

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN UNA PLANTA DE HELADOS

Por Ing. Ángel Luis Morales Pons* y Dr. C.T. César A. Cisneros Ramírez**

*Empresa Complejo Lácteo Habana, La Habana.

E-mail: angel.morales@eclh.cu

**Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter)

E-mail: cesar@ceter.cujae.edu.cu; cacinerosramirez@gmail.com

Resumen

Este estudio fue realizado en una planta de helados y tuvo como objetivo evaluar la factibilidad técnico-económica-medioambiental del empleo de la energía solar en el proceso de pasteurización del helado. Se demostró que desde el punto de vista técnico económico es factible lograr el objetivo usando colectores planos, cuyo precio oscila entre \$ 150/m²–300 /m².

Palabras clave: Energía solar térmica, factibilidad, pasteurización, helados.

FEASIBILITY STUDY OF THE APPLICATION OF SOLAR ENERGY IN AN ICE CREAM PLANT

Abstract

This study was carried out in an icecream plant and its objective was to evaluate the technical economic and environmental feasibility of the use of solar energy in the icecream pasteurization process. It was shown that from the technical and economic point of view it is feasible to achieve the objective using flat collectors, whose price ranges between 150-300\$/m².

Keywords: solar energy, feasibility, pasteurization.

Introducción

En el mundo, 66 % del calor es generado por combustibles fósiles y 45 % es usado en la industria como calor de proceso a bajas temperaturas ($\leq 100^\circ\text{C}$) [Ávila and Linares 2013; Santos 2017]. En los años 1970 hasta 1980 hubo gran interés por el uso de la energía solar térmica aplicada a procesos de calentamiento; a pesar del significativo esfuerzo muy pocos proyectos tuvieron éxitos debido al alto costo de los colectores solares comparado con la quema de combustibles fósiles. Es a partir de los años 2000 que vuelven a retomar auge los proyectos solares aplicados a la industria, sobre todo en las bajas temperaturas. El desarrollo de la energía solar térmica en aplicaciones industriales ha crecido con cierta rapidez. En 2010 la Agencia Internacional de Energía registró cerca de 42 MW de energía térmica mundial (60 000 m²). En 2014, alrededor de 140 plantas solares térmicas fueron reportadas en todo el mundo con una capacidad total de más de 93 MW

($>136\,000\text{ m}^2$) y solamente 18 plantas tienen áreas colectoras mayores de 1000 m²; la mayoría de las plantas son proyectos pilotos en pequeñas escalas, en los que alrededor de 70 % de las instalaciones usan colectores planos y evacuado [Quijera, Alriols *et al.*, 2011, Schmitt 2016].

Para abril de 2016, 188 plantas solares de procesos térmicos fueron reportadas que entraron en operación, con capacidad acumulada de 106 MW térmico (154 500 m²); de estos, 21 sistemas exceden 0,7 MW_{térmico} (1000 m²) de capacidad de pico térmico, 35 han instalado capacidades entre 0,35-0,7MW_{térmico} (500–1000 m²) y 132 son menores de 0,35MW_{térmico} [Lugo, García-Valladares *et al.*, 2019].

Cuba tiene alta dependencia de las importaciones y de consumos de combustibles fósiles, más de 93 % de energía eléctrica y el calor que se produce en la industria es a partir de la quema de estos combustibles, lo que hace al sector eléctrico el responsable de aproximadamente 40 % de

las emisiones totales de gases contaminantes en el país, dando lugar a que ocupe el quinto lugar en el mundo en la emisión de CO_2 por kWh generado.

Todo lo anteriormente expuesto evidencia cada vez más el apremio de avanzar hacia el uso de las fuentes renovables de energía; por otra parte, al encontrarse Cuba en una zona geográfica de alta radiación solar hace de este recurso una fuente atractiva para su estudio y aprovechamiento.

El objetivo de este trabajo es analizar la factibilidad técnico-económica de la utilización de la energía solar térmica para la pasteurización de las mezclas de helados en la entidad de estudio.

