

## **SISTEMA SOLAR DE CALENTAMIENTO DEL AGUA POR GOTEO PARA MEJORAR LOS HÁBITOS DE ASEO EN ESCUELAS RURALES.**

Ing. Herberth Pacheco De La Jara.  
Ing. Roger Alvarez Huamaní.

Las condiciones climatológicas en la zona alto andina ubicada a más de 3,500 msnm, caracterizada por el intenso frío impide adoptar el baño corporal, como una práctica cotidiana a nivel de las familias y especialmente de la población escolar. La temperatura en la sierra oscila alrededor de 10°C, factor importante que influye en una baja práctica para el aseo personal, por otra parte el precio alto de los combustibles y de la energía eléctrica así como de los aparatos convencionales de calentamiento del agua doméstica, dificultan la posibilidad a que el poblador rural cuente con este servicio y mucho menos la población infantil.



Fotografía N° 01: Vista panorámica del sistema instalado

Las acciones sobre higiene en las escuelas, se han orientado básicamente a conseguir que el lavado de manos sea la práctica más accesible, facilitada por la implementación de módulos sanitarios construidos en las instituciones educativas. Por esta razón, desde el Proyecto SANBASUR, se ha propiciado desarrollar nuevas experiencias para dotar de agua caliente a estos módulos utilizando la energía solar como fuente generadora de calor.

El presente artículo resume la experiencia en la investigación de una opción tecnológica adecuada a la zona rural en la sierra cuzqueña, para ser implementada en los módulos sanitarios de las instituciones educativas, facilitando de esta manera la educación para el aseo personal en los niños.

### **Aspectos generales:**

Dos de las enfermedades más comunes entre los niños en edad escolar son las enfermedades gastrointestinales y las enfermedades de la piel, estas se presentan en gran parte debido a una falta de higiene y aseo personal.

Todos los niños suelen ensuciarse con facilidad, los pequeños exploran su entorno y juegan con el barro, el agua, en el suelo ensuciándose y contaminando sus ropas y cuerpos durante su permanencia en el colegio, dándoles un mal aspecto debido a su mala higiene personal.

Para ayudar a los niños a establecer buenas costumbres en su higiene, es necesario hacerles sentir bien, inculcando el aseo personal mediante el baño frecuente, el cual reduce la posibilidad de contraer algunas enfermedades debidas a un deficiente saneamiento y elimina la suciedad en el cuerpo y, por tanto, el riesgo de absorber toxinas como puede ser el plomo, mejorando su autoestima y desarrollo escolar.

Por otra parte, en la sierra del Perú existe una insolación con una buena intensidad durante el día por ubicarse entre los 13° y 14° grados de latitud sur y altitudes entre 2,500 y 4,000 m.s.n.m., pudiendo aprovecharse al máximo esta energía, sin consumir gas o electricidad.

### **Antecedentes:**

Los sistemas con calentadores solares, en algunos casos no han sido adecuados para las condiciones de uso en los módulos sanitarios de las instituciones educativas, teniendo un costo aún alto para el medio rural, capacidades limitadas de producción de agua y algunas dificultades en su instalación, operación y mantenimiento, siendo muchas veces robados o deteriorados por el nivel de exposición en que se encuentran instalados.

Estos sistemas están compuestos por un colector solar plano, por donde circula el agua y permite capturar el calor, un termotanque, donde se almacena el agua caliente y un sistema de tuberías por donde el agua circula, mediante el efecto termosifónico, que provoca la circulación natural, sin necesidad de bombeo, mediante la diferencia de temperaturas entre el agua fría (más pesada) y el agua caliente (más ligera).

