



OBTENCIÓN DE ACS CON ENERGÍA SOLAR EN EL CANTÓN CUENCA Y ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

OBTAINING OF SHW WITH SOLAR ENERGY IN THE CANTON CUENCA AND ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION

John Calle Sigüencia^{1,*}, Óscar Tinoco Gómez¹

Resumen

En este documento se encuentra el análisis para determinar la factibilidad de implementación de calentadores solares para obtener agua caliente sanitaria (ACS) en el Ecuador, en la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca, con el fin de disminuir la contaminación ambiental provocada por el uso de combustibles fósiles. El proyecto considera la puesta en marcha de una red meteorológica y toma de datos de radiación solar global en 16 puntos ubicados zonas pobladas del cantón durante los años 2014 y 2015, posteriormente a través de un trabajo de campo se realiza un diagnóstico para establecer cuáles son los actuales sistemas usados para obtener ACS, también se analizan de manera teórica y práctica las eficiencias de dos tipos de calentadores solares de tubos de vacío para producción de ACS; con los datos de radiación medidos se modela aplicando las ecuaciones de transferencia de calor y se establece la factibilidad de implementación en función de la energía solar medida; finalmente, se realiza una comparación para determinar cuál sería la disminución de emanaciones de CO₂ si se ejecutaría esta propuesta. Los resultados obtenidos indican que el 82 % de familias utiliza ACS, de estas el 65 % emplean sistemas a base de GLP y, que el 44 % de la demanda de energía para obtener ACS puede ser cubierta con energía solar necesitando utilizar sistemas auxiliares para garantizar un abastecimiento constante. La implementación de estos sistemas permitiría reducir 108 537 tn CO₂ eq al año.

Palabras clave: calentador solar, contaminación ambiental, energía solar, tubos de vacío

Abstract

This document contains the analysis to determine the feasibility of implementing solar water heaters to obtain Sanitary hot water (SHW) in Ecuador, in the province of Azuay, in the Canton of Cuenca, in order to reduce the environmental pollution caused by the use of fossil fuels. The project considers the implementation of a meteorological network and data collection of global solar radiation in 16 points located in populated areas of the Canton during the years 2014 and 2015. Then, through a field work a diagnosis is made to establish which are the systems which are currently used to obtain SHW, two solar vacuum tube heaters for SHW production are also located and characterized with their corresponding equations. With the measured radiation data, we establish the model applying the equations and establishing the feasibility of implementation based on the measured solar energy. Finally, a comparison is made to determine what would be the decrease of CO₂ emissions if the implementation would be carried out. The obtained results indicate that in 82% of households it uses SHW and of these 65% use LPG-based systems, which 44% of the energy demand to obtain SHW can be covered with solar energy. Therefore auxiliary systems can be used to guarantee a constant supply and that with the implementation it would be possible to reduce 108537 t CO₂ eq per year.

Keywords: Solar heater, environmental pollution, solar energy, vacuum tubes

^{1,*}Unidad de posgrados de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú.
 Autor para correspondencia ✉: jics_1970@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2148-3297>

<https://orcid.org/0000-0002-2548-2160>

Recibido: 21-12-2017, aprobado tras revisión: 27-12-2017

Forma sugerida de citación: Calle, J.; Tinoco, O. (2018). «Obtención de ACS con energía solar en el cantón Cuenca y análisis de la contaminación ambiental». INGENIUS. N.º 19, (enero-junio). pp. 89-101. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.09>.

1. Introducción

Desde la década de los 70 la preocupación por el medioambiente ha sido especialmente intensa, generando una serie de actuaciones, conferencias y acuerdos internacionales [1], entre sus puntos fundamentales está la disminución de la producción de CO₂ y los gases de efecto invernadero, pero los resultados de las mismas han caído en buenas intenciones y no se han conseguido acciones eficientes que favorezcan este propósito a gran escala.

El uso de energías renovables ha generado un incremento en el desarrollo tecnológico siendo cada vez más fiables y con un alto rendimiento, lo que ha llevado a que su producción, comercialización e implementación aumente constantemente tanto para uso doméstico como para la industria.

Por los años 70 se empezó a utilizar la energía solar como una de las principales opciones para el uso en beneficio de las personas, países como Estados Unidos, Francia, Alemania, España, prestan gran atención al uso de la energía solar con fines térmicos y fotovoltaicos e introducen importantes porcentajes de generación energética. Para el año 2016 el 94 % de los sistemas térmicos solares instalados en el mundo se utilizan para obtener agua caliente [2].

El Ecuador es un país privilegiado en lo que al recurso solar se refiere, por su ubicación geográfica ya que el ángulo de incidencia de la radiación solar, es casi perpendicular a la superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo varía acorde a las estaciones del año. Esta ventaja posicional se traduce en la recepción de una mayor y constante cantidad de radiación solar (Figura 1), misma que varía dentro del territorio nacional únicamente por condiciones geográficas locales. La condición antes manifestada no ha sido considerada para aprovecharla en sistemas que favorezcan la disminución de emisiones de CO₂ con especial atención en lo que respecta a la producción de ACS considerando una dotación constante que mantenga las condiciones de confort que se obtiene con otras fuentes.

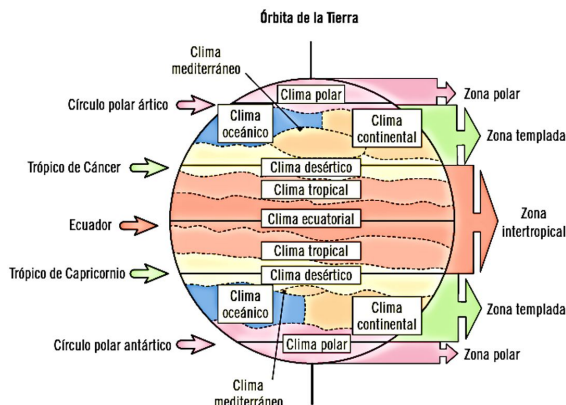


Figura 1. Zonas térmicas de la Tierra [3]

2. Materiales y métodos

La investigación desarrollada es de tipo cuasi experimental; ya que no hay un control efectivo de las variables de selección y para su desarrollo se integran un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver [4].

Para el proyecto presentado se requiere un cálculo del porcentaje de CO₂ por kilogramo de combustible quemado en un período definido sin sistemas solares térmicos (grupo de control) y el cálculo del porcentaje de CO₂ con aplicación de sistemas solares térmicos (grupo experimental). Para la investigación se han considerado 4 fases como se muestra en la Figura 2.

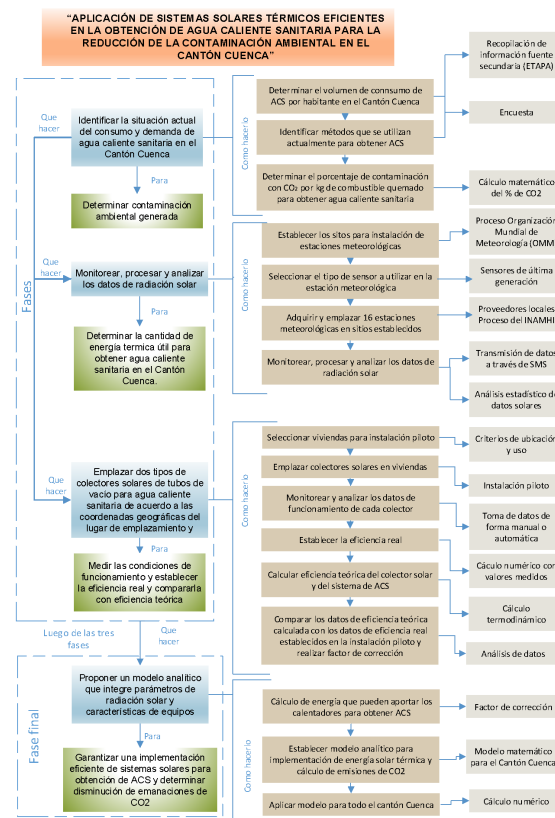


Figura 2. Esquema del diseño de la investigación

2.1. Análisis de la situación actual de consumo y demanda de ACS en el cantón Cuenca y determinación de porcentaje de CO₂ emitido al ambiente

En este punto se determina el consumo de agua por habitante a través de datos de fuente secundaria que en este caso se recopilan de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental (ETAPA) y se completa el análisis con una encuesta en donde se identifica el consumo y demanda de ACS, además, con la misma se

identifican los métodos que se utilizan para producir agua caliente: calentadores a gas, calentadores eléctricos, calentadores solares y otros. Finalmente, mediante un cálculo matemático se determinará el porcentaje de contaminación con CO₂ por kilogramo de combustible quemado para obtener ACS.

