

Comportamiento energético del calentamiento solar de agua sanitaria en edificaciones

Energy behavior of solar heating of water in buildings

César Cisneros Ramírez^{1,*}, Eduardo Matheu Muñiz¹

¹Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Universidad Tecnológica de La Habana. Calle 114 No.11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: cesar@ceter.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 31 julio 2020 **Aceptado:** 14 agosto 2020 **Publicado:** 10 enero 2021

Resumen

El desarrollo e implementación de las fuentes renovables de energía es una realidad a corto y mediano plazo en Cuba. El empleo de la energía solar es una de las vías para elevar el porcentaje de participación de las fuentes renovables de energía en la matriz energética del país. En este trabajo se evalúa el comportamiento energético del calentamiento solar de agua sanitaria en edificaciones empleando diferentes tipos o esquemas de sistemas de calentamiento y distribución. Para el estudio se escogieron cuatro localidades: La Habana, Santiago de Cuba, Sancti Spíritus y Pinar del Río, representativas de la región oriental, central y occidental de Cuba. El estudio arrojó que la mayor fracción solar aprovechada se experimenta en una instalación con acumulación distribuida y que la de mayor consumo energético por bombeo es la instalación con acumulación mixta. Los resultados obtenidos para las dos bases de datos empleadas (NASA/SWERA) difieren entre 6,5 y 9,7% para el caso de la fracción solar, entre 2,3 y 5,3% para el consumo energético por bombeo y entre 7,9 y 9,4% en la evaluación de las emisiones evitadas. Esta desviación de los resultados entre las bases de datos confirma la necesidad de unificación de criterios sobre la elección de las mismas al realizar los análisis.

Palabras clave: calentamiento solar, agua caliente sanitaria, colectores solares

Abstract

The development and implementation of renewable energy sources are a reality in the short and medium term in Cuba. The use of solar energy is one of the ways to increase the percentage of participation in the country's energy matrix. In this work, the energetic behavior of the solar heating of sanitary water in buildings is evaluated using different types or schemes of heating and distribution systems. In order to do this study, there were chosen four places, La Habana, Santiago de Cuba, Sancti Spíritus and Pinar del Río, each one representing the eastern, central and western regions of Cuba. The study showed that the higher solar fraction is corresponding to an installation with distributed accumulation and that the mix accumulation installation represents the highest consumption by pump. The obtained results for both databases (NASA/SWERA) are different in 6.5 to 9.7%, between 2.3 and 5.3% for pump energy consumption and between 7.9 and 9.4% in emissions avoided. This deviation in results between databases confirms the need for a unification of criteria about their selection for the analysis of these systems.

Keywords: solar heating, domestic hot water, solar collectors

1. Introducción

Como parte del desarrollo perspectivo de las Fuentes Renovables de Energía (FRE) en Cuba se tiene como meta lograr incrementar para el año 2030 la participación de estas fuentes en un 24%, en lo que respecta al consumo de electricidad. Para ello se deberán desarrollar varios sectores dentro de las diferentes FRE, en lo fundamental, en la hidráulica, la eólica, la biomasa y la solar. El desarrollo de esta última se deberá incrementar considerablemente para ir a la par del resto de las demás FRE. La utilización de la energía solar para el calentamiento de agua sanitaria o el secado de productos es por el momento la vía más económica, a corto plazo, del empleo de esta energía. En este aspecto en Cuba se ha tenido avances en la investigación y aplicación de la energía solar para el calentamiento de agua con fines domésticos [1-3].

Para el diseño, evaluación y comparación de las instalaciones solares son esenciales los datos meteorológicos y de radiación solar. Además de ello, se hace necesario uniformar y unificar dichos datos [4]. También es importante la creación de indicadores que permitan comparar el comportamiento de las instalaciones, ya que estas presentan diferentes estructuras [5]. El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento del calentamiento de agua con energía solar en cinco tipos de edificaciones.