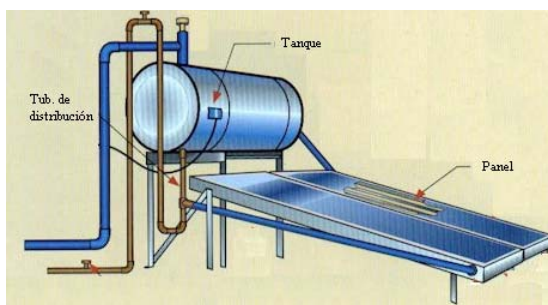


Imagen N° 01: Esquema de un calentador con panel y tanque

Las primeras experiencias en la investigación, han permitido constatar los efectos positivos referidos a la tenencia y uso de los servicios por los escolares y se evidenció la importancia de las duchas con agua caliente, como elemento fundamental para la adopción de comportamientos sanitarios en la población escolar.

Estas primeras experiencias, se desarrollaron en colaboración con la Asociación Comunidad en Vida, consistieron en la instalación de un sistema en serie de paneles solares armados artesanalmente, con paso de captación de calor solar para temperar el agua de uso sanitario, con una cubierta de vidrio y dimensiones de 24 cm de ancho, 240 cm de largo y 6 cm de espesor, conectados en serie con una tubería de 1/2".



Fotografía N° 02: Vista panorámica del sistema con paneles solares artesanales.

Estos paneles en serie (04 paneles por módulo), fueron diseñados para garantizar durante el período de insolación habitual, entre las diez de la mañana y las dos de la tarde, un flujo de agua suficiente para los fines de aseo en el colegio. Este suministro no contempló un mecanismo de amortiguamiento de la temperatura a través de un tanque de almacenamiento (termotanque) reduciendo de esta manera los costos.

Sin embargo, la experiencia con este sistema presentó algunos inconvenientes en el funcionamiento en zonas donde las heladas congelaron las tuberías con agua y

produjeron reventones en el sistema de circulación dentro de los paneles, teniendo que adecuarse la instalación para evitar que el agua permanezca estancada en la tubería durante las noches.

A partir de estas experiencias y buscando optimizar aún mas los costos y la eficiencia en el funcionamiento del sistema, se experimentó con una nueva opción tecnológica, que aproveche la cobertura del techo existente en estos módulos, es decir las planchas galvanizadas de calamina para poder transferir el calor.

### **Desarrollo de la experiencia:**

El diseño está previsto para aprovechar la energía solar al máximo posible para calentar el agua en el período escolar (marzo-diciembre); en la sierra tenemos una radiación solar intensa entre los meses de mayo a octubre, esto representa casi las dos terceras partes del período escolar, tiempo suficiente para implementar un sistema de calentadores instantáneos, utilizando la misma infraestructura de cobertura del módulo sanitario escolar.

El método utilizado en la investigación fue el experimental, realizándose distintas pruebas para optimizar el funcionamiento del calentador y así obtener un prototipo idóneo que satisfaga los objetivos esperados. Las técnicas empleadas correspondieron a una colecta de datos en base a la observación experimental, para su posterior procesamiento.

El principio básico utilizado en la idealización del modelo es la transferencia de calor, es decir cuando la radiación solar es absorbida por el sistema, se transforma en calor, o sea, se calienta, pero posteriormente éste se enfría cuando le pasa calor al fluido o agua en movimiento que lo rodea (por convección) y por la emisión al exterior (por irradiación). Esto influye a que el sistema dependa en su eficiencia directamente de la insolación al momento de su uso, sin embargo, está garantizado aún durante fases de nublado, un calentamiento del agua que la hace agradable para el aseo y baño corporal.

La temperatura media del agua fría en nuestra zona es de 15°C, se busca llegar a temperaturas superiores a los 28°C para incentivar el aseo corporal. Para iniciar la investigación se construyó un prototipo de techo, similar en cuanto a sus características tanto en materiales, geometría e instalación (pendientes), a los construidos en los módulos sanitarios pequeños de las instituciones educativas, con cobertura en base a planchas galvanizadas de zinc (calaminas), buscando obtener la máxima temperatura en el agua así como el mayor caudal posible durante las horas de insolación solar.



