

Caracterización de un calentador solar de bajo costo y con materiales de fácil acceso

RESENDIZ - BADILLO, Ramiro †, MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, HERNÁNDEZ - RIVERA, Jaime, SOTO – ÁLVAREZ, Sandra

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Recibido Junio 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

Este proyecto aporta los conocimientos necesarios para la construcción y uso del calentador solar de agua de cama plana. Tiene como objetivo divulgar y transferir tecnologías apropiadas a nuestra realidad social, mediante la incorporación de conocimientos, a partir de la utilización de tecnología sencilla, y de fácil acceso, teniendo como prioridad el ser humano. Está orientado a familias en emergencia social que no cuentan con agua caliente en sus hogares, y que actualmente estas familias queman leña o carbón en el interior de sus casas, afectando así la salud y el bienestar de ellas. Pudiendo sustituirlos por un sistema que no contamine que utilice la radiación solar, preserve el medioambiente y sobre todo mejore su calidad de vida y promueva la salud. Las actividades que se involucran en este proyecto están aplicadas como emprendimiento productivo, pueden colaborar a la generación de capacidades de autogestión y organización, así como construir una ayuda en el presupuesto familiar. En síntesis el proyecto está sustentado por los siguientes puntos: Utilización de materiales de bajo costo que se pueden conseguir fácilmente. Posibilidad de desarrollar variantes constructivas de los componentes del sistema. Diferentes maneras de instalación en la vivienda

Calentador solar, energía solar, rendimiento térmico, transferencia de calor metodología

Abstract

This project provides the knowledge required for the construction and use of solar water flat bed heater. It is intended to disclose and transfer appropriate technologies to our social reality, through the incorporation of knowledge, from the use of simple technology, and easy access, taking the human being as a priority. It is aimed at families in social emergency do not have hot water in their homes, and now these families burning firewood or charcoal in the interior of their homes, thus affecting the health and well-being of them. Being able to replace them with a non-polluting system that uses solar radiation, preserve the environment and above all to improve their quality of life and promote health. The activities that are involved in this project are applied as productive entrepreneurship, can contribute to the generation of capacities for self-management and organization, as well as build a help in the family budget. In synthesis project is supported by the following points: Use of low cost materials that are easily available. Possibility of developing construction variants of components of the system. Different ways of installation in the home.

Solar heater, solar energy, thermal performance, heat transfer methodology

Citación: RESENDIZ - BADILLO, Ramiro, MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, HERNÁNDEZ - RIVERA, Jaime, SOTO –ÁLVAREZ, Sandra. Caracterización de un calentador solar de bajo costo y con materiales de fácil acceso. Revista de Sistemas Experimentales. 2017, 4-12: 18-35.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Durante los últimos años se ha visto una notable necesidad de tener agua caliente como servicio básico, pero para tener dicho servicio tenemos que poseer algún tipo de sistema o mecanismo que sea capaz de calentar el agua u otro fluido. Hoy en día existen varios tipos de alternativas para calentar el agua, ya sea para el uso doméstico o bien para uso industrial, algunos ejemplos claros son:

- Calentamiento de agua por quema de combustibles fósiles.
- Calentamiento de agua por resistencias eléctricas.
- Calentamiento de agua por energías alternativas.

Pero la pregunta es ¿Cuál es el sistema más eficiente capaz de calentar agua que sea más económico y más ecológico?

Todos sabemos que el Planeta Tierra está sufriendo un grave problema de contaminación y de cambios en el comportamiento en las condiciones normales climáticas y meteorológicas, y los principales causantes de estos problemas es la quema de combustibles fósiles, entonces por lo tanto, se puede decir que al usar este tipo de mecanismos para calentar agua el riesgo de contribuir más con el cambio climático y la polución global es más evidente.

Por otra parte tenemos el método de calentamiento de agua por resistencias eléctricas, este método se ha usado bastante desde hace varios años, pero al analizar el gasto energético que requiere una resistencia para calentar agua, el gasto económico se eleva bastante, y por otro lado, se ha demostrado y visto que los riesgos de ocurrir un accidente por el uso de resistencias eléctricas es muy alto, por lo consiguiente este método puede poner en riesgo la integridad de las personas.

Entonces visto lo anterior se puede decir que el uso de energías alternativas es el método más ideal para calentar agua, la cuestión es que el uso de energías alternativas en nuestros días es muy costoso y no todas las familias pueden pagar un calentador solar (método de calentamiento de agua por energías alternativas).

Por lo tanto se ha diseñado en La Universidad Tecnológica De San Juan Del Río, en el Área De Energías Renovables un prototipo en cual tiene el principio de un calentador solar, pero que usa materiales de fácil acceso y económicos. Este proyecto está directamente orientado para familias de escasos recursos que quieran agua caliente para realizar sus actividades diarias; además con este proyecto se pretende fomentar el uso de energías renovables y argumentar que con cualquier cosa se puede hacer proyecto que tenga un impacto positivo para las sociedades del planeta.

El prototipo creado no cuenta con una base para el termotanque ya que el diseño que se hizo para este es vertical y se mantiene apoyado directamente a la superficie en donde se va a instalar. El calentador solar que se diseñó cuenta con una cama colectora (se compone de una superficie absorbente de la radiación solar) hecha con materiales totalmente reciclables como, por ejemplo; botellas de PET.

En este artículo se mostrarán cada paso del método ingenieril (método que se utilizó para el desarrollo del proyecto), en donde se explicarán a detalle cada fase de ejecución, aunado también de la evidencia de los resultados finales en la cuestión del diseño, cálculo y fase de experimentación del rendimiento térmico de calentador solar propuesto.

