

**Revista Electrónica Conocimiento Libre y Licenciamiento Edición Especial:  
“Tecnologías libres para el Bien Común Apropriación”**

Derecho de Autor © 2011 de: Ana Rangel, Alexander Olivares, Elisabeth Benitez y Victor Bravo  
Investigadores de la Fundación Centro Nacional de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Libres  
(Cenditel) Algunos Derechos Reservados – Copyleft

La presente obra está liberada bajo una Licencia **Creative Commons**  
**Atribución Reconocimiento, No comercial, Sin obra derivada 3,0, sin Jurisdicción reportada**  
**para la República Bolivariana de Venezuela** , que permite copiar, distribuir, exhibir y ejecutar la  
obra, no hacer obras derivadas y no hacer usos comerciales de la misma, bajo las condiciones de  
atribuir el crédito correspondiente a los autores y compartir las obras derivadas resultantes bajo esta  
misma licencia.



Más información sobre la licencia en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

ISBN de la obra independiente: No. 978-980-7154-09-3

Deposito Legal No. PPI 201002ME3476

Revista Electrónica:

“Conocimiento Libre y Licenciamiento”

URL para descarga de la obra:

<http://radecon.cenditel.gob.ve/publicaciones/>

[Más información sobre el autor en:](#)

<http://radecon.cenditel.gob.ve>

Imagen de tapa y contratapa ”**El secreto de Los Andes**”

Derecho de Autor © 2011 Luis Trujillo

Algunos Derechos Reservados – Copyleft

Las imágenes de tapa y contratapa están liberadas bajo una Licencia **Creative Commons**  
**Atribución Reconocimiento, No comercial, Sin obra derivada 3,0, sin Jurisdicción reportada**  
**para la República Bolivariana de Venezuela** ,  
que permite copiar, distribuir, exhibir y ejecutar la obra, no hacer obras derivadas y no hacer usos  
comerciales de la misma, bajo las condiciones de atribuir el crédito correspondiente a los autores y  
compartir las obras derivadas resultantes bajo esta misma licencia.



Más información sobre la licencia en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

**Revista Electrónica: Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC) Edición Especial:  
Tecnologías libres para el Bien Común Apropriación**

### **Editora**

*Elisabeth Benitez*

### **Comité Editorial**

*Elisabeth Benitez*

*Ailé Filippi*

*Alexander Olivares*

*Ana Rangel*

*Maricela Montilla*

*Luz Chourio*

*Víctor Bravo*

**Comité de Árbitros**

*Dr. Alejandro Ochoa*

*Msc. Raymond Marquina*

*Dr. Andrés Chiappe*

*Dr. César Bravo*

*Msc. José Joaquín Contreras*

*Dr. Leandro León*

*Dr. Oswaldo Terán*

*Dra. Teadira Pérez*

*Dra. Patricia Pacheco*

*Msc. Juan Freire*

*Lic. Luis Trujillo*

### **Autores**

*Jhosmary Cuadros, Ruben Medina, Ruben Rojas, Diego Jugo, Tulio Nuñez*

*Elsa Mora, Rosa Asuaje, José Iguarán, Alberto Medrano, Ana Rangel*

*José Contreras, Miguel Crespo*

*Marisela Montilla, Luz Mairet Chourio*

*Nelson Dugarte*

*N. García Mora, A Parra, G. Peña, L. Zavala Morillo, F. Palm,*

*A Balza Quintero, D. Dávila Vera, J.A. Rojas Fernández,*

*Z Peña Contreras, F.J. Durán, E. Labarca Villasmil,*

*R V Mendoza Briceño, Ignacio Pollini*

*Andrea Micangeli, Erwin Paredes, Luis Trujillo*

**Revista Electrónica: Conocimiento Libre y Licenciamiento “ELCLIC”**

**Año 2. Vol 1 No. 4**

## **AUTOCONSTRUCCIÓN DE PANELES SOLARES: CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE PANELES SOLARES TÉRMICOS EN ZONAS RURALES DEL PÁRAMO VENEZOLANO**

Ignazio Pollini

Cooperativa Caribana de turismo responsable - Mérida, Venezuela

info@caribana.coop

Andrea Micangeli

CIRPS - TpAA (Tecnologías para la Autonomía y el Ambiente), Universidad “La Sapienza” Roma

Recibido: 29/08/11

Aceptado: 15/09/11

Vol. ( 1 )No.( 4 ) Año:( 2 ) Páginas: (82 - 119)

### **Palabras clave:**

Paneles solares, autoconstrucción, energía solar, turismo responsable, desarrollo rural.

### **Resumen**

El desarrollo es un proceso de expansión de las libertades gozadas por los seres humanos y por esto tendría que tener ciertas características precisas: por ejemplo tender a la satisfacción de las necesidades primarias de cada individuo (nutrición, casa, salud, etc.), garantizar siempre la identidad de un pueblo y la justicia entre personas, ser endógeno y estar en armonía con la naturaleza; en pocas palabras ser sostenible. Por esta razón, la ciencia y la tecnología tendrían que servir, no como instrumentos de poder privado en las manos de pocos ricos globalizados, sino como vectores de derechos colectivos para los marginados y los excluidos. Esto implicaría dar la posibilidad a cada uno, de autoafirmarse en un proceso como parte de un cuerpo único: la Sociedad.

La intención que se presenta con esta publicación, no es aquella de cambiar radicalmente las relaciones de poder que controlan la sociedad.

¡¡Cambiar el mundo es un trabajo difícil!!! Este artículo intenta solo mostrar proyectos y compartir instrumentos de “autoconstrucción y autoafirmación” en comunidades pobres y aisladas, en condiciones de emergencia. Los colectores termosolares auto construidos para

la producción de agua caliente, realizados en las comunidades andinas del Municipio Rangel, en el estado Mérida, pueden entonces ser vistos como vehículos de libertades, colaboración y formación.

Actualmente, el término proyecto se ha convertido en algo de uso común para indicar el instrumento mediante el cual se organiza y se realiza concretamente una determinada idea de la realidad. Esta idea, sin embargo, tiene que ser impulsada por exigencias reales bien individualizadas y no por simple deseo de los organizadores.

Las precedentes observaciones, que pueden parecer simples y obvias, son al contrario de fundamental importancia para la sostenibilidad del proyecto. Todos los buenos proyectos de hecho nacen de un detallado análisis de las necesidades reales de las comunidades con las cuales se entra en relación.

En nuestro caso, el estímulo, al efectuar una propuesta de autodeterminación tecnológica nació con la exigencia de encontrar una solución ambiental y tecnológicamente sostenible para mejorar las condiciones higiénico - sanitarias de los pobladores del Páramo (en particular la de los niños). Además, para que la innovación tecnológica se difundiera fácilmente en el grupo destinatario, se pensó en utilizar la autoconstrucción como instrumento de libre circulación y participación, hacia una comunidad más consciente y horizontal.

## **Introducción**

El uso de la energía solar en Venezuela está muy poco desarrollado, a pesar de las grandes potencialidades que el clima y la latitud le otorgan. Sobre todo, la latitud ofrece condiciones meteorológicas muy buenas para la utilización de esta forma de energía. En Mérida, el valor de insolación está entre 1400 y 1800 kWh/mq por año (uno de los más altos del mundo), por un número de horas de sol diarias que va de 5 a 10 según los días. Esta gran ventaja natural puede contribuir a dar respuesta a la falta de agua caliente, para el consumo privado, en las habitaciones de las comunidades agrícolas montañosas poco desarrolladas.

