermal Solutions for Increasing Energy Demands in Ladakh (SolLad)", C. Mueller, 2016
- Sitio web proyecto BMUB/IKI (11/2017): <http://www.comsolar.in/what-we-do/demonstration-projects/solar-space-heating-sollad/>
- <https://vimeo.com/139010518>
- <https://www.youtube.com/watch?v=uFJeJl9-QV4>