Materiales y métodos

Este estudio fue realizado en una fábrica de helados que tiene una capacidad para procesar 10 000 litros de leche fresca diariamente durante los 365 días del año. Actualmente la planta utiliza como fluido calefactor agua caliente ($15\,000\text{ kg/h}$ a 86°C), la cual es calentada en un intercambiador continuo con vapor saturado (2 bar), a partir de la quema de diésel en una caldera de 1,2 ton y una presión de 6 bar. Este vapor es transportado en tuberías de acero negro que están aisladas a una distancia aproximadamente de 60 metros, de donde pasa a través de una válvula reductora donde la presión se reduce hasta 2 bar. En la sala de calderas no

se recupera el condensado, por lo que el agua que entra al generador de vapor está a temperatura ambiente (24°C).

La figura 1 muestra el esquema de la instalación solar. La bomba succiona agua del tanque o cisterna que se encuentra a temperatura ambiente, durante un tiempo determinado. Esta agua pasa por el colector para calentarse con la radiación solar hasta una temperatura determinada; posteriormente se calienta hasta 90°C en un calentador cuyo medio de calentamiento es vapor y luego se almacena en un tanque isotérmico con pérdida de temperatura como máximo de 4°C . Este proceso se repite diariamente 2,12 horas. Una vez que comience el proceso de pasteurización esta agua almacenada es bombeada para el pasteurizador a placas y esta recircula por la válvula 2. Cuando haya terminado la pasteurización se cierra la válvula 2 y se abre la válvula 1 para utilizar esta agua en la limpieza de los equipos, por lo que a la salida de estos se encuentra un tanque aislado que almacena toda el agua a una temperatura promedio de $79,87^\circ\text{C}$, donde es bombeada nuevamente al calentador con vapor, para elevar la temperatura a 86°C . En el estudio se tomaron las experiencias del diseño del campo solar resultantes del trabajo [Martínez-Rodríguez, Fuentes-Silva *et al.*, 2019].

Los colectores empleados para el análisis son de tubos al vacío. La figura 2 muestra el esquema desarrollado en la pantalla de simulación del programa TRNSYS, herramienta empleada para el análisis.

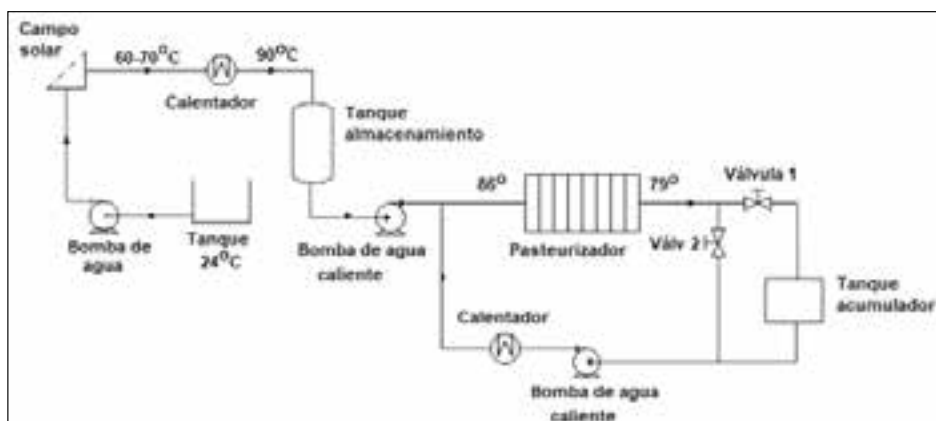


Fig. 1. Instalación solar.

