

Desarrollo de sistemas de agua caliente sanitaria en Costa Rica a partir de la energía solar

Development of solar domestic hot water systems in Costa Rica

Fernando Lizana-Moreno¹

*Fecha de recepción: 2 de mayo del 2014
Fecha de aprobación: 27 de agosto del 2014*

Lizana-Moreno, F. Desarrollo de sistemas de agua caliente sanitaria en Costa Rica a partir de la energía solar. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 3-14.

¹ Ingeniero en Electrónica y Máster en Energías Renovables. Área de Investigación en Energías Alternativas. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: FLizana@ice.go.cr

Palabras clave:

Agua caliente sanitaria; colectores solares; método F-Chart.

Resumen

En Costa Rica, el 41,3% de los hogares utilizan sistemas de agua caliente sanitaria (ACS), que en su gran mayoría funcionan a partir de energía eléctrica mediante dispositivos de calentamiento en línea, empleando para esto el efecto Joule. Estos sistemas representan a escala nacional un consumo aproximado de más de 250 GWh al año.

Para el presente trabajo se recopilaron datos de irradiación solar y temperatura media mensual en cada uno de los distritos del país. Con esta información se elaboró una herramienta de *software* que calcula la fracción solar de una instalación doméstica de ACS empleando el método F-Chart. Además, se analizó la rentabilidad financiera de una instalación solar de ACS para una vivienda promedio, comprobándose la necesidad de establecer una serie de políticas e incentivos con el fin de lograr una masificación del uso de la tecnología solar térmica en el sector residencial. Finalmente, se formuló una estrategia de implantación de la tecnología en el país, cubriendo aspectos de reglamentación, capacitación del cuerpo técnico nacional y creación de leyes que regulen el sector. El objetivo es crear herramientas que permitan introducir los sistemas solares de ACS en Costa Rica para sustituir los equipos eléctricos de calentamiento de agua, como una forma de contribuir al ahorro energético nacional.

Keywords

Domestic hot water systems; solar collectors; F-Chart.

Abstract

In Costa Rica, 41,3% of the households are equipped with a Domestic Hot Water System (DHW), which operate in a large majority from electricity. These systems represent an estimated national consumption over 250 GWh per year.

In this work, insolation data and monthly average temperature were compiled, for each district of the country. With this data, a software tool was developed, that calculates the solar fraction of a DHW installation using the F-Chart method. The financial performance of a solar DHW system for an average home was analyzed, proving the need of policies and incentives to achieve mass use of solar thermal technology in the residential sector. Finally, an implantation strategy of the technology was proposed for Costa Rica, covering regulatory issues, training of a national technical staff, and creation of laws governing the sector. The goal is to create tools to introduce solar DHW systems in Costa Rica, to replace electric water heaters, as a way of contributing to national energy saving.

Introducción

Consumo eléctrico en sistemas de agua caliente sanitaria en Costa Rica

Según la *Encuesta de consumo energético nacional en el sector residencial de Costa Rica* (Alvarado, Carazo y Ramírez, 2006), en el 41,3% de los hogares se utilizan sistemas de ACS, los cuales en su gran mayoría operan con dispositivos eléctricos de calentamiento en línea, mediante el efecto Joule. Dichos sistemas consumen en promedio 41 kWh anuales de energía eléctrica por hogar, para un consumo nacional total de más de 250 GWh al año. Por lo anterior, resulta conveniente para el país la utilización de sistemas solares de ACS, ya que permitirían contribuir al ahorro energético, disminuyendo la demanda de energía eléctrica en el sector residencial.

Emulación de la estrategia española de implantación de la tecnología de sistemas solares de ACS

Para implementar en Costa Rica el reemplazo a nivel nacional de los sistemas de ACS basados en duchas eléctricas por sistemas basados en colectores solares, se consideró conveniente emular la experiencia desarrollada en España. En ese país europeo, mediante la aprobación del Real Decreto 1027/2007, se introdujo el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (Real Decreto, 2007), que establece las medidas necesarias que deben tomarse para dicho fin, desde la capacitación de los técnicos encargados del mantenimiento y construcción hasta la inscripción de empresas instaladoras y la aprobación de los diseños de instalaciones solares de ACS, entre otras medidas. Otra acción realizada en España fue la modificación del Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Vivienda, 2006), en el cual se introdujo una sección para el cálculo de la contribución mínima de energía solar para los sistemas de ACS (sección HE 4), que incluye, entre otras cosas, la clasificación de diferentes zonas del país según la cantidad de irradiación solar recibida en el año y el porcentaje del consumo energético de los sistemas de ACS que debe ser obligatoriamente cubierto con energía solar para cada una de las regiones involucradas.