Fotografía N° 03: Muestreo de la temperatura

Previamente se diseñó un sistema que garantice una adecuada distribución del agua en la parte alta del techo, de tal manera que cada canaleta cuente con un abastecedor independiente a manera de goteo, para que posteriormente el agua recorra por cada hendidura en la plancha de calamina (canaleta). Para conseguir este dispositivo se instaló un alimentador principal con una tubería PVC SAP de ½”, a partir de la cual se instalaron alimentadores secundarios independientes para cada dos calaminas, haciendo coincidir el ingreso del agua mediante un orificio de 1 mm a cada canaleta, contando además este alimentador con una válvula esférica en PVC de control para regular y garantizar una distribución uniforme en el sistema.



Fotografía N° 04: Dispositivo de distribución

**Primera prueba:** Se hizo circular al agua directamente sobre el prototipo de calamina pintado de color negro con anticorrosivo, de tal manera que cada canaleta cuente con un pequeño chorro tipo goteo. Las mediciones de la temperatura se efectuaron en la parte baja una vez recolectado el fluido. Permitieron llegar a una temperatura inicial máxima de 34°C, luego de 10 minutos el sistema se enfrió, logrando calentar 40 litros de agua, cantidad suficiente para el baño de máximo unos dos niños, siendo este un resultado que no colmó las expectativas del diseño.



Fotografía N° 05: Primer prototipo

**Segunda prueba:** Se plantearon modificaciones al sistema para que el tiempo de recorrido de las gotas de agua en el techo sea mayor. Para lograr este objetivo se colocaron difusores de velocidad<sup>1</sup>, contruidos originalmente con tecknopor y colocados en las ranuras de la calamina a una distancia de 30 cm. Se obtuvieron temperaturas iniciales de 35°C, luego de 15 minutos la temperatura bajó a 20°C, mostrando valores mínimos, calentando 60 litros aproximadamente, cantidad suficiente para bañar máximo a 3 niños.



Fotografía N° 06: Segundo prototipo con difusores

**Tercera prueba:** Para esta prueba los difusores hechos de tecknopor con baja transmisibilidad térmica, fueron reemplazados por un material más económico y con mejores propiedades térmicas, fabricando difusores de mortero de arena y cemento (mezcla 1:2), pintados de negro, los mismos que fueron pegados en la plancha de calamina con silicona, espaciados en un primer momento cada 10 cm.

Adicionalmente, sabemos que para que un cuerpo se mantenga caliente, es necesario aislarlo para disminuir las pérdidas de calor, por lo cual se colocó un aislante térmico

---

<sup>1</sup> Dispositivos contruidos artesanalmente para represar el chorro de agua en la calamina para aumentar el tiempo de recorrido de la gota de agua en el techo y también aprovechar un mayor área de contacto entre la superficie caliente en la plancha de calamina y el agua que se desplaza.

debajo de las planchas de calamina, consistente en dos planchas de cartón prensado (el más grueso que existe en el mercado) y en la parte superior se ubicó vidrio semidoble, que por sus propiedades especiales es casi transparente a la radiación solar, tanto visible como infrarroja y sin embargo es opaco a la radiación infrarroja lejana que emite el cuerpo calentado, o sea, actúa como una trampa de calor, mediante el llamado efecto invernadero.

Se obtuvieron temperaturas iniciales de hasta 51°C, durante la media hora de funcionamiento y temperaturas mínimas de 28°C, hasta que el sistema se apagó.



Fotografía N° 07: Prototipo con difusores de tecnopor espaciados cada 10 cm



Fotografía N° 08: Prototipo con difusores de mortero de cemento espaciados cada 5 cm

**Cuarta prueba:** Las temperaturas alcanzadas en la anterior prueba confirmaron los buenos resultados, para optimizar aún más el sistema se realizaron variaciones en el espaciamiento de las presas (difusores) instalados en las planchas de calamina, llegando a una eficiencia óptima de separación de 5cm entre estos elementos como medida ideal, con lo cual se obtuvieron temperaturas que variaron entre 28°C y 50°C, durante las pruebas en gabinete, con una producción promedio de agua caliente de 2.5 lt/minuto, estando el sistema en funcionamiento permanente durante las horas de sol, de tal manera que el volumen total producido sería capaz de abastecer las necesidades de baño de hasta 40 niños.