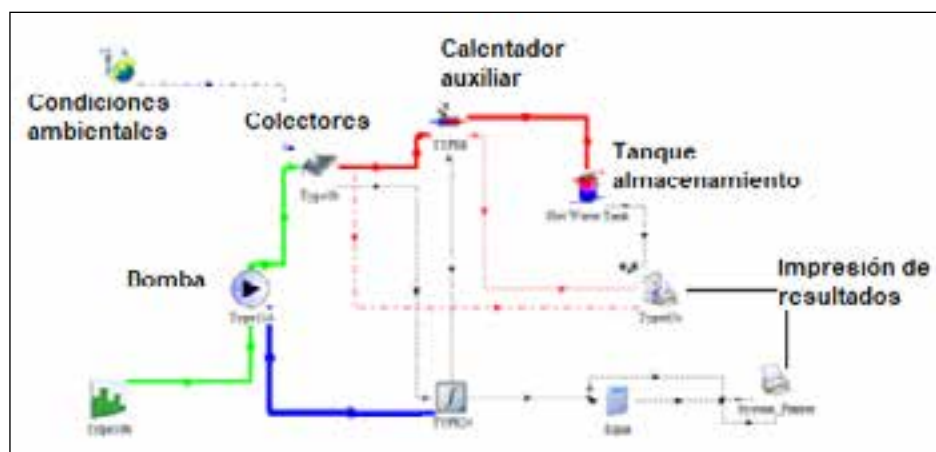


Fig. 2. Esquema TRNSYS.

Los datos empleados para la simulación son los siguientes:

- Flujo total de agua: 15 000 kg/día
- Temperatura del agua a proceso: 90 °C
- Área de colección: 150 a 600 m²

Para el estudio de factibilidad se tomaron dos escenarios: escenario 0 y escenario 1. En el escenario 0 no se emplea energía solar y en el escenario 1 se emplea la energía solar.

El precio del petróleo se tomó del balance económico de la entidad de análisis igual a 0,653\$/kg diésel y debido a la tendencia mundial se tomó la inflación de 4 %; la tasa de descuento se tomó entre 8 % y 12 %. Los costos de mantenimiento del sistema son mínimos, pero es indispensable contar con recursos para la limpieza de los colectores, las protecciones de los sistemas y reparaciones mínimas de las líneas de interconexión, por lo que se estableció un monto de \$200/año. Dentro de los costos están los eléctricos y estos varían en función de los horarios de trabajo. La tarifa de energía eléctrica es la M1-A (UNE 2018) y el precio del kWh es \$0,139. Los costos eléctricos anuales obtenidos en función del horario de trabajo son: \$377/año (8 a.m.-6 p.m.), \$339/año (8 a.m.-5 p.m.), \$301/año (9 a.m.-5 p.m.), y \$264/año (9 a.m.-4 p.m.).

El precio de los colectores se tomó oscilando entre \$200/m² a \$300/m² [Franz Mauthner, Werner Weiss *et al.*, 2016]. Para los cálculos de las emisiones de CO_{2e} se tomó el precio promedio de los seis primeros meses de 2018 en el mercado voluntario de carbono de Estados Unidos \$11.82/ton CO_{2e} [Morales, 2016]. Los precios para la inversión de la instalación solar fueron ofertados por la empresa de calderas Alastor.

Resultados

Los cálculos para el escenario 0 arrojan que el consumo de combustible en el año es de 57 063kg con un gasto de 37 262 pesos.

Los resultados para el escenario 1 se muestran a continuación. La figura 3 muestra el valor de fracción solar obtenida para cada área de colector analizada. Aquí se observa que el incremento de la fracción solar es mayor (mayor pendiente) entre los 200 y 300 m².

Esto queda muy asociado con lo representado en la figura 4, en la que se ve la disminución del consumo de combustible una vez empleada la energía solar.

El gasto monetario por consumo de combustible (\$/kg diésel) se muestra en la figura 5.

La evaluación económica queda reflejada en los resultados mostrados en la Tabla 1.

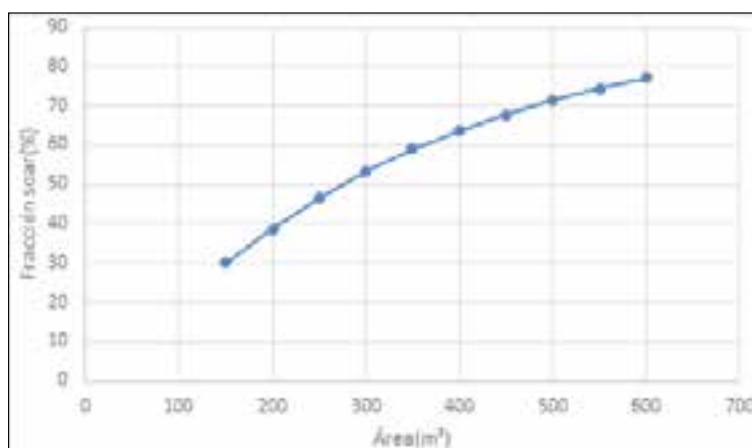


Fig. 3. Fracción solar.