Objetivos del proyecto

Para lograr un ahorro en el consumo energético de Costa Rica mediante el uso de sistemas solares de ACS se establecieron los siguientes objetivos:

- Elaborar una base de datos con información de la radiación solar para las diferentes localidades de Costa Rica, a partir de la información disponible actualmente.
- Desarrollar un manual de diseño de sistemas solares de ACS para el país.
- Diseñar un sistema solar de ACS para el tipo de edificación promedio del país.
- Implementar un *software* para el cálculo de los parámetros y dimensiones necesarios para la instalación solar de ACS, en el cual se incluya la información de la citada base de datos.
- Desarrollar un análisis financiero de los sistemas solares de ACS en Costa Rica.
- Proponer estrategias para la implantación de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Metodología

La metodología para el desarrollo del proyecto fue la siguiente:

Datos básicos para el cálculo de sistemas solares de ACS en Costa Rica

Para el cálculo de la fracción solar de una instalación de ACS es necesario obtener, entre otros datos, el valor medio mensual de irradiación solar diaria, de temperatura ambiental y de temperatura del agua de la red del sitio donde se ubicará la instalación. Con el fin de crear una herramienta de *software* que permita calcular la fracción solar de una instalación de ACS en cualquier lugar de Costa Rica, se planteó la tarea de construir una base de datos con información de los tres parámetros mencionados anteriormente, para cada distrito del país. Para esto, el caso de los valores medios mensuales de irradiación solar diaria y temperatura ambiental, se obtuvieron mapas con isolíneas, a partir de los cuales se tabularon los datos con la información para cada distrito. Para el caso de la temperatura del agua de red, se procedió a utilizar un método indirecto para su cálculo.

Método F-Chart

Para el cálculo de la fracción solar de una instalación de ACS se decidió utilizar el método F-Chart desarrollado por Beckman y colaboradores (Beckman, Duffie y Klein, 1977). Se realizó una investigación para establecer las ecuaciones requeridas para concretar el método F-Chart, con el fin de poder implementarlo adecuadamente en una herramienta de *software* diseñada para Costa Rica.

Cálculo de una instalación promedio para Costa Rica

Se realizó el cálculo de un sistema solar de ACS para una residencia promedio, empleando para ello el método F-Chart estudiado en el apartado anterior. Con la información obtenida en este punto, se hizo el análisis de costos de este tipo de instalaciones. Este punto sirvió de insumo para redactar una estrategia de implementación de la tecnología de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Desarrollo de herramienta de *software* para el cálculo de sistemas solares de ACS en Costa Rica

Se desarrolló una herramienta de *software* para el cálculo de los sistemas solares de ACS en Costa Rica, llamada "ACS_CostaRica". Se utilizó la plataforma Lazarus, ya que se basa en un lenguaje de programación simple (Pascal) y es de licencia libre.

En el programa creado se incluyó la información de la base de datos mencionada en el punto 2.1 y se implementó la metodología F-Chart, para permitir que el usuario obtenga la fracción solar de una determinada instalación de ACS, a partir del ingreso del sitio donde ésta se ubicará.

Manual de instalaciones solares de ACS

Una vez completada la herramienta de *software* del punto anterior, se elaboró un manual de instalaciones solares de ACS. Este se enfoca en la explicación de los parámetros necesarios para el adecuado dimensionamiento de una instalación y así poder obtener el mayor provecho del *software*.

Informe final con la estrategia de implantación de la tecnología en Costa Rica

Una vez finalizadas las etapas previas del proyecto, se redactó un informe final, en el cual se incluyó un capítulo con una estrategia para la implantación de la tecnología de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Desarrollo

A continuación se enumeran los principales detalles del desarrollo de las diferentes etapas del proyecto.

