

REVISIÓN DE LOS CALENTADORES SOLARES

SOLAR PIPE HEATERS REVIEW

Aldana-Ortiz Denhi Guadalupe¹, Reyes-Alonso Gonzalo¹, Estrada-Cruz Edgar¹, Lozano-Hernández Braulio¹.

¹Instituto Tecnológico del Occidente del Estado de Hidalgo, División de Ingeniería Electromecánica, Mixquiahuala de Juárez Hidalgo, México. C.P. 42700. 19011412@itsoeh.edu.mx

RESUMEN. El empleo de dispositivos solares en el calentamiento de agua es una de las formas más eficientes para el aprovechamiento de la energía solar. Estos dispositivos se enfocan en la transformación de energía solar en energía térmica siendo así la energía que destaca en esta industria por su buena eficiencia respecto a otras energías limpias. Los dispositivos para el calentamiento solar de agua son de suma importancia tanto en el sector doméstico como en el industrial ya que al utilizar la energía solar la cual es considerada una de las energías renovables, obtiene un ahorro económico en los procesos para el calentamiento de agua. Estos mismos dispositivos se han sometido a cambios y mejoras a lo largo de su evolución, esto en busca de una optimización del sistema mediante distintas pruebas tanto en su geometría de construcción como en las propiedades de los materiales que se emplean para estos. En el presente trabajo se describe la importancia de los calentadores solares como una alternativa viable para el calentamiento del agua, mediante el aprovechamiento de la energía solar. Por lo que se realizará una revisión exhaustiva de los calentadores solares de agua desarrollados con tecnologías recientes; así como los diseños compactos, revisando los materiales de los que pueden estar constituidos afectando directamente su desempeño y eficiencia. Con el desarrollo de este trabajo, se pretende mostrar un panorama general sobre estos sistemas, mismos que podrían ser de gran importancia para futuras investigaciones relacionadas con el diseño o innovación de calentadores solares de agua.

Palabras clave: Eficiencia, materiales, geometría.

ABSTRACT. The use of solar devices in water heating is one of the most efficient ways to use solar energy. These devices focus on the transformation of solar energy into thermal energy, thus being the energy that stands out in this industry for its good efficiency compared to other clean energies. Devices for solar water heating are of the utmost importance both in the domestic and industrial sectors, since by using solar energy, which is considered one of the renewable energies, economic savings are obtained in the processes for heating water. These same devices have undergone changes and improvements throughout their evolution, this in search of system optimization through different tests both in their construction geometry and in the properties of the materials used for them. In the present work the importance of solar heaters is described as a viable alternative for water heating, through the use of solar energy. Therefore, an exhaustive review of solar water heaters developed with recent technologies will be carried out; as well as compact designs, reviewing the materials from which they may be made, directly affecting their performance and efficiency. With the development of this work, it is intended to show an overview of these systems, which could be of great importance for future research related to the design or innovation of solar water heaters.

Key words: Efficiency, materials, geometry.

INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles para la generación de energía tiene un impacto considerable, actualmente en el ambiente, esto debido principalmente a la alta demanda de energías. Lo que conlleva a una sobreexplotación de los recursos naturales no renovables además de que su procesamiento y empleo, generan una enorme emisión de CO₂

significativa. Por lo que actualmente se busca la disminución del uso de energías convencionales a través de la incorporación de energías limpias. Entre los diferentes tipos de energías alternas que existen, la energía solar es una de las energías limpias con mayor impacto, debido a su buen aprovechamiento en cuanto a radiación y energía térmica se refiere. El uso de esta energía limpia, en conjunto con otras del mismo tipo, han sido de gran importancia para

lograr una disminución en el uso de energías convencionales.

El uso de la energía solar presenta buen aprovechamiento térmico para diferentes dispositivos, en los que la radiación juega un papel importante en la eficiencia de los sistemas. Una de las aplicaciones más significativas utilizando este tipo de energía, es el desarrollo de sistemas de calentamiento del agua, debido a la eficiencia térmica de esta fuente solar se pueden sustituir los calentadores de agua (boiler) que utilizan combustibles fósiles y energía obtenida con el uso de recursos no renovables.