Para la aplicación de la encuesta se realiza la proyección de la población para el año 2016 empleando el método parabólico [5], basándose en la información de los censos de los años 1990, 2001 y 2010 [6] como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Proyección de número de habitantes del cantón Cuenca para el año 2016

Año	Urbana	Rural	Total
1990	194 981 hab.	136 047 hab.	331 028 hab.
2001	277 374 hab.	140 258 hab.	417 632 hab.
2010	331 888 hab.	173 697 hab.	505 585 hab.
2016	361 781 hab.	210 986 hab.	572 767 hab.

La población en estudio está conformada por el número de hogares en el cantón Cuenca. Se estima que un hogar promedio está integrado por 5 miembros, lo

que resulta en un total de 114 553 hogares para todo el cantón divididos en 72 356 para la zona urbana y 42 197 en la zona rural.

Para determinar la muestra se aplica la ecuación (1) considerando el nivel de confianza $k = 95\%$, límite de error $e = 0,06$, probabilidad de éxito $p = 0,6$ y probabilidad de fracaso $q = 0,4$.

$$n = \frac{k^2 \times p \times q \times N}{(e^2 \times (N - 1)) + k^2 \times p \times q} \quad (1)$$

La muestra significativa con la que se va a trabajar es de 531 hogares divididos en 266 en la zona urbana y 265 en la zona rural; en esta última se realiza una estratificación en función del número de pobladores de cada parroquia debido a las particularidades geográficas que presentan cada una; en la zona urbana no se estratifica pues las condiciones de todas las parroquias son similares.

Para el levantamiento de la información como instrumento se utiliza un cuestionario. Considerando el tránsito de la variable a sus dimensiones o componentes, luego a los indicadores y, finalmente, a los ítems o reactivos [4], el análisis establecido se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de tránsito de variables para cuestionario

Análisis sobre uso de ACS en el cantón Cuenca							
Variable	Dimensión	Indicadores	Ítems				
Uso de ACS	Actividades de limpieza cotidiana	Si utiliza o no utiliza	Utiliza agua caliente para sus actividades regulares como bañarse, lavado de manos, lavado de vajilla, lavado de ropa, etc. (Marque con una "X" su respuesta). SÍ NO.....				
No uso de ACS	Factor de consideración	Jerarquía de preferencia del por qué no utiliza ACS considerando costo, contaminación y facilidad de comprar e instalar.	Si su respuesta es NO, escriba en el casillero que está en blanco los números del 1 al 4, considerando el 1 al más importante y 4 al menos importante. Muy costoso..... Contamina el ambiente..... Difícil de comprar..... Difícil de instalar.....				
Número de habitantes por hogar	Contable	Número de habitantes por hogar	Incluido usted, ¿cuántas personas habitan en su casa? personas				
Tipo de sistema que utiliza para obtener ACS en la vivienda	Identificación del tipo de sistema para ACS	Determinación de sistema actual para obtener ACS considerando: Gas (GLP); resistencia eléctrica, inducción eléctrica, calentador solar, solar y gas, solar y resistencia eléctrica, otro en actividades regulares: ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería	Indique el tipo de sistema de calentamiento de agua que utiliza en su hogar para las siguientes actividades. (Marque con una "X" solamente en los que utiliza agua caliente)				
			Actividad Sistema	Ducha	Lavamanos	Fregadero de cocina	Lavandería
			A gas (GLP)				
			Resistencia eléctrica				
			Inducción eléctrica				
			Calentador solar				
			Solar y Gas (GLP)				
			Solar – Resistencia eléctrica				
Otro							
Tiempo utilizado para actividades de limpieza con ACS	Determinación de tiempo	Rango de tiempo por actividades regulares: ducha, lavamanos, fregadero de cocina y lavandería	Considerando lo marcado en la tabla anterior determine el tiempo total diario para cada actividad sumando el tiempo ocupado por cada miembro de familia. (Marque con una «X» su respuesta).				
			Tiempo Actividad	De 30 a 45 min	De 45 a 60 min	De 60 min a 75 min	Mayor a 75 min
			Ducha				
			Lavamanos				
			Fregadero de cocina				
Lavandería							
Calidad del sistema de ACS utilizado	Atribución del desempeño	Grado de percepción de la calidad del sistema de ACS utilizado	¿Cómo califica el actual sistema de calentamiento de agua que Ud. dispone? (Marque con una «X» la respuesta correspondiente, la misma que es única). Muy bueno..... Bueno..... Regular..... Malo.....				
Factores para elegir sistema	Atribución de implementación	Grado de percepción y jerarquización de factores para elegir sistema de ACS para la vivienda	¿Cuáles son los factores que consideró al momento de elegir su actual sistema de calentamiento de agua? (Escriba en el casillero que está en blanco los números del 1 al 4, considerando el 1 al más importante y 4 al menos importante). Bajo costo..... Fácil de instalar..... No contamina..... Fácil de comprar.....				

Para la recolección de datos se aplica el cuestionario de acuerdo con el análisis realizado en los párrafos anteriores; un grupo de encuestadores visitaron los hogares y solicitaron se complete el mismo.

La cantidad de energía que se requiere para cubrir la demanda, considerando los valores promedio de consumo de ACS en ducha, lavamanos y en el fregadero de cocina determinados en la encuesta, se obtiene de la ecuación (2):

$$D_{ACS} = V_{ACS} \times \rho_a \times C_p \times (T_{uso} - T_{red}) \quad (2)$$

Donde:

D_{ACS} = Demanda de ACS (J)

V_{ACS} = Volumen de consumo de ACS (m³/mes)

ρ_a = Densidad del agua 1000 kg/m³

C_p = Calor específico del agua (4187 J/(kg·°C))

T_{uso} = Temperatura de consumo (°C)

T_{red} = Temperatura de la red (°C)

Para calcular las emisiones de CO₂ generadas al momento de obtener ACS, se multiplica la energía requerida para la obtención de ACS por un factor de emisiones que para GLP es de 0,234 y para electricidad 0,385 kg de CO₂ eq/kWh [7].

2.2. Monitoreo, procesamiento y análisis de los datos de radiación solar para el cantón Cuenca

Para esta segunda fase del proyecto se trabaja en la selección y emplazamiento de las estaciones meteorológicas de acuerdo con las recomendaciones realizadas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM). Se realiza un control de calidad de datos y los ajustes correspondientes para finalmente cuantificar la energía existente en cada uno de los sectores en donde se encuentran emplazadas las estaciones meteorológicas y que están asociados a las parroquias urbanas y rurales del cantón Cuenca.