Construcción de una base de datos básicos

En el año 2002, Wright (2002) publicó unos mapas de irradiación solar del país, contruidos a partir de datos de estaciones de medición del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Para 2006, Wright (2006) detalló dichos mapas por solicitud del ICE, dando un valor medio anual de la irradiación diaria para cada distrito del país. Como parte del presente proyecto, se elaboró una base de datos con la información del valor medio mensual de irradiación diaria en cada uno de esos distritos.

Para el caso de los valores medios mensuales de temperatura ambiente, se recurrió a la base de datos del INM. Se utilizaron datos de 92 estaciones meteorológicas, para construir mapas de temperatura mediante interpolación Kriging y elaborar a partir de ellos una base de datos con los valores de temperatura media mensual para cada distrito del país. En la Figura 1 se muestra el mapa de temperatura media anual que se obtuvo.

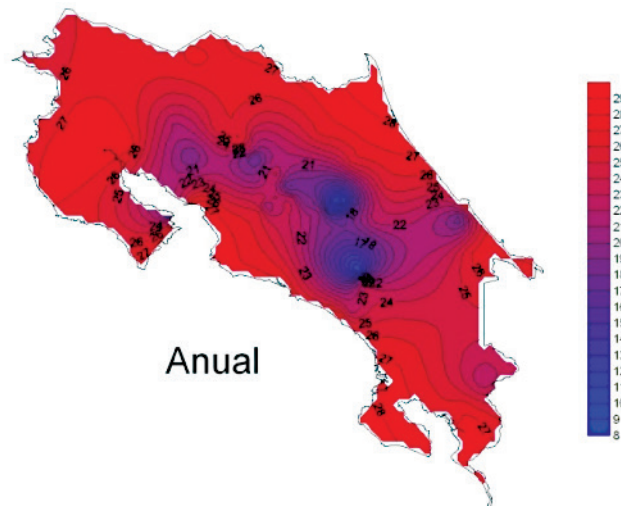


Figura 1. Mapa de temperatura media anual para Costa Rica (en grados Celsius).

Para el caso de la temperatura del agua de red, ante la ausencia de mediciones se recurrió a un método indirecto para su cálculo. En un documento de RETScreen International (2001) se establece una metodología para el cálculo de la temperatura de agua de red a partir de la temperatura ambiente, que fue validada en la ciudad de Toronto, Canadá. Para la fundamentación teórica de esta metodología se recomienda consultar RETScreen International (2001). A continuación, se describe la implementación de dicha metodología.

Como primer paso, debe determinarse la amplitud de la variación anual de la temperatura del agua, utilizando la ecuación (1).

$$T_{0\text{agua}} = 0,35 * \left(\overline{T_{a-\text{max}}} - \overline{T_{a-\text{min}}} \right) \quad (1)$$

donde $T_{0\text{agua}}$ corresponde a la amplitud en grados Celsius de la variación anual de la temperatura del agua, $T_{a\text{-max}}$ es el promedio mensual máximo en el año para la temperatura ambiental y $T_{a\text{-min}}$ es el promedio mensual mínimo en el año para la temperatura ambiental.

Luego se debe obtener el valor medio anual de temperatura ambiental del sitio donde se realizará la instalación de ACS, tomado de la base de datos mencionada construida en el presente proyecto. A dicho valor se le debe sumar la mitad de la amplitud de la variación anual de la temperatura del agua, obtenida en la ecuación (1). Con esto, se obtendrá el valor medio mensual más alto de la temperatura del agua. Se ha establecido un retardo de 1 mes en la variación de la temperatura del agua con respecto a la temperatura ambiental, por lo que el valor obtenido corresponderá al mes siguiente del valor máximo de temperatura ambiente. La ecuación (2) representa lo descrito anteriormente.

$$\overline{T_{\text{max-agua}}} = \overline{T_a} + \frac{T_{0\text{agua}}}{2} \quad (2)$$

donde $\overline{T_{\text{max-agua}}}$ es la temperatura media mensual del agua en grados Celsius, de valor máximo en el año, correspondiente al mes siguiente de la temperatura media mensual ambiental máxima, y $\overline{T_a}$ es el promedio anual de la temperatura ambiental en grados Celsius.