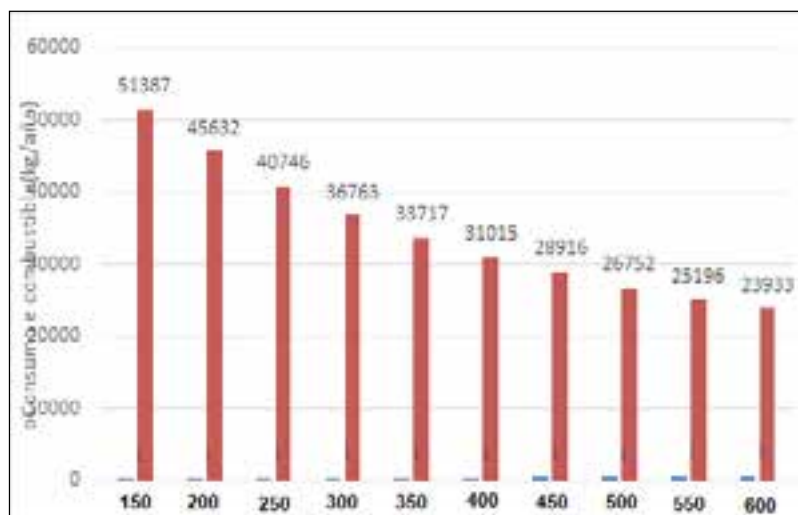


Fig. 4. Consumo de combustible.

De la tabla se observa que, para la capacidad de producción de agua caliente analizada en este trabajo, no es factible poner áreas de colector por debajo de los 250 m². Desde el punto de vista de la recuperación de la inversión, el tiempo de la misma es mayor a los seis años.

Conclusiones

Se realizó el análisis de factibilidad del empleo de la energía solar en la pasteurización de las mezclas de he-

lados. El estudio se concentró en una capacidad de mezcla de helados de 16 960 litros. Del análisis resultó que se logra una disminución del consumo de combustible entre 5676 y 33 130 kg/año dependiendo del área de colector escogida, lo cual se traduce en un ahorro de \$3706 y \$21 633, respectivamente.

De todo lo anterior se concluye que es factible usar la energía solar térmica en el proceso de pasteurización del helado para la capacidad analizada.

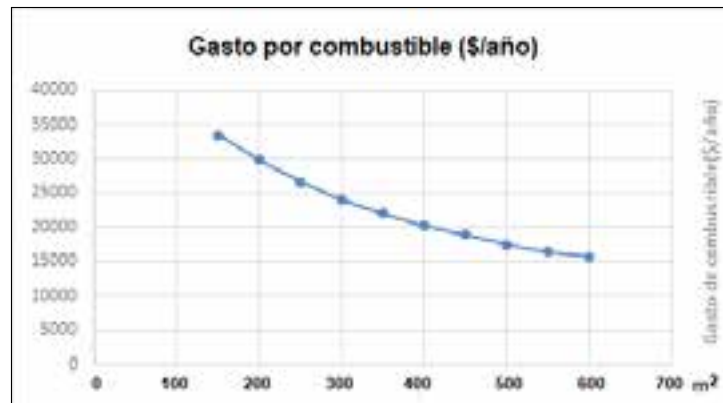


Fig. 5. Gasto por combustible.