Metodología aplicada

Para poder diseñar el prototipo se utilizó las etapas del método ingenieril propuesto por DIXON, Cork (1970), ya que el proyecto se adaptaba en su mayoría a esta metodología tan eficiente para la formulación de proyectos y/o prototipos. En la figura 1 se puede observar las distintas fases de trabajo del método ingenieril, dadas las características del calentador solar que se desea desarrollar.

El método ingenieril de DIXON, Cork (1970); demuestra que, para optimizar el diseño, se requiere de las simulaciones con el modelo de diseño más promisorio y las comprobaciones de la concordancia entre las dimensiones y los materiales permiten optimizar el diseño seleccionado.



Figura 1 Etapas del método ingenieril

Fuente: DIXON, Cork (1970)

Fase 1 Identificación del problema

En el mercado se tiene en existencia un número considerable de calentadores solares, algunos calentadores solares tienen precios muy altos e inclusive en algunos lugares son escasos. El calentador solar que se desarrolló en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río posee las siguientes características:

Posibilidad de construcción casera

Se ha desarrollado un sistema en el cual por medio de materia prima de fácil acceso se puede diseñar un calentador solar que cumpla con los datos técnicos para el calentamiento de fluidos de manera efectiva.

Utilización de materiales de bajo costo que se pueden conseguir fácilmente

Dados los problemas económicos por los cuales miles de familias a nivel mundial sufren, se adecuó en base a conocimientos técnicos, materiales que fuesen totalmente económicos y que cumplan con los requerimientos establecidos en los calentadores solares.

Posibilidad de desarrollar variantes constructivas de los componentes del sistema

El prototipo está diseñado para que los usuarios puedan comprender el funcionamiento de un sistema de calentamiento de agua por el recurso solar y por ende ajustar el prototipo a sus necesidades y requerimientos.

Diferentes maneras de instalación en la vivienda

El prototipo tiene la facultad de cumplir con las distintas formas y fases de instalación de un sistema de calentamiento de agua por medio del recurso solar, esto gracias a su diseño y sus adecuaciones técnicas que tiene.

Fase 2 Recolección de la información necesaria

Se realizaron investigaciones en diferentes fuentes de consulta para poder centrar ideas factibles que puedan hacer que las problemáticas mencionadas con anterioridad se reduzcan y así posteriormente poder empezar con el diseño previo.

Aunado a la investigación también se indagó en el estudio del estado del arte del prototipo para determinar y someter a evaluaciones distintos prototipos ya hechos, esto con el fin de retroalimentar más las ideas planteadas.

Recursos y metodologías a utilizar

- Encuestas.
- Recurso literario en formulación de proyectos.
- Recurso literario en prototipos en calentadores solares y/o deshidratadores solares.
- Tesis de proyectos.
- Uso de multimedia, videos y audios.

Fase 3 Búsqueda de soluciones creativas

En base a los estudios realizados y a una investigación, se analizó distintas soluciones las cuales podrían hacer cumplir con los objetivos planteados en este proyecto y además poder solucionar las problemáticas de falta de agua caliente en las distintas familias de la sociedad, tales soluciones son las siguientes:

- Reducción del gasto por uso de energía eléctrica.
- Reducción del gasto por el uso de combustibles derivados de petróleo.
- Eliminando el uso de métodos tradicionales de calentamiento de agua que solo afectan a la salud de los usuarios y el medio ambiente.

Recursos y metodologías a utilizar:

- Herramientas estadísticas
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de Ishikawa
- Técnicas de investigación
- Método científico

- Recurso literario
- Webgráficas
- Uso de multimedia, videos y audios.
- Tesis de proyectos

Fase 4 Paso de la idea a los diseños preliminares (incluye el modelado)

Diseño del prototipo

Se dimensionó el prototipo en un software CAD, en este caso se utilizó AutoCAD y Trimble SketchUp de modelado de piezas esto con el fin de poder tener una mayor facilidad en la realización del prototipo.

En la figura 2, se puede observar el diseño del calentador solar en vista isométrica, por lo tanto se pudo analizar que el termotanque en donde el fluido se va a depositar está de manera vertical, esto se explica porque en nuestro diseño no se tiene contemplado una base para este, ya que se pretende eliminar el gasto de un soporte para el termotanque; al posicionar el termotanque de esta manera, en base a las observaciones y experimentaciones realizadas con anterioridad, se concluye que la temperatura del fluido no se altera y se mantiene en las mismas condiciones que un termotanque con un soporte en posición horizontal.

Recursos y metodologías utilizadas

- Computadora
- Uso de software CAD
- Recurso literario para el fundamento del diseño asistido por computadora.

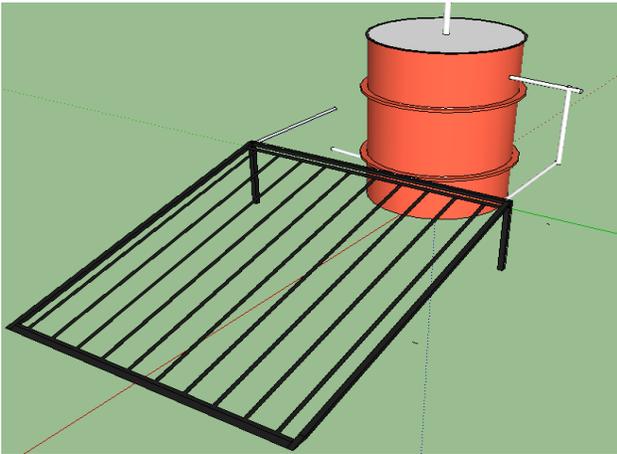


Figura 2 Diseño del calentador solar propuesto en vista isométrica

En la figura 3 se contempla la proyección policromática del diseño del calentador solar, esta vista nos sirve para apreciar las texturas y la idea técnica del proyecto, aunado también a la observación más detallada de las partes que conforman al calentador solar.