2. Materiales y Métodos

Para la realización del estudio fueron escogidas cuatro localidades en Cuba: Pinar del Río, Habana, Sancti Spíritus y Santiago de Cuba, como representativas de la región occidental, central y oriental del país. La Figura 1 muestra los valores promedio anuales de irradiación global, irradiación directa e irradiación difusa según las fuentes de datos seleccionadas para cada una de las localidades escogidas. En el trabajo se consideran dos bases de datos internacionales importantes: la base de datos de Agencia Nacional Aeroespacial (NASA) y la base de datos *Solar and Wind Resource Assessment* (SWERA). Estos valores fueron comparados entre las bases de datos y para el caso de La Habana, el valor de radiación promedio global y directa son 11 y 35% mayores respectivamente en el caso de los datos de la NASA respecto a los de SWERA. Igual es el comportamiento para Santiago de Cuba (4 y 13%), para Sancti Spíritus (11 y 34%) y para Pinar del Río (3,3 y 26,5%).

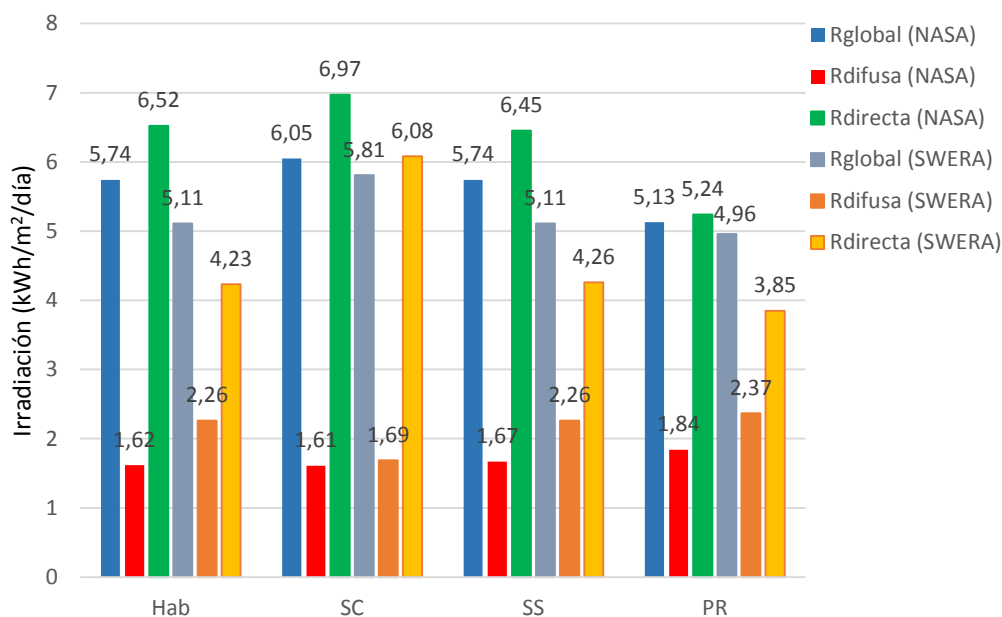
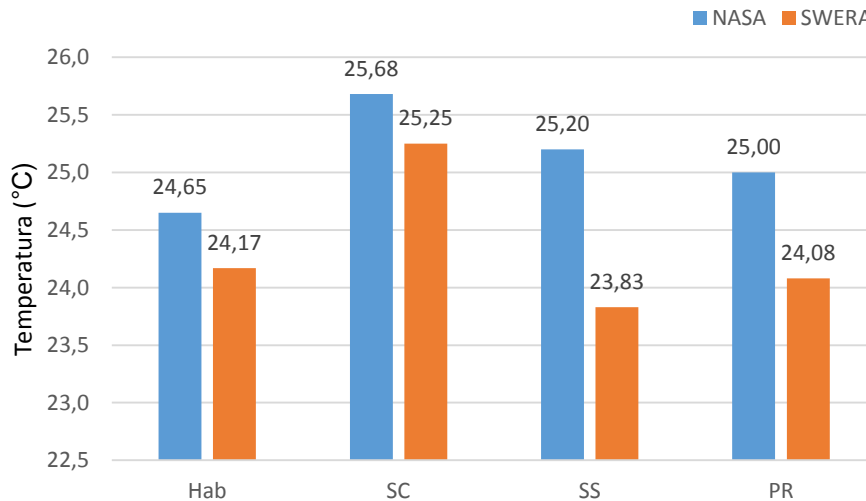