En estas condiciones, un circuito solar auto construido permite cubrir el pequeño consumo de agua caliente necesaria para el sustentamiento de una familia, o de ahorrar el 80% de los gastos de energía para calentar el agua durante todo el año. De hecho, vista la ventaja de esta oportunidad que la tierra nos concede libremente, se necesita conocer la tecnología y manejar la técnica para poder aprovechar lo

máximo de la energía solar. La autoconstrucción de los paneles solares permite la realización de un sistema para calentar el agua, sin gastos de dinero, sin emisiones de gases y productos químicos, y de manera totalmente sostenible. En ese sentido es importante entender que la autoconstrucción, además de ser una práctica que facilita el acceso a la tecnología por su economicidad, es una costumbre que estimula la auto-organización, la conciencia de los ciudadanos y la comprensión del sistema que se va a utilizar en todas sus partes. Para lograr los objetivos enumerados y afrontar las faltas de las familias más pobres y aisladas nació el proyecto “Agua caliente desde el Sol” que prevé entre otras cosas la realización de varios talleres de formación sobre la tecnología solar dirigidos a la población de las comunidades de montaña. Se realizaron en los meses de noviembre y diciembre 2008, 3 talleres de autoconstrucción en una pequeña zona del Páramo venezolano cerca de Mucuchíes (Mérida). Las comunidades rurales de montaña interesadas fueron Mocao (panel construido en el Refugio Mitantí), Mixteque (instalación en la finca de Don Ramón) y Gavidia (colector dejado en la posada de Dulce y Rito), para un total de 4550 beneficiarios directos.

Nuestro deseo como promotores y realizadores fue incluir en el proyecto más comunidades del Páramo, pero la falta de recursos suficientes nos impuso limitarnos solo a estas tres. Los talleres organizados en el proyecto se desarrollaron en 2 días, presentaron una parte teórica y una práctica, terminando con la creación e instalación de un circuito solar térmico de 2 mq en un edificio civil y la distribución de atestados de participación.

El intento en estas jornadas fue otorgar los conocimientos básicos de la tecnología y dar la posibilidad a cualquier ciudadano interesado en construirse su propio panel solar:

- ▲ *Teoría y funcionamiento de un panel solar térmico.*
- ▲ Conocimientos básicos de elaboración, construcción e instalación de un colector solar.
- ▲ Realización del panel y del tanque de almacenamiento de agua.

Para dejar a los participantes y a todos los demás una herencia del curso decidimos entonces escribir un manual técnico, donde recogimos informaciones, indicaciones, reglas y consejos para aprovechar de la mejor forma la riqueza térmica del sol. Más adelante se estudiarán también esquemas básicos para la integración del sistema solar con el circuito hidráulico doméstico.

Objetivos

Objetivo General:

Contribuir a incrementar la calidad de vida de los pobladores del Páramo, mediante el mejoramiento de los servicios de agua caliente para uso doméstico, a través de paneles solares autoconstruidos.

Objetivos Específicos:

- ▲ Diseñar paneles solares autoconstruidos con materiales locales de bajo costo.
- ▲ Diseñar, promover y ejecutar talleres de autoconstrucción de paneles solares.

Beneficiarios

**Directos:** Los 20-25 participantes a los talleres de capacitación en cada comunidad. Se trata de 3 comunidades, por un total de 3 familias y 60-80 personas involucradas en los talleres.

**Indirectos:** Todos los habitantes de las Aldeas del Páramo del Municipio Rangel.

Comunidades de: Gavidia: 620, Mocao 775, Mixteque 080, Mitivivó 280: Total 1.755 personas.

Instituciones con las que se relaciona (si aplica)

Con la colaboración técnica y metodológica de CIRPS TpAA (Tecnologías para la Autonomía y el Ambiente) de Universidad de Roma "La Sapienza"

Cuerpo del artículo

1. Fundamentos de la tecnología

2.1 La energía inagotable

El sol está constituido por una enorme bola de gases incandescentes que cada día, nos otorga una gran cantidad de calor y nos permite vivir, cultivar, etc.

La parte del calor, es decir de energía, que incide contra la tierra cada día, alcanzaría para cubrir 10000 veces las necesidades de energía de todo el mundo. Pero esta gran cantidad de energía gratuita y limpia

no está aprovechada de manera inteligente. Por esto es importante introducir la costumbre de usar lo que la tierra nos da, sin agotarla con nuestras necesidades, y empezar a producir energía limpia.

Además, a diferencia de los otros países del mundo, Venezuela se encuentra cerca de la línea ecuatorial y por eso la cantidad de energía solar queda constante todo el año en vez de tener un pico en verano, cuando hay menos necesidad de calor. Esta particularidad nos facilita la fase del proyecto del colector y nos permite aprovechar la energía solar a lo máximo durante todo el año.

Antes de pasar a estudiar las diferentes partes de un circuito solar es importante hablar del procedimiento con el cual los rayos solares calientan el panel y fijar los conceptos básicos.

De hecho el aire en nuestro alrededor funciona como una capa de filtración que desvía los rayos que llegan del sol, captando una parte y reflejando otra.

Por eso es importante entender que la suma de los rayos que llegan a un plano orientado al azar, depende de la *exposición* y de la *inclinación*. Y es de estos dos factores que depende el funcionamiento de un panel solar.

## 2.2 El colector solar

Vamos ahora a entrar en un colector solar para estudiarlo desde adentro.

Un panel solar térmico transforma los rayos solares que llegan a la tierra en calor, transmitiendo este último al agua que pasa en los tubos en su interior. Está constituido por una parte absorbente y unos tubos de circulación interna, puestos en una caja de un material resistente cualquiera.

En nuestra experiencia se eligió madera tratada externamente con aceite quemado (para que resista más), porque es más económica y sencilla de encontrar en la zona. Además la madera, respecto a otro material, garantiza al colector solar un aislamiento térmico superior.

En general la parte absorbente está constituida por un metal, con buena conducción del calor (como el cobre o el aluminio) y con la capacidad de convertir lo más posible la radiación en calor. En el taller se utilizó lámina galvanizada porque es la más común y económica en el mercado local y, para los tubos, cobre de media pulgada.

El buen contacto entre la parte absorbente y el fluido que pasa en los tubos (que llamaremos fluido termo vector), maximizando la zona de contacto, permite el pasaje de calor y el transporte de este, en el tanque, listo para ser utilizado.

Para garantizar el contacto térmico adecuado generalmente se soldan las dos partes. Pero en nuestro caso (lámina galvanizada y tubos de cobre) no se pudo proceder de esta manera y se tuvo que remachar (utilizando unas agarraderas obtenidas de los recortes de la lamina galvanizada) el tubo sobre la lámina.

Finalmente para asegurar el máximo absorbitamiento posible se pintó de negro el colector realizado para que la porción de radiación solar reflejada sea mínima.

Nótese que para mejorar todo el proceso, el panel, internamente aislado con fibra de vidrio, permanece también cerrado en el frente con una cobertura transparente (en nuestro caso vidrio de 6mm), que sirve para el pasaje de los rayos y a no desperdiciar el calor que se crea en el interior del panel. Este último concepto del aislamiento es muy importante para el funcionamiento de un panel auto construido que no tiene la eficiencia certificada de un panel industrial.

### 2.3 El tanque de acumulación

Hemos visto que la parte absorbente en un colector solar es de primaria importancia para el correcto funcionamiento de todo el sistema. Igual no tenemos que olvidar que existe también otro elemento de fundamental importancia, es decir el Acumulador.