Tabla 1. Resultados económicos

Área	Resultados de la evaluación económica																																			
	Precio colector 280\$/m ²												Precio colector 258\$/m ²												Precio colector 308\$/m ²											
	VAN (\$)				TIR (%)				PB (años)				VAN (\$)				TIR (%)				PB (años)				VAN (\$)				TIR (%)				PB (años)			
	Tasa de descuento (%)												Tasa de descuento (%)												Tasa de descuento (%)											
	0	10	12	0	10	12	0	10	12	0	10	12	0	10	12	0	10	12	0	10	12	0	10	12	0	10	12	0	10	12						
x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴	x10 ⁴							
150	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
200	1.172	2.244	N/A	11	11.0	N/A	0.0	0.0	N/A	3.104	N/A	N/A	0	N/A	N/A	0.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
250	3.919	2.730	1.899	15	15.0	7.3	7.3	7.3	2.584	1.993	0.119	12	12.0	12.0	0.2	0.2	0.2	1.258	N/A	N/A	10	N/A	N/A	9.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
300	5.933	3.624	2.130	17	17.0	6.7	6.7	6.7	4.331	2.353	0.963	14	14.0	14.0	7.6	7.6	7.6	2.738	0.951	N/A	12	12.0	N/A	8.5	8.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
350	7.223	4.580	2.724	18	18.0	6.6	6.6	6.6	5.365	2.972	1.362	15	15.0	15.0	7.6	7.6	7.6	3.487	1.303	N/A	12	12.0	N/A	8.3	8.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
400	8.280	5.250	3.201	18	18.0	6.5	6.5	6.5	6.145	3.454	1.633	15	15.0	15.0	7.4	7.4	7.4	4.048	1.630	0.054	12	12.0		8.3	8.3	8.3										
450	8.837	5.597	3.374	18	18.0	6.5	6.5	6.5	6.435	3.554	1.689	15	15.0	15.0	7.5	7.5	7.5	4.033	1.512	N/A	12	12.0	N/A	8.4	8.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
500	9.476	5.960	3.595	18	18.0	6.6	6.6	6.6	6.807	3.710	1.634	14	14.0	14.0	7.6	7.6	7.6	4.130	1.449	N/A	12	12.0	N/A	8.5	8.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
550	9.613	5.996	3.520	17	17.0	6.7	6.7	6.7	6.677	3.580	1.363	14	14.0	14.0	7.7	7.7	7.7	3.741	1.383	N/A	11	11.0	N/A	8.7	8.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						
600	9.623	5.832	3.318	17	17.0	6.8	6.8	6.8	6.320	3.188	0.968	13	13.0	13.0	7.9	7.9	7.9	3.117	1.385	N/A	10	10.0	N/A	9.0	9.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A						

Bibliografía

- ÁVILA, M. A. AND S. C. LINARES (2013). *Energía: El invencible dios Sol*. ISBN 978-959-05-0682-6
- FRANZ MAUTHNER, WERNER WEISS AND M. SPORK-DUR.(2016). Solar Heat Worldwide.
- LUGO, S.; O. GARCÍA-VALLADARES, R. BEST, J. HERNÁNDEZ AND F. HERNÁNDEZ (2019). «Numerical simulation and experimental validation of an evacuated solar collector heating system with gas boiler backup for industrial process heating in warm climates». En *Renewable Energy* 139: 1120-1132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.136>. ISSN 0960-1481. DOI 10.1016/j.renene.2019.02.136
- MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, G.; A. L. FUENTES-SILVA, J. R. LIZÁRRAGA-MORAZÁN AND M. PICÓN-NÚÑEZ (2019). «Incorporating the Concept of Flexible Operation in the Design of Solar Collector Fields for Industrial Applications». *Energies*12(570). DOI 10.3390/en12030570.
- MORALES, D. L. R. (2016). «Recuperación de la disponibilidad de generación en el ciclo combinado de energías Varadero con aporte termosolar».

- QUIJERA, J. A.; M. G. ALRIOLS AND J. LABIDI (2011). «Integration of a solar thermal system in a dairy process». *Renewable Energy* 36: 1843-1853. ISSN 0960-1481. DOI 10.1016/j.renene.2010.11.029
- SCHMITT, B. (2016). «Classification of industrial heat consumers for integration of solar heat». *Energy Procedia* 91 (2016) 650 – 660 91: 650 – 660. ISSN 1876-6102. DOI 10.1016/j.egypro.2016.06.225
- UNE (2018). «Precio de la electricidad de tarifa no residencial U. Eléctrica».
- VIGIL SANTOS, E. (2017). «Ninguna alerta es suficiente para frenar el uso de combustibles fósiles». En *Energía y Tú* 77. La Habana: Ed. Cubasolar. ISSN 1028-9925.

Recibido: 1ro de agosto 2020.

Aceptado: 20 de agosto de 2020.