Fotografía N° 09: Sistema de recolección del agua caliente

**Quinta prueba:** Con las características del último prototipo, se validó el modelo en campo, para lo cual se seleccionó un módulo sanitario pequeño en una comunidad cercana (CC de Chitapampa, Dist. Taray, Prov. Calca), en la cual se adaptó el sistema, obteniendo temperaturas entre 30°C y 45°, con una producción promedio de 2.15 lt/minuto, estando el sistema en funcionamiento permanente desde las 12:00 horas hasta las 14:45 p.m.

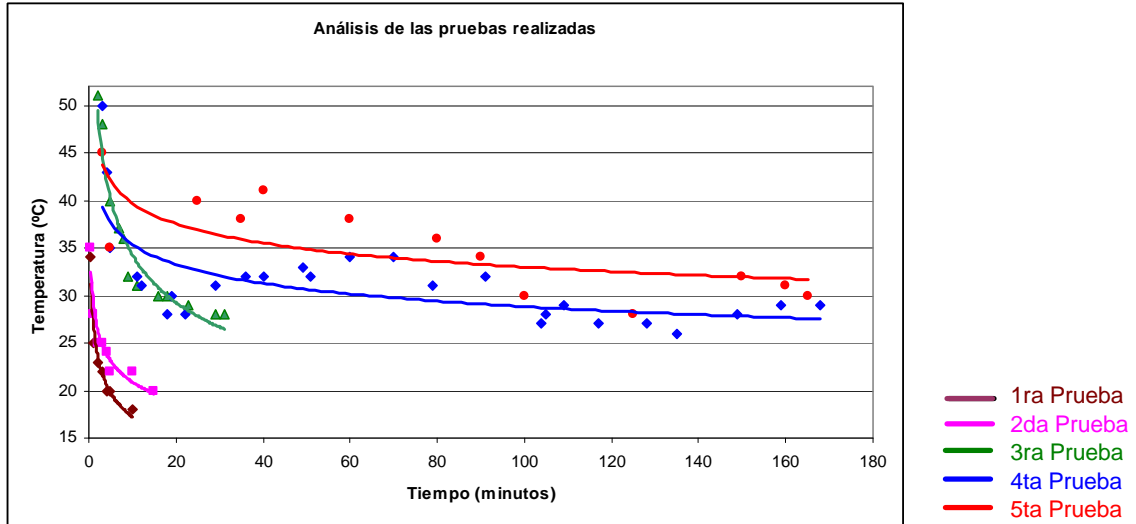


Fotografía N° 10: Recubrimiento de vidrio semidoble con unidades de 40cm\*40cm

### Análisis.

Para observar de mejor manera la variación de la temperatura del agua caliente, se tabularon los resultados y se realizó una regresión potencial, para estimar el comportamiento de la línea de tendencia del agua en el tiempo.

Se observa bastante aproximación entre los datos finales del prototipo en gabinete con la validación en campo, con lo cual consideramos que el sistema es apropiado y adaptable a las condiciones rurales, quitando el frío al agua y haciéndola agradable para el baño, así como por la producción de suficiente cantidad de agua caliente, la cual puede abastecer hasta a 40 niños por día, en condiciones de insolación normales.



A continuación se aprecian las principales variables y resultados entre el prototipo en gabinete y la validación en campo.