A lo largo de los años se han desarrollado diferentes dispositivos para aprovechar la energía térmica solar en el calentamiento del agua, mismos que en su evolución han tenido diversos cambios tanto en su geometría como en los materiales que los componen. Siempre en busca de una eficiencia más alta del sistema, es decir; lograr un tiempo menor del calentamiento del agua y la disminución de pérdidas de calor del sistema.

Un calentador de agua tipo colector–almacenamiento integrado solar, es un dispositivo de diseño compacto y el encargado de transformar la radiación solar, cuya medida está en pirheliómetros; en calor para poder llevar a cabo el calentamiento de agua correspondiente. Hay diferentes formas de reducir las pérdidas de calor y así aumentar la eficiencia de estos sistemas las cuales se darán a conocer en el presente escrito tomando en cuenta las propiedades de los materiales que los constituyen y la geometría de los sistemas con el objetivo de tener una contextualización general a cerca de los calentadores solares con la revisión llevada a cabo. Hay diferentes formas de reducir las pérdidas de calor y así aumentar la eficiencia de estos sistemas las cuales se darán a conocer en el presente escrito tomando en cuenta las propiedades de los

HISTORIA DE LOS CALENTADORE SOLARES DE AGUA

El principio de los calentadores solares comienza con una observación común en la vida cotidiana de las personas en el calentamiento del agua al dejarla

expuesta a los rayos del sol utilizándolas y posteriormente para usos domésticos. El primer prototipo de un calentador solar de agua fue construido en 1767 en Suiza, este se componía de una caja de madera aislada por los lados con el fondo pintado de negro, asimismo tenía dos cubiertas de vidrio transparente en la parte superior¹. No obstante, solo se quedó en un prototipo y no llegó a ser un producto comercial debido a sus diferentes carencias en cuanto a eficiencia se refiere. Por lo que la gente siguió haciendo uso de combustibles como la madera o el carbón lo cual se traducía en generación de contaminantes al medio ambiente, además de ser bastante caro.

Una de las soluciones a este problema fue el empleo de un simple tanque de metal pintado de negro en dónde colocaban el agua en los días calurosos, sin embargo, este sistema no tenía un buen rendimiento debido a las diferentes condiciones climáticas a las que se podía enfrentar².

Durante el siguiente siglo el prototipo suizo fue sometido a diferentes pruebas en busca de aumentar su eficiencia y en algunos casos, implementado de una manera rudimentaria con el único propósito de calentar agua para el uso doméstico. No obstante, se realizaron diferentes modificaciones en Estados Unidos de América y en Japón para hacer de este prototipo un dispositivo comercial. Por lo que para 1891 fue patentado en los Estados Unidos de América el primer calentador solar de agua de manera comercial por Clarence M. Kemp³.

Este diseño constaba de 4 unidades cilíndricas de 29 litros hechas de hierro y pintadas de negro, colocadas de manera horizontal en un contenedor de madera aislado y vidriado por la parte superior siguiendo el principio del primer prototipo que se conocía desde 1767. Este sistema logró alcanzar una temperatura de 38°C y fue denominado como el calentador de agua solar clímax.

Para los siguientes años, se continuaron realizando modificaciones a los calentadores solares con el fin de aumentar su eficiencia, en el año de 1903 el calentador solar clímax que ya había salido de

manera comercial en Estados Unidos únicamente, fue modificado por Frank Walker⁴, logrando así el desarrollo del "calentador solar de agua combinado con calor artificial amalgamado de Walker" (Figura 1). Este mismo consistía en dos tanques colocados en el techo dejando el vidrio al ras con este, al colocar los tanques en el techo se reduciría la pérdida de calor en el sistema logrando así una mayor eficiencia en comparación al primer diseño. Posterior a este diseño llegó el "clímax mejorado" construido por Charles Haskell⁵ en 1907 donde proponía una sección transversal de forma rectangular dotando al diseño de una superficie de colector más grande, diseño que logró un aumento de la temperatura del agua en un menor tiempo.