Fig.1 Irradiación estimada para las localizaciones analizadas

La Figura 2 muestra la temperatura ambiente promedio anual para las localizaciones analizadas. La temperatura ambiente promedio tiene similar comportamiento en cuanto a ser mayor para los datos aportados por la NASA respecto a los datos SWERA. La diferencia es de menos de un grado ($0,4^{\circ}\text{C}$) para La Habana y Santiago de Cuba (SC), $1,4^{\circ}\text{C}$ para Sancti Spíritus (SS) y $0,92^{\circ}\text{C}$ para Pinar del Río (PR).

**Fig.2 Temperatura promedio anual para las localizaciones analizadas**

Características de las viviendas e instalaciones analizadas

Las instalaciones analizadas son edificaciones multifamiliares en las cuales los consumidores siempre comparten el campo de captadores solares; es decir, el campo solar es único para todas las habitaciones. Según compartan o no la acumulación de la energía solar y el sistema de apoyo energético (calentamiento auxiliar), pueden aparecer diferentes configuraciones. Las configuraciones más habituales son cinco las cuales son:

- Cuando los usuarios comparten algo más que el campo de colectores.
 - Con acumulación centralizada y con apoyo distribuido. En este caso se tiene un tanque de almacenamiento común y el apoyo energético es individual (Figura 3, caso 1).
 - Con acumulación y apoyo centralizado. Este caso cuenta con un único tanque de almacenamiento y un único apoyo energético para toda la edificación (Figura 3, caso 2).
 - Acumulación centralizada con apoyo distribuido e intercambiador individual con regulación del caudal primario. En este caso se cuenta con un tanque de almacenamiento único y apoyo energético individual. El apoyo energético se realiza a través de un intercambiador de calor, por lo que no hay mezcla del fluido que circula por el campo de colectores que se emplea en las habitaciones. Cada habitación cuenta con un intercambiador de calor (Figura 3, caso 3).
- Cuando los usuarios solo comparten el campo de colectores.
 - Acumulación distribuida. En este caso cada habitación cuenta con tanque de acumulación individual. El agua caliente obtenida en el campo solar se distribuye a cada habitación (Figura 3, caso 4).

- Cuando los usuarios comparten el campo de colectores y parte del volumen de acumulación solar.
 - Acumulación mixta. En este caso se tiene un acumulador común para toda la edificación y además cada habitación tiene acumulación individual (Figura 3, caso 5)

Cada tipo de instalación es analizada para cada una de las regiones escogidas, con vista a determinar el comportamiento de una misma instalación al variar las condiciones exteriores debido a la ubicación (latitud) de la misma.

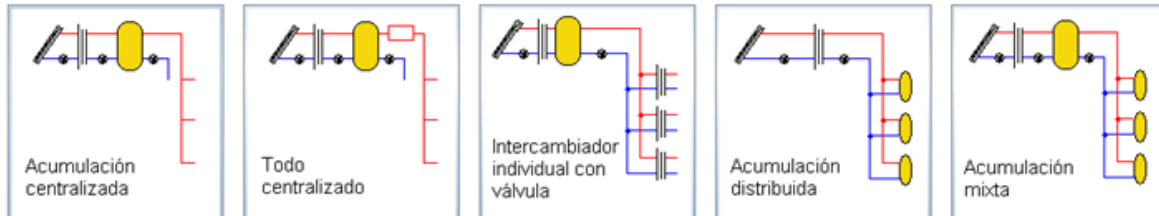


Fig.3 Características de las instalaciones analizadas (casos 1,2,3,4,5)

Herramienta utilizada para el análisis

La herramienta que se emplea para el análisis es el software ACSOL, que es una colección de programas para calcular las prestaciones de sistemas solares térmicos de baja temperatura y el cálculo se basa en el software de simulación TRNSYS. ACSOL ocupa una posición intermedia entre los programas generales de simulación (TRNSYS, Dymola) y los métodos simplificados como *f-chart*. En la versión empleada se incluyen los cinco esquemas analizados en este trabajo.

