



ISBN: 978-99923-982-2-7

ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA - FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**INCIDENCIA DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS EN LA
EFICIENCIA DE SISTEMAS FOTOTÉRMICOS:
CASO PRÁCTICO DE IMPLEMENTACIÓN EN LA
CAFETERÍA ESCUELA DE ITCA-FEPADE**

ESCUELA PARTICIPANTE:

ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

DIRECTOR COORDINADOR