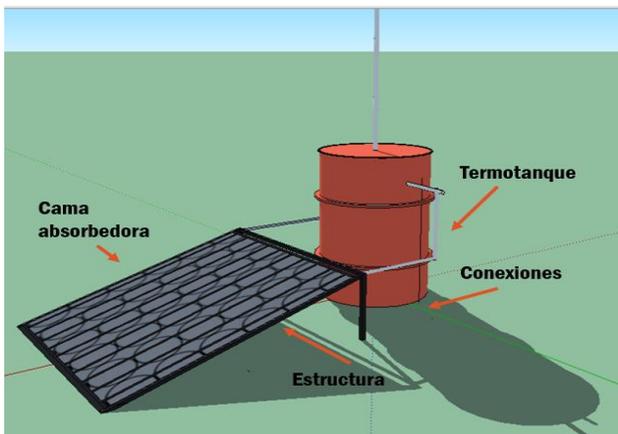


Figura 3 Diseño del calentador solar propuesto en vista Policromático

Caracterización y modelado de la cama absorbedora

Se planteó como primer paso, el armado de la parrilla de caños (superficie absorbedora) con tubo C-PVC de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y de 1.80 m de largo.

La parrilla cuenta con 10 columnas de tubular. Además se pintó de color negro mate. Para aumentar la transferencia de calor se armó la parrilla con botellas de PET de 600 ml (con esta técnica no se requiere el uso de construcción de una caja metálica). Esta variante es económica y sencilla de construir en relación a otros materiales utilizados en el mercado

A continuación, se mostrarán los materiales para el desarrollo de la cama absorbedora.

Fase de caracterización

- Tubo C-PVC y sus accesorios de conexión.
- Botellas de PER de 600 ml
- Pintura en aerosol color negro mate
- Silicona
- Pegamento para C-PVC

Construcción de la cama absorbedora

1. Se midió y cortó las piezas; 10 piezas de caño de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 180 cm de largo. 20 piezas de caño de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 12 cm. de largo.



Figura 4 Medición del tubo c-pvc para la elaboración de la cama absorbedora

2. Se lavó cada tubo con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial para cumplir con los lineamientos de higiene y seguridad.
3. Se compró codos y Tees para armar el parrillado C-PVC.
4. Se pegó cada ramal con un aditivo especial para C-PVC.
5. Como se observa en la figura 5. Para obtener un buen dimensionamiento de la cama absorbadora se trató de estar midiendo cada separación de los ramales de C-PVC.



Figura 5 Se pegaron todos los ramales con sus respectivas tees y codos (como se muestra)

6. Se unieron de igual manera las 10 piezas formando la parrilla del calentador como se muestra en la figura 6.



Figura 6 Unión de las piezas

7. Según (Manzano-Ramírez, A 2014) y las experiencias técnicas que se han visto en el estudio en cuestión, un cuerpo negro absorbe más la energía calorífica que otra textura. Por lo tanto se pintó la parrilla de color negro mate.
8. Cuando se armó la parrilla absorbadora, se realizó una recolección de botellas de Tereftalato de polietileno (PET) de 600 ml (de preferencia transparentes). De igual manera por cuestiones de higiene y seguridad se realizó un proceso de lavado en cada botella con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial. Las botellas se deberán dejar secar.
9. Para obtener un mayor efecto de transferencia de calor y evitar una cubierta de vidrio o de policarbonato, se pintó setenta botellas, (solamente se pinta a la mitad de las mismas), como se muestra en la figura 7.



Figura 7 Las botellas se deben de pintar de color mate de la mitad hacia abajo, de tal modo que la mitad hacia arriba como se muestra deberá estar transparente

Gracia a esta técnica, se logra un efecto de convección adentro de las botellas y por ende hace que los tubos se calienten y logren hacer su función.

10. Con las medidas pertinentes de seguridad, se perforaron las botellas con un soplete y un niple de $\frac{1}{2}$ ”; esto con el fin de ajustar la parrilla de tubos en las botellas. El orificio deberá estar lo más aproximado al centro de la circunferencia de la botella como se muestra en la figura 8.



Figura 8 Proceso de perforación de botellas

11. Cuando se perforaron las setenta botellas, se colocaron en la parrilla de tubos de C-PVC.

Debe de quedar como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 9 Cama absorbedora con las botellas instaladas.

En la figura 9, también se puede observar el proceso cuando se pasó a instalar las conexiones faltantes de la cama. Más adelante con mucha precaución se colocaron botellas de 350 ml en los ramales horizontales de la cama. Asegurar que todas las botellas de la cama estén en buenas condiciones y que además estén fijas.

Pruebas hidráulicas

Se realizaron una serie de pruebas hidráulicas para verificar que no haya pérdida de agua. Estas se realizan conectando una manguera en uno de los extremos del colector y cargando toda la parrilla con agua. Se debe someter la parrilla a una presión mínima equivalente al doble de la altura del tanque de acumulación. Si llegara a perder por alguna parte se deberá descargar y reparar.

Caracterización y modelado del termotanque

Se ideó el armado del tanque de acumulación, donde se realizaron los agujeros por los cuales se introducirá la cañería con botellas para la entrada y salida del agua caliente desde el colector y finalmente hacia la vivienda. La utilización de dos tanques (uno interior y otro exterior), es para evitar las pérdidas de calor del agua que se utilizará para el consumo personal.