Para el cálculo de la temperatura del agua de red de los meses siguientes, se debe tomar la diferencia de temperatura media ambiental entre el mes actual y el mes anterior, y multiplicarlo por un factor de atenuación de 0,35. El valor obtenido debe ser sumado a la temperatura media del agua del mes y así se obtendrá el valor de la temperatura media del agua para el mes siguiente. La ecuación (3) ilustra lo mencionado.

$$\overline{T_{\text{agua}(t+1)}} = \overline{T_{\text{agua}(t)}} + 0,35 \left(\overline{T_{a(t)}} - \overline{T_{a(t+1)}} \right) \quad (3)$$

donde $\overline{T_{\text{agua}(t)}}$ es la temperatura media del agua para el mes actual en grados Celsius, $\overline{T_{\text{agua}(t+1)}}$ es la temperatura media del agua para el mes siguiente, $\overline{T_{a(t)}}$ es el valor de la temperatura media ambiental para el mes actual y $\overline{T_{a(t+1)}}$ es la temperatura media ambiental para el mes anterior, en grados Celsius.

Implementación del método F-Chart

El método F-Chart para el cálculo de la fracción solar de instalaciones de ACS se obtuvo de Beckman y colaboradores (1977). Dicho método parte de un balance energético para un período de un mes, descrito en la ecuación 4.

$$Q_T - L + E = \Delta U \quad (4)$$

donde Q_T es la energía solar útil recibida durante el periodo, L representa el consumo de agua caliente sanitaria, E es la energía auxiliar total requerida en el mes y ΔU es el cambio de energía en la unidad de almacenamiento. Todos los valores son en Julios.

Para los sistemas solares de ACS típicos, la magnitud de ΔU es muy pequeña con respecto a Q_T , por lo que se puede aproximar a cero. La ecuación se puede reescribir entonces de la siguiente forma:

$$f = \frac{L - E}{L} = Q_T / L \quad (5)$$

donde f representa la fracción del consumo energético mensual del sistema de ACS, suplido con energía solar.

La ecuación anterior no permite el cálculo directo del aporte solar de los sistemas de ACS, debido a que Q_T depende de forma compleja de muchos parámetros: radiación incidente, temperatura ambiente y cargas de ACS. Por lo tanto, se utilizarán dos grupos adimensionales:

$$X = (F_R * U_L) * (T_{ref} - \overline{T_a}) * t * A / L \quad (6)$$

$$Y = (F_R * (\tau * \alpha)_n) * \frac{\overline{\tau * \alpha}}{(\tau * \alpha)_n} * \overline{H_T} * N * A / L \quad (7)$$

donde A es el área del colector solar (m^2), F_R es el factor de eficiencia de remoción del calor del colector solar, U_L es el coeficiente de pérdida de energía del colector ($W/(C * m^2)$), Δt es el número total de segundos en el mes, T_{ref} es la temperatura de referencia ($100 \text{ } ^\circ C$), $\overline{T_a}$ es el promedio mensual de temperatura ($^\circ C$), L es la carga total mensual de ACS (J), $\overline{H_T}$ es el promedio de irradiación diaria mensual incidente en el colector por unidad de área (J/m^2), N es el número de días en el mes, $(\tau * \alpha)$ corresponde al promedio mensual del producto transmitancia-absortancia del colector.

Ambos grupos adimensionales tienen un significado físico. “Y” se refiere a la proporción entre la energía total absorbida por el colector y la carga de ACS total mensual. “X” se refiere a la proporción entre las pérdidas de un colector de referencia y la carga de ACS total en un mes.

Debe mencionarse que los factores $(F_R * U_L)$ y $(F_R * (\tau * \alpha)_n)$ se obtienen directamente de las pruebas de desempeño de los colectores solares. El valor de $\overline{T_a}$ se obtiene de la base de datos meteorológicos. El área del colector “A” es un valor seleccionado para la realización de los cálculos. El factor $\frac{\overline{\tau * \alpha}}{(\tau * \alpha)_n}$ se calcula a partir de datos del fabricante y siguiendo el procedimiento descrito en Klein (1979) y Beckman y Duffie (1974). Más adelante se explicará el procedimiento para el cálculo de los restantes términos.