2.2.1. Emplazamiento de estaciones meteorológicas en el cantón Cuenca

En el año 2013 la Universidad Politécnica Salesiana, UPS, y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER, instalaron una red de 16 estaciones meteorológicas repartidas en puntos estratégicos del cantón Cuenca con el propósito de medir variables meteorológicas y estos datos poderlos utilizar en proyectos para implantación de sistemas energéticos fundamentados en energías renovables [8].

Para la correcta definición geográfica de los sitios de emplazamiento de las estaciones se trabajaron en seis etapas las cuales se listan a continuación [9].

- Determinación de datos de posibles lugares para emplazamiento.
- Visitas de campo.
- Selección de criterios.
- Análisis espacial.
- Valoración y elección de lugares de emplazamiento.
- Selección y emplazamiento de estaciones meteorológicas

2.2.2. Caracterización de la radiación solar en el cantón Cuenca durante los años 2014-2015

Para este proceso se recopila la información de radiación global medida por la estación meteorológica y se realiza un control de calidad de los datos obtenidos, ya que, por condiciones de los sitios de emplazamiento o por circunstancias no controladas de los equipos pueden existir datos faltantes en fechas establecidas; a continuación, se procede a realizar la complementación correspondiente, se cuantifica la radiación existente y se calcula el aporte energético que la radiación ofrece en las diferentes zonas para cada mes en los años 2014 y 2015.

La información faltante se completa utilizando el modelo matemático de Angström – Prescott modificada por Page, el cual permite estimar el recurso solar en una zona determinada [10]. El procedimiento consiste en hacer uso de varias ecuaciones correlacionadas entre sí, las cuales permiten calcular la radiación extraterrestre (H_e) según la ubicación geográfica del área de interés, para luego emplear la ecuación de Page y así obtener la radiación sobre una superficie horizontal (H_0). La correlación de Angström – Page para determinar la radiación solar global faltante sobre una superficie horizontal se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Correlación de Angström – Page para determinar la radiación solar global [10]

Descripción	Ecuación
Horas teóricas de brillo solar (h)	$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$
Radiación extraterrestre (J/m ²)	$H_e = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360 \times z}{365} \right] \cdot \left[\cos \rho \cdot \cos \delta \cdot \sin h_s + \frac{2\pi h_s}{360} \sin \phi \cdot \sin \rho \right]$
Horas reales (h)	$HSP_{Ecuador} = 9$
Radiación solar en superficie horizontal (Wh/m ²)	$H_0 = H_e \left(a + b \frac{H_{reales}}{N} \right)$

Para realizar los cálculos correspondientes, se toman los valores complementados diarios y las horas de sol establecidas, se suman los valores para encontrar el total diario y se suman los totales diarios de cada mes para obtener el total mensual, por último, se toman los totales mensuales y se obtiene el valor de energía incidente total anual.

2.3. Caracterización de colectores solares de tubos de vacío y tubo de vacío con tubos de calor

Para el caso en estudio se utilizan dos tipos de colectores solares que se instalan en dos viviendas del cantón Cuenca; el primero es un calentador de tubos de vacío y el otro es un calentador de tubos de vacío con tubo de calor, que son los que comercialmente se pueden conseguir en el Ecuador; para cada uno se realiza el análisis teórico correspondiente aplicando los principios de la termodinámica y la transferencia de calor. Con los colectores instalados se determinan las eficiencias reales y se compararan con los datos teóricos calculados, se establece la corrección correspondiente y se obtiene el modelo matemático específico para cada uno.

El calor útil (Q_u) que vendría a ser igual al calor incidente (Q_{inc}) que es el que proviene de la radiación solar menos el calor de pérdidas (Q_{per}) que se dan en el proceso de transferencia de calor se calcula con la ecuación (3).

$$Q_u = Q_{inc} - Q_{per} \quad (3)$$

Para determinar la eficiencia η de los colectores solares se utiliza la ecuación (4):

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{inc}} \quad (4)$$

2.3.1. Caracterización de calentador solar de tubo de vacío.

Para el cálculo del calor incidente en vatios se tiene la ecuación (5)

$$Q_{inc} = I_p \times \alpha_s \times A \quad (5)$$

Donde:

I_p es la irradiación promedio en la ciudad de Cuenca. A es el área de captación de la radiación multiplicado por el número de tubos.

α_s es el factor de corrección de la radiación incidente que llega a los tubos de vacío y es determinado por la Ecuación (6):

$$\alpha_s = \frac{\tau\alpha}{1 - (a - \alpha)\rho_d} \quad (6)$$

Donde:

τ es la transmisividad de los tubos de vidrio.

α es la absorptividad de los tubos.

ρ_d es la reflectancia difusa de los tubos.

Para el cálculo del área de incidencia (m^2) se debe tomar en cuenta que la radiación solar cualquiera que sea la ubicación del sol solamente afectará la mitad de los tubos de vacío, por lo tanto, solo se tomará en cuenta la mitad de la periferia como se muestra en la ecuación (7):

$$A = \frac{d_i \times \pi \times \text{número de tubos}}{2} \quad (7)$$

El siguiente proceso es determinar las pérdidas por conducción, convección y radiación en todo el calentador como se muestra en la Figura 3.

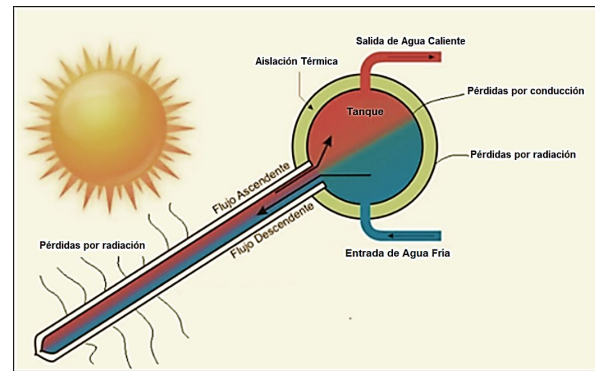


Figura 3. Pérdidas de calor en un calentador solar de tubos de vacío [11].

El total de las pérdidas (TQ_{per}) (W) está dado por la sumatoria de las pérdidas obtenidas en los tubos de vacío ($Q_{p-Tubos}$) y las pérdidas del tanque acumulador ($Q_{p-Tanque}$), por lo tanto, la expresión para el cálculo de las pérdidas totales está dado por la ecuación (8):

$$Q_{per} = Q_{p-Tubos} + Q_{p-Tanque} \quad (8)$$

En el caso de los tubos de vacío las pérdidas se generan únicamente por radiación [12], ya que esta es su ventaja frente a otros sistemas; para el cálculo de las pérdidas en los tubos se tiene la ecuación (9):

$$Q_{p-Tubos} = U_{lr} \times A(T_c - T_a) \quad (9)$$

Donde:

U_{lr} es el coeficiente de pérdidas de calor por radiación de los tubos.

A es el área de captación.

T_c es la temperatura de la cubierta.

T_a es la temperatura ambiente.

El cálculo de U_{ir} se lo realizará mediante la fórmula propuesta por Duffie & Beckman [13] en la cuál relacionan las pérdidas por radiación de la superficie del tubo receptor hacia el tubo de cubierta ($h_{r, r-c}$) y las pérdidas por radiación del tubo de cubierta hacia el ambiente ($h_{r, c-a}$) como se muestra en la Ecuación 10.

$$U_{ir} = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r, c-a} \times A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} \right]^{-1} \quad (10)$$

Donde:

A_r representa el área del tubo receptor.

A_c es el área de la cubierta o tubo exterior.

h_w es el coeficiente de convección en función del viento.

Para el cálculo del coeficiente de convección ($\frac{w}{m^2 \times ^\circ C}$) se utilizará la ecuación (11):

$$h_w = N_u \times \frac{K}{D} \quad (11)$$

Donde:

N_u es el número de Nusselt.