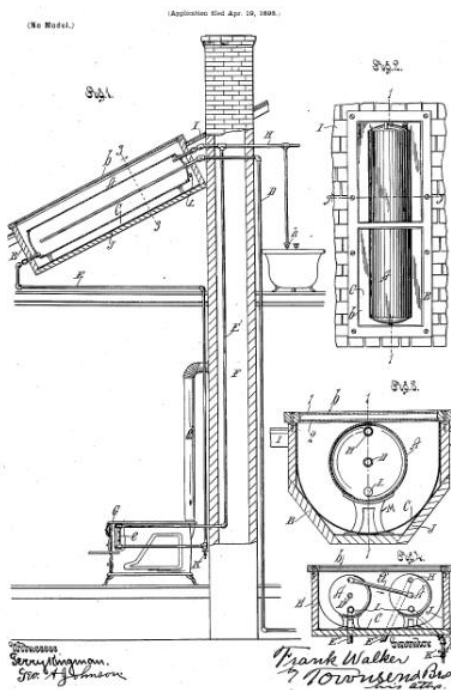


Figura 1. calentador solar de agua combinado con calor artificial amalgamado de Walker⁴.

El aprovechamiento solar en esta área específicamente iba con un desarrollo considerable, tanto que en 1909 se tuvieron los primeros calentadores solares de tipo termosifón o conocidos entonces como day-night⁶. Actualmente el nombre que llevan estos calentadores solares son los colectores de placa plana. Para este tipo de calentador el colector y el tanque de almacenamiento fueron separados, asimismo se unió una rejilla de tubería a una placa y esta se vio

encerrada en un recinto compacto acristalado y aislado para la composición del colector. La siguiente innovación de estos sistemas fue en 1913 para el intercambiador de calor, haciendo uso de una solución compuesta de alcohol y agua a manera de anticongelante⁷.

La innovación y el empleo de los calentadores solares de agua prometían mucho, tanto que ya tenían un empleo considerable en la población de Miami⁸. Sin embargo, la industria solar se vio bastante afectada durante la segunda guerra mundial ya que hubo fuertes restricciones en el uso del cobre, posteriormente esta industria fue desvanecida por la poca disponibilidad de electricidad y de la economía que dejó la segunda guerra mundial.

Una vez recuperados, los diferentes factores que eran de suma importancia para el desarrollo de la industria solar, se retomó el calentador solar de agua teniendo así el primer dispositivo comercial diseñado en Japón por Yamamoto en 1947 el cual consistía en una tina con agua cubierta por una lámina de vidrio para posteriormente sustituirla por una capa superior de plástico negro y un fondo del mismo material⁹.

El gobierno japonés decidió durante la década de los años 60's continuar con el desarrollo de los calentadores solares con el empleo de cilindros dentro de una caja aislada utilizando la referencia de los anteriores calentadores clímax. Japón fue conjuntamente con Alemania e Israel, los gobiernos más interesados por la industria solar ya que las energías renovables comenzaban a tener un nuevo auge, por lo que se les empezó apostar más al uso de las energías limpias y se les inyectó un financiamiento importante a los proyectos de energía solar específicamente.

Para la década de los 90's, la industria solar ya era de gran importancia en el calentamiento de agua, pero, no era tan común debido a que el precio no era accesible para todos. Esta aplicación solar y aprovechamiento térmico era más utilizado y empleado en procesos y aplicaciones industriales.

TIPOS DE CALENTADORES SOLARES

A lo largo de la evolución de los calentadores solares de agua se han empleado diferentes geometrías, así como diferentes materiales, siempre en busca de aumentar la eficiencia de los sistemas mediante la reducción de pérdidas; llegando a una temperatura mayor en un menor tiempo, aprovechando la energía térmica que proporciona el sol. Es importante destacar que hay diferentes parámetros que afectan el rendimiento de un calentador solar de agua. Entre dichas pérdidas destacan la intensidad de la radiación, las condiciones climáticas adversas, la velocidad del viento, así como el diseño; mismo que puede afectar el rendimiento de los calentadores solares de manera significativa.

