

SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

Miguel Tinajeros Salcedo – mtinajeros.s@gmail.com

Universidad Nacional de San Agustín - Escuela de Física

Federico Morante Trigo – federico.trigo@ufabc.edu.br

Universidad Federal del ABC - Centro de Ingeniería, Modelamiento y Ciencias Sociales Aplicadas

2. Conversión térmica de la energía solar

Resumen. *El mercado de calentamiento solar de agua viene creciendo desde la década del 80 en el Perú. Sin embargo, existe una falta de información sobre estudios de caso que evalúen la introducción de la tecnología termosolar en los domicilios. Para contribuir a reducir esta brecha, el presente trabajo describe el estado del arte de los calentadores solares de agua en la ciudad de Arequipa. Con la finalidad de constatar aspectos de la industria de equipamientos, expectativa y grado de satisfacción de los usuarios de esta tecnología en esta ciudad, se aplicaron cuestionarios a usuarios y fabricantes, lo que permitió levantar los principales factores favorables y desfavorables para su difusión y las características del mercado. En Arequipa, la disponibilidad elevada del recurso solar, las bajas temperaturas y la adherencia cultural en la utilización de la energía solar favorecen la diseminación del uso de los sistemas de calentamiento solar. Actualmente esta localidad dispone de veinte y cinco industrias de calentadores solares plano, que vienen realizando esfuerzos en la mejoría de sus productos y en la ampliación de sus aplicaciones. Los sectores atendidos por los fabricantes son principalmente el residencial, comercial y de servicios. También se pudo verificar que existe elevada satisfacción por parte de los usuarios debido a la reducción en el consumo de energía eléctrica para el calentamiento de agua.*

Palabras-claves: *Colectores solares, Calentamiento solar de agua, Introducción tecnología termosolar*

1. INTRODUCCION

Antecedentes

El Perú tiene una cultura energética arraigada en la utilización de combustibles fósiles. El precio de los combustibles tiene impuestos importantes, lo que hace atractivo la búsqueda de alternativas energéticas como la energía solar. No obstante, con el desarrollo del Proyecto Gasoducto Andino del Sur, previsto entrar en operación en 2014, cambiará el panorama energético en el sur del país. Uno de los posibles usos del gas natural en la ciudad de Arequipa sería el calentamiento de agua en los domicilios. Sin embargo, es posible que las tuberías de gas instalados a los domicilios no cubra toda la población de la ciudad.

En muchas ciudades del Perú, el uso de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar (SCAES) en los domicilios no es tan generalizado. Esto se debe a la falta de divulgación, carencia de una visión empresarial, barreras climatológicas, falta de incentivos y apoyo estatal. Evidentemente, hay zonas en el país donde estos equipos son conocidos, como Tacna, Puno, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Huancayo y algunas ciudades del norte. Sin embargo, se puede constatar que algunos fabricantes frustran las expectativas generadas con sus equipos, principalmente en razón de la utilización de materiales inadecuados o la desobediencia a las normas de fabricación. Así, acaban convirtiéndose en un gran obstáculo para la difusión de la tecnología solar térmica.

En el país, el uso de SCAES se da desde 1900 como sucedió por ejemplo, en Arequipa, donde fueron instalados los primeros sistemas solares residenciales para fines de higiene personal, lavado de ropa y utensilios. En esta localidad, en 1936, se construían calentadores solares de 250 litros de capacidad con colectores de 8 tubos y 6 m² de superficie. Estos primeros equipos, que son mostrados en la Fig. 1, fueron construidos e instalados por el Sr. Ernesto Barreda, cuya profesión era mecánico-electricista y a quien se puede considerar una persona de mucha experiencia en este campo (SCIF, 1962).

Planteamiento del Problema

En esta perspectiva de crecimiento de la demanda del uso de la energía solar térmica, asociado al hecho de ser una tecnología simple, ha incentivado el establecimiento de industrias de pequeño y mediano porte que fabrican y desarrollan SCAES. Así, en el mercado de esta ciudad se encuentra disponible colectores y tanques de almacenamiento, elaborados por diferentes industrias, que a su vez utilizan diferentes técnicas de fabricación. Sin embargo, sus características técnicas generalmente no son bien conocidas, debido a la no disponibilidad de un banco de pruebas para el estudio de su desempeño que sean capaces de dar a las industrias productoras información reales de sus productos.

La cantidad de calentadores solares instalados en Arequipa alcanza el 94% de todo el mercado nacional (Bustamante, 2002). En un estudio simple hecho entre los años del 2000 y 2001, se estimó la cantidad de 19040

calentadores vendidos (Flores, 2001). No obstante, algunas investigaciones indican que en la ciudad existen aproximadamente más de 35000 calentadores instalados.



Figura – 1 Calentador solar de 250 litros construido por el Sr. Ernesto Barreda.

Hipótesis

En frente a todos estos hechos, un estudio sistemático de la tecnología termosolar podría responder preguntas como:

- ¿Cuál es la situación actual de la energía solar térmica en Arequipa?
 - ¿Cuál fue el factor más importante para la difusión del uso de los SCAES en la ciudad de Arequipa?
 - ¿En qué estado se encuentra la tecnología de calentadores solares en la ciudad de Arequipa?
 - ¿La calidad de estos sistemas esta dentro de los padrones técnicos aceptables?
- La búsqueda de respuestas a tales preguntas constituye la base motivadora del presente trabajo.

Objetivos

Objetivo General

Estudiar la introducción, difusión y aceptación de la tecnología solar térmica en la ciudad de Arequipa, a través del análisis del estado del arte de esta tecnología y de las diversas etapas de la cadena productiva.