K es el coeficiente de conductividad térmica.

D es el diámetro del tubo.

El coeficiente de transferencia de calor entre los dos tubos concéntricos, el tubo receptor y el tubo de la cubierta $h_{r, r-c}$ ($\frac{w}{m^2 \times ^\circ C}$) no se ve atenuado por el vacío existente entre estos, por lo tanto, su valor será calculado mediante la ecuación (12):

$$h_{r, r-c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_c^2) \times (T_r + T_c)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2 \times A_r}{\varepsilon_2 \times A_c}} \quad (12)$$

Donde:

ε_1 es la emisividad del tubo receptor.

ε_2 es la emisividad del tubo de cubierta.

F_{12} es el factor de visión.

T_c es la temperatura de la cubierta.

T_r es la temperatura del receptor.

Para el cálculo de pérdidas en el tanque acumulador se realiza una analogía con redes de resistencias térmicas ya que el tanque está conformado por tres materiales como se muestra en la Figura 4.

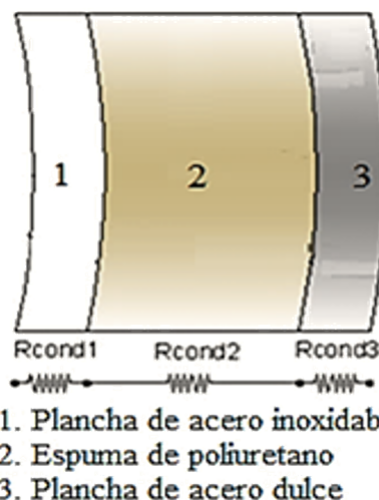


Figura 4. Analogía de resistencias para el tanque acumulador multicapa [11].

Las pérdidas se producen en el tanque de almacenamiento por conducción, convección y radiación; ($Q_{p-tanque}$) y están dadas por la ecuación (13):

$$Q_{p-Tanque} = Q_{p-cond} + Q_{p-conv} + Q_{p-rad} \quad (13)$$

Para las pérdidas por conducción en la periferia del tanque se consideran las ecuaciones (14) y (15):

$$Q_{p-cond} = \frac{T_i - T_a}{R_{Total}} \quad (14)$$

$$R_{Total} = R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3} \quad (15)$$

Donde:

T_i es la temperatura en el interior del tanque.

T_a es la temperatura del ambiente.

R_{Total} es la sumatoria de las resistencias térmicas por conducción en cada una de las capas en el tanque acumulador.

Para el cálculo de cada una de las resistencias por conducción se aplica la ecuación (16):

$$R_{cond} = \frac{\ln \frac{D}{d}}{2 \times \pi \times L \times K} \quad (16)$$

Donde:

D es el diámetro mayor de la capa que se esté analizando.

d es el diámetro menor de la capa.

L es la longitud del cilindro.

K es el coeficiente de conductividad térmica de los materiales.

Para las pérdidas en las tapas del tanque se utiliza de igual manera una analogía con redes de resistencias térmicas ya que el tanque está formado por tres materiales como se muestra en la Figura 5.

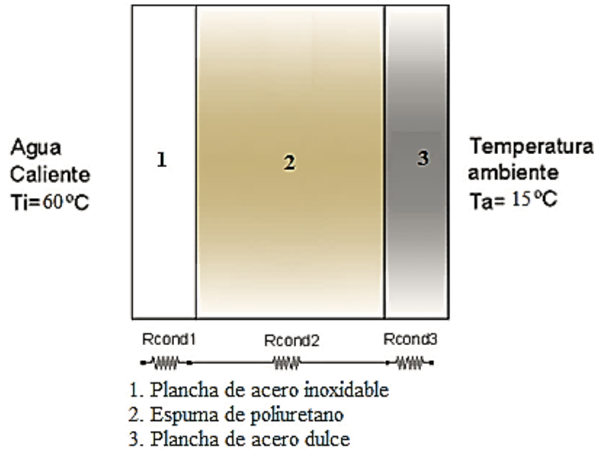


Figura 5. Analogía de resistencias para la tapa del tanque acumulador multicapa [11].

El procedimiento de cálculo es el mismo que se explicó en los párrafos anteriores, pero se modifica la expresión de las resistencias por la ecuación (17) considerando que las superficies son planas.

$$R = \frac{e}{K \times A} \quad (17)$$

Donde:

e es el espesor de las diferentes capas de aislamiento.
 K es el coeficiente de conductividad térmica.
 A es el área de conducción de la capa de aislamiento.

Realizando la suma de la resistencia total del cilindro y la de las tapas se obtiene la resistencia total que reemplazando en la ecuación (14) permite calcular las pérdidas totales de conducción en el tanque (Q_{p-cond}).

Para las pérdidas por convección en el tanque se utiliza la ecuación (18).

$$Q_{p-cond} = hA_t(T_t - T_a) \quad (18)$$

Donde:

h es el coeficiente de transferencia de calor por convección.
 A_t es el área transversal del tanque de almacenamiento.
 T_t es la temperatura en la superficie exterior del tanque.
 T_a es la temperatura ambiente.

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección se utiliza la ecuación (19):

$$h = \frac{N_u \times K}{D} \quad (19)$$

Donde:

N_u es el número de Nusselt.

K es el coeficiente de conductividad térmica del aire.
 D es el diámetro exterior del tanque de almacenamiento.

Para el cálculo de las pérdidas por radiación en el tanque se utiliza la ecuación (20):

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A_t (T_t^4 - T_a^4) \quad (20)$$

Donde:

ε es la emisividad de la superficie del tanque.

σ es el coeficiente de Stefan Boltzman.

A_t es el área transversal del tanque de almacenamiento.

2.3.2. Caracterización de calentador solar de tubos de vacío con tubo de calor.

El proceso de cálculo de eficiencia y de pérdidas en el tanque es el mismo que para tubos de vacío; la diferencia para este tipo de calentador está en el sistema de tubos de vacío con tubos de calor en donde interviene un elemento adicional en el intercambio que modificará el valor de eficiencia en el sistema. Para este caso en particular el U_{lr} será ahora U_l que es el coeficiente de pérdidas de calor por radiación de los tubos.

El cálculo de U_l para este tipo de calentador se lo realiza mediante la fórmula propuesta por Duffie & Beckman [13], en la cual relacionan las pérdidas por radiación de la superficie del tubo receptor hacia el tubo de cubierta ($h_{r, r-c}$), las pérdidas por radiación del tubo de cubierta hacia el ambiente ($h_{r, c-a}$) y, además, se consideran las pérdidas entre el tubo de calor hacia el tubo receptor ($h_{r, tc-r}$) como se muestra en la ecuación (21):

$$U_l = \left[\frac{A_r}{h_w + h_{r, c-a} \times A_c} + \frac{1}{h_{r, r-c}} + \frac{1}{h_{r, tc-r}} \right]^{-1} \quad (21)$$

El término que se incorpora considera las pérdidas entre el tubo de calor hacia el tubo receptor ($h_{r, tc-r}$) y se calcula con la fórmula (22):

$$h_{r, tc-r} = \frac{\sigma \times 4 \times T^3}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + 1 + \frac{(1-\varepsilon_2)A_1}{\varepsilon_2 A_2}} \quad (22)$$

Donde:

ε_1 es la emisividad del cobre.

ε_2 es la emisividad del tubo de vidrio.

A_1 es el área del tubo de calor.

A_2 es el área del tubo de vidrio.

σ es el coeficiente de Stefan Boltzman.

T es la temperatura del receptor.

2.3.3. Determinación práctica de la eficiencia del colector de tubos de vacío y del colector de tubos de vacío con tubo de calor.