Parámetro	Gabinete	Campo
Área utilizada m <sup>2</sup>	10.08 m <sup>2</sup>	9.00 m <sup>2</sup>
Temperatura máxima (°C)	50 °C	45 °C
Temperatura mínima (°C)	26 °C	28 °C
Temperatura promedio (°C)	31 °C	35 °C
Rendimiento en lt/min	2.5 lt/min	2.15 lt/min
Rendimiento por área lt/hora/m <sup>2</sup>	14.88	14.33

### Costos:

Los materiales necesarios para instalar el sistema son los siguientes:

Cant.	Und	Descripción	P.U	Costo S/
10.00	Und	Listones de madera de 2"x2"x3'	5.00	50.00
30.00	Und	Cartón cartulina prensado N°12	3.00	90.00
1.00	Kg	Clavo para calamina	8.00	8.00
1.00	Kg	Clavo para madera de 3"	4.00	4.00
0.50	Kg	Clavo para madera de 1"	4.00	2.00
1/2	Gln	Pintura anticorrosivo color negro	35.00	17.50
2.00	Gln	Thinner y/o aguarrás	15.00	30.00
54.00	Und	Vidrio semidoble transparente de 0.40x0.40m	4.00	216.00
3.00	Und	Silicona color negro Sika	4.00	12.00
1.00	Und	Tubería PVC SAP C/R 1/2"	8.00	8.00
1.00	Und	Tubería PVC SAP S/R 1/2"	7.50	7.50
7.00	Und	Válvulas PVC Concysa 1/2"	7.00	49.00
5.00	Und	Cintas Teflón	2.00	10.00
2.00	Und	Tubería HIDRO 3 C/R 1/2"	12.00	24.00
3.00	Und	Codo HIDRO 3 C/R 1/2"	2.00	6.00
10.00	Und	Tapones PVC SAP C/R Hembra 1/2"	1.50	15.00
12.00	Und	Tee C/R (Interna) HIDRO 3 1/2"	2.00	24.00
2.00	Und	Unión Universal HIDRO 3 de 1/2"	3.00	6.00
1.00	Und	Tubería PVC SAP 2" C-7.5	25.00	25.00
1.00	Und	Tapón PVC SAP 2" S/R	4.00	4.00
1.00	Und	Codo PVC SAP 2" S/R	4.00	4.00
1.00	Und	Reducción PVC 2"-1/2"	4.00	4.00
2.00	Und	Lija para metal	3.00	6.00
1.00	Und	Cabezal de ducha tipo regadera	17.00	17.00
1.00	Glb	Presas hechizas de mortero	40.00	40.00
1.00	Und	Hoja de sierra sandflex	5.00	5.00

**TOTAL NUEVOS SOLES**

684.00

Considerando un pago por mano de obra calificada para la instalación de S/ 400.00, el monto total del calentador asciende a la suma de S/ 1,084.00 Nuevos soles.

### **Resultados:**

Esta experiencia ha permitido constatar los efectos positivos referidos a la tenencia y uso de estos servicios en la población escolar, algunos de los resultados obtenidos fueron:

- ✓ Los docentes han asumido el compromiso de promocionar el baño como una práctica de higiene personal en los niños y niñas, programando su realización por lo menos dos veces a la semana.
- ✓ Así mismo, las condiciones de higiene y salud de los niños y niñas, han mejorado notablemente desde que disponen de este servicio. En una muestra del 30% de la población escolar en una IIEE, se inspeccionó las condiciones de higiene de niños y niñas, el 85% se encontraban en buenas y muy buenas condiciones de higiene.
- ✓ Así mismo el baño total semanal, en esta población se incrementó de 0 a 1 vez, a 2 y 3 veces por semana.