Objetivos Específicos

- Realizar actividades de campo con la finalidad de constatar aspectos de la industria de equipamientos, expectativa y grado de satisfacción de los usuarios de la tecnología solar térmica en la ciudad de Arequipa.
- Levantar los principales factores favorables y desfavorables para la difusión de la tecnología solar térmica y las características del mercado.
- Implementar un banco de pruebas de desempeño de colectores solares planos y describir las normas y/o procedimientos experimentales básicos para caracterizar la curva de eficiencia instantánea.

Metodología

El trabajo de investigación tuvo su inicio con la elaboración de cuestionarios para usuarios y fabricantes de SCAES. Se realizó un levantamiento *in situ* de las empresas fabricantes establecidas en la ciudad. Fueron identificadas 25 empresas, de las cuales 80% acepto responder a la encuesta.

En el caso de los usuarios de esta tecnología el tamaño de la muestra fue de 600 familias; mayormente pertenecientes a los alumnos del quinto año de las distintas áreas de la Universidad Nacional de San Agustín, que poseían un calentador solar en sus domicilios. Esto facilitó la obtención de información de la esfera familiar, consumo energético, hábitos de consumo, aspectos socio-económicos y culturales, entre otras variables importantes. Como parte de la metodología, también fueron efectuadas visitas a barrios y casas donde se utilizan estos sistemas de calentamiento de agua.

Para promover el análisis periódico de los colectores solares existentes o en desarrollo en el mercado, fue montado un banco de pruebas de bajo costo, construido a partir de equipamientos y sensores disponibles en el mercado peruano. El montaje y experimentos en el banco de pruebas fueron realizados en la Escuela de Física de la Universidad Nacional de San Agustín.

2. LOCALIZACIÓN Y CLIMA DE AREQUIPA

La ciudad de Arequipa se localiza a 1200 Km al sur de Lima, a 2363 metros de altitud. La ubicación de su centro histórico, se encuentran entre las coordenadas geográficas 16°24'17" S y 71°32'09" E. La población estimada en el censo realizado en el año 2007 fue de 864, 250 habitantes, de los cuales 95% se encuentra en el sector urbano.

Su clima es seco y con escasa nubosidad. Son 300 días de cielo claro al año, con 11 horas de irradiación. En la Fig. 2 se observa la irradiancia en junio del 2000. La irradiancia global promedio diario anual en plano horizontal es de 6.27 kWh/m² (Flores, 2001). La temperatura promedio es 21°C. Durante el día el aire es seco y caliente. En las noches, principalmente en los meses de mayo, junio y julio, la temperatura desciende a 8°C.

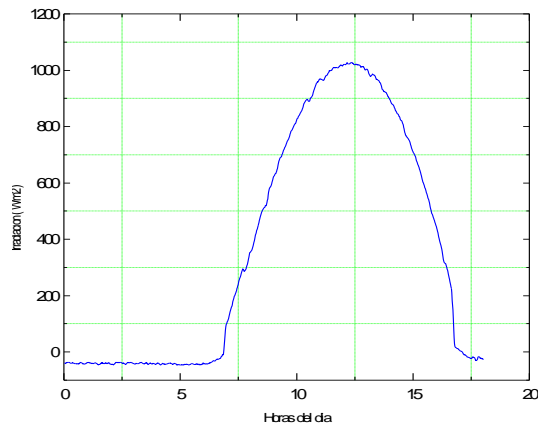


Figura - 2 Irradiancia global en el plano horizontal en Arequipa.

3. INSERCIÓN DE LA FUENTE SOLAR TÉRMICA

El aprovechamiento de la energía solar térmica en la ciudad de Arequipa se dio desde las culturas preincas y se intensificó con la llegada de los españoles en 1534 d.C. Ya en las culturas precolombinas se calentaba el agua en tazones y cajas hechas de arcilla y piedra. El solo hecho de colocarlos al Sol significaba tener agua caliente. Otro uso muy difundido fue el secado de alimentos (cereales, carnes, pescado y algunos vegetales), que tradicionalmente se realizaba con la exposición al Sol. Este uso directo de la energía es aún realizado.

Actualmente, como se observa en la Fig. 3 se continúan dejando depósitos de agua, los cuales simplemente colocados en lugares soleados manifiestan su disponibilidad de agua caliente durante prácticamente todo el año. La verdad, todos estos procedimientos tradicionales acabaron contribuyendo para la generación de una cultura de aprovechamiento de la energía solar en Arequipa, lo cual permitió la aceptación inmediata de la población, una vez insertada la tecnología solar.



Figura - 3 Envases de gaseosas hechos de PET y lavador conteniendo agua expuestos al Sol.

4. DIFUSIÓN

4.1 Los SCAES de la ciudad de Arequipa

En el país, la práctica de calentamiento de agua a través de calentadores solares de agua se da desde el inicio del siglo pasado. El antiguo Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas (ITINTEC) y algunas universidades nacionales llevaron en cuenta esta experiencia, desarrollando en los primeros años de la década de los ochenta los SCAES, destinada al pre-calentamiento de agua para consumo humano y de pequeñas industrias. En la

realidad, el programa del ITINTEC consistió en la instalación de prototipos en diversas regiones del país, además de la publicación de manuales de construcción artesanal de calentadores solares (Oliveros, 1990).