Para los dos tipos de calentadores instalados se realiza el monitoreo de las siguientes variables:

- Temperatura ambiente [°C]
- Temperatura del agua en el tanque acumulador [°C]
- Temperatura de ingreso del agua de la red [°C]
- Volumen de agua [litros]

Con los valores medidos durante un año se calcula la eficiencia del calentador utilizando la fórmula 23:

$$\eta_s = \frac{\dot{m} \times C_p \times (T_s - T_i)}{Q_{inc}} \quad (23)$$

Donde:

\dot{m} es el flujo másico de agua que circula por el calentador [kg/s].

C_p es el calor específico del agua [J/kg·K].

T_s es la temperatura de salida del agua [°C].

T_i es la temperatura de ingreso del agua [°C].

Q_{inc} es la energía útil proveniente del sol [W/m²].

Finalmente, se comparan los datos medidos con los datos calculados y se realiza la corrección en el análisis teórico.

2.4. Factibilidad de implementación de sistemas solares para obtención de ACS y determinación de disminución de la contaminación ambiental

En este punto se definirá la factibilidad de implementación de sistemas para obtención de ACS considerando la cantidad de energía solar medida durante los años 2014 y 2015 para las parroquias del cantón Cuenca.

Para el análisis se parte de los datos de radiación solar medidos y se calcula en función de la radiación la energía que los dos tipos de calentadores son capaces de aportar para obtener ACS, se compara con la demanda energética determinada en el trabajo de campo, se calcula el porcentaje de aporte que podrían generar estos sistemas y la disminución que se podría dar en emanaciones de CO₂ con la implementación de los mismos.

Además, se determina la cantidad de energía que se debería generar con fuentes convencionales complementarias para garantizar una constante dotación de agua caliente en las viviendas.

3. Resultados y discusión

En la primera etapa para determinar la muestra se aplica la ecuación (1).

Remplazando los valores se tiene que el tamaño de la muestra es de 531 hogares.

Aplicando la encuesta se obtiene que el 82 % de los hogares del cantón Cuenca utilizan ACS y el 18 % no la utilizan. (Figura 6)

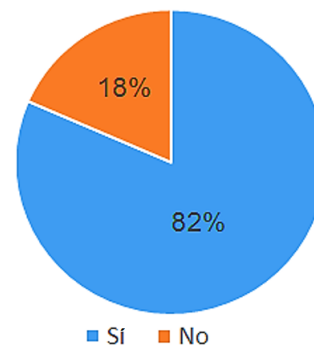


Figura 6. ACS en hogares en el cantón Cuenca.

Quienes no utilizan ACS consideran que es una implementación costosa y la contaminación ambiental que se pueda generar fue considerada como un factor nada importante (Figura 7).

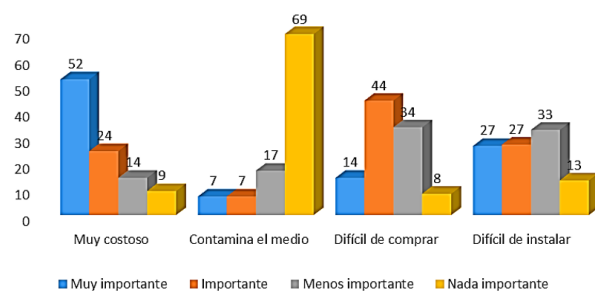


Figura 7. Motivos por los cuales un hogar cuencano no dispone de ACS.

En el cantón Cuenca el número de habitantes por hogar se encuentra comprendido entre 3 y 6, como se muestra en la Figura 8; la tendencia de la curva está hacia la derecha y se mantiene para la zona urbana y la rural, por lo que el valor considerado de cinco miembros por hogar es una alternativa válida para el análisis.

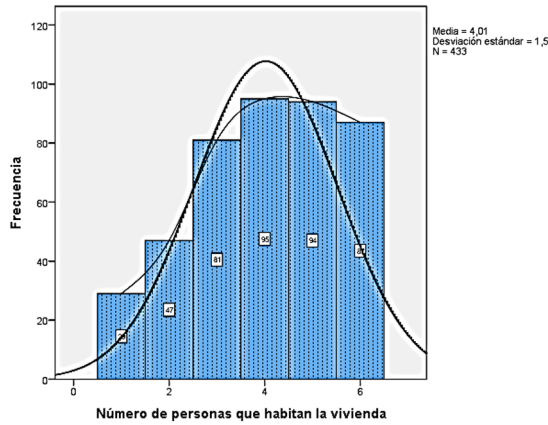


Figura 8. Número de habitantes por vivienda en el cantón Cuenca.

Con respecto a los sistemas utilizados para obtener agua caliente sanitaria, predomina el sistema de calefacción con GLP (Figura 9).

El ACS se utiliza fundamentalmente en ducha, lavamanos y fregadero de cocina, y la frecuencia de uso para los cinco miembros en lavamanos y fregadero de cocina está entre 30 a 45 min diarios y para la ducha está entre 30 y 60 minutos (Figura 10).

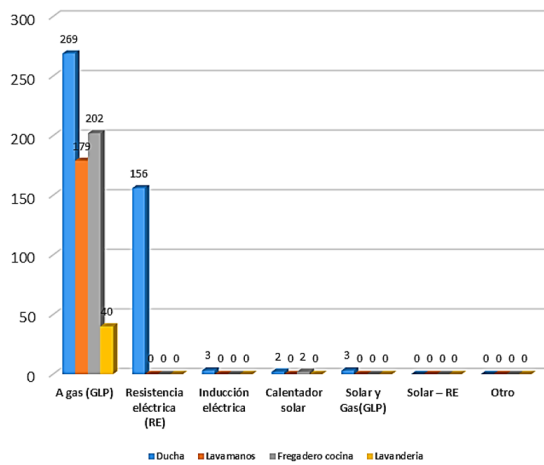


Figura 9. Sistemas utilizados para obtención de ACS.

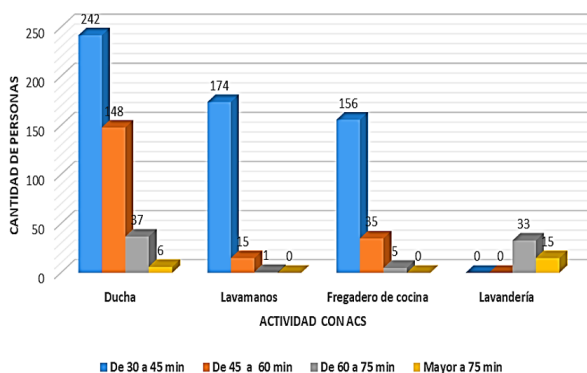


Figura 10. Tipo de actividad con ACS y tiempo empleado.

Los sistemas utilizados actualmente para obtener ACS son eficientes ya que la población los califica como buenos y muy buenos (Figura 11).

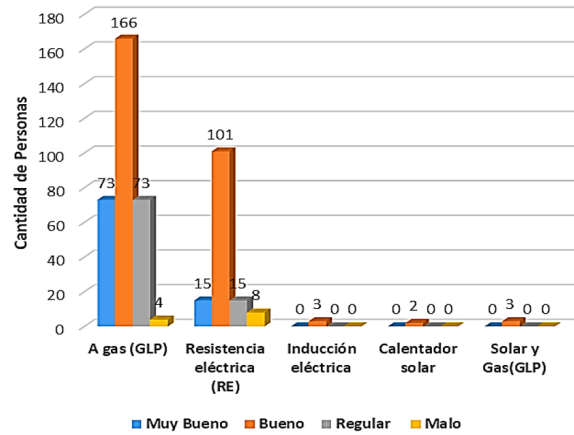


Figura 11. Calificación del sistema de ACS.