Las variables y valores de entrada al software para realizar los cálculos son: irradiación solar, temperatura ambiente, temperatura de referencia de la demanda, área de captación solar, rendimiento de los sistemas auxiliares y parámetros de la curva de eficiencia del colector empleado. Además, se introducen datos de las características del sistema de acumulación y del sistema de distribución de cada tipo de instalación. Para el volumen de acumulación se toma lo reportado en los trabajos [6, 7], considerando la relación volumen de almacenamiento-área de captación entre 60 y 120 litros/m². También se considera el deterioro de la eficiencia del colector debido al ensuciamiento entre 3 y 10% [8] y a la pérdida de vacío [9, 10]. Para el campo de colectores se considera solo dos colectores en serie, lo cual es común en el diseño de instalaciones domésticas, no siendo así para instalaciones industriales [11, 12].

3. Resultados y Discusión

Acorde los resultados obtenidos, estos se corresponden a valores de área de colección $A_c=38\text{m}^2$, temperatura de referencia $t_{ref} = 60^\circ\text{C}$ y rendimiento de los sistemas auxiliares $\eta_{aux} = 70\%$. La curva de eficiencia del colector corresponde a la de un colector plano con eficiencia óptica $a_0=0,83$ y parámetros del coeficiente de pérdida lineal $a_1=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ y parabólico $a_2=0,003\text{W/m}^2\text{K}^2$, característico de los empleados en instalaciones domésticas de agua caliente sanitaria [7]. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran los resultados obtenidos para cada instalación según la base de datos y localidad escogida. La Figura 4 muestra la fracción solar para cada tipo de instalación. Las líneas de puntos corresponden a valores según la base de datos de la NASA.

Las Figuras 4 y 5 muestran un comportamiento cualitativo similar de la fracción solar y del consumo por bombeo según el tipo de instalación y localidad estudiada. Se observa que la de menor fracción solar es la instalación número 1 (acumulación centralizada) y la de mayor fracción es la instalación número 4 (acumulación distribuida). Por otra parte, el menor consumo de energía por bombeo lo

experimenta la instalación 2 (todo centralizado) y el mayor consumo lo experimenta la instalación 5 (acumulación mixta).