Sin embargo, el mayor impacto del trabajo realizado por el ITINTEC sucedió en la ciudad de Arequipa, al comienzo de la década de 1980, cuando la licencia de construcción de estos sistemas fueron adquiridos por la empresa ENERSOL, convirtiéndose responsable por su venta y fabricación industrial en esta ciudad. Actualmente se dispone de una gran industria de calentadores solares planos, que vienen evolucionando en su diseño y aplicaciones.

4.2 El consumo de energía en el sector residencial, comercial y de servicios

En 1998, el consumo total en energía útil del sector residencial fue de 2361 TJ, que corresponde el 37,0% del total del consumo de la región. En el área urbana existe mayor participación de las fuentes solar, kerosene, electricidad y GLP, mientras que en el área rural predomina el uso de la leña. La energía solar térmica tiene 27.7% de participación en el consumo de energía útil del sector residencial.

El sector comercial y de servicios representa 2,7% del consumo de energía útil, lo que equivale a 174,7 TJ, entre las actividades mas importantes están hospitales, colegios, restaurantes, hoteles y empresas comerciales. Siendo 43,4% la participación de la energía solar. La estructura de participación de ambos sectores por fuentes de energía útil es mostrada en la Fig. 4.

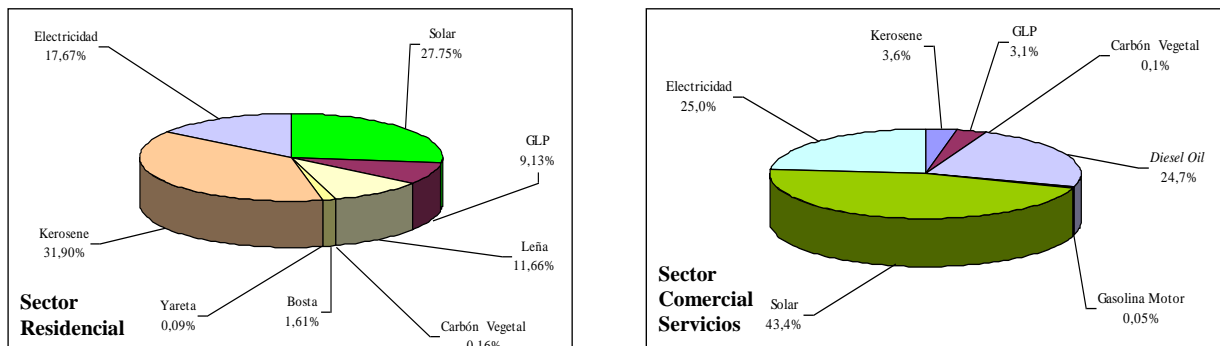


Figura - 4 Consumo de Energía Útil-Estructura de Participación por fuentes en el sector residencial y comercial y de servicios.

5. ADOPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

5.1 Uso de la energía solar en Arequipa

Su aplicación se da en los sectores residencial, comercial y de servicios. En visita a diversas instalaciones, se constató la predominancia de SCAES por termosifón. A partir de las investigaciones realizadas en campo, a través de cuestionarios y visitas a los fabricantes, se pudo verificar que cerca del 94% del mercado de Arequipa para el calentamiento de agua a baja temperatura, se concentra en el sector residencial; los sectores comercial y de servicios cuentan con el 5,5%. Su aplicación en el sector residencial tiene por finalidad el calentamiento de agua para fines sanitarios, en el intervalo de 40°C a 65°C. En la Fig. 5 se observa un barrio residencial con gran número de SCAES.



Figura - 5 Calentadores solares de agua en el sector residencial de Arequipa.

El sector comercial y de servicios es el segundo mejor mercado para aplicación, todo el consumo de agua caliente en este sector se realiza por debajo de 60°C y se destina para el uso en cocinas y baños. Este consumo ocurre en escuelas, hospitales, restaurantes, comedores, clubes, piscinas y hoteles. En la Fig. 6, se muestra el uso de calentadores solares en hospitales y hoteles.

El sector industrial representa el 0.5%, y la utilización de agua caliente esta destinado a los baños de los trabajadores, al final de los turnos de trabajo y el lavado de vajilla en los comedores.



Figura - 6 Calentadores solares de agua en emergencia del hospital Goyoneche y en el sector hotelero de Arequipa.

5.2 Fabricación y comercialización

En cuanto a los fabricantes de SCAES de la ciudad, la investigación realizada indica que es posible distinguir hasta dos subsectores formales que se dedican a la fabricación y comercialización de estos equipamientos: a) *sector formal parcialmente dedicado*, son empresas dedicadas generalmente a la fabricación de estructuras metálicas (puertas, ventanas y servicios en general). Como parte de su producción también elaboran calentadores solares, los cuales son exhibidos y vendidos en el mismo taller, en la Fig. 7 se muestra este sector. b) *sector formal totalmente dedicado*, son empresas que se dedican exclusivamente a la fabricación de calentadores solares; la exhibición y venta se efectúa en tiendas. Este último sector representa 92% de las empresas consultadas.



Figura 7 - Venta y fabricación de calentadores solares en el sector formal parcialmente dedicado.

En promedio estas empresas están actuando en el área de calentamiento solar de agua hace diecisiete años, siendo que muchas de ellas iniciaron sus actividades con la producción de estructuras metálicas y prestación de servicios, pasando después a la producción exclusiva de calentadores solares. El capital social declarado por algunas de las empresas encuestadas varía entre US\$ 5000,00 y US\$ 100000,00. El número de empleos directos generados está en torno de 5 por empresa, apenas cinco empresas declararon la tercerización de su producción.