Esta parte sirve para solucionar el problema de la utilización del agua producida en la parte más calurosa del día. De hecho el momento en el cual los rayos del sol calientan el colector poniendo en movimiento el agua en los tubos en su interior y el tiempo en el cual alguien de la familia beneficiaria quiere ducharse, podrían no coincidir. De la diferencia temporal entre estos acontecimientos y de las necesidades diarias del usuario depende entonces el volumen del tanque de acumulación.

El acumulador funciona como un balde de agua de consumo fría (de la red), que se va calentando circulando en el tanque. La estratificación térmica de una parte del agua se determina también una estratificación térmica en el tanque.

Se ve claramente que la parte caliente del agua “flota” sobre la parte fría y esto porque la densidad de la primera es siempre menor que la del agua fría.

Gracias a este proceso se garantiza la circulación natural del fluido en los tubos del colector y se garantiza la elevada temperatura en el circuito, para el uso que se requiere (el punto donde se toma el agua caliente del tanque está puesto a la mitad de la altura del tanque y agarra agua en relación a la batiente).

La acumulación del agua puede ser llevada a cabo en varias maneras: poniendo el tanque en presión, garantizando una parte de aire interno (batiente hídrica) que funciona como amortiguador de altas presiones o estoqueando el agua caliente que se va a consumir directamente en el panel.

Por mayor seguridad y simpleza de realización se eligió, en las instalaciones de nuestra experiencia, no construir un acumulador en presión (completamente lleno de agua y sujeto a la presión de la red de distribución local). De hecho un tanque de este género tendría que ser de acero y tener una óptima resistencia (como una bombona para el gas), además el sistema no sería seguro con respecto a variaciones de presión determinadas por el aumento de temperatura y se tendría que poner un respiradero y una válvula de seguridad para que no explote.

Para lograr este objetivo en el agujero de llegada del agua de red pusimos un flotante que, a través de una cabuya y una boya, cerraba la entrada del agua fría.

El resultado fue un acumulador hecho con un pipote plástico cilíndrico de 150 litros con cuatro agujeros de entrada/salida, tapado y cerrado con silicón, aislado con lana de vidrio e impermeabilizado con plástico negro. La altura de la batiente máxima fue fijada a 120 litros, con 30 litros dejados para el aire como caja de expansión.

Sin embargo en la construcción del sistema, el acumulador puede ser implementado con cualquier tanque, balde o pipote a disposición, hecho de cualquier material, lo único que hay que tener en cuenta en la elección son algunas características que tiene que satisfacer para un correcto funcionamiento:

▲ Resistencia lateral a la presión del agua (determinada en nuestro caso solo por la altura de la batiente pero en general dependiente de la red de distribución).

▲ Cierre estaño con el exterior.

▲ Resistencia al estrés térmico (el acumulador pasa todos los días de 20° a 60°C).

▲ Perfecto aislamiento térmico con el exterior (coibentacion).

De lo dicho hasta ahora se entiende que, de los cuatros, el factor más importante de tener en cuenta para alcanzar un mejor rendimiento del sistema es el último, o sea el perfecto aislamiento e impermeabilización del tanque respecto al exterior.

De hecho si la coibentacion se moja pierde su capacidad de aislar y si el tanque no resulta aislado (la diferencia térmica entre el exterior e interior es de  $65^{\circ}$  y  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}\text{C}$ , respectivamente), se pierde todo el calor acumulado (el resultado más obvio de todo esto es que el agua de consumo resulta fría y el sistema no funciona).

#### 2.4 ¿Cómo funciona un circuito solar?

Un panel solar para calentar agua puede funcionar con una circulación hidráulica con bomba o con una circulación natural de los fluidos presentes en el sistema.

En circuitos con **bombas de circulación** el tanque puede encontrarse en cualquier lugar (casi siempre se instala en el interior de la habitación en la planta baja). La bomba se encarga de mandar el agua que se calienta en el panel al tanque y después a los usuarios. Son instalaciones más caras y consumen energía eléctrica aunque resulte más fácil diseñarlas.

En instalaciones con **circulación natural**, el fluido termo vector se mueve en los tubos por diferencia de densidad entre fluido caliente y frío sin poner energía de más y consumir electricidad. En este caso la posición del panel y del tanque depende de la gravedad: el panel tiene que estar debajo del tanque, porque el fluido termo vector se calienta en los tubos y sube porque es más liviano, acumulándose en el pipote. De la misma manera el fluido en el tanque, enfriándose, va bajando y va a volver a entrar en el circuito del panel.

Toda la estructura del tanque y panel tiene que encontrarse en un lugar alto, para imprimir al agua la suficiente energía (presión) para llegar a la canilla de distribución para ser utilizada.

Cada uno de los precedentes sistemas puede ser implementado a **circuito simple** o a **circuito doble**, en relación a la zona en la cual se instala el panel. De hecho si la temperatura del ambiente externo no baja nunca bajo los 0 grados (temperatura a la que se forma hielo) se puede utilizar el primer tipo, mientras

que si hace suficiente frío para helar el agua en el interior de los tubos, se necesita prever una solución con doble circuito (si no está garantizada una salida para el aumento de volumen del agua helada).

En los sistemas a circuito simple, el agua de consumo circula directamente en el panel y se almacena estratificándose en el tanque para ser utilizada.

Por el contrario, en un sistema a doble circuito los tubos del panel forman un circuito cerrado, sin ningún contacto entre los fluidos externos e internos; el colector está atravesado por una mezcla de agua y anticoagulante que calentándose, va a pasar (a través de un “intercambiador” interno al acumulador) el calor obtenido al agua en el tanque, que entonces queda calentándose en el tanque hasta ser utilizada. Es importante en este caso que los dos líquidos queden siempre divididos porque el anticoagulante contamina.

Por último se pueden diferenciar los sistemas con acumulación integrado y con tanque de acumulación externo.

Del segundo ya hemos largamente discutido antes, hablando de los colectores instalados en Mérida. El sistema con acumulación integrada en el panel prevé, por lo contrario que el agua fría permanezca en el colector y se vaya calentando, estratificando y almacenando allí.

El problema podría ser en este caso, representado por el volumen de agua a disposición del usuario cuando quiera ducharse (el volumen de los tubos es muy escaso). Es por eso que no se utilizan, en este caso, para construir el colector unos tubos de cobre de  $\frac{1}{2}$ ”, sino que se construye la parte absorbente a través del contacto lateral entre perfiles de metal rectangulares (en general lámina galvanizada de acero o aluminio) que disponen de una gran superficie superior para la irradiación solar y un volumen interesante para almacenar agua.

Por lo mencionado anteriormente queda claro que el sistema construido en los talleres en las comunidades de montaña de Mucuchíes son a circuito simple con circulación natural del fluido termo vector (agua de consumo) y tanque de acumulación externo.

## 2.5 Varias aplicaciones posibles

Los paneles que se pueden construir o comprar hoy en el mercado son sistemas seguros y garantizados con un rendimiento cierto.

La mayoría de estos son empleados en calefacción de agua sanitaria para uso en habitaciones privadas, donde el uso de agua caliente es menor y completamente fundamental.

Son igualmente posibles diferentes usos de la tecnología, como la calefacción de tanques para la truchicultura o la lombricultura (está estudiado, por ejemplo, que si estos animales viven y permanecen en aguas tibias pueden hasta duplicar el ciclo reproductivo, creciendo mejor y más rápido), o la utilización del agua caliente en estructuras turísticas.