En el desarrollo de los calentadores solares se pueden encontrar distintos diseños de estos dispositivos los cuales, a base de la geometría, buscan eficientar el sistema. Dichos ejemplos de geometrías fueron los calentadores solares cilíndricos, con forma triangular, trapezoidal o incluso calentadores de agua de concentración parabólica compuesta.

Todos los sistemas anteriormente mencionados buscaban un mismo fin: tener pérdidas menores. Específicamente durante la noche ya que es el momento en el que hay más pérdida en el sistema hacia el ambiente. Mediante el uso de la ley termodinámica que explica el equilibrio térmico, se pretendían reducir dichas pérdidas.

Entre todos los prototipos se buscaron y encontraron diferentes métodos para la reducción de pérdidas de calor en los ya existentes sistemas y diseños, tales como lo son el involucramiento de materiales aislantes para los tanques, que se empleaban haciendo un estudio del efecto del aislamiento - espesor en la parte superior de un calentador por ejemplo¹⁰.

Uno de los estudios fue la aplicación de aislantes térmicos, con lo cual se logró reducir el coeficiente de pérdida de calor mediante un aislante, minimizando de esta forma las pérdidas en el sistema. Redy y Kaushit¹¹ quienes realizaron diversos estudios de materiales aislantes entre los

que destacaron los aislantes transparentes, concluyeron que se podrían reducir pérdidas en el sistema, pero el sistema no captaría la misma radiación por lo que este sistema aumentaría de 90 W/m^2 a 115 W/m^2 con un aumento en el ángulo de inclinación de 10° a 50° . Posteriormente a estas pruebas, se comenzaron a realizar estudios con la espuma de polietileno con un espesor considerable en la parte inferior del calentador, así como en las partes laterales reduciendo así la pérdida de calor y maximizando la capacidad de almacenamiento de calor del sistema¹².

En 2011. Kumar y Rosen¹³ se encargaron de realizar diversas comparaciones, teniendo en cuenta diferentes factores tales como lo son diseños únicamente con cubierta de vidrio sin aislamiento nocturno o con este, la misma situación para una cubierta de vidrio simple o bien con una placa deflectora aislante con cubierta de vidrio involucrando el material aislante TIM.

CALENTADOR SOLAR DE PLACA PLANA

Uno de los calentadores solares más utilizados actualmente es el calentador solar de placa plana o calentador solar plano; el cual tiene un funcionamiento a partir de la radiación solar. Este calentador presenta dos efectos importantes, el efecto termosifón y el efecto invernadero, este último tiene lugar en la placa del colector específicamente.

El efecto termosifón es el principal para el funcionamiento de un calentador solar de agua ya que está determinado por la densidad del agua a diferentes temperaturas, recordando que siempre un fluido de mayor temperatura va a tender a estar encima que un fluido de menor temperatura. Sin embargo, el efecto invernadero es el que ocasiona en el sistema que una vez captada la radiación que incide sobre una placa de vidrio que tiene el colector de placa plana, esta se vea reflejada sobre el colector. No obstante, debido a la cubierta de vidrio opaco no pueda salir completamente del sistema reprimiéndola en el colector, esto ayudará a un aumento de temperatura en el circuito de venas que se encuentra en la placa plana del colector.

CALENTADOR SOLAR DE TUBOS

Los calentadores solares de tubos funcionan bajo efecto termosifón, el cual funciona por la densidad de los fluidos. Sin embargo, este dispositivo involucra en su diseño tubos de vidrio al vacío, los cuales se encuentran expuestos y con un aislamiento térmico transparente. Generalmente las tuberías están hechas de acero inoxidable, plástico reforzado para uso sanitario o en el mejor de los casos con tuberías de cobre¹⁴. Sin embargo, este último presenta un costo elevado debido a su fuerte demanda por su utilidad en diversas aplicaciones tanto de uso doméstico como de aplicaciones de uso industrial.

En la Figura 2 se muestran las partes principales que conforman a los calentadores solares de tubos al vacío que se utilizan actualmente.