Los desarrolladores del método F-Chart de cálculo de sistemas de ACS a partir de energía solar han determinado de manera empírica, mediante simulaciones computacionales y su respectiva verificación en el campo, la relación entre la fracción de aporte solar “f” y los parámetros X y Y descritos en las ecuaciones (6) y (7). La ecuación (8) describe dicha relación:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0081X^2 + 0,0215Y^3 \quad (8)$$

Mediante el empleo de la ecuación (8) se obtiene el aporte solar para cada mes del año del sistema implementado. El aporte energético solar se obtiene multiplicando el valor de “f” por la carga energética mensual “L”. La suma de todos los aportes energéticos del sol para cada mes, dividida entre la carga energética anual, nos da el aporte solar anual del sistema en estudio.

Para obtener la ecuación (8) se han considerado dos parámetros fijos de diseño: la velocidad del fluido calorportador por unidad de área del colector y la capacidad del tanque de almacenamiento por unidad de área del colector.

La velocidad del fluido calorportador influye en el factor de eficiencia de remoción de calor F_R , de manera asintótica: un cambio en la velocidad del fluido genera una proporción pequeña de mejora en F_R . Un valor adecuado para la tasa de capacitancia calórica del fluido (flujo x calor específico) es de $50 \text{ W/}^\circ C$, el cual se obtiene para velocidades de flujo de aproximadamente $0,015 \text{ l/(s * m}^2)$. Para valores por encima de ese valor, se obtienen solo pequeños incrementos

en la eficiencia del sistema. Debe notarse que, por el contrario, un decremento considerable en la velocidad de flujo del líquido calorportador sí puede provocar una importante desmejora en el desempeño del colector solar, por la disminución del factor F_R , y en casos extremos, por problemas de evaporación dentro de las tuberías. Para el cálculo de la ecuación (8) se ha considerado una velocidad de flujo de 0,015 l/s por cada metro cuadrado de colector.

Tomando en cuenta los parámetros de operación y consideraciones económicas, se ha determinado empíricamente que la capacidad de almacenamiento óptima para sistemas de ACS con energía solar se encuentra en el rango de 50 y 100 litros de agua por metro cuadrado de superficie de colectores. La ecuación (8) ha sido calculada para un volumen de almacenamiento de 75 litros por metro cuadrado de colector. En caso de utilizar un valor diferente, se debe introducir un factor de corrección, el cual deberá ser multiplicado por el parámetro X de la ecuación (8). A continuación, se brinda la expresión para obtener el factor de corrección por volumen de almacenamiento X_c/X :

$$\frac{X_c}{X} = \left(M/75 \right)^{0,25} \quad (9)$$

donde M representa la capacidad de almacenamiento en litros por metro cuadrado de área de colector.

El método de F-Chart fue diseñado para el cálculo de sistemas solares que incluyen agua caliente sanitaria y calefacción de espacios. Si se requiere calcular únicamente sistemas de ACS, como es el caso del presente trabajo, es necesario agregar otro factor de corrección, el cual corresponde al efecto que tienen sobre la eficiencia del sistema dos parámetros: T_m , la temperatura del agua de red, y T_w , la temperatura mínima aceptable de utilización del agua caliente. En la ecuación (10) se muestra la expresión para el factor de corrección de sistemas de ACS (X_{ACS}/X).

$$\frac{X_{ACS}}{X} = \frac{\left(11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32\bar{T}_a \right)}{\left(100 - \bar{T}_a \right)} \quad (10)$$

El factor de corrección (X_{ACS}/X) debe multiplicarse por el valor del parámetro X de la ecuación (8), antes de hacer el cálculo del sistema de ACS mediante la metodología F-Chart.