De hecho las grandes necesidades de agua caliente en las estructuras de turismo se relacionan muy bien con la enorme cantidad de energía solar disponible cada día.

Además la creciente conciencia ambiental y la demanda cada vez mayor de turismo verde y responsable, son factores de estímulo para el uso de tal tecnología en este sector.

Por esta razón el proyecto “Agua Caliente desde el Sol” incluyó toda una serie de realidades locales (mucuposadas y pequeños productores agrícolas) que podrían conformar un interesante circuito de turismo realmente sostenible, útil para los turistas que puedan conocer de verdad la parte norte de la cordillera andina y para los nativos para mejorar sus estilos de vida, y recalificar las comunidades de montaña aisladas.

También se estudió el uso de los paneles solares en la agricultura que resulta para algunos cultivos muy interesante y económicamente rentable. En este sector la tecnología solar se pueden también usar para secar fruta y los productos agrícolas en general (como tabaco, cacao y leña) o para calentar los invernaderos.

### 3 Cálculos iniciales para diseñar un sistema térmico solar

Llegamos así a la parte más importante para cuantos quieran aprovechar la tecnología construyendo un panel en sus casas. Sin embargo no vamos en este capítulo a desarrollar complejos cálculos y fórmulas para encontrar las dimensiones correctas del sistema; no sería útil y saldría de los objetivos planteados. Vamos por lo contrario a dar algunas indicaciones generales y dimensiones estándar, útiles en fase de proyecto para orientarse; todos los demás problemas se dejarán al buen sentido común del usuario.

Hay que anticipar que en todo el mundo, para diseñar un pequeño circuito doméstico, se utilizan sólo fórmulas estándar, elaboradas después de largos estudios empíricos.

La primera cosa que hay que calcular es el consumo de agua caliente que se necesita en la habitación o en la familia, con el cual vamos a determinar, después de conocer la orientación del sitio, las dimensiones de todo el sistema (tanque, panel, etc.).

Además antes de una instalación es necesario verificar la factibilidad del proyecto y la posición del sitio (exposición a la luz, altura, temperatura). Todas estas características van a determinar el rendimiento del colector y por esta razón tienen que ser tomadas en cuenta desde el comienzo en el diseño del sistema.

La exposición y el número de horas de luz diaria son importantes para saber cómo va a funcionar nuestro panel, cuánta agua va a producir diariamente y para tomar en cuenta la posibilidad de hacer el colector más grande si llega poca energía y no alcanza para calentar suficientemente. La temperatura media externa, por lo contrario, sirve para determinar la oportunidad de hacer un sistema a circuito simple o doble.

Nos podríamos encontrar de hecho en un sitio, donde el sol calienta con luz directa solo un par de horas por día (por ejemplo un sitio muy sombreado) y esta condición nos impediría realizar el sistema, o podría hacer demasiado frío en el año y ser necesario prever más colectores y un doble circuito (además de un perfecto aislamiento térmico del acumulador). Este estudio inicial de la zona resulta siempre muy importante porque nos ayuda a entender la posición y la exposición del sitio.

Siguiendo siempre el buen sentido común del usuario unas simples preguntas pueden ser útiles para verificar la posibilidad de hacer una instalación en la propia habitación:

¿Dónde está el sur y cuántas horas de sol tengo en el día?

¿El área del techo alcanza para contener el colector o tengo que ponerlo en otro sitio?

¿El techo va a alcanzar el peso del sistema (sobre todo del acumulador) o es mejor ponerlo en el piso?

¿Necesito más agua caliente en verano, en invierno o constante en todo el año?

¿En qué momento del día necesito más el agua?

¿El lugar del panel está puesto en la sombra por algún árbol, edificio u otra cosa?

¿Qué circuito hidráulico tengo en casa y que sistema utilizo en este momento para producir agua caliente para el consumo doméstico?

En Venezuela en general por la latitud del país y la exposición, la mejor orientación del panel es hacia el Sur con una inclinación de la estructura que contiene el colector de  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  grados con respecto al plano horizontal.

Como es obvio cualquier objeto hacia el sur resulta ser el más expuesto a la luz solar, de hecho esta orientación garantiza un número máximo de horas diarias de sol. Si los paneles, siempre mirando hacia el sur, se exponen un poco hacia el este, se tendrá un sistema que funciona mejor en la mañana; al revés si se ponen los paneles un poco hacia el oeste el circuito trabajará mejor y capturará más energía en la tarde.

Por lo general si se quiere elegir también la inclinación del colector más adecuada, se puede calcular más o menos como la “latitud del sitio”  $+10^{\circ}$ .

Hemos entendido que el cálculo del área de los paneles es una operación simple, porque las necesidades de agua y la energía solar quedan constantes a lo largo de todo el año.

Por lo general, si no se dispone de las cantidades de agua consumida se puede considerar que las necesidades de agua caliente están alrededor de 20-40 litros por persona al día. Por lo contrario, si la estructura que monta el panel es una posada, un restaurante o un lugar que prepara almuerzos o cenas se tienen que agregar diariamente 10-20 litros por comida.

Hablando del área del colector solar estudios han mostrado que  $1\text{m}^2$  de panel auto construido produce en Venezuela, si la exposición es la mejor, 50-70 litros de agua caliente (se entiende a  $60^{\circ}$ - $65^{\circ}\text{C}$ ) por día.

Se pueden elegir las dimensiones preferidas para el colector, pero en general la unidad base que se toma para los paneles es el módulo  $2 \times 1$  m, o un valor múltiplo de este módulo, en relación a las necesidades de agua caliente.

Como hemos visto antes, el tanque de almacenamiento sirve para utilizar el agua caliente en horas de insolación, en otros momentos, también cuando no hay luz, en la tarde o en la noche.

Mientras más grande es el tanque más tiempo o más paneles se necesitan para calentarlo y más rápido se enfría. Pero almacenando más agua caliente permite quedar largos periodos sin sol y tener agua para ducharse (que se quedará caliente si el aislamiento funciona bien). Tanques más pequeños, conservan mejor el calor y se calientan más rápidos, el único problema es que se agotan rápidamente. Se eligió, en el caso de los cursos del Páramo, la segunda tipología de acumuladores, más simples de construir y de usar.

Para un correcto cálculo del volumen acumulado se estima que el tanque tendría que contener alrededor de 60-70 litros por mq de panel instalado (nosotros en el taller instalamos un panel de 2mq y un tanque de 120 litros). Se sabe con seguridad que la tercera parte de este volumen estará siempre lista y bien caliente para uso (a partir de las 12 del mediodía).

Dimensionar un sistema nos permite entonces decidir las medidas que deben tener los colectores, el tanque para el agua calentada y el circuito, teniendo bajo control ya desde el diseño todas las partes del panel y sus rendimientos.

#### 4 Autoconstrucción

Lo que nos falta ahora es analizar en detalle el procedimiento para la autoconstrucción de paneles. Porque ya hemos entendido que para pasar del deseo de utilizar agua caliente producida con paneles solares al momento en que nos duchamos, son necesarios varios pasos intermedios:

1. Análisis preliminar del sistema hídrico, del sitio, del territorio y de las necesidades del utilizador.
2. Proyecto del circuito solar con definición de las medidas de los paneles y de todos los demás componentes.
3. Compra de los materiales y organización de las herramientas.
4. Construcción de la caja del colector.
5. Realización del sistema hídrico y de almacenamiento:

▲ Preparación del tubo y de la lámina.