Figura 2. Partes principales de un calentador solar de tubos de vidrio al vacío¹⁰.

Una de las partes principales de estos dispositivos que es importante destacar, es el termo tanque de almacenamiento. El material del que está compuesto el termo tanque es de gran importancia por ser la parte del sistema en donde se suelen detectar las mayores pérdidas de calor, por lo que una solución eficiente a este problema ha sido el empleo de aislamientos en el ya mencionado tanque de almacenamiento con materiales que reduzcan el coeficiente de transferencia de calor minimizando de esta manera las pérdidas cuando el sistema se encuentra expuesto a bajas temperaturas. El material aislante empleado en el termo tanque es la espuma de poliuretano de 50 mm regularmente¹⁵.

De igual manera este mismo material se utiliza como sello entre las uniones de los tubos y el tanque correspondiente al circuito evitando así las posibles pérdidas que puedan darse debido a fugas en el sistema de las uniones.

En la Tabla 1 se muestra la comparación de los coeficientes correspondientes a los materiales empleados actualmente en la construcción de los calentadores solares¹⁶.

Tabla 1. Coeficiente de conductividad térmica de materiales empleados en la construcción de calentadores solares¹⁶.

Materiales conductores	Coeficiente térmico de conductividad W/m ² K
Cobre	385
Aluminio	205
Acero inoxidable AISI 304	163

Para la construcción de estos dispositivos de calentamiento de agua son de suma importancia los dos tipos de materiales tanto conductores como aislantes ya que empleados de una manera adecuada se puede obtener una eficiencia más alta de los sistemas mencionados, la tabla anterior muestra el coeficiente de conductividad térmica de los materiales con mejor desempeño en cuanto a conducción térmica que se emplean en estos dispositivos.

Tabla 2. Coeficiente de conductividad térmica de materiales aislantes empleados en la construcción de calentadores solares^{16,17}

Materiales aislantes	Coeficiente térmico de conductividad W/m·K
Aire	0,024
Espuma de poliuretano	0.028
TIM (aislante térmico transparente)	0.1
Madera	0,1-1,4

En la Tabla 2 se muestra el coeficiente térmico de los materiales aislantes utilizados en estos dispositivos con el propósito de reducir las pérdidas térmicas en el sistema. Los materiales aislantes mostrados en la tabla resultan ser de los más

eficientes y con los que se han observado y obtenido resultados prometedores en la minimización de las pérdidas térmicas sin afectar de manera significativa la captación de calor^{16,17}.

MATERIALES EMPLEADOS EN LOS CALENTADORES SOLARES

En la industria del calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar se han empleado diversos materiales. Por lo anterior es importante destacar qué uno de los materiales de gran importancia en el diseño y la construcción de estos dispositivos son los materiales de cambio de fase los cuales tienen la capacidad de almacenar o liberar grandes cantidades de energía al llegar a la temperatura de cambio de fase, es decir; son materiales con alto calor latente.

Anteriormente se han llevado a cabo diversas investigaciones acerca del rendimiento del uso de materiales de cambio de fase (PCM). Una de las propuestas más notables en el rendimiento que mostraron estos materiales, fue la sugerencia del empleo del hidrato de sal como material de cambio de fase obteniendo como resultado un rendimiento en la recolección del 66% en un período invernal¹⁸.

Posteriormente uno de los primeros diseños de calentadores de agua por energía solar empleó el uso de ácido místico como placa absorbente en su tanque de almacenamiento de material de cambio de fase. De la misma manera se utilizó el ácido láurico como placa deflectora en su tanque y finalmente se comparó con un calentador de referencia llegando a la conclusión de que el ácido místico tenía el mejor de los rendimientos en comparación con los otros diseños en cuanto a la eficiencia del sistema durante el día y la minimización considerable de las pérdidas durante la noche¹⁹.