En cuanto a las dificultades para el desarrollo, todas las empresas manifestaron la falta de incentivo gubernamental y la poca divulgación de la tecnología. No mantienen ningún contacto con propuestas de desarrollo y solamente

recibieron información técnica a través de seminarios esporádicos del Programa de Ahorro de Energía (P.A.E.) del Ministerio de Energía y Minas y de algunas universidades del país.

La mayor parte de la comercialización es realizada en la región de Arequipa. Sin embargo, seis empresas venden para las regiones de Tacna, Moquegua, Puno, Cuzco, Apurímac, Junín, Ayacucho, Ancash y Cajamarca. Generalmente la venta se da al contado y plazos en Soles y dólares.

5.3 Investigación de la satisfacción en la utilización de equipamientos solares térmicos

Los resultados de los cuestionarios muestran elevada satisfacción por parte de los usuarios, fundamentalmente debido a la reducción del consumo de energía eléctrica. De acuerdo con los datos obtenidos, se pudo verificar que el gasto de energía eléctrica, de prácticamente todas las residencias atendidas por los calentadores solares disminuyó.

Por ejemplo, para el caso de una familia que substituyó una ducha eléctrica por un calentador solar de 120 litros y cuyo costo fue de US\$ 695.00. Se puede observar en la Fig.8 que hubo una reducción del consumo de energía eléctrica de 225 kWh/mes a 185 kWh/mes aproximadamente. Cabe mencionar que el calentador solar fue instalado en el mes de enero y por el desfase entre la lectura del aparato y la emisión del recibo por la Sociedad Eléctrica de Arequipa Ltda, el consumo de ese mes se ve reflejada en febrero. También se ha demostrado a través del análisis de ingeniería económica, que 2,5 años es el tiempo de recuperación de la inversión de un calentador solar de 180 litros, cuando comparamos con el costo de electricidad utilizada para calentar el mismo volumen de agua.(Tinajeros, 2009).

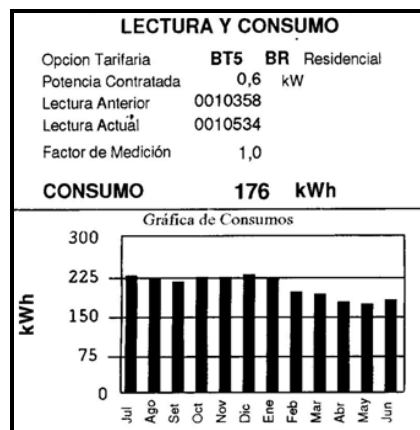


Figura - 8 Consumo de energía eléctrica de una familia.

5.4 Consideraciones generales de los usuarios de la tecnología solar térmica

La frecuencia de baños se sitúa entre 4 y 5 veces por semana, de hecho la tradición, condiciones climáticas y componentes económicas afectan fuertemente la frecuencia. Entretanto este aspecto precisa de un estudio mas profundo y una muestra de mayor porte. Otros datos verificados muestran que la mayor cantidad de baños calientes ocurren en la mañana, entre las 6 y 9 horas, con mayor frecuencia de 7 a 8 horas. Además, son de 3 a 4 personas en promedio que utilizan el calentador solar en una residencia, siendo la motivación principal para su uso el ahorro de electricidad.

Otra información importante de la investigación es la mayoritaria presencia de SCAES en los barrios de mediano y alto poder adquisitivo. La mayoría de los propietarios escogió instalar un calentador solar por recomendación de un amigo o familiar.

6. EVALUACIÓN

6.1 Estado del arte de los colectores para calentamiento de agua en la ciudad de Arequipa

Características técnicas actuales de los sistemas de calentamiento solar en Arequipa.

El colector solar de placa plana metálica es la más usada en esta ciudad. En la Fig. 9 se puede observar que está constituida por el absorbedor, caja, cobertura y aislamiento. Este tipo de colector representa cerca del 97% del mercado actual. La producción de colectores de mediana temperatura alcanza los 650 m²/mes. Actualmente en el mercado de Arequipa, se encuentra muy difundido los SCAES con las siguientes características de sus componentes:

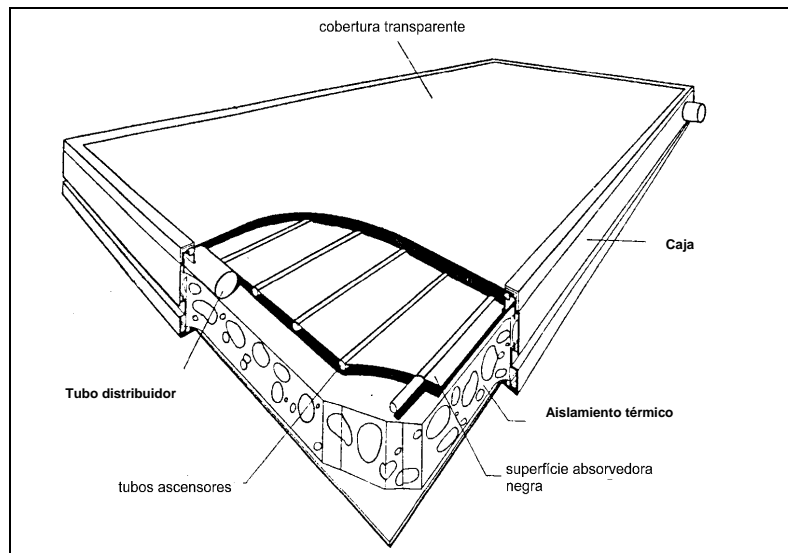


Figura - 9 Componentes de un colector plano para calentamiento solar de agua. (Norton, 1991)

- *Absorbedor.* En las visitas a los diversos fabricantes se observó, que la unión placa-tubo, en los modelos fierro galvanizado-cobre y aluminio-cobre la unión es realizada en su mayoría, por el proceso mecánico de estampado, de esta forma se facilita la soldadura tubo-placa. En la unión fierro galvanizado-cobre es realizada fijando el tubo en la placa con amarres de alambre. Algunos fabricantes no hacen la unión placa-tubo por el sistema de soldadura continua, pero si por punto. En todos los modelos, la unión de los tubos de distribución (cobre rígido, tipo L) se realiza con soldadura de bronce. Las superficies absorbedoras no son selectivas pero si recubiertas con pintura negro mate.