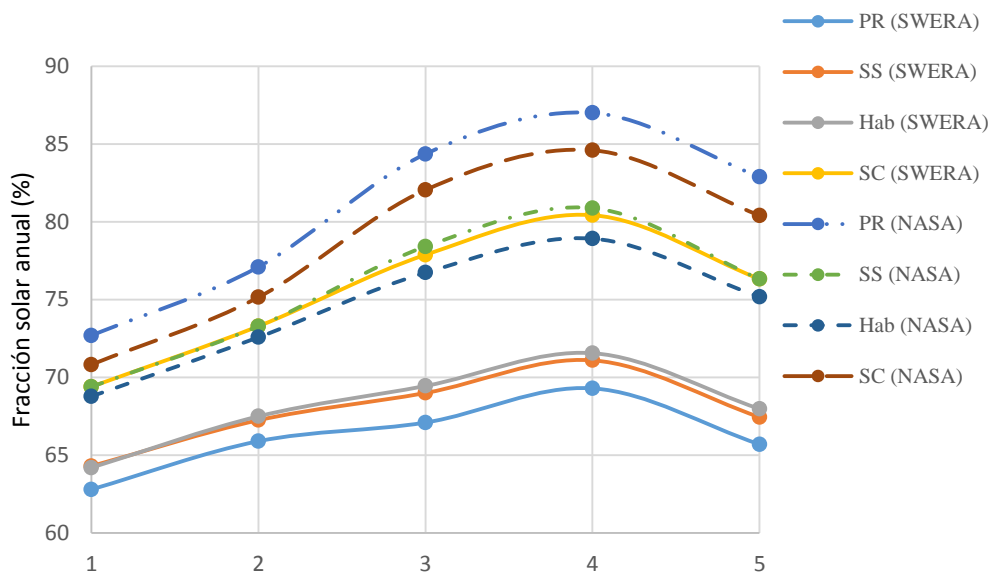


Fig.4 Resultados de fracción solar para cada tipo de instalación

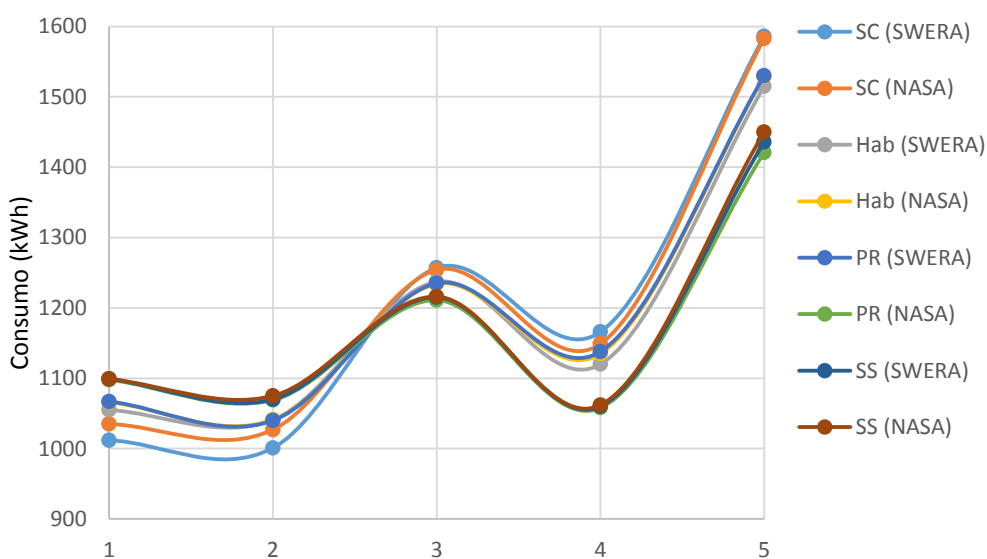


Fig.5 Consumo eléctrico por bombeo para cada tipo de instalación

La Figura 6 muestra las diferencias en valores porcentuales entre los resultados obtenidos mediante los datos que presenta la NASA respecto a los de SWERA. Se observa que la fracción solar calculada mediante los datos de la NASA es mayor entre 6,5 y 9,7% que la calculada por los datos SWERA. El consumo eléctrico es menor entre 3,1 y 2,7%, para las instalaciones tipo 1, 2 y 3; para los tipos 4 y 5 el consumo es mayor en 5,3 y 2,3% respectivamente. Las emisiones evitadas son mayores en intervalo de 7,9 a 9,4%.