Actualmente, se utilizan diversos materiales para la construcción de estos dispositivos buscando un equilibrio entre economía y buen desempeño de los materiales. Por lo anterior se analiza el coeficiente de conductividad térmica de materiales que no son de alta demanda, entre ellos destaca el acero inoxidable ya que no es un material de elevado

costo cómo lo es el cobre. Por lo anterior hay una diferencia considerable en los precios comerciales.

Ocurre algo similar en el uso de los materiales termoaislantes en los sistemas. Sin embargo, estos no generan una variación notoria en los precios comerciales ya que no cambian mucho y una de las variaciones que pueden llegar a tener entre un sistema y otro son las cantidades empleadas.

RELACIÓN MATERIAL – PRECIO

En el mercado de la industria solar se encuentran diferentes fabricantes que emplean distintos materiales para lograr un balance material - costo, es decir; generar un ahorro económico del sistema tratando de mantener la calidad y eficiencia en los dispositivos. Sin embargo, existe una diferencia notoria entre dispositivos construidos con materiales de alto rendimiento en comparación con los dispositivos construidos con materiales más accesibles en los precios comerciales. Esto sacrificando un poco el buen rendimiento de un sistema.

En la Tabla 3 se muestra una comparación entre fabricantes de los modelos actuales de calentadores solares de tubos de vacío en cuanto a precio y características se refiere.

Tabla 3. Comparación de calentadores solares de tubos

Calentador	Calentador Solaris 12 tubos 4 personas 150 l	Calentador Solaris presurizado 12 tubos 3 personas	Calentador solar 12 tubos iusa 180 l	Calentador solar era 4 servicios 150 l 12 tubos	Calentador solar de gravedad 120 lts línea std
Marca	SOLARIS	SOLARIS	IUSA	ERA	WATER AND SUN
Precio	\$8,265.00	\$15,999.00	\$9,817.00	\$18,491.00	\$10,290.00
Tanque interno	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable sus304	Acero inoxidable sus304	Acero inoxidable grado alimenticio
Capacidad	150 litros	128 litros	120 litros	150 litros	150 litros
Material de los tubos	Borosilicato	Borosilicato	Borosilicato	Borosilicato	Borosilicato

Sucede un fenómeno similar para los calentadores solares de placa plana, los cuales también cuentan con una variación considerable en sus precios debido al uso de diferentes materiales en sus sistemas.

Tabla 4. Comparación de calentadores solares de placa plana

Calentadores	CALENTADOR SOLAR BOSCH PLANO 150 L 4 SERVICIOS	IUSA, CALENTADOR SOLAR ENERHIT, CALENTADOR DE AGUA	CALENTADOR SOLAR RHEEM 5 SERVICIOS 150 L
Precio	\$27,199.00	\$13,610.00	\$15,299.00
Tanque	Poliuretano / aluminio	Poliuretano / acero inoxidable	Poliuretano / Acero
Capacidad	150 litros	150 litros	150 litros
Temperatura del agua	60 grados	65 °C	69°C grados
Material	Acero / poliuretano / aluminio / vidrio templado / caños de circulación de cobre	Acero inoxidable / poliuretano / caños de circulación de latón	Poliuretano de alta densidad / tubo de cobre / vidrio prismático solar templado / lámina galvanizada con recubrimiento

En la Tabla 4 se muestra una comparación entre diferentes marcas y fabricantes de calentadores solares de agua de placa plana empleando diferentes materiales, destacando así, los diferentes rangos que se pueden encontrar. En la tabla ya mencionada también se muestra como varía la eficiencia de un sistema con diferentes materiales, repercutiendo finalmente en un precio más elevado o más bajo con capacidades similares.

CONCLUSIONES

En el presente documento se ha realizado la recolección de datos en cuanto las diferentes innovaciones en los calentadores solares de agua así como las condiciones adversas a lo que estos se podrían enfrentar en México, los cuales son datos clave para su buen funcionamiento con el propósito de eficientar dicho sistema haciendo las pruebas correspondientes con diferentes diseños del sistema y empleando diversos materiales llegando de esta manera a los calentadores solares que se comercializan actualmente de una forma común, los cuales son los calentadores solares de agua de tubos al vacío y los calentadores solares de placa plana. La eficiencia de los calentadores solares tipo colector – almacenamiento solar es mucho mayor en comparación a los calentadores solares de placa plana. Sin embargo, una de las desventajas más importantes de estos calentadores es su significativa

pérdida de calor en horas nocturnas comúnmente, así como en estaciones del año en las que se es más susceptible a bajas temperaturas por lo que el sistema tiene una menor eficiencia en estas condiciones.