▲ Ensamblaje de la parte absorbente.

▲ Construcción del tanque.

1. Ensamblaje de todo el sistema y puesta en función.

2. Monitorización puntual del funcionamiento del colector y del circuito.

A seguir se muestran los listados de las herramientas necesarias para el taller y de los materiales con las correspondientes medidas, para realizar un panel de 2x1m con sistema de almacenamiento externo.

Estos listados nos serán útiles cuando vayamos a comprar todo el material antes de empezar la fase de autoconstrucción.

Como se puede notar el precio para cada instalación es de 1500 BsF más o menos, no teniendo en consideración los gastos para comprar las herramientas necesarias.

HERRAMIENTAS	NOTAS	CANTIDAD
1)Esmeril		1
2)Trompo		1
3)Soplete		1
4)Aros de goma - Tornillos – Clavos		varias
5)Dobla tubos		1
6)Remachadora	para varias medidas	1
7)SERRUCHO para madera		1

8)Serrucho metálico		1
9)Taladro		1
10)Set de puntas para el taladro	por madera y metal	1
11)Lima		1
12)Escoplo		1
13)Tijera para metal		1
14)Alicate		2
15)Extensión de cable con enchufes		varias
16)Martillo de carpintero		2
17)Destornilladores	de cruz y de paleta	varios
18)Cortatubos y Auyadora		1
19)Escuadra		1
20)Nivel		1
21)Metro		1
22)Marcadores negros		varios
23)Set de llaves		1
24)Brocha	se puede usar una vieja	2
25)Detergente-Espátula		

26)Esponja-Cepillo metálico		
27)Guantes plásticos	pares	6-7
28)Llave inglesa		2
29)Materiales varios de hidráulico y de carpintero		

MATERIALES PARA EL AUTO CONSTRUCCION	NOTAS	Nº UNIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL Año 2009
Tubo de cobre	1/2" (espesor 1mm)	15	15	225 Bs. F.
Lamina galvanizada calibre 22-24	1,4 x 2,1 m	1	79	79 Bs. F.
Asfalto liquido o Esmalte	color negro	1	25	25 Bs. F.
Paneles de aislamiento térmico (fibra de vidrio)	1,5x1m	6	15	90 Bs. F.
Panel de vidrio (6mm)	2x1 m	2	90	180 Bs. F.
Aislamiento térmico para tuberías (neopren)	1,8m	2	9	18 Bs. F.

Perfiles de fijación - Angulo (lamina)	6m	6	reciclado	0	Bs. F.
Partes Especiales (Flotante con Boya)	1/2"	1	59	59	Bs. F.
Nipples M-M con copas de bronce	1/2"	2	ver precio total	160	Bs. F.
Flancer o Conectores spud	reducciones a 1/2"	4			
Llave de chorro	1/2"	1	15	15	Bs. F.
Junta Dre	de 1" a 1/2"	1	25	25	Bs. F.
Llave de paso	1/2"	1	25	25	Bs. F.
Impermeabilización del tanque (plástico negro)	3x1m	4	20	80	Bs. F.
Fondo caja en machihembrado (1cm)	venta al metro cuadro	2	35	70	Bs. F.
Borde de la caja de madera	tablas 30x300 cm	1	90	90	Bs. F.
Manto asfáltico 3mm	2x1 m	1	20	20	Bs. F.
Tanque plástico con cierre (pipote)	150 Lt	1	140	140	Bs. F.

Parte estaña (tripas de gomas)	3x1800 cm	2	reciclado	0	Bs. F.
Remaches	1/8 - 1/16	200	0,1	20	Bs. F.
Agarraderas de lata	hechos con los recortes de lamina	100	0	0	Bs. F.
Tornillos autorroscantes (drywall)	de varias medidas	60	0,2	12	Bs. F.
Rollo de Teflón		1	10	10	Bs. F.
Teipe negro		2	7	14	Bs. F.
Cabuya				15	Bs. F.
Aceite quemado	para tratar la madera		reciclado	0	Bs. F.
Silicón trasparente + pistola		3	25	75	Bs. F.
<b>TOTAL</b>				<b>1447</b>	<b>Bs. F.</b>

Ahora estamos listos para empezar la verdadera autoconstrucción!!

Dividimos esta fase en tres momentos distintos:

### ▲ Fase de Autoconstrucción 1

#### Construcción de la caja del colector

En esa fase hay que poner atención en juntar bien la varias partes de madera, que tiene que quedar lo más cerrado posible. Se puede utilizar para obtener este resultado un poco de asfalto líquido o manto asfáltico.

Importante: usar solo vites autorroscantes y no clavos para pegar las diferentes partes de madera. Poner además tiras de goma (tripas de neumáticos) a lo largo de las conexiones de diferentes tablas para que la caja resulte aislada.

Practicar también un pequeño agujero en el borde bajo de la caja, para permitir al vapor que se forma por la humedad del aire salir.

### ▲ Fase de Autoconstrucción 2

#### Realización del sistema hídrico, del circuito solar y del acumulador

##### ▲ Preparación de tubo y lámina

Es muy importante no doblar el tubo cuando tratamos de hacer las curvas del colector. Esto se obtiene utilizando el dobla tubos muy despacio y moviéndolo gradualmente mientras que se hace la curva.

La lámina va recortada de las medidas justas para entrar en la caja de madera (la medidas externas de la caja son 203x103 cm y las dimensiones internas 197x97 cm). Después con los recortes de lámina se pueden realizar las agarraderas necesarias para poner los remaches.

##### ▲ Ensamblaje de la parte absorbente

Hay que poner mucha atención en el momento de juntar las dos partes (tubo y lámina) porque el contacto entre las dos, será lo que determinará el funcionamiento de todo el sistema.

Hemos visto que el contacto tendría que ser continuo a lo largo de todo el tubo pero en nuestro caso no pudo ser así. Visto que tendremos solo contactos puntuales será importante que estos contactos sean muchos y bien apretados.

Es muy importante acordarse siempre de limpiar, desgrasar y secar bien el colector antes de pintarlo para que el asfalto pegue bien (o en otro caso se pueden soldar las diferentes partes para que la barita pegue bien).

El asfalto líquido, usado para pintar de negro el colector, tiene que ser pasado lo más uniforme posible para reducir al mínimo la reflectividad de la superficie lisa y con ella la pérdida de energía.

#### ▲ Construcción de tanque y circuitos

Esta fase es muy importante y delicada, sobretodo en la parte de conexión entre tanque y partes hidráulicas.

Los agujeros hechos en el tanque plástico tienen que ser los más precisos posibles con respecto a las conexiones usadas.

El espacio entre el plástico y los conectores spud tiene que ser llenado de silicón térmico y esperar después que este pegue para proceder con el trabajo.

Recordar que la lana de vidrio es irritante y tiene que ser manejada sólo con guantes.

Para el tanque y para los tubos la coibentacion (aislamiento térmico) es muy importante.

#### ▲ Fase de Autoconstrucción 3

Ensamblaje de todo el sistema y puesta en funcionamiento

Prestar siempre la máxima atención cuando se maneja la lámina de vidrio que tiene que encajar bien en el borde hecho con el trompo sobre la caja (200x100 cm).

Cuando se pone el sistema en función hay que desairar bien el tanque antes de cerrar la llave de salida del agua. Esto se obtiene teniendo todas las salidas abiertas mientras el sistema se llena y cerrando la llave de salida alta (la que está destinada al agua caliente) hasta que desde esta empieza a salir agua.