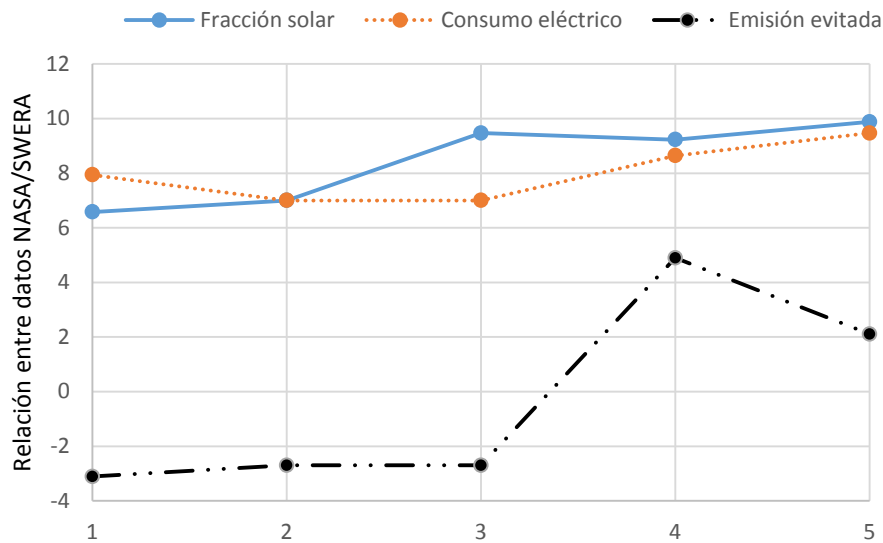


Fig.6 Comparación entre los resultados obtenidos NASA/SWERA

4. Conclusiones

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento del calentamiento de agua en edificaciones con diferentes esquemas de calentamiento y distribución del agua caliente. La mayor fracción solar aprovechada se experimenta en una instalación con acumulación distribuida y la de mayor consumo energético por bombeo es la instalación con acumulación mixta. Otro aspecto que se concluye es que los resultados obtenidos para las dos bases de datos empleadas difieren en porcentajes entre 6,5 y 9,7% para el caso de la fracción solar, entre 2,3 y 5,3% para el consumo energético por bombeo y entre 7,9 y 9,4% en la evaluación de las emisiones evitadas. Esta desviación de los resultados entre las bases de datos confirma la necesidad de unificación de criterios sobre la selección de las mismas al realizar los análisis.

Referencias

- Morales-Salas, J., Moreno, C., Pfann, J.M., *Modelo para diseñar y simular sistemas renovables de energía para calentar agua a dos niveles de temperatura*. Ingeniería Mecánica, 2015. **18**(2): p. 129-138.
- Silva, L.J., Morejón, Y., *Secadores solares artesanales para especias y control de temperatura*. Revista Ingeniería Agrícola, 2019. **9**(3): p. 65-68.
- Cajahuanca, A.D., García, A.B., Casimiro, E.M., *Diseño, Construcción y Evaluación de un secador solar de cámara para textiles* Revista Cubana de Ingeniería, 2020. **11**(2): p. 66-77.
- Crawley, D.B., *Which Weather Data should you use for Energy Simulations of Commercial Buildings*. ASHRAE TRANSACTIONS, 1998. **104**(2): p. 498-515.
- Duomarco, J.L., *Figure of merit for solar domestic hot water systems*. Solar Energy, 2015. **111**: p. 151-156. DOI: <https://10.1016/j.solener.2014.10.023>.
- Rodríguez-Hidalgo, M.C., Rodríguez-Aumente, P.A., Lecuona, A., Legrand, M., Ventas, R., *Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank*. Applied Energy, 2012. **97**: p. 897-906. DOI: <https://10.1016/j.apenergy.2011.12.088>.
- Goswami, D.Y., *Principles of Solar Engineering*, 2015. Third edition. Boca Raton: CRC Press. ISBN: 978-1-4665-6379-7.
- Jing, Z., Zhiping, W., Kezhen, W., Jianbo, L., *Dust Effect on Thermal Performance of Flat Plate Solar Collectors*. Journal of Solar Energy Engineering, 2015. **137**: p. 1-5. DOI: <https://10.1115/1.4028364>.
- Essa, M.A., Mostafa, N.H., *Theoretical and experimental study for temperature distribution and flow profile in all water evacuated tube solar collector considering solar radiation boundary condition*. Solar Energy, 2017. **142**: p. 267-277. DOI: <https://10.1016/j.solener.2016.12.035>.

10. Saikia, S.S., Nath, S., Bhanja, D., *Effect of vacuum deterioration on thermal performance of coaxial evacuated tube solar collector considering single and two phase flow modelling: A numerical study*. Solar Energy, 2019. **177**: p. 127-143. DOI: <https://10.1016/j.solener.2018.10.089>.
11. Shrestha, N.L., Frotscher, O., Urbaneck, T., Oppelt, T., Göschel, T., Uhlig, U., Frey, H., *Thermal and hydraulic investigation of large-scale solar collector field*. Energy Procedia, 2018. **149**: p. 605-614.
12. Ampuño, G., Roca, L., Berenguel, M., Gil, J.D., Manuel Pérez, Normey-Rico, J.E., *Modeling and simulation of a solar field based on flat-plate collectors*. Solar Energy, 2018. **170**: p. 369-378. DOI: <https://10.1016/j.solener.2018.05.076>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

Contribución de los autores

César Cisneros Ramírez. ORCID 0000-0002-9669-081X.

Participó en el diseño de la investigación, realizó parte de los cálculos y redactó el manuscrito.

Eduardo Matheu Muñiz. ORCID 0000-0002-6187-2481.

Realizó parte de los cálculos y revisó el manuscrito.