- *Cobertura.* El vidrio de 4 mm de espesor es el más empleado y suficiente para resistir las condiciones climáticas de la región.

- *Aislamiento.* La mayor parte de fabricantes utiliza las espumas de poliuretano y pocas lana de vidrio, que son ubicadas en las laterales y parte baja de la caja, protegiendo de la humedad y el frio.

- *Caja.* La función de la caja del colector es contener todo el conjunto y asegurar la impermeabilidad. La mayoría de los colectores solares utiliza el aluminio anodizado, resistente a la oxidación, de 1,0 mm de espesor. La placa de la base es Nordex, fabricado con fibras de madera prensada a alta temperatura y de gran resistencia a la humedad.

- *Tanque.* La mayoría de los tanques de almacenamiento de agua caliente son formados por dos recipientes cilíndricos concéntricos de acero inoxidable DIN 1.4301. Es construida de tal forma que el tanque interno se mantiene alejado 6,7 cm en las laterales y las partes superior-inferior. Este espacio es relleno con poliuretano de alta densidad 68,00 mm. El recipiente externo es construido de acero inoxidable DIN 1.4016. La mayoría de fabricantes utiliza la fibra de vidrio como tapas del tanque.

- *Red de distribución.* Del sistema de calentamiento hasta los puntos de consumo de agua caliente, existe una red de distribución constituida por una parte externa y otra empotrada en las paredes de la residencia. Antiguamente fueron utilizadas tuberías de fierro galvanizado. En la actualidad se utilizan las tuberías del tipo Hidro3. La unión del circuito hidráulico en el baño, generalmente permite mezclar agua caliente y fría. Los usuarios que cambian la ducha eléctrica por el calentador solar, utilizan generalmente la red de distribución de agua caliente existente y como la ducha eléctrica tiene un circuito eléctrico independiente, esta puede ser utilizada como *back-up* en días nublados.

Desde el año 2000, en el mercado arequipeño, se vende los calentadores solares de tubos al vacío (CSTV) y que son importados de China. Los colectores están compuestos de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno contiene un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro) que recoge la energía solar y la transfiere a un fluido calo-portador. Debido a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura. Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. El termo tanque está fabricado en acero inoxidable. La producción actual de colectores de alta temperatura es de 91 m²/mes. En la Fig. 10 se presenta sus componentes.



Figura - 10 Componentes del calentador solar de tubos al vacío.

Actualmente una empresa local fabrica el Calentador Solar Compacto, donde tanque y panel colector están unidos internamente. El colector tiene tubos de cobre y una placa colectora de aluminio doblada en forma de omega (permite mejor eficiencia de transferencia del calor al agua). El tanque interno de almacenamiento es despresurizado y está construido a partir de resina poliéster reforzado en fibra de vidrio, evitando por tanto su oxidación. El tanque externo es fabricado de fibra de vidrio y está revestido con lámina de acero inoxidable, permitiendo mayor resistencia a la intemperie. El aislamiento del tanque es realizado con poliestireno expandido. En la Fig. 11 se muestra este tipo de calentador solar.



Figura - 11 Calentador solar compacto.

En la ciudad de Arequipa también se comercializa el colector de polipropileno negro de alta densidad, empleado para la climatización de piscinas. El colector tiene aditivos especiales en su composición interna que le preservan contra la radiación ultravioleta del Sol, inclemencias del tiempo, químicos agresivos y ambientes corrosivos. Proporcionan temperaturas hasta 45°C y es de fácil instalación, adaptable a techos curvos, inclinados y planos debido a su flexibilidad. Para un funcionamiento totalmente automático se disponen de reguladores térmicos diferenciales, que controlan-comparan la temperatura de los colectores y piscina, para accionar la bomba del sistema hidráulico. De esta forma, la energía térmica captada por los colectores es transferida al agua de la piscina. Los paneles se obtienen en diferentes medidas con el fin de calentar un amplio número de volúmenes de agua. Es aproximadamente 50% más económico que cualquier colector plano convencional con cubierta de vidrio y aislamiento, no precisa de mantenimiento, su vida de trabajo es 25 años y la instalación es sencilla, mediante tubería de PVC. En la Fig. 12 se observa los diferentes secciones del colector.

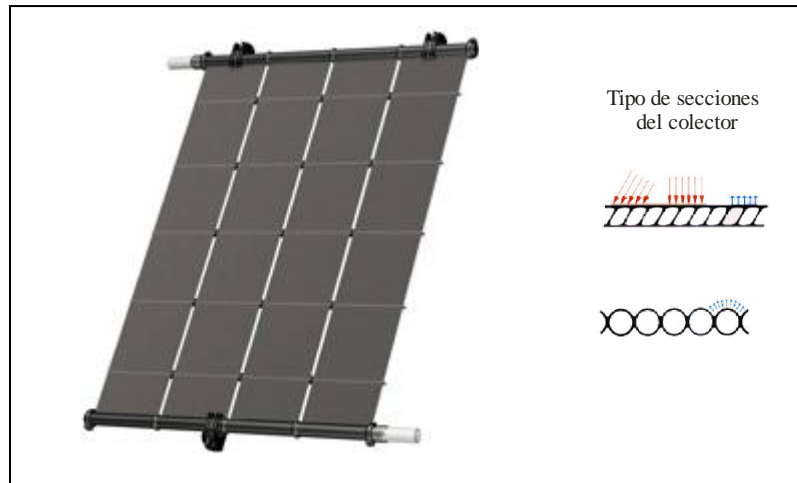


Figura - 12 Calentador solar de polipropileno para piscinas.