Por último, una vez puesto en función el sistema, es importante prever un plano regular de monitorización del funcionamiento del colector y del circuito, para que el sistema solar implementado siga funcionando en el tiempo y siempre con los mismos rendimientos.

## **Resultados técnicos**

### Datos Técnicos Paneles Solares Auto-Construidos

Con el siguiente análisis se quiere demostrar, con datos experimentales y científicos, el regular funcionamiento del panel auto-construido en el proyecto “Autoconstrucción de Paneles Solares”.

Como se ha explicado en los talleres y evidenciado en las guías técnicas entregadas a los participantes las primeras indicaciones para la construcción del panel solar son la factibilidad del proyecto y el consumo que se quiere cubrir.

Los paneles construidos y en función demuestran la factibilidad del proyecto, ahora se quiere analizar y evaluar si el agua caliente del panel cubre el consumo calculado inicialmente.

Los datos experimentales han sido medidos, analizados y elaborados con el apoyo técnico del CIRPS, departamento de la Universidad de Roma “La Sapienza”.

### Materiales utilizados

- Mini-panel fotovoltaico: con su exposición al sol se obtiene un voltaje que crea un pase de corriente; usando los datos de tara (75mA – 1000W – 25°C) del mini-panel y conociendo la proporción directa que existe entre amperaje registrado y energía de la radiación solar se obtiene una medida suficientemente precisa de la energía solar disponible que pega en la superficie del panel.
- Tester digital: conectándolo a los polos del mini-panel se puede leer fácilmente en la pantalla el amperaje, debido a la radiación solar, que se registra en el mismo (valor máximo 200mA).
- Termómetro digital: utilizado para medir la temperatura de agua fría entrante, agua caliente obtenida con el panel y temperatura ambiente (-40 °C --- +150 °C con error de  $\pm 0,1$  °C).
- Computador portátil: para la elaboración de los datos ha sido necesaria la utilización de herramientas ofimáticas (Excel).

## Rendimiento

Es obvio que la cantidad de agua caliente necesaria no es igual cada día, de igual manera el horario de consumo no es el mismo diariamente; por este motivo el dato indispensable y más importante del panel es su RENDIMIENTO ( $\eta$ ), con este dato se puede suponer cualquier modalidad de consumo y calcular si el panel tiene la capacidad de cubrir este consumo.

El rendimiento de un panel solar depende principalmente de dos factores, la radiación que le pega y la diferencia de temperatura entre agua caliente producida y ambiente externo.

Técnicamente se usa la siguiente expresión:

OLE-object 

A y B son constantes del panel,  $T_c$  es el promedio de la temperatura del agua caliente,  $T_e$  es la temperatura externa, I es la energía de la radiación solar.

Por hipótesis calculamos lo que sucede en un día de sol y en un día de lluvia con datos promedios teóricos:

Condición meteorológica	$T_c - T_a$	I	$\eta$
Día de sol	20°C	1250 W/m <sup>2</sup>	A – 0,016*B
Día nublado	5°C	300 W/m <sup>2</sup>	A – 0,017*B

Podemos ver que el valor del rendimiento no ha cambiado notablemente, llegando a la conclusión que se puede considerar el rendimiento suficientemente constante, llegaremos al mismo resultado de otra manera.

Para los cálculos empíricos se ha usado la siguiente expresión del rendimiento:

OLE-object 

- A: área captante (2m<sup>2</sup> de lamina galvanizada)
- I: energía solar que pega en el panel.

Con el tester y el mini-panel se ha medido la energía solar que pega en la superficie del panel; se han tomado datos por un día de sol y por un día poco nublado. La siguiente expresión nos dice a que potencia de la radiación solar corresponde cada lectura de amperaje en el tester digital:

75 mA : 1000 W/m<sup>2</sup> = lectura amperaje tester (A) : potencia radiación solar (P)

OLE-object 

De potencia de la radiación a su correspondiente cantidad de energía (medida en joule, J) se ha usado:

OLE-object 

$\Delta t$ : tiempo en segundos

La lectura del amperaje ha sido tomada cada 5 minutos, por 8 horas (de 8:00 AM a 4:00 PM), por tal razón el cálculo de la energía disponible (en los 5 minutos) será:

$$I = P * 5 \text{ minutos} * 60 \text{ segundos} = J$$

La energía total diaria de la radiación solar será la suma de todos los valores tomados cada 5 minutos por 8 horas. La radiación solar disponible después de las 4:00 PM no ha sido tomada en cuenta porque la cantidad de insolación baja en la tarde (explicaremos más adelante las razones).

•Q: energía solar acumulada por el panel en forma de calor (agua caliente).

Para calcular el calor acumulado en el agua se ha vaciado el envase al final de las 8 horas (de 8:00 AM a 4:00 PM), midiendo la temperatura del agua caliente cada 15 segundos con el termómetro digital y calculando un media cada 10 litros de agua vaciados (la llave de chorro vacía el agua con una portada de 5 litros/minuto, quiere decir que los 10 litros se vacían en 2 minutos).

Por fin la energía acumulada por el agua en forma de calor se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = c * \Delta T * M$$

c: calor específico del agua, constante = 4,1868 OLE-object



$\Delta T$ : temperatura medida agua caliente – temperatura agua fría de la red hídrica

M: cantidad de agua en peso; 1 litro de agua = 1 kg

De esta manera se ha calculado el rendimiento empírico por un día de sol y un día medio nublado; se obtienen dos valores de rendimiento coincidentes.

$$\eta = 0,25 = 25\%$$

#### Incremento del promedio de la temperatura

Ahora, conociendo cuanto rinde el panel, cuanta cantidad de energía solar por m<sup>2</sup> es disponible en día de sol, medio nublado o completamente nublado (datos empíricos) y la superficie del panel (2 m<sup>2</sup>) se puede calcular la temperatura que tendrá el agua para cualquier tipo de consumo.

El consumo medio y óptimo, por el cual fue pensado el panel es el de una familia de 4 personas; suponiendo una ducha cada uno por día (25 litros por ducha es un consumo responsable) y un consumo de agua caliente en la cocina de 40 litros diarios (se supone a la hora del almuerzo) se llega a un consumo total de 140 litros; veamos algunos tipos de consumo y los respectivos incrementos de temperatura promedio que se obtienen (el incremento total se refiere a la condición que no haya habido consumo en todo el día), así como cada incremento medio de la temperatura se refiere a los 100 litros completos del envase:

Tipo de consumo 1	Incremento de la temperatura media del agua en día de sol	Incremento de la temperatura media del agua en día medio nublado	Incremento de la temperatura media del agua en día completamente nublado
11:00 AM	9,6 °C	7,9 °C	4,8 °C
1:00 PM	9,7 °C	4,7 °C	4,6 °C
4:00 PM	8,1 °C	8,4 °C	5,0 °C

Incremento total	27,4 °C	21,0 °C	14,4 °C

En este esquema podemos ver como el incremento de la temperatura media en la mañana es diferente al incremento de la temperatura media en la tarde, aun teniendo el mismo tiempo disponible para calentarse (3 horas); los datos experimentales demuestran que el día que nosotros consideramos de sol en realidad tiene un pase de nubes en la tarde, esto le disminuye la cantidad de energía solar disponible en ese horario y de consecuencia un incremento de temperatura media menor.