Fotografía N° 11: Ducha en uso

### **Recomendaciones:**

Con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente se deberá tomar en cuenta algunas recomendaciones:

- ✓ La cobertura preparada debe orientarse preferentemente hacia la zona de máxima insolación durante el día, teniendo una inclinación no mayor de 22°.
- ✓ En el colocodo de las calaminas los orificios que dejan los clavos al ser instalados deberán ser perfectamente sellados, con la finalidad de que no produzcan filtraciones o goteras.
- ✓ Dado que las calaminas estarán expuestas constantemente a la humedad, para evitar que el pintado con anticorrosivo negro se descascare, es necesario quitar el galvanizado para conseguir una adecuada adherencia al momento del pintado, para ello se realiza una limpieza a estas planchas con una mezcla de ácido muriático y agua, previo al pintado de negro.
- ✓ Una vez ubicadas las calaminas se instalan los difusores tipo “presitas“, en la parte acanalada, espaciados a una distancia de 5 cm entre cada uno. Para fabricar estos difusores se utiliza como molde el acanalado de una plancha de calamina, una vez secos y desmoldados, se pintan de negro y se instalan, utilizando silicona.
- ✓ La altura de los difusores (presitas) deberá ser inferior al lomo superior de las canaletas en las planchas de calamina, dado que si ésta fuera mayor, el agua que circula por las canaletas rebalsaría y humedecería el vidrio quitándole eficiencia.
- ✓ La superficie del vidrio instalada por encima de las calaminas, deberá sobresalir en la parte baja del perímetro del techo por lo menos 5 cm, con la finalidad de evitar que el agua de lluvia ingrese al sistema.
- ✓ El dispositivo de ingreso del agua al sistema, se opera desde el grifo de la ducha a partir de una llave de control, de tal manera que el agua ingresa y es distribuida por la parte alta del techo y se desplaza hacia abajo calentándose, siendo recolectada por

una tubería seccionada a manera de canaleta de 2" y de allí se conecta a una tubería en PVC de ½" para agua caliente y luego directamente al cabezal de la ducha.

- ✓ De preferencia, todas las partes para la circulación del agua, serán construidas en material resistente al intemperismo y al calor, tuberías y accesorios para agua caliente (Hidro), pudiendo protegerse la tubería de ingreso y las válvulas de regulación con una pequeña cubierta de techo.
- ✓ El cabezal de la ducha debe ser del tipo regadera, es decir no estar diseñada para trabajar a presión, para facilitar un chorro adecuado al momento de su uso.
- ✓ En el caso de zonas con presencia de granizadas, se recomienda incrementar el espesor del vidrio y trabajar con unidades de menor tamaño.
- ✓ Se prevé la instalación de uniones universales en el dispositivo de distribución del agua para facilitar el mantenimiento o cuando se produzca atoros en los orificios de salida del agua. Como medida alternativa en zonas donde la calidad del agua no sea la adecuada y se tenga arrastre de gran cantidad de partículas como limos y arenas, es necesario adicionar un pequeño filtro al ingreso del agua en el módulo sanitario para evitar la obstrucción del sistema de goteo.
- ✓ Es necesario efectuar regularmente la limpieza de los vidrios, desde el exterior ya que estos con el tiempo van perdiendo transparencia por la suciedad del ambiente, quitándole eficiencia al sistema.

### **Conclusión.**

A partir de los resultados se evidencia la importancia de las duchas a energía solar como un elemento fundamental para la adopción de comportamientos sanitarios en la población escolar, respondiendo a las necesidades de los niños y niñas, docentes y familias rurales, para el logro de "competencias y aprendizajes" en saneamiento básico e higiene personal y ambiental, como son el desarrollo de habilidades, destrezas, actitudes y hábitos saludables, contribuyendo a la implementación del Programa Regional de Diversificación Curricular en Educación Sanitaria y Ambiental.



Fotografía N° 12: Ducha en uso

### **Bibliografía:**

Daniel Cabrera y Javier Gil. Sistemas Solares para el Calentamiento de Agua. PROPER y GTZ Bolivia, abril 1,996.

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales); Diseño del Sistema de Calentamiento Solar de Agua; 2003

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales); Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua; 2003

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales); Estimación de la Radiación Solar; 2003.

R. Siegel, J R Howell, Termal Radiation Transfer, McGraw Hill, Nueva York (1,981).