Cabe destacar que la posición del termotanque puede ser vertical (como se muestra en el diseño en 3D), acolado a las posibilidades de construcción de cada familia. A continuación se mostraran los materiales para el desarrollo de la cama absorbedora.

Fase de caracterización

- Cilindro metálico 200 l
- Tanque plástico 130 l
- Bridas de $\frac{3}{4}$ "
- Poliestireno Expandido

Construcción del termotanque

1. Como primer paso se acondicionó el termotanque interior; en este es donde va a estar almacenado el fluido, este debe ser de algún material totalmente resistente a la oxidación y a temperaturas altas. Para el prototipo, se optó utilizar un tanque de plástico para que posteriormente fuese lavado con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial.
2. Se realizaron tres perforaciones de $\frac{3}{4}$ " en el tanque; una en la parte inferior, otra en la parte superior y la última en el centro de la tapa como se muestra en la figura 10. En cada orificio se debe poner una brida con sus respectivos empaques para que no haya fugas del fluido almacenado.



Figura 10 Perforación en el tanque interior para las conexiones de la tubería

3. Se verificó con mucho detalle que no existiera fugas, esta prueba se realizó poniendo agua en el tanque. En la siguiente figura se observa la evidencia cuando se realizó dicha prueba.



Figura 11 Verificación al termotanque interior para determinar que no existan fugas

4. Una vez que se haya realizado el acoplamiento del termotanque interior y se haya verificado que no tenga fugas, se pasó a caracterizar el termotanque exterior, el cual nos va a ayudar a aislar el termotanque interior de las condiciones meteorológicas en donde se va a instalar.

Dando lugar a que la temperatura del fluido calentado por la cama absorbidora se mantenga constante con un margen de pérdida térmica de tan solo el 3 y 5% establecido por la literatura. Como material para la elaboración del termotanque exterior se utilizó un cilindro metálico, en el cual se lavó con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial.

- Una vez que se haya saneado el termotanque exterior se realizaron tres perforaciones de $\frac{3}{4}$ " en el tanque; una en la parte inferior otra en la parte superior y la última en el centro de la tapa. Con una lima para metal, se quitó las rebabas que se hayan formado por el proceso de perforación. Es muy importante que coincidan los agujeros del tanque interior y exterior ya que si se llegase a tener variaciones, las tuberías no entrarían y esto a su vez afectaría el sistema de circulación del fluido en cuestión. Se muestra un ejemplo de perforación en la figura 12.



Figura 12 Proceso de perforación del tanque exterior

- Cuando se realizaron las perforaciones en el termotanque exterior, con mucha precaución se ajustó el tanque interior al tanque exterior tratando de que las perforaciones de los dos tanques coincidan (se considera un margen de error de $< 3\%$).

- Se colocaron niples de C-PVC en cada brida y en cada niple una reducción de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " de C-PVC, todo se ajustó con cinta teflón.

Proceso de aislamiento del termotanque

En todo calentador solar se debe de contar con un sistema de aislamiento térmico para que el fluido adentro del termotanque interior mantenga su temperatura por más tiempo. Hoy en día existen varios materiales con muy bajo coeficiente de conductividad térmica, pero alguno con muy costosos o difíciles de adquirir, en el proyecto se optó como aislante térmico *poliestireno expandido (EPS)* que es muy fácil de conseguir y no es costoso.

Según (Santiago-Netto, R, 2011) el poliestireno expandido (EPS) cuenta con un coeficiente de conductividad térmica de entre 0.041 y 0.029 W/mK. En la figura siguiente se muestra el proceso de aislamiento de los tanques, el cual se cortó pedazos de poliestireno expandido (EPS) y se ajustaron a presión. Al final se agregó poliestireno expandido (EPS) molido para rellenar los lugares en donde no se cubrió en su totalidad.



Figura 13 Proceso de aislamiento térmico

Al final se cerró el termotanque exterior y se selló con silicona de alto contacto.

Fase 5 Evaluación y selección de la solución

Una vez terminado el prototipo se pasó a instalarlo directamente para estudiar su comportamiento, se verificaron algunos aspectos que se requieren para determinar la eficiencia del mismo. Las pruebas se realizaron el día 24 de abril de 2017 en las instalaciones de La Universidad Tecnológica De San Juan Del Río.

Como primer objetivo del estudio, fue analizar las condiciones climáticas de la Universidad, para ello se utilizó la estación meteorológica de la institución de marca y modelo "DAVIS VANTAGE PRO2 6152". Esta estación meteorológica está dada de alta en el sistema de estaciones meteorológica automáticas (EMA'S) por la Comisión Estatal de Agua del ESTADO de Querétaro en coordinación con el Servicio Meteorológico Nacional y la agencia meteorológica Weather Underground. En la siguiente figura se muestra la estación meteorológica "DAVIS VANTAGE PRO2 6152" utilizada en el análisis.



Figura 14 Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 6152

Características técnicas de la estación meteorológica "DAVIS VANTAGE PRO2 6152"

La consola meteorológica Vantage Pro2 exhibe y registra los datos meteorológicos, proporciona gráficos y funciones de alarma, se interconecta a la computadora utilizando nuestro software WeatherLink opcional. La estación inalámbrica transmite los datos de los sensores exteriores desde el ISS a la consola mediante un sistema de radiofrecuencia de baja potencia. Además, las estaciones inalámbricas pueden registrar datos de los sensores opcionales Vantage.