Con base a trabajos de investigación previamente realizados respecto al calentamiento solar de agua, se proponen diferentes métodos para tener un mejor aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua. Los dispositivos actuales se encuentran sujetos a posibles cambios y mejoras. La tendencia de estos sistemas es la sustitución de los materiales utilizados convencionalmente, así como métodos alternos para su rendimiento continuo.

REFERENCIAS

1. Chowdhury Abrar Sobhan, Saagoto Md Sadatuzzaman. A Review of Solar Flat Plate Thermal Collector, 2020.
2. V. Gupta, A. Sharma, K.S. Gupta, Numerical analysis of direct type greenhouse dryer, in: Gas Turbine India Conference 2017 Dec 7, vol. 58516, American Society of Mechanical Engineers, pp. V002T06A008.
3. C.M. Kemp, Climax Solar water heater. US Patent no. 451384, 28 April 1891.
4. Walker Frank, Combined Solar and Artificial, Heat Water Heater. US Patent no. 735321, 4 Aug1903
5. C. Haskell, US Patent no. 842658, January 1907
6. K. Butti, J. Perlin, Early Solar Water Heaters. New York: A Golden Thread, Van Nostrand Reinhold Company; 1979, pp. 117–127
7. V. Gupta, A. Sharma, K.S. Gupta, Numerical analysis of direct type greenhouse dryer, in: Gas Turbine India Conference 2017 Dec 7, vol. 58516, American Society of Mechanical Engineers, pp. V002T06A008.
8. R. Bob, N. Benjamin, Solar Water Heating: A Comprehensive Guide to Solar Water and Space Heating System, New society publishers, 2006.
9. J.K. Nayak, N.K. Dhiman, G.N. Tiwari, Thermal optimisation of a built-in storage solar water heater, Appl. Energy 10 (3) (1982) 169–176.
10. K.S. Reddy, N.D. Kaushika, Comparative study of transparent insulation materials cover systems for integrated- collector- storage solar water heaters, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 58 (1999) 431–446
11. A.J.N. Khalifa, R.A.A. Jabbar, Convencional versus storage domestic solar hot water systems: a comparative performance study, Energy Convers. Manage. 51 (2010) 265–270
12. R. Kumar, M.S. Rosen, Comparative performance investigation of integrated collector-storage solar water heaters with various heat loss reduction strategies, Int. J. Energy Res. 35 (2011) 1179–1187.
13. Vargas Bautista, J. P., Yampasi Espejo, P., Tirado Villarroel, X., & Patzi, A. (2016). Implementación de un

- sistema de calefacción solar térmico: Análisis energético y económico. *Investigación & Desarrollo*, 1(16), 49-60.
14. Programas para el calentamiento solar de agua. Disponible en: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/calentamiento-solar-de-agua-componentes-principales.html>
Accesado: 12 de septiembre 2022
 15. Acevedo, M. G., & Vázquez, M. L. R. (2016). Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 10(2), 1.
 16. Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Vol. 53). McGraw-Hill Interamericana.
 17. Palomo, M. (2017). Aislantes térmicos: Criterios de selección por requisitos energéticos. *Universidad Politécnica de Manabí*. Recuperado de: http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf.
 18. Y. Rabin, I. Bar-Niv, E. Korin, B. Mikic, Integrated solar collector storage system based on a salt-hydrate phase-change material, *Sol. Energy* 55 (6) (1995) 435–444.
 19. S. Tarhan, A. Sari, M.H. Yardim, Temperature distributions in trapezoidal built-in storage solar water heaters with/without phase change materials, *Energy Convers. Manage.* 47 (15–16) (2006) 2143–2154