Para una mejor comprensión agregamos dos gráficos de los datos empíricos de la potencia de la radiación solar en el día de sol (se notan las potencias más bajas en la tarde) y en el día medio nublado en el cual el incremento de la temperatura media en la mañana y en la tarde es superior al incremento del mediodía (cielo más despejado en la mañana y en la tarde).

En algunos casos podríamos tener una mañana de sol con su respectivo incremento de la temperatura media (9,6 °C) y una tarde completamente nublada con su respectivo incremento de la temperatura media (5,0 °C).

Para simplificar cálculos vamos a considerar los datos promedios de la energía de la radiación solar disponible:

Tipo de día	Soleado	Medio nublado	Completamente nublado
Energía solar disponible por m <sup>2</sup>	24 MJ	18 MJ	9 MJ

Veamos algunos importantes detalles.

Estos son datos promedio en la zona del estado de Mérida, un día de fuerte sol puede llegar hasta 26 MJ de energía solar disponible (sobre todo en la zona del páramo, Mucuchíes y alrededores), así como un día medio nublado puede ser de 15 a 20 MJ según como este nublado; un día completamente nublado, por lo más oscuro que este, es difícil que llegue a menos de 2,4 MJ (en esta condición sería casi oscuro todo el día).

Un día soleado tiene un promedio de energía solar disponible de 24 MJ, pero la mayor parte de esta energía será disponible en el mediodía, cuando los rayos solares caen perpendicularmente en el panel, los aportes menores de estos 24 MJ serán en la mañana temprano (8:00 AM) y en la tarde (4:00).

En un día completamente nublado la distribución de la energía de la radiación solar es más equilibrada, esto pasa porque las nubes no permiten que la radiación llegue directa al panel, pues es la reflejada y difundida en la atmósfera la que llega al panel; por lo tanto la radiación que llega al panel es casi igual que sean la 8:00 AM o las 12:00 AM. El día medio nublado está entre estos dos casos.

Otra particularidad es que los paneles se encuentra en zonas de montaña, exactamente entre 2 cordilleras; esto en parte es una desventaja porque el “amanecer en el panel” es a las 8:00 AM, ósea se pierden 1,5 horas de radiación solar; en la tarde tenemos un fenómeno de desventaja parecido, pues la zona presenta una fuerte neblina casi todos los días después de las 4:00 o 5:00 PM; pues la parte de la radiación que pega al panel a esta hora es muy débil (los rayos no caen perpendicularmente, más la neblina, resultado: la energía solar es casi cero).

En el cálculo de los incrementos de temperatura hemos tenido en cuenta estos detalles.

Ahora ponemos algunos ejemplos de consumos de agua independientes de la modalidad de utilización:

Tipo de consumo 1	Incremento de la temperatura media del agua en día de sol	Incremento de la temperatura media del agua en día medio nublado	Incremento de la temperatura media del agua en día completamente nublado
11:00 AM	9,0 °C	6,2 °C	4,0 °C

1:00 PM	10,8 °C	7,2 °C	2,8 °C
4:00 PM	9,0 °C	6,2 °C	4,0 °C
Incremento total	28,8 °C	19,6 °C	10,8 °C

Tipo de consumo 2	Incremento de la temperatura media del agua en día de sol	Incremento de la temperatura media del agua en día medio nublado	Incremento de la temperatura media del agua en día completamente nublado
10:00 AM	6,2 °C	4,6 °C	2,7 °C
12:00 AM	8,1 °C	5,2 °C	2,7 °C
2:00 PM	8,1 °C	5,2 °C	2,7 °C
4:00 PM	6,2 °C	4,6 °C	2,7 °C
Incremento total	28,6 °C	19,6 °C	10,8 °C

Tipo de consumo 3	Incremento de la temperatura media del agua en día de sol	Incremento de la temperatura media del agua en día medio nublado	Incremento de la temperatura media del agua en día completamente nublado
12:00 AM	14,3 °C	9,8 °C	5,4 °C
4:00 PM	14,3 °C	9,8 °C	5,4 °C

Incremento total	28,6 °C	19,6 °C	10,8 °C

Tipo de consumo 4	Incremento de la temperatura media del agua en día de sol	Incremento de la temperatura media del agua en día medio nublado	Incremento de la temperatura media del agua en día completamente nublado
9:00 AM	3,0 °C	2,2 °C	1,3 °C
10:00 AM	3,3 °C	2,3 °C	1,3 °C
11:00 AM	3,6 °C	2,4 °C	1,4 °C
12:00 AM	4,4 °C	2,8 °C	1,4 °C
4:00 PM	14,3 °C	9,9 °C	5,4 °C
Incremento total	28,6 °C	19,6 °C	10,8 °C

Especifiquemos que se trata de incrementos promedio de la temperatura de todo el envase, ósea la cantidad de 100 litros de agua aumenta su temperatura de 3,0 °C a las 9:00 AM en un día de sol (ejemplo del tipo de consumo 4); si el agua fría al comienzo tiene una temperatura de 12 °C, tendremos a las 9:00 AM una temperatura promedio en el envase de 15 °C. Esta cantidad puede parecer muy baja, pero hay que tomar en cuenta el hecho que a las 9 de la mañana no vamos a usar los 100 litros del envase, podemos suponer que se utilizan 25 litros; estando la salida del agua caliente en la parte superior tendremos una temperatura promedio de los 25 litros mayor de 15 °C.

## Temperatura agua fría de entrada

Un dato muy importante es la temperatura del agua fría, este dato no es estable porque el agua de la red llega con tuberías externas, pues en la noche la temperatura del agua de red llega a 4 °C (puede llegar hasta 0°C ), mientras que con el sol del día tenemos temperaturas que llegan hasta 20 °C; ya a las 10:00 de la mañana tenemos una temperatura del agua “fría” de red de 15 °C si se trata de un día de sol.

En el siguiente gráfico podemos ver el comportamiento del agua fría en un día de sol (datos empíricos).

El promedio de la temperatura del agua de red en este día de sol es de 16 °C; tomaremos en los siguientes cálculos esta medida del promedio en los casos de día de sol; en otros días seguiremos el siguiente esquema:

Tipo de día	Soleado	Medio nublado	Completamente nublado
Promedio de la temperatura del agua fría de red	16 °C	13 °C	9 °C

## Temperatura máxima del agua caliente

Hemos visto como la temperatura del agua fría de red es variable y los tipos de consumo pueden ser infinitos por horario y cantidad de agua utilizada; conocemos los incrementos de la temperatura promedio del agua pero sabemos también que el agua en el envase esta estratificada (la más caliente en la parte de arriba, la más fría en la parte de abajo).

Conocer la temperatura máxima que se obtiene en el panel no siempre es posible, los factores más influyentes son la cantidad de energía solar disponible que pega en el panel (depende del día y del tiempo de exposición) y la temperatura inicial del agua en el envase.

Vamos a usar la siguiente expresión, obtenida con datos empíricos, para conocer aproximadamente la temperatura máxima del panel:

$$T_{\max} = a_0 + a_1 * I + T_{\text{agua fría}}$$

OLE-object  OLE-object   
 OLE-object  OLE-object  OLE-object  OLE-object  OLE-

Tipo de día	$T_{\max}$ (empírica)	$T_{\text{agua fría}}$ (empírica)	$T_{\max} - T_{\text{fría}} (f_i)$	I energía solar ( $x_i$ )
Soleado	50,0	14,1	35,9	22,90
Medio nublado	47,4	13	34,4	17,49

La formula es útil pero no fácilmente la podemos aplicar, la cantidad de energía solar disponible la podemos aproximar según si el día sea nublado o soleado; la temperatura del agua fría se refiere a la temperatura inicial del panel.