Especificaciones técnicas:

- Consola Temperatura de funcionamiento: -10° a $+60^{\circ}\text{C}$ ($+14^{\circ}$ a $+140^{\circ}\text{F}$)
- Temperatura de la pantalla: 0° a $+60^{\circ}\text{C}$ ($+32^{\circ}$ a $+140^{\circ}\text{F}$)
- Temperatura de no funcionamiento: -5° a $+158^{\circ}\text{F}$ (-20° a $+70^{\circ}\text{C}$)
- Adaptador de corriente: 5 VCC, 900 mA
- Batería de respaldo: 3 pilas C Vida útil de la batería (sin corriente CA):
- Inalámbrica: hasta 9 meses;
- Conectores: Modular RJ-11
- Material de la carcasa Plástico ABS resistente a UV
- Tipo de pantalla de la consola: LCD transflectiva
- Luz de fondo de la pantalla: LEDs
- Dimensiones: Consola (con antena): 264 mm x 156 mm x 38 mm
- Consola (sin antena): 244 mm x 156 mm x 38 mm
- Pantalla: 51 mm x 86 mm Peso (con pilas): 0,85 k

Evaluación de las condiciones meteorológicas

A continuación, se muestra el comportamiento de condiciones meteorológicas del día 21 de abril de 2017, en las instalaciones de la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río y que servirán para el cálculo de la eficiencia del calentador solar.

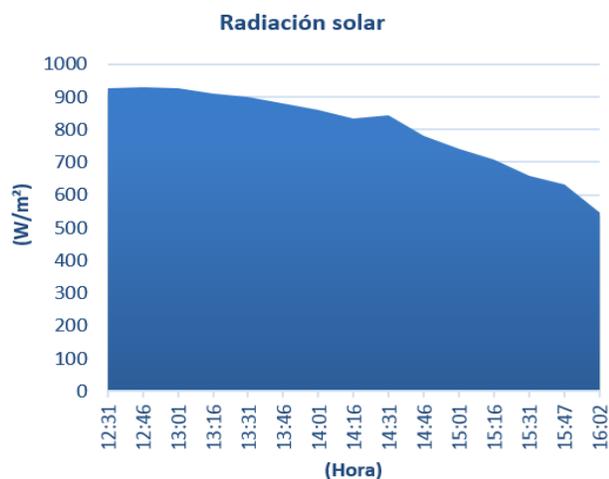


Gráfico 1 Comportamiento de la radiación solar directa

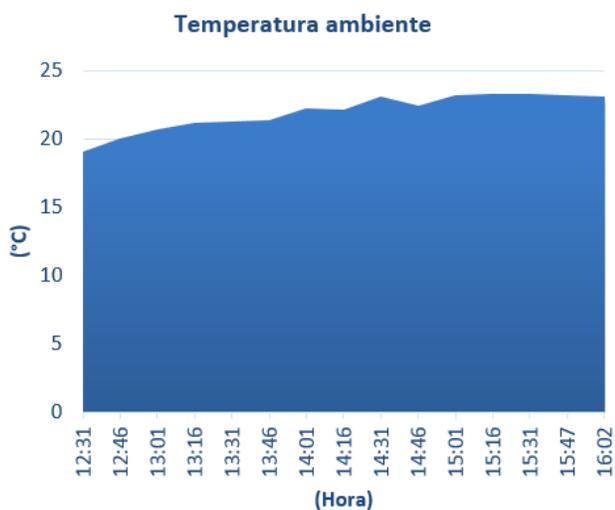


Gráfico 2 Comportamiento de la temperatura ambiente



Gráfico 3 Comportamiento de la velocidad del viento

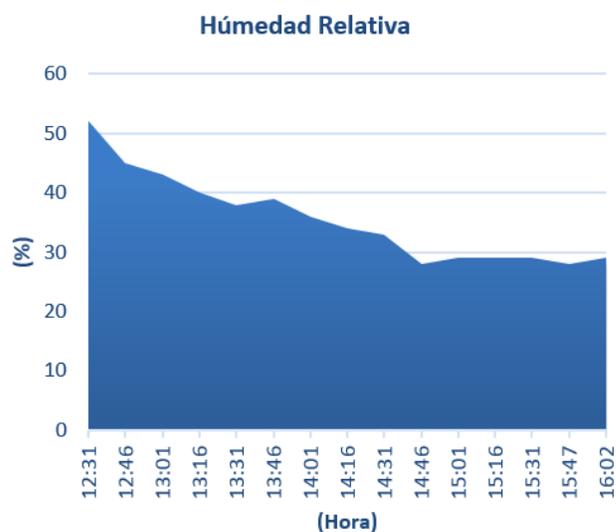


Gráfico 4 Comportamiento de la humedad relativa

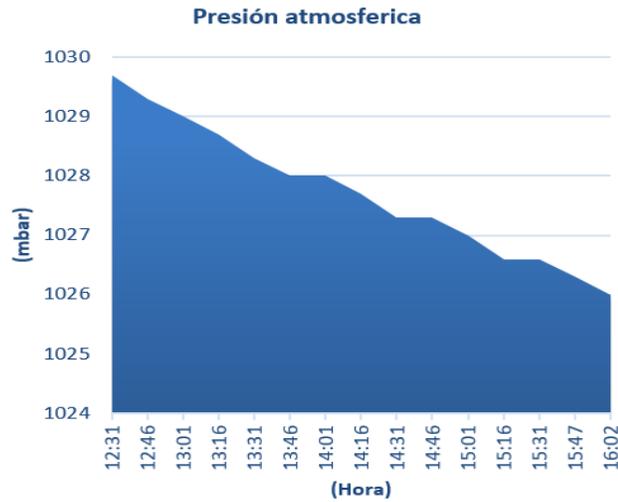


Gráfico 5 Comportamiento de la presión atmosférica

Evaluación y obtención del rendimiento térmico o eficiencia térmica del calentador solar propuesto

Como se puede observar, las mediciones de las variables meteorológicas se realizaron solamente en un cierto intervalo de tiempo, de las 12hr00 hasta las 16hr00 del día 21 de abril de 2017.