Para obtener el promedio de radiación mensual sobre una superficie inclinada \bar{H}_T , requerido para la ecuación (7), se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\bar{H}_T = \bar{R}^* \bar{H} \quad (11)$$

donde \bar{H} es la radiación media mensual sobre superficie horizontal (J/m^2) y \bar{R} representa la proporción entre radiación media mensual sobre superficie inclinada y horizontal.

Para calcular \bar{R} se deben considerar por separado la radiación directa, la difusa y el albedo. Tomando en cuenta que la radiación difusa es isotrópica, \bar{R} se puede expresar de la siguiente forma:

$$\bar{R} = 1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \frac{1 + \cos(s)}{2} + \rho \frac{1 - \cos(s)}{2} \quad (12)$$

donde $\overline{H_d}$ es el promedio mensual de radiación difusa (J/m^2), $\overline{R_b}$ es la proporción entre radiación directa media mensual sobre superficie inclinada y horizontal, s es el ángulo de inclinación del colector solar con respecto a la horizontal, y ρ es el albedo (normalmente varía entre 0.2 y 0.7, dependiendo de las características reflectivas del suelo).

En la ecuación (12), el primer término corresponde a la contribución de la radiación directa, el segundo término a la radiación difusa y el último a la radiación reflejada por el suelo (albedo).

Normalmente no se tiene el promedio mensual de radiación difusa y por eso se ha desarrollado un método para calcularla.

Se ha determinado que la proporción entre la radiación media difusa y la radiación media total ($\overline{H_d}/\overline{H}$) es función del parámetro $\overline{K_T}$, el cual representa la proporción entre la radiación media total y la radiación extraterrestre, según se describe en la ecuación 13.

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}} \quad (13)$$

donde \overline{H} es la irradiación media sobre una superficie horizontal (J/m^2), y $\overline{H_0}$ es el valor medio mensual de la irradiancia extraterrestre sobre una superficie horizontal (J/m^2)

La irradiancia solar extraterrestre es la que se recibe fuera de la atmósfera. Esta varía según la época del año y la latitud. Para el presente proyecto se calculó este parámetro siguiendo el procedimiento establecido en el manual de sistemas solares de ACS de RETScreen International (2001).

Para obtener la proporción entre la radiación media difusa y la radiación media, se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1,39 - 4,03\overline{K_T} + 5,53\overline{K_T}^2 - 3,11\overline{K_T}^3 \quad (14)$$

Para el cálculo de $\overline{R_b}$ se puede hacer una estimación mediante la proporción entre la radiación extraterrestre sobre la superficie inclinada y una superficie horizontal.

Para superficies orientadas hacia el ecuador, o con un ángulo de azimut menor a 15° , $\overline{R_b}$ se puede obtener en función de la latitud (ϕ) y la inclinación con respecto a la horizontal (s). La ecuación (15) brinda la expresión para obtener el parámetro mencionado.

$$\overline{R_b} = \frac{\cos(\varphi - s)\cos(\delta)\sin(\omega_s') + \frac{\pi}{180} \omega_s' \sin(\varphi - s)\sin(\delta)}{\cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s) + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta)} \quad (15)$$

donde δ es el ángulo de declinación solar, ω_s es el ángulo en que sale el sol por el horizonte visto desde una superficie horizontal y ω_s' es el ángulo en que sale el sol por el horizonte, visto desde la superficie inclinada.

En las ecuaciones 16 a 18 se dan las expresiones para obtener los parámetros mencionados supra.

$$\delta = 23,45 * \sin(360 * (284 + n) / 365) \quad (16)$$

donde n es el día del año.

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta)) \quad (17)$$

$$\omega'_s = \text{MIN } \omega_s, \arccos(-\tan(\varphi - s) * \tan(\delta)) \quad (18)$$

Para el cálculo del factor L de la ecuación (6) y la ecuación (7), correspondiente a la carga mensual de ACS en Julios, se utiliza la expresión descrita en la ecuación (19):

$$L_w = N * \left(\#_{\text{personas}} \right) * C * (T_w - T_m) * \rho * C_p \quad (19)$$

donde L_w es el consumo energético en el sistema de ACS (J), N es el número de días en el mes, C representa el consumo de ACS por persona, (litros/día), T_w es la temperatura mínima aceptable para la utilización del agua (normalmente se consideran 60 °C), T_m es la temperatura media del agua de red (°C), ρ es la densidad del agua (1 kg/l) y C_p es el calor específico del agua (4190 J/(kg °C))

Cálculo de instalación de ACS promedio en Costa Rica

Según datos consultados en la página web del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Costa Rica (INEC, 2007), en el país existen 1 182 108 viviendas, para 4 443 100 habitantes, lo que da un promedio de 3,76 personas por hogar.