A la hora de seleccionar el sistema lo que más importancia tiene es el costo del sistema y lo que menos importante es la contaminación que este pueda generar (Figura 12).

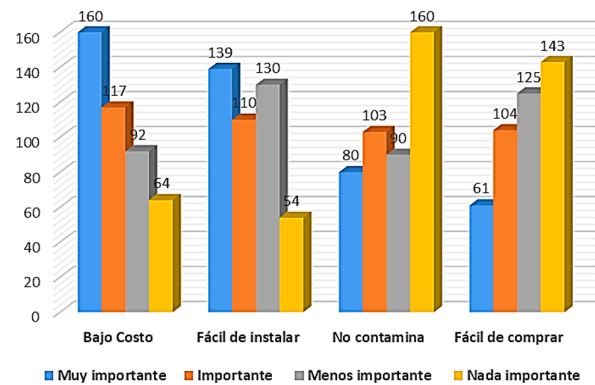


Figura 12. Importancia de parámetros a la hora de escoger un sistema para obtener ACS.

A partir de la pregunta 4 se determina el valor promedio de consumo de ACS, para esto se calcula los valores promedios de la sumatoria de los tiempos de uso para ducha, lavamanos y fregadero de cocina, en lo que corresponde a lavandería se desprecia ya que el porcentaje de usuarios en esta actividad es mínimo.

Con lo antes indicado se determina el consumo de ACS, multiplicando el tiempo total empleado por los miembros del hogar por un consumo promedio de $0,006 \text{ m}^3/\text{min}$ [14], y por un factor de coincidencia pues nos todos los miembros se bañan todos los días, o utilizan ACS en el lavamanos o en el fregadero de cocina, estos valores han sido identificados considerando las costumbres de uso de los habitantes del cantón Cuenca; los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo del consumo efectivo de ACS por hogar de 5 miembros en el cantón Cuenca

Actividad	Tiempo promedio diario (min)	Factor de coincidencia	Tiempo diario efectivo (min)	Caudal en tubería (m ³ /min)	Consumo efectivo (m ³ /día)
Ducha	44	0,5	22	0,006	0,13
Lavamanos	30	0,4	12	0,006	0,07
Fregadero de cocina	20	0,4	8	0,006	0,05
			Total		0,25

Para calcular la demanda de energía mensual utilizamos la ecuación (2). El valor correspondiente a T_{uso} es 60 °C, mientras que para T_{red} es un promedio de 8 °C, este valor se asume ya que existe una variación entre 6 y 10 °C en las zonas urbana y rural; el valor de V_{ACS} es 0,25 m³/día, conocidos los valores de los parámetros se procede a remplazar en la expresión considerando los días de cada mes y se determina el valor mensual y anual de energía requerida para producir ACS; los valores calculados se muestran en la Tabla 5.

Con el valor calculado de la demanda de energía mensual y anual requerida para obtener ACS para una familia de 5 miembros se procede a calcular la producción de CO₂, multiplicando al valor obtenido por el índice de emisiones que para el GLP genérico es de 0,234 kg de CO₂ eq/kWh [7] obteniéndose que se produce 2141,20 kg de CO₂ eq al año en una familia promedio de 5 miembros en el cantón Cuenca como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Demanda de energía mensual y anual para producir ACS en un hogar de 5 miembros en el cantón Cuenca y producción de CO₂

Mes	Días	Consumo (m ³ /día)	Consumo total (m ³) mensual	Tred (°C)	Tuso (°C)	ΔT (°C)	D _{ACS} (MJ) por mes	D _{ACS} (kWh) por mes	kg eq de CO ₂
Enero	31	0,25	7,81	8	60	52	1700,86	472,46	181,9
Febrero	28	0,25	7,06	8	60	52	1536,26	426,74	164,29
Marzo	31	0,25	7,81	8	60	52	1700,86	472,46	181,9
Abril	30	0,25	7,56	8	60	52	1645,99	457,22	176,03
Mayo	31	0,25	7,81	8	60	52	1700,86	472,46	181,9
Junio	30	0,25	7,56	8	60	52	1645,99	457,22	176,03
Julio	31	0,25	7,81	8	60	52	1700,86	472,46	181,9
Agosto	31	0,25	7,81	8	60	52	1700,86	472,46	181,9
Septiembre	30	0,25	7,56	8	60	52	1645,99	457,22	176,03
Octubre	31	0,25	7,81	8	60	52	1700,86	472,46	181,9
Noviembre	30	0,25	7,56	8	60	52	1645,99	457,22	176,03
Diciembre	31	0,25	7,81	8	60	52	1700,86	472,46	181,9
			Demanda por año				20026,25	5562,85	2141,7

Considerando los datos anteriores y con 114 553 hogares formados por 5 miembros se produciría un aporte a la contaminación de 245 338 160 kg eq de CO₂ o 245 338 t eq de CO₂.

Con respecto al monitoreo, procesamiento y análisis de radiación solar global, para este proceso se consideran los datos de radiación medidos por un grupo de 16 estaciones meteorológicas instaladas en el cantón Cuenca según la Tabla 6.

Se realiza la complementación de datos faltantes usando correlación de Angström – Page para los datos de las estaciones mostradas en la Tabla 7.

Se obtienen las tablas complementadas; como ejemplo se presenta para la estación de la parroquia rural de Chaucha la Tabla 8.

Tabla 6. Datos de estaciones meteorológicas

Estación meteorológica	Coordenadas	Elevación (m s. n. m.)
Quingeo	729057; 9664602	2893
Molleturo	679708; 9692232	3530
Baños	712899; 9672817	3062
CTS	720504; 9677509	2561
UPS	723584; 9680788	2556
Tixán	723017; 9686678	2725
Cumbe	719190; 9656242	3179
Sayaquí	715974; 9681200	2727
Nulti	729704; 9682466	2601
San Joaquín	714405; 9680807	2764
Llacao	730418; 9685180	2542
Santa Ana	730085; 9672006	2651
Chaucha	672859; 9678690	1929
Turi	721103; 9674971	2768
Simincay	722340; 9685283	2696
Victoria del Portete	713645; 9659192	2665

Tabla 7. Estaciones meteorológicas con datos faltantes

Estación	Año	Mes	Días con datos faltantes
CTS	2014	enero	1-9
	2014	marzo	19-24
Chaucha	2014	noviembre	27-30
	2014	diciembre	9-15
Cumbe	2014	enero	1-8
Irquis	2014	enero	1-3
Santa Ana	2014	enero	1-3
Turi	2014	enero	1-7
UPS	2014	enero	1-7

Tabla 8. Datos faltantes de radiación complementados en el mes de diciembre 2014 para la estación de Chaucha

Hora/Día	diciembre 14								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16
01H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07H00	13	7	13	13	24	9	14	3	5
08H00	59	72	67	81	112	89	72	64	76
09H00	123	255	267	495	292	217	151	305	279
10H00	569	309	500	739	331	504	191	633	465
11H00	955	355	719	941	570	719	387	1071	902
12H00	1123	569	940	1085	923	783	555	1054	1187
13H00	1114	453	922	1129	798	536	651	1063	1022
14H00	975	224	670	1128	1004	664	419	325	686
15H00	1059	67	226	432	399	394	790	69	216
16H00	173	57	96	89	383	389	241	78	86
17H00	50	85	31	90	184	177	68	51	57
18H00	11	47	6	54	8	71	62	53	73
19H00	1	4	2	4	1	7	6	5	9
20H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24H00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con los datos complementados se calcula la radiación global total diaria, mensual y anual para cada estación (Figura 12, ejemplo estación de Chaucha).