Aspectos arquitectónicos-normativos para el calentamiento de agua

El crecimiento de la ciudad de Arequipa se da mayormente en forma horizontal. Actualmente se cuenta en el país con el Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma Técnica Peruana de Edificación EM080 Instalaciones con Energía Solar, que establece las mínimas condiciones técnicas que se deben incluir en el diseño y construcción de una vivienda que incluya el aprovechamiento de energía solar. Sin embargo, muchos proyectos nuevos de edificación todavía no contemplan el área libre disponible para la instalación de colectores solares.

En adición a esto, en casas ya construidas, otro inconveniente es la falta de tuberías aisladas para agua caliente, que son indispensables para la instalación de un sistema central de calentamiento de agua. Entretanto, este inconveniente es resuelto con una inversión adicional en el costo total de la instalación. En contrapartida, en los edificios de varios pisos, la instalación hidráulica adicional puede ser inviable por ser demasiado caro.

6.2 Evaluación de colectores solares

En el 2001, fue aprobada la Norma Técnica Peruana NTP 370.400 de métodos de ensayo para determinar la eficiencia instantánea de colectores solares ($F_R \tau \alpha$). Esta norma técnica fue aprobada por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad (INDECOPI) y su aplicación en principio es de carácter voluntario. Dicha norma utilizó como referencia la norma americana ANSI/ASHRAE 93-1986. En este trabajo de investigación se empleó el método *outdoor* especificado a través de la norma peruana (INDECOPI, 2001). Cabe mencionar que actualmente existen otras cuatro normas técnicas que regulan el uso de sistemas termosolares.

La eficiencia térmica y el coeficiente de pérdidas $F_R U_L$ en régimen cuasi estacionario, son calculadas por las Ec. (1) y Ec. (2) respectivamente (Linthorst, 1985):

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{A_C G_T} \quad (1)$$

$$F_R U_L = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{A_C (T_e - T_a)} \quad (2)$$

Siendo, \dot{m} el flujo promedio del agua [kg/s], C_p el calor específico del agua [J/kg°C], ($T_s - T_e$) la diferencia de temperatura entre las secciones de entrada y salida [°C], A_C el área del colector [m²] y G_T la irradiancia global que llega al plano de la superficie inclinada [W/m²].

Expresando las energías de la Ec. (1) en función de las temperaturas y de los parámetros que gobiernan los intercambios térmicos, se puede escribir (Duffie, 1991):

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{(T_e - T_a)}{G_T} \quad (3)$$

Analizando la Ec. (3), es posible percibir que es del tipo $Y=a+bX$, una ecuación lineal, por tanto una recta donde el termino constante (coeficiente lineal) "a" representa $F_{RT}\alpha$ y la inclinación (coeficiente angular) "b" representa $F_R U_L$.

El montaje y experimentos en el banco de pruebas, fueron realizados en el laboratorio de energías renovables y medio ambiente, perteneciente al departamento académico de Física, campus de ingenierías. En la Fig. 13 se muestra el banco de pruebas implementado, se trata de un equipo que permite mantener constante el flujo y temperatura del agua durante el período de medición. Actualmente la Escuela de Física viene trabajando en la optimización de este banco de pruebas.

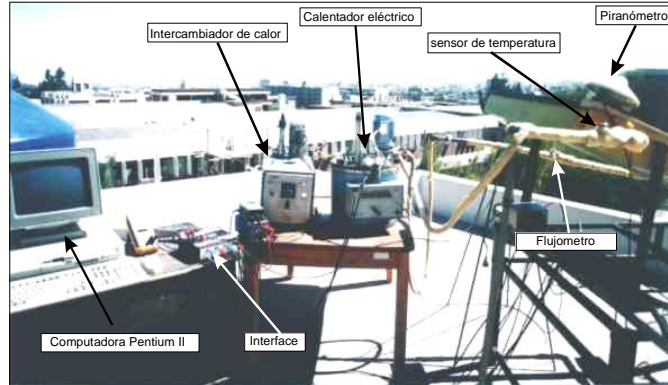


Figura - 13 Banco de pruebas implementado para colectores solares de agua.

La temperatura del agua que sale del colector, es enfriada por un intercambiador de calor, hasta que alcance la temperatura deseada y luego recalentada a través de un calentador eléctrico. Ambos equipos antiguos, sin uso y diseñado para otros fines y que para las pruebas fueron adaptados, son de marca Lab. Techn-Modelo 10096 y Ultra Thermostat MTA Kutesz. La ubicación del colector es garantizada por una estructura metálica.

El calentador es regulado electrónicamente a través de las informaciones proporcionada por sensores de temperatura, que utilizan el circuito integrado de precisión LM35, que están colocados en su interior. El flujo de agua a través de los colectores, es medida por un flujómetro de turbina que entrega una señal TTL, cuya frecuencia esta entre 0 y 600 Hz. Lo que corresponde a un flujo entre 9 y 144 l/h. La medición de la irradiancia global es realizada a través de un piranómetro (marca Kipp & Zonen modelo CM11) instalado en el plano del colector. La velocidad del viento es medida por un anemómetro de conchas de alta sensibilidad y buena precisión (2%), permitiendo mediciones entre 0,3 y 10 m/s.