Del total de viviendas, únicamente un 3% son edificios de condominios o departamentos (multifamiliares). Por lo tanto, se observa que la casi totalidad de viviendas del país consisten en edificaciones unifamiliares. Debe indicarse además que un 64% de las viviendas se ubican en la región central.

Por lo anterior, el sistema de ACS promedio para el sector residencial de Costa Rica consiste en una vivienda unifamiliar, con cuatro ocupantes, ubicada en la región central del país. Para efectos del cálculo de un sistema ejemplar, se tomó una residencia de la provincia de San José, en el cantón central (San José), en el distrito Hatillo. El cuadro 1 resume las características de la vivienda promedio utilizada. En el cuadro 2 se enumeran las características principales de la instalación de ACS.

Se tomaron los valores mensuales de irradiación media diaria y de temperatura media, de la base de datos construida en el apartado 3.1 del presente artículo. Se calculó la temperatura de agua de red siguiendo el procedimiento descrito en las ecuaciones (1) a (3). Se obtuvo la fracción solar de la instalación siguiendo el método F-Chart, descrito en las ecuaciones (4) a (19). Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.

Cuadro 1. Vivienda promedio utilizada para el cálculo de una instalación de ACS.

Característica	Dato
Provincia	San José
Cantón	San José
Distrito	Hatillo
Tipo de vivienda	Unifamiliar
Número de habitantes	4

Cuadro 2. Especificaciones de instalación de ACS.

Especificación	Valor
Volumen del tanque de almacenamiento	120 litros
Temperatura de utilización del agua	60 °C
Ángulo de azimut del colector	0°
Ángulo de inclinación Sur del colector	10°

Se analizó la rentabilidad de la instalación, mediante una comparación entre el ahorro energético obtenido al utilizar la energía solar versus la energía consumida por un sistema convencional de ducha eléctrica. El resultado fue una rentabilidad negativa, por lo que se estableció la necesidad de implementar una estrategia para la implantación de los sistemas solares de ACS en Costa Rica. Con esta finalidad, se desarrolló un análisis de sensibilidad para identificar las variables que tienen un mayor peso en la rentabilización de los sistemas en estudio.

Estrategia de implantación de los sistemas solares de ACS en Costa Rica

Una vez concluidos los apartados anteriores, se redactó una estrategia de implantación de la tecnología de sistemas solares de ACS en Costa Rica. A continuación se brinda un resumen de sus principales puntos.

Software para el cálculo de sistemas solares de ACS en Costa Rica: Se propone la oficialización de la herramienta de *software* desarrollada en el presente proyecto, "ACS_CostaRica", para el establecimiento de la fracción solar de las instalaciones de ACS realizadas en el país.

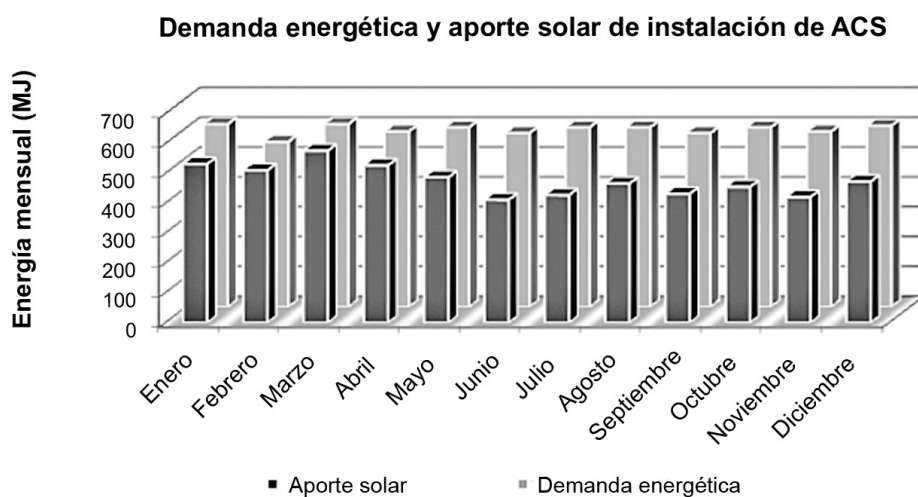


Figura 2. Fracción solar de la instalación de ACS.