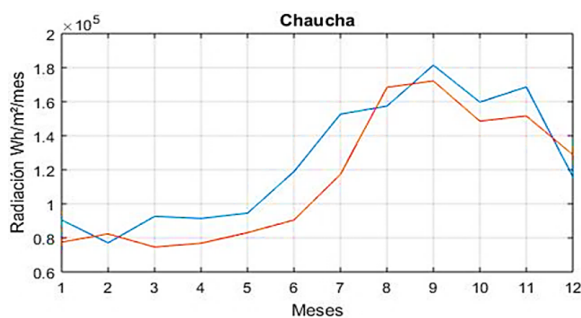


Figura 13. Radiación solar global – Sector Chaucha

Con los promedios de todos los datos medidos en las 16 estaciones se obtiene la curva promedio de radiación solar global para el cantón Cuenca como se muestra en la Figura 14.

Radiación global cantón Cuenca 2014-2015

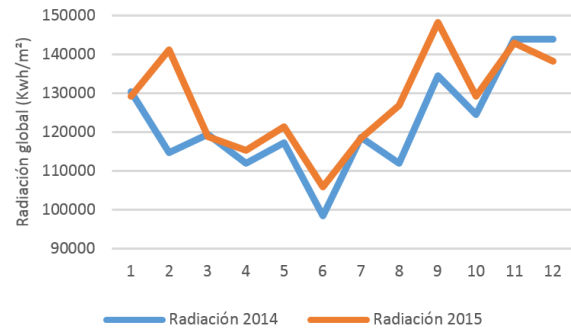


Figura 14. Radiación global – cantón Cuenca 2014-2015

Los calentadores instalados tienen las siguientes características (Figura 15):



Figura 15. Características de calentadores solares instalados

Se calcula la eficiencia de los colectores solares tanto de manera teórica como práctica y se compara los valores llegando a determinar que el promedio de la diferencia porcentual para el calentador de tubos de vacío evacuados simple es del 5 % y el de tubos de vacío con tubos de calor es del 2 %; (Figura 16) con estos valores se corrige el análisis y se determina la eficiencia real en los colectores quedando para el de tubos de vacío es de 74 % y el de tubos de vacío con tubos de calor es de 80 %.

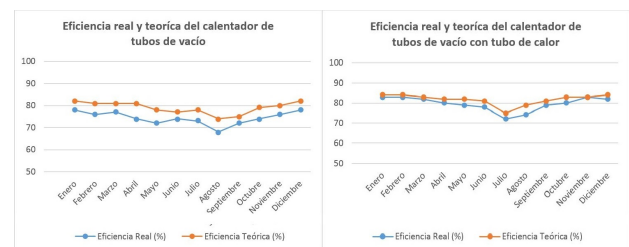


Figura 16. Eficiencia real y teórica de calentadores solares

Con los datos de radiación complementados y definidas las eficiencias de los calentadores se calculan la energía de pérdida y la energía útil que se empleará

para la obtención de ACS y se comparan con la demanda de energía para establecer la cantidad faltante que debe ser cubierta con sistemas auxiliares para cada

tipo de calentador (Tablas 9, 10). Para el cálculo se considera 9 horas efectivas de sol diarias.

Tabla 9. Análisis energético para el calentador de tubos de vacío

Estación	Irradiancia promedio kWh/m ²		Energía incidente kWh		Energía perdida kWh		Energía útil kWh		Demanda energía kWh		Energía faltante kWh		Energía faltante kg (GLP)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014,00	2015,00	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Baños	1359,11	1349,73	2729,67	2710,82	709,71	704,81	2019,96	2006,00	5562,85	5562,85	3542,89	3556,85	280,32	281,42
Chaucha	1454,31	1372,09	2920,86	2755,73	759,42	716,49	2161,43	2039,24	5562,85	5562,85	3401,42	3523,61	269,12	278,79
CTS	1527,98	1551,79	3068,82	3116,64	797,89	810,33	2270,93	2306,31	5562,85	5562,85	3291,92	3256,54	260,46	257,66
Cumbe	1457,39	1525,81	2927,04	3064,46	761,03	796,76	2166,01	2267,70	5562,85	5562,85	3396,84	3295,15	268,76	260,72
Iruquis	1466,93	1509,14	2946,20	3030,99	766,01	788,06	2180,19	2242,93	5562,85	5562,85	3382,66	3319,92	267,64	262,67
Llacao	1609,21	1665,49	3231,97	3345,01	840,31	869,70	2391,66	2475,31	5562,85	5562,85	3171,19	3087,54	250,91	244,29
Molleturo	1823,05	1968,17	3661,44	3952,91	951,97	1027,76	2709,47	2925,15	5562,85	5562,85	2853,38	2637,70	225,76	208,70
Nulti	1691,23	1781,70	3396,70	3578,40	883,14	930,38	2513,56	2648,01	5562,85	5562,85	3049,29	2914,84	241,26	230,62
Quingeo	1472,95	1570,64	2958,31	3154,51	769,16	820,17	2189,15	2334,34	5562,85	5562,85	3373,70	3228,51	266,93	255,44
San Joaquín	1414,30	1364,51	2840,51	2740,51	738,53	712,53	2101,98	2027,98	5562,85	5562,85	3460,87	3534,87	273,83	279,68
Santa Ana	1431,65	1482,57	2875,36	2977,62	747,59	774,18	2127,76	2203,44	5562,85	5562,85	3435,09	3359,41	271,79	265,80
Sayausí	1435,70	1440,54	2883,49	2893,20	749,71	752,23	2133,78	2140,97	5562,85	5562,85	3429,07	3421,88	271,31	270,74
Sinincay	1523,17	1552,78	3059,17	3118,64	795,38	810,85	2263,79	2307,79	5562,85	5562,85	3299,06	3255,06	261,02	257,54
Tixán	1462,79	1472,53	2937,90	2957,45	763,85	768,94	2174,04	2188,51	5562,85	5562,85	3388,81	3374,34	268,13	266,98
Turi	1441,54	1515,15	2895,23	3043,06	752,76	791,20	2142,47	2251,86	5562,85	5562,85	3420,38	3310,99	270,62	261,97
UPS	1640,31	1679,48	3294,43	3373,09	856,55	877,00	2437,88	2496,09	5562,85	5562,85	3124,97	3066,76	247,25	242,64
Valores promedio											3286,42	260,02		

Tabla 10. Análisis energético para el calentador de tubos de vacío con tubos de calor