Poniendo un día de sol, a las 11:00 AM sabemos (por las tablas precedentes) que la temperatura promedio de los 100 litros es de 25 °C (16°C agua de red + 9 °C de incremento). Si utilizamos 25 litros la temperatura del agua en el envase cambia; los 25 litros extraídos serán los más calientes y el agua que entra de la red (25 litros) están por suposición a 16 °C (la temperatura real depende de la hora y de la exacta cantidad de radiación solar, en este caso también aproximada).

Hemos demostrado como la formula es obtenida empíricamente, pero se usan datos promedios y aproximados, por lo tanto también el resultado tiene que considerarse aproximado.

En las siguientes tablas hemos calculado la temperatura máxima y promedio en el envase que se obtienen con el tipo de consumo 1, que es el consumo que se puso por hipótesis en la fase de proyecto del panel; 50 litros para 2 duchas en la mañana, 40 litros para uso de cocina a la hora del almuerzo, 50 litros para otras 2 duchas en la tarde:

Tipo y cantidad de consumo 1	Hora de consumo	Temperatura máxima en día de sol	Temperatura máxima en día medio nublado	Temperatura máxima en día completamente nublado
50 litros	11:00 AM	47,6 °C	44,1 °C	39,4 °C
40 litros	1:00 PM	52,7 °C	47,4 °C	41,2 °C
50 litros	4:00 PM	56,7 °C	50,2 °C	41,4 °C

Tipo y cantidad de consumo 1	Hora de consumo	Promedio temperatura en día de sol 100 litros	Promedio temperatura en día medio nublado 100 litros	Promedio temperatura en día completamente nublado 100 litros
50 litros	11:00 AM	25,0 °C	19,2 °C	13,0 °C
40 litros	1:00 PM	31,2 °C	23,2 °C	13,8 °C
50 litros	4:00 PM	34,1 °C	25,3 °C	14,9 °C

Podemos ver que la temperatura máxima y la temperatura promedio son óptimas en un día de sol y medio nublado, un poco menos en un día completamente nublado.

Se debe considerar también que se obtiene la temperatura máxima en los primeros minutos de utilización para después ir bajando exponencialmente.

### Dispersión de calor

Todo el panel ha sido aislado térmicamente con varios materiales, silicón, fibra de vidrio, manto asfáltico, tiras de goma, pero la dispersión de calor es inevitable.

En el día el fenómeno se contiene, pues la temperatura externa no es muy baja, pero en la noche además de la baja temperatura externa no hay radiación solar que continúe el calentamiento.

Hemos usado la siguiente expresión para calcular la dispersión de calor en el panel auto-construido; así como las expresiones precedentes, ha sido obtenida con datos empíricos:

OLE-object



$\rho$  = densidad del agua, 1 OLE-object



$c$  = calor específico del agua, 4,1868 OLE-object



$V$  = volumen de agua, 100 l

$\Delta t$  = tiempo de enfriamiento en segundos

$T_i$  = temperatura inicial antes del enfriamiento, en kelvin; 316,15 K

$T_f$  = temperatura final después del enfriamiento, en kelvin; 314,25 K

$T_e$  = temperatura al externo durante el enfriamiento, promedio, en kelvin; 284,35 K

Con este indicador de dispersión podemos calcular la temperatura a la cual llegara el agua después de haber pasado toda la noche en el envase, obviamente esto depende de la temperatura inicial, de la temperatura externa y del tiempo que pasa:

OLE-object



En la siguiente tabla hemos calculado la  $T_f$  por un  $\Delta t$  de 12 horas (de 8:00 PM a 8:00 AM) por varios valores de temperatura inicial (60, 55, 50, 45... °C) y por varios valores de la temperatura externa (0, 5, 10, 15 °C).

$T_{inicial}$ (°C)	$T_{final}$ (°C)	
	$T_e = 0$ °C	$T_e = 5$ °C
60	41,5	43,0
55	38,0	39,5
50	34,5	36,1
45	31,1	32,6
40	27,6	29,2

35	24,2	25,7
30	20,7	22,3
25	17,3	18,8
20	13,8	15,4
15	10,4	11,9

La temperatura inicial y final empíricas se refieren al primer litro que sale del envase (se abre la llave de chorro por 12 segundos), igualmente la temperatura final que encontraremos a las 8:00 AM se refiere al primer litro, ósea coincide con la temperatura máxima.

## Conclusiones

Ante todo se quiere precisar que todas las fórmulas utilizadas en este informe técnico sirven como indicador aproximativo y no como dato cierto y exacto. Aun así podemos observar como el panel auto-construido cumple con las expectativas; la poca dispersión que existe en el envase nos asegura que se ha hecho un buen trabajo en el aislamiento del pipote, sin embargo se puede mejorar la auto-construcción de la caja y específicamente la superficie captante puede ser mejorada; pero el riesgo es que el precio total del panel aumente excesivamente y no sea al alcance de los destinatarios, perdiendo de esta manera el aspecto de sostenibilidad del proyecto.

Para un uso óptimo del panel sería necesario una conexión con un sistema auxiliar (calentador a gas o eléctrico) que mejore el servicio cuando el panel rinda mediocrementemente (5 o 6 días seguidos de lluvia no permitirían el regular funcionamiento del panel).

Las condiciones de radiación solar anuales en la zona de Mucuchíes nos garantizan un buen funcionamiento y buen servicio del panel.

## Agradecimiento

Por último, agradecemos la participación de Navor Balza (Cooperativa Caribana), Fabrizio Rama, Carlo Tacconelli y José Noriega de CIRPS - TpAA (Tecnologías para la Autonomía y el Ambiente), Universidad “La Sapienza” Roma, por su contribución en la ejecución y mejoramiento constante de este proyecto.

## Referencias bibliográficas

Cooperativa Kosmos - *Agua caliente desde el Sol: Paneles solares autoconstruidos. Manual de planificación y diseño* - Febrero 2004

Ambiente Italia, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien - *Manuale per l'autocostruzione di collettori solari* - Febbraio 2001

Ambiente Italia - *Impianti solari termici: Manuale per la progettazione e costruzione* - Versione 2.0, Gennaio 2002

L'isola che c'è - *Presentazione: Il Solare Termico e l'Autocostruzione dei Collettori Solari* – (<http://www.lisolachece.org>)

Rete per l'autocostruzione del solare termico - *Presentazione: Impianti, finanziamenti e pratiche edilizie*

P. Di Marco – *Presentazione: La utilizzazione dell' energia solare* –Dipartimento di Energetica, Università di Pisa

R. Battisti, A. Corrado, A. Micangeli – *Impianti solari termici: Acqua calda con l'energia solare* – collana “Energie“, Franco Muzzio Editore, 2005

Fondazione IDIS – *Solare termico: Guida per progettisti e installatori* –Città della scienza e ISES ITALIA, 2004

*Impianti solari termici: Manuale per la progettazione e la costruzione* – Ambiente Italia, Maggio 2003



N. Grillo – *Impianti termici alimentati da energia solare* – Geva Edizioni

S. Cimieri, R Lazzarin – *La progettazione degli impianti solari* – Franco Muzzio Editore, Padova 1982

J.A. Duffie, W.A. Beckman – *L'energia solare nelle applicazioni termiche* – Liguori Editore, Napoli 1978