El sistema está constituido por el hardware, software y sensores apropiados.

El *hardware* está compuesto básicamente de una computadora personal pentium II, una interface que conecta la computadora con los sensores de flujo, temperatura, irradiancia y velocidad de viento. La interface se diseñó y construyó en el laboratorio de energías renovables. Esta interface electrónica está constituida de filtros amplificadores conversor ADC basado en el circuito integrado ADS7832BP de ABB y lógica de comunicación paralela de 8 bits.

El *software* de control puede mostrar los resultados en tiempo real y fue desarrollado en MATLAB 6.5. El sistema controla simultáneamente el calentamiento y enfriamiento del fluido portador de calor. Las señales proporcionadas por los sensores, son convertidos por el *software* en datos digitales por medio de coeficientes de calibración previamente determinados. Las medidas son graficadas en tiempo real, al mismo tiempo en que son almacenadas en el disco duro del microcomputador. En la Fig. 14 se muestra el diagrama esquemático del *hardware* de adquisición de datos y la interface grafica.

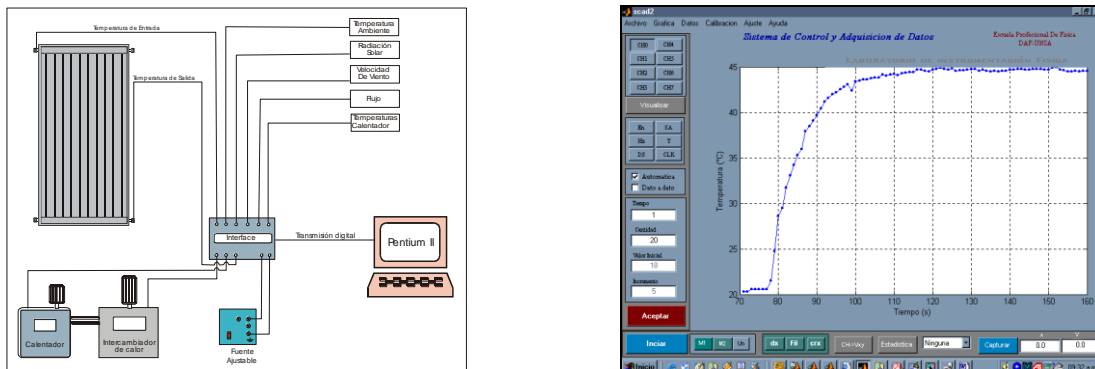


Figura - 14 Hardware de adquisición de datos e Interface grafica.

El colector utilizado en las pruebas es el típico colector de placa plana para calentamiento de agua, que posee las siguientes características: caja de aluminio de 131 x 91 x 10 cm, serpentín con 7 tubos de cobre de 1,27 cm de diámetro con separación de 12 cm entre ellos. La placa colectora de fierro galvanizado, pintado con negro mate, cobertura de vidrio de 4 mm y aislante térmico de lana de vidrio en la parte inferior y lateral del colector.

En el método *outdoor*, el sentido del flujo del líquido portador de calor debe darse de abajo para arriba del colector. Con el colector instalado en el circuito de ensayo, se ajusta el flujo para un valor equivalente a 0,024 l/s. Se regula la temperatura del fluido en la sección de entrada del colector solar para un valor igual a la temperatura ambiente con una tolerancia de $\pm 1^\circ\text{C}$. La irradiancia global debe mantenerse superior a 790 W/m². La velocidad de viento debe estar entre 2,2 y 4,5 m/s, y entonces se aguarda que se establezcan las condiciones de régimen cuasi estacionario. Un ensayo es considerado en tal régimen si durante un intervalo de tiempo, como mínimo igual a la constante de tiempo del colector y no inferior a 6 minutos, se tiene las siguientes condiciones:

- fluctuación de la temperatura del fluido en la sección de entrada del colector como máximo $\pm 0.1^\circ\text{C}$,
- fluctuación de la temperatura del aire del ambiente como máximo $\pm 1,5^\circ\text{C}$,
- fluctuación del flujo del fluido a través del colector como máximo $\pm 2\%$,
- fluctuación de la diferencia de la temperatura del agua entre las secciones de entrada y salida del colector solar como máximo $\pm 0,6^\circ\text{C}$,
- diferencia máxima entre los picos de la irradiancia global sobre el plano del colector inferior a 32 W/m².

No fue posible determinar más puntos a temperaturas altas ($> 75^\circ\text{C}$) debido al bajo alcance de trabajo del flujometro.

En la Fig. 15 se muestra la representación gráfica de la curva de eficiencia instantánea obtenida a partir del ajuste por los mínimos cuadrados a un polinomio de primer grado para cada uno de los conjuntos de puntos. Obteniéndose los valores de los parámetros: $F_R(\tau\alpha)=0,70\pm 0,06$ y $F_R U_L=5,53\pm 0,06 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$.

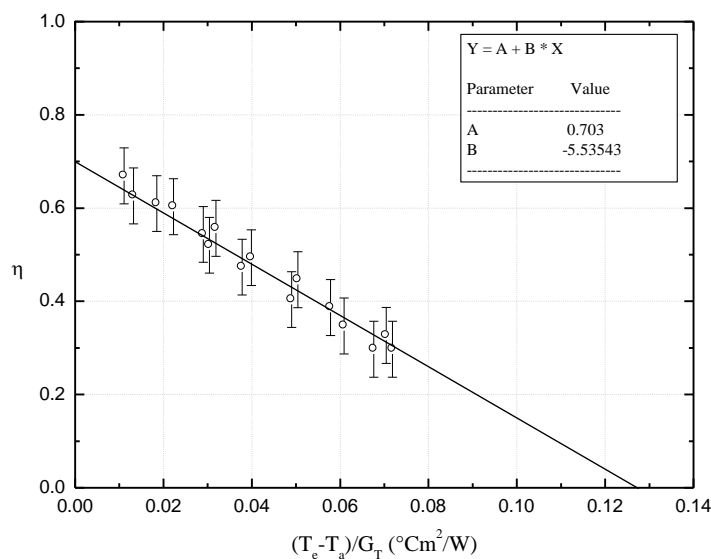


Figura - 15 Curva de eficiencia térmica instantánea del colector (η).

7. COMENTARIOS FINALES

En la región Arequipa, la disponibilidad elevada del recurso solar, las bajas temperaturas y la adherencia cultural en la utilización de la energía solar, favorecen la diseminación del uso de los sistemas de calentamiento solar.

El uso de la energía solar térmica en la ciudad de Arequipa se limita al calentamiento de agua a baja temperatura, muy conveniente para el consumo de los sectores residencial y comercial. Siendo el sector residencial el principal mercado a corto y mediano plazo, seguido por el sector comercial.

En los calentadores solares la mayor parte de los costos es debido a la inversión inicial. Los costos de operación son bajos, por lo tanto la economía resultante debe ser usada para pagar la inversión inicial. En el caso de Arequipa la tecnología de calentadores solares es altamente competitiva a los calentadores convencionales.

La industria fabricante de colectores solares de Arequipa, ha tenido dificultades técnicas y financieras para diseminar la tecnología solar térmica, que inicialmente estaba constituida por pequeñas empresas que fabricaban

estructuras metálicas y de poca tradición en el desarrollo tecnológico de colectores solares. La difusión de la tecnología es perjudicada en gran medida por la falta de conocimiento del desempeño de los equipamientos.

El avance tecnológico de los colectores solares y tanques térmicos pueden ser analizados por las eficiencias energéticas y desempeños térmicos de los productos. Los mismos tendrían que ser evaluados en un centro de investigación, creado especialmente para dar apoyo al desarrollo de las tecnologías termosolares en el país y debería estar equipado con tecnologías de última generación que atiendan normas de evaluación nacional e internacional. Los fabricantes de esta forma se capacitan para exportar productos que posean certificación internacional.

El control de la calidad de los SCAES debe ser dirigido por programas públicos de eficiencia energética, estimulando a los fabricantes a buscar etiquetados y sellos de calidad. Al incorporar estos programas de certificación a las industrias, se acreditan a participar en licitaciones públicas y financiamiento, permitido solo para las que tengan control de calidad de sus productos.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo del Departamento de Física de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

REFERENCIAS

- Bustamante, Henry, 2002. Uso de la energía solar en el Perú. VII Simposio Peruano de Energía Solar, pp. 22-24.
- Duffie, J.A. & Beckman, W.A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons.
- Flores, Pedro, 2001. Radiación Solar en Arequipa. IX Simposio Peruano de Energía Solar, pp. 212 - 215.
- Flores, Pedro, 2001. Termas Solares en Arequipa. IX Simposio Peruano de Energía Solar, pp. 265 - 269.
- INDECOPI, 2001. Método de Ensayo para Determinar la Eficiencia de los Colectores Solares. Comité Técnico de Normalización de usos racional de la Energía y Eficiencia Energética.
- Linthorst, J.M., 1985. Natural Convection Suppression in Solar Collector.
- Ministerio de Energía y Minas, 1998. Balance Nacional de Energía Útil – Perú. Oficina Técnica de Energía.
- Norton, B., 1991. Solar Energy Thermal Technology, Springer-Verlag, pp. 161-181.
- Oliveros, Alfredo, 1990. Tecnología Energética y Desarrollo. CONCYTEC.
- Servicio Cooperativo Inter-Americano de Fomento – SCIF, 1962. Posibilidades de la utilización de la Energía Solar en el Perú.
- Tinajeros, Miguel, 2009. Calentadores solares de agua en Arequipa: análisis de viabilidad económica para su implementación. XVII Simposio Peruano de Energía Solar.

WATER HEATING SYSTEMS WITH SOLAR ENERGY IN THE CITY OF AREQUIPA

Abstract. The market for solar water heating has been growing since the 1980s in Peru. However, there is a lack of information and case studies to evaluate the introduction of thermosolar technology in the homes. To help reduce this gap, this paper describes the state of the art of solar water heaters in the city of Arequipa. In order to observe aspects of the industry equipment, expectation, and degree of satisfaction of the users of this technology in this city, questionnaires were applied to users and manufacturers, which allowed lift the main factors favorable or unfavorable for its dissemination and the characteristics of the market. In Arequipa, the high availability of the solar resource, low temperatures and the adhesion cultural in the use of solar energy favor the spread of the use of solar heating systems. Currently this locality has twenty-five industries of solar water heaters, that have been making efforts in the improvement of its products and the expansion of its applications. The sectors covered by the manufacturers are mainly the residential, commercial and services. It also was able to verify that there is high satisfaction on the part of users because of the reduction in electricity consumption for water heating.

Key words: Solar collectors, Solar water heating, Solar thermal introduction