Sistema de certificación de colectores solares y tanques de almacenamiento: Se propone crear una entidad acreditadora de colectores solares y tanques de almacenamiento, para asegurar su correcto desempeño. En el caso de los tanques de almacenamiento, se debe certificar su adecuada estratificación térmica.

Apoyo a la industria de fabricación de colectores solares: Al ser una tecnología que está al alcance de la industria costarricense, se propone crear una serie de apoyos que se concreten

en un programa de desgravación arancelaria de las materias primas requeridas, y un programa de apoyo a la exportación de dichos equipos.

Capacitación de técnicos en instalaciones solares de ACS: Se propone lanzar un programa de capacitación en el tema, como parte de los programas educativos del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) de Costa Rica.

Datos básicos: Se sugiere implementar un sistema de medición de la temperatura del agua de red en los diferentes distritos del país, ya que dicho dato se ha obtenido de forma indirecta, lo que puede causar diferencias con los datos reales. Se propone también realizar un estudio del patrón de consumo de agua caliente sanitaria en los hogares costarricenses.

Legislación: Finalmente, se propone la redacción de un proyecto de ley para presentarlo a la Asamblea Legislativa, en el cual se emule la legislación creada en España, específicamente el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Vivienda, 2006) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (Real Decreto, 2007), para regular todo lo referente a las instalaciones de sistemas solares de ACS en Costa Rica.

Conclusiones

Una vez realizado el presente proyecto, se concluye que la utilización generalizada de sistemas solares de ACS permitiría un gran ahorro energético en Costa Rica, ya que en la actualidad se consumen más de 250 GWh anuales en sistemas convencionales de ACS en el sector residencial, sistemas que funcionan principalmente a partir de electricidad.

La implantación de estos sistemas en Costa Rica puede impulsarse mediante el empleo de la herramienta de *software* creada para el presente trabajo, que permite calcular la fracción solar de una instalación para cada distrito del país.

Además, es necesario desarrollar una estrategia de implantación de la tecnología en el país, tomando medidas en cuanto a certificación de equipos, apoyo a la industria de fabricación de colectores solares, capacitación de técnicos en instalaciones de ACS, generación de datos básicos y creación de legislación, para poder lograr su efectiva implantación en Costa Rica.

Bibliografía

- Alvarado, F., Carazo, E. & Ramírez, F. (2006). *Encuesta de consumo energético nacional en el sector residencial de Costa Rica. Año 2006*. Costa Rica: Dirección Sectorial de Energía.
- Beckman, W. & Duffie, J. (1974). *Solar Energy Thermal Processes*. John Wiley & Sons.
- Beckman, W., Duffie, J. & Klein, S. (1977) *Solar heating design by the F-Chart method*. John Wiley & Sons.
- INEC (2007). *Anuario estadístico*. Obtenido de www.inec.go.cr
- Klein, S. (1979). Calculation of the monthly average transmittance-absorptance product. *Solar Energy* (23)6, 547-551.
- Ministerio de Vivienda. (2006). *Código técnico de la edificación*. España.
- Real Decreto 1027/2007. (2007) *Reglamento de instalaciones térmicas en edificios*. España.
- RETScreen International. (2001). *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook. Solar Water Heating Project Analysis Chapter*. Canadá: Ministerio de Recursos Naturales.
- Wright, J. (2002). Mapas de radiación solar en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 9(2), 79-87.
- Wright, J. (2006). *Estudio del potencial solar en Costa Rica*. Costa Rica: Instituto Costarricense de Electricidad.