Cuando se obtuvieron las mediciones climáticas se efectuó el cálculo matemático para obtener el rendimiento térmico del calentador solar.

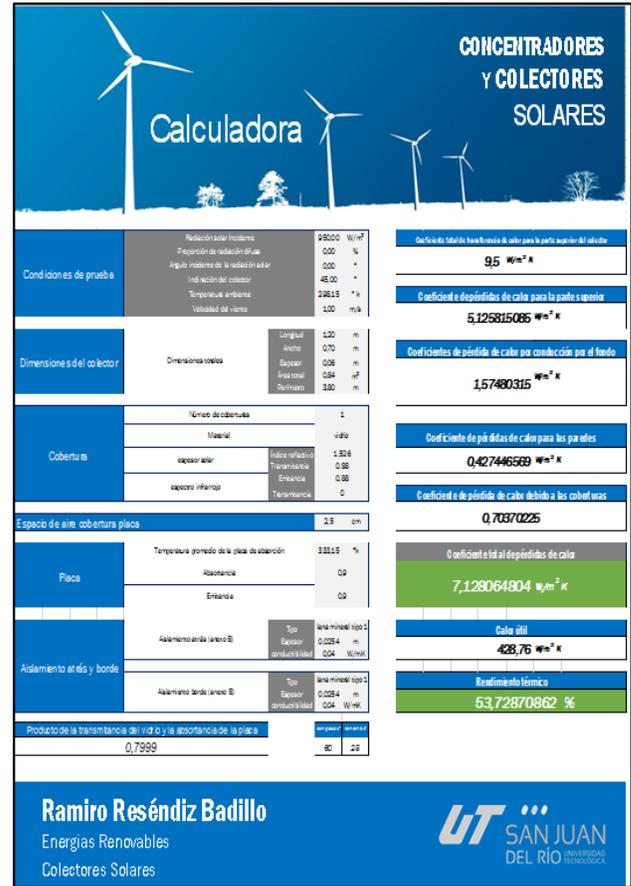


Figura 15 Captura de pantalla de la hoja de cálculo para obtener el rendimiento térmico del calentador solar de cama plana

El calentador solar que se desarrolló pertenece a la categoría de calentadores solares de cama plana por lo tanto, según (Hermsillo-Villalobos, J.J, 2003) para obtener la eficiencia del calentador solar de cama plana se tiene que realizar las siguientes ecuaciones.

$$U_L = U_t + U_b + U_e \tag{1}$$

$$U_t = \left(\frac{N}{(344/T_p)(T_p - T_a)/(N + f)^{0.31} + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \left(\frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\epsilon_p + 0.0425N(1 - \epsilon_p)]^2 + \frac{(2N + f - 1) - N}{\epsilon_c}} \right)^{-1} \tag{2}$$

Donde, por otro lado,

$$U_b = \frac{k_a}{l} \quad (3)$$

$$U_e = \frac{k_a MP}{l' A_c} \quad (4)$$

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.058N) \quad (5)$$

$$h_w = 5.7 + 3.8(v) \quad (6)$$

$$Q_{abs} = H_T A_c (\tau \alpha) \quad (7)$$

$$Q_u = m C_p dT/dt \quad (8)$$

$$Q_L = U_L A_c (T_{p,m} - T_a) \quad (9)$$

Donde, para la ecuación (7)

$$(\tau \alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho d} \quad (10)$$

Sustituyendo las ecuaciones anteriores se obtienen el cálculo del calor útil que del calentador solar:

$$Q_u = A_c [S - U_L(T_{p,m} - T_a)] \quad (11)$$

Ahora por lo tanto se calcula directamente el rendimiento térmico o la eficiencia del calentador solar con la siguiente ecuación matemática:

$$\eta_c = \frac{Q_u}{H_T A_c} \quad (12)$$

Nomenclatura

η_c = rendimiento térmico del calentador solar (%)

A_c = área efectiva del colector (m^2).

f = factor de eficiencia del colector.

h_t = calor útil. ($W/m^2 K$)

H_T = energía solar incidente (W/m^2).

h_w = Coeficiente de pérdidas de calor por convección debida a la velocidad del viento.

k_a = conductividad térmica del aislante. (W/mK).

l y l' = espesores del aislante por el fondo y lados respectivamente. (m)

M = altura de colector. (m)

mC_p = la capacidad calorífica del fluido de trabajo ($J/^\circ C$).

N = número de cubiertas de vidrio.

P = el perímetro del colector. (m)

Q_{abs} = calor total incidente absorbido por unidad de tiempo en el colector (W).

Q_u = calor útil que finalmente se transfiere al fluido de trabajo (W).

S = energía absorbida en el colector por unidad de área.

T_a = temperatura ambiente. (k)

T_p = temperatura promedio de la placa de absorción. (k)

$T_{p,m}$ = temperatura media de la placa de absorción ($^\circ C$).

U_b y U_e = son los coeficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo y lados respectivamente. ($W/m^2 K$)

U_L = es la suma de varios coeficientes de pérdidas de calor. ($W/m^2 K$)

U_t = es el coeficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector. ($W/m^2 K$)

v = velocidad del viento. (m/s)

ϵ_C = emitancia de las cubiertas en el infrarrojo.

ϵ_P = emitancia de la placa de absorción en el infrarrojo.

ρd = reflectancia difusa.

$\tau \alpha$ = producto de la transmitancia del vidrio y la absorptancia de la placa.

Resultados de la evaluación del rendimiento térmico del calentador solar

Antes de que se obtuviera el cálculo del rendimiento térmico del calentador solar se diseñó una hoja de cálculo en el software Microsoft Excel el cual permite calcular el rendimiento térmico de los distintos tipos de calentadores solares de caja y/o cama plana, en la figura siguiente se muestra una captura de pantalla de la hoja de cálculo en Microsoft Excel en donde se obtiene el rendimiento térmico de calentadores solares de cama plana.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra los resultados finales de la evaluación del rendimiento térmico del calentador solar propuesto, sometido a pruebas el día 21 de abril de 2017.

Coefficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector	9,5 W/m ² K
Coefficiente de pérdidas de calor para la parte superior	5,615964797 W/m ² K
"Coefficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo"	1,052631579 W/m ² K
Coefficiente de pérdidas de calor para las paredes	0,542857143 W/m ² K
Coefficiente de pérdida de calor debido a las coberturas	0,70370225
Coefficiente total de pérdidas de calor	7,211453519 W/m ² K
Calor útil	341,05 W/m ² K
Rendimiento térmico	43,89329779 %

Tabla 1 Resultados de la evaluación del rendimiento térmico de calentador solar propuesto

Como se puede observar el rendimiento térmico de nuestro calentador solar es de 43,89% esto según (Hermosillo-Villalobos, J.J, 2003) posee un margen de perdida de calor, pero es aceptado en el rango.

Evaluación del comportamiento de la temperatura del ruido en el calentador solar

Se evaluó la temperatura de salida del fluido, este estudio es de suma importancia ya que en base a esto se puede afirmar que el funcionamiento del calentador solar es eficiente y por ende el periodo de almacenamiento térmico del fluido es más largo. Para esta evaluación se tomó el valor de temperatura de salida del fluido en el calentador solar durante 24 horas. Los valores de temperatura fueron cuantificados por un multímetro con termopar; en la siguiente figura se muestra la hoja de datos del instrumento que se utilizó.



Figura 56 Hoja de datos del instrumento que se utilizó para cuantificar la temperatura de salida del fluido del calentador solar

Resultados de la evaluación del comportamiento de la temperatura del ruido en el calentador solar

En la siguiente tabla se muestra los resultados finales de la evaluación del comportamiento de la temperatura del fluido en el calentador solar, nótese en la tabla que el intervalo de tiempo de cada medición es de una hora dicha evaluación se efectuó el día 22 de abril de 2017.

Hora	Temperatura En °C
7hr00	69.5°
8hr00	69.5°
9hr00	69.5°
10hr00	69.5°
11hr00	69.5°
12hr00	69.5°
13hr00	69.4°
14hr00	69.5°
15hr00	69.3°
16hr00	69.2°
17hr00	69.1°
18hr00	69.2°
19hr00	69.0°
20hr00	68.5°
21hr00	68.3°
5hr00	63.9°
6hr00	63.5°
7hr00	63.2°

Tabla 2 Resultados de la evaluación del comportamiento de la temperatura de salida

Según la evaluación la temperatura más alta que se registró en la salida de agua caliente del calentador solar fue de 69.5°, este resultado según (Hermosillo-Villalobos, J.J, 2003), quiere decir que el sistema está cumpliendo con el principio de absorción de radiación solar y de transferencia de calor.

El promedio de temperatura del fluido a la salida del termotanque es de 68,2833333 °C, y una con una pérdida de temperatura de alrededor de 6,3 °C, esto se traduce a que la temperatura en el interior de termotanque se mantiene caliente después de varias horas. En la siguiente figura se muestra la evidencia de la medición del calentador solar.

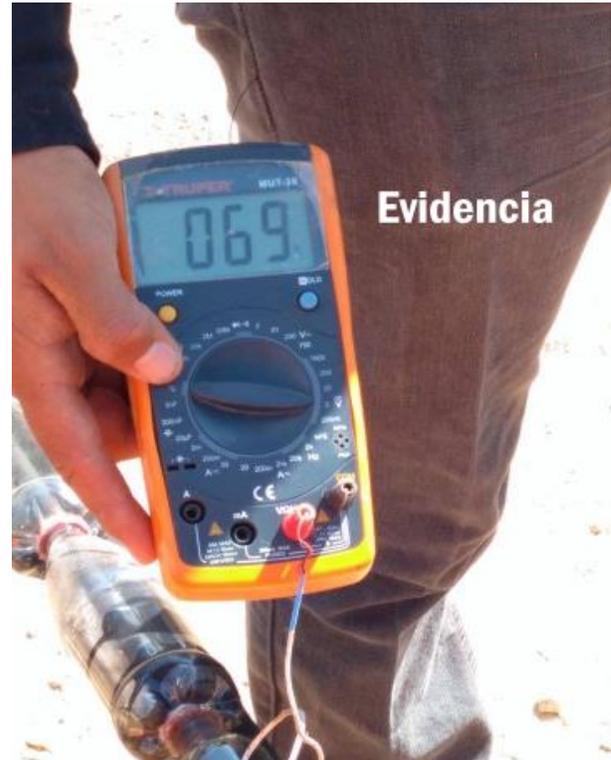


Figura 17 Medición de la temperatura en la salida del calentador solar

Fase 6 Preparación de reportes, planos y especificaciones

Se desarrolló un manual de operación, instalación y mantenimiento del calentador solar en la cual fundamenta los principios, objetivos, alcances, metas, análisis, resultados, tipos de instalaciones, anexos y conclusiones del proyecto esto con el fin de poderse implementar y empezar a solucionar las problemáticas mencionadas con anterioridad.

Recursos y metodologías a utilizar

- Computadora
- Paquetería office
- Recurso literario
- Instrumentos de medición eléctrica y electrónica.
- Gráficos
- Histogramas

- Climogramas
- Herramientas de calidad.

En la siguiente imagen se muestra la portada del manual de usuario del calentador solar.



Figura 18 Manual del usuario del calentado solar diseñado

Fase 7 Implementación del diseño

Se realizaron mediciones aparte para conocer las dimensiones del calentador solar tales como:

- Alto
- Ancho
- Área
- Capacidad del termotanque.
- Largo
- Peso con agua
- Peso total

En la siguiente figura se muestra el prototipo terminando e instalado las instalaciones de la universidad tecnológica san juan del rio.



Figura 19 Prototipo terminado

Conclusión

Después de haberse diseñado y desarrollado este calentador solar, se puede afirmar que aunque fuese totalmente económico y hecho manualmente, los resultados del análisis matemático para obtener el rendimiento térmico estuvieron alrededor del 43,89329779 % este resultado es regularmente favorable y aceptable y nos da referencia para mejorar el calentador solar en el futuro, esto con el fin de que no tenga pérdidas de calor; como por ejemplo, estudiar más a fondo el comportamiento del aislante térmico y si se pudiese hacer una interacción con otro de fácil acceso.

Con respecto al análisis de temperatura del fluido en la salida del calentador solar, los resultados fueron favorables ya que solamente se perdió 6°C de temperatura durante la noche y se alcanzó una temperatura máxima de 69°C, esta temperatura se considera muy alta en un calentador solar de cama plana.

Como meta a mediano plazo, el prototipo será instalado en el hogar de una familia en San Juan Del Río, que no tiene el recurso económico necesario para comprar un calentador de gas o en su caso de adquirir un calentador solar convencional.

Como seguimiento a la mejora continua del proyecto se considera factible en realizar más análisis, tales como los que se realizan en el MEXOLAB, tales análisis son los siguientes:

- Choque térmico externo
- Choque térmico interno
- Penetración de lluvia
- Resistencia a alta temperatura
- Resistencia a heladas
- Resistencia a la presión hidrostática
- Resistencia a la presión positiva
- Resistencia al impacto
- Resistencia al sobrecalentamiento

Y dados esos análisis, y con un cumplimiento favorable a los mismos, es factible que se gestione ante la Universidad Tecnológica de San Juan del Río un análisis de negocios para que se comience con el proceso de venta del proyecto.

Agradecimiento

Agradecemos al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (Conacyt), al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, a los organizadores del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento, Mecatrónica e Informática, CIERMMI 2017 y a la Universidad Tecnológica de San Juan Del Rio, por los apoyos brindados durante el desarrollo del presente proyecto.

Referencias

ALEJANDRO MANZANO RAMÍREZ, ÁNGEL MARROQUÍN DE JESÚS, JUAN MANUEL OLIVARES RAMÍREZ. (2014). Diseño y Construcción de Un Calentador Solar Para Agua. México, DF: Editorial Académica Española.

AYOMPE, L. M., DUFFY, A., MCCORMACK, S. J., & CONLON, M. (2011). Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heating systems. *Applied Thermal Engineering*, 31(8- 9), 1536-1542. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.01.046>

BELLOS, E., TZIVANIDIS, G., & ALEXOPOULOS, I. (2015). Energetic, exergetic and financial evaluation of. Athens, Greece: Department of Thermal Engineering, National Technical University of Athens, Zografou, Heron Polytechniou.

BOUZENADA, S., MCNEVIN, C., HARRISON, S., & KAABI, A. (1 de abril de 2016). Performance of a liquid desiccant air-conditioner driven by evacuated-tube, flat-plate, or hybrid solar thermal arrays. *Energy and Buildings*, 117, 53- 62. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.002>

BRENNENDORFER, B., KENNEDY, C., BATEMAN, C. O., Mrema, G., & Werekobrobby, C. (1995). Solar Dryers. Their Role In post Harvest Processing. Londres, Reino Unido: Commonwealth Secretariat Publications.

CARLBERG, C. (2010). Administración de Datos con Excel. México: Prentice Hall.

CEA QUERETARO. (2017). CEA-UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA IQUERETA29. 2017, de Weather Undergraound Sitio web: <https://www.wunderground.com/personalweatherstation/dashboard?ID=IQUERETA29#history/tdata/s201>

CFE, (2008). “Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico”. Haga clic aquí para escribir texto.

DUFFIE AND BECKMAN, (1991) Solar Engineering of Thermal Processes Wiley/Interscience, New York.

GUDIÑO, A. D., (2001) Calibración de Piranómetro. Reporte de Proyecto No. 22, Unidad.

HERMOSILLO, J. J., (1999) Destilación Solar. Cuaderno Huella #16, ITESO.

JAMAR, A., MAJID, Z., AZMI, W., NORHAFANA, M., & RAZAK, A. (agosto de 2016). A review of water heating system for solar energy applications. International Communications in Heat and Mass Transfer, 76, 178-187. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>

KALOGIROU, S. (2009). Solar Energy Engineering. Cambridge, Massachusetts, United States: Academic Press.

LUNDE P.J. (1999) Solar Thermal Engineering: Space Heating and Hot Water Systems. Pp 70-109. Wiley, New York.

MANRIQUE, J. A., (2003). Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas. Ed. Halla.

VERGARA, J. C., & QUESADA, I. (2007). Estadística Básica con Aplicaciones en Microsoft Excel. Madrid: Editorial Emes - Universidad de Cartagena.