Estación	Irradiancia promedio kWh/m ²		Energía incidente kWh		Energía perdida kWh		Energía útil kWh		Demanda energía kWh		Energía faltante kWh		Energía faltante kg (GLP)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014,00	2015,00	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Baños	1359,11	1349,73	2729,67	2710,82	545,93	542,16	2183,74	2168,65	5562,85	5562,85	3379,11	3394,20	267,36	268,55
Chaucha	1454,31	1372,09	2920,86	2755,73	584,17	551,15	2336,69	2204,58	5562,85	5562,85	3226,16	3358,27	255,26	265,71
CTS	1527,98	1551,79	3068,82	3116,64	613,76	623,33	2455,06	2493,31	5562,85	5562,85	3107,79	3069,54	245,89	242,86
Cumbe	1457,39	1525,81	2927,04	3064,46	585,41	612,89	2341,64	2451,57	5562,85	5562,85	3221,21	3111,28	254,87	246,17
Iruquis	1466,93	1509,14	2946,20	3030,99	589,24	606,20	2356,96	2424,79	5562,85	5562,85	3205,89	3138,06	253,65	248,29
Llacao	1609,21	1665,49	3231,97	3345,01	646,39	669,00	2585,58	2676,01	5562,85	5562,85	2977,27	2886,84	235,56	228,41
Molleturo	1823,05	1968,17	3661,44	3952,91	732,29	790,58	2929,15	3162,33	5562,85	5562,85	2633,70	2400,52	208,38	189,93
Nulti	1691,23	1781,70	3396,70	3578,40	679,34	715,68	2717,36	2862,72	5562,85	5562,85	2845,49	2700,13	225,14	213,64
Quingeo	1472,95	1570,64	2958,31	3154,51	591,66	630,90	2366,65	2523,61	5562,85	5562,85	3196,20	3039,24	252,89	240,47
San Joaquín	1414,30	1364,51	2840,51	2740,51	568,10	548,10	2272,41	2192,41	5562,85	5562,85	3290,44	3370,44	260,34	266,67
Santa Ana	1431,65	1482,57	2875,36	2977,62	575,07	595,52	2300,29	2382,09	5562,85	5562,85	3262,56	3180,76	258,14	251,66
Sayausí	1435,70	1440,54	2883,49	2893,20	576,70	578,64	2306,79	2314,56	5562,85	5562,85	3256,06	3248,29	257,62	257,01
Sinincay	1523,17	1552,78	3059,17	3118,64	611,83	623,73	2447,34	2494,91	5562,85	5562,85	3115,51	3067,94	246,50	242,74
Tixán	1462,79	1472,53	2937,90	2957,45	587,58	591,49	2350,32	2365,96	5562,85	5562,85	3212,53	3196,89	254,18	252,94
Turi	1441,54	1515,15	2895,23	3043,06	579,05	608,61	2316,18	2434,45	5562,85	5562,85	3246,67	3128,40	256,88	247,52
UPS	1640,31	1679,48	3294,43	3373,09	658,89	674,62	2635,54	2698,47	5562,85	5562,85	2927,31	2864,38	231,61	226,63
Valores promedio											3101,85	245,42		

Con los valores establecidos se determina que con el calentador solar de tubos de vacío existe una cobertura promedio con energía solar del 40,92 % y para el calentador de tubos de vacío con tubo de calor el 44,23 %, esto implica una reducción promedio en el primer caso de 100 397,17 t CO₂ eq y en el segundo caso de 108 537,24 t CO₂ eq considerando que al utilizar calentadores a base de GLP se generan 245 337,84 t CO₂ eq al año (Figura 17).

Los valores de cobertura y disminución de contaminación tendrán una ligera variación dependiendo de la zona en la que están ubicadas las mismas que están adscritas a las mediciones de las 16 estaciones meteorológicas instaladas [15].

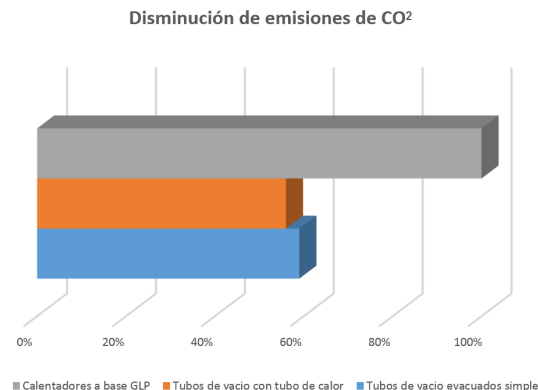


Figura 17. Disminución de emisiones de CO₂ en la obtención de ACS con calentadores híbridos con tecnología solar respecto a calentadores a base de GLP

4. Conclusiones

En el cantón Cuenca para obtener ACS sus habitantes utilizan sistemas a base de GLP, provocando una contaminación aproximada de 245 337 t CO₂ eq.

La cantidad de agua caliente utilizada para las diferentes actividades que corresponde a 50 l por persona al día, es excesiva comparándola con los 30 l diarios que se utiliza en España [16, 17] de acuerdo con las ordenanzas impuestas en ese país.

La radiación promedio en el cantón Cuenca está entre 1359 kWh/m² y 1968 kWh/m² dependiendo de las condiciones geográficas de cada sector, utilizando calentadores solares de tubos de vacío se puede generar un aporte energético para obtener ACS que va desde el 40,92 % al 44,23 %.

Para garantizar una dotación constante de ACS los calentadores deben ser híbridos, es decir, deben trabajar con energía solar y tener un sistema auxiliar que puede ser a base de GLP o resistencia eléctrica.

Si se realiza la implementación de sistemas híbridos con tecnología solar se obtiene una disminución de contaminación de CO₂ que está alrededor del 44 %, esto implica dejar de emanar al ambiente 108 537,24 tn CO₂ eq al año.

Referencias

- [1] B. Veritas, *Manual para la formación en medio ambiente*, S. LEX NOVA, Ed., 2008, advances in Material & Processing Technologies Conference. [Online]. Available: <https://goo.gl/vLX6Hy>
- [2] Eurobserv'er. (2017) Solar thermal and concentrated solar power barometer 2017. [Online]. Available: <https://goo.gl/2XFMc8>
- [3] F. Entrena, *Determinación del potencial solar UF0212*, ic editorial, Ed., 2013. [Online]. Available: <https://goo.gl/9PsoEw>
- [4] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, 5th ed., M. G. Hill, Ed., 2010. [Online]. Available: <https://goo.gl/1zETzt>
- [5] G. Ríos Jiménez. (2016) Métodos para calcular la población futura. [Online]. Available: <https://goo.gl/WCH7wy>
- [6] INEC. (2010) Resultados del censo 2010. [Online]. Available: <https://goo.gl/1BC66V>
- [7] G. de Aragón. (1967) Cálculo de emisiones. [Online]. Available: <https://goo.gl/yPftVh>
- [8] UPS - INER. (2013) Métodos para el control de calidad y complementación de datos faltantes en parámetros meteorológicos relacionados con la utilización de energías renovables. [Online]. Available: <https://goo.gl/1JLb9m>
- [9] I. Korkut, M. Kasap, I. Ciftci, and U. Seker, *Cultivos energéticos alternativos*, 2009, ch. Determinación de emplazamientos adecuados para estaciones meteorológicas en la provincia de Imbabura utilizando sistemas de información geográficos, pp. 75–87. [Online]. Available: <https://goo.gl/a8b2ZB>
- [10] J. Martínez Aguirre and J. Asitimbay Chávez, “Caracterización y análisis estadístico de la radiación solar directa para aplicaciones de media y alta temperatura en áreas circundantes al ocp,” Master’s thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas, 2015. [Online]. Available: <https://goo.gl/X4RgVK>
- [11] J. Jiménez Patiño, H. Llivichuzca Chacha, and J. Calle Sigüencia, “Diseño, implementación y monitoreo de calentadores híbridos con energía solar-glp y energía solar-calentadores eléctricos para la obtención de agua caliente sanitaria.” Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/4kV4w8>
- [12] Sitiosolar. (2014) Los colectores solares de tubo de vacío. Hybrid evolutionary systems for manufacturing processes. [Online]. Available: <https://goo.gl/EnpH8n>
- [13] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, I. John Wiley & Sons, Ed., 2013. [Online]. Available: <https://goo.gl/rjjMtJ>
- [14] Afta-asociation. Dimensionado de instalaciones. [Online]. Available: <https://goo.gl/pnQpzi>
- [15] O. Delgado, “Plan de ordenamiento y desarrollo territorial del cantón Cuenca,” in *Memorias del II Congreso Binacional de Investigación, Ciencia y Tecnología de las Universidades*, 2013, pp. 721–729. [Online]. Available: <https://goo.gl/S3WixM>
- [16] D. Fuentes Cantero, “Instalación de colectores solares para suministro de acs en valencia.” Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, España, 2009. [Online]. Available: <https://goo.gl/UTh93M>
- [17] ATECYR - IDAE, *Guía técnica Agua Caliente Sanitaria Central*, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía Std., 2015. [Online]. Available: <https://goo.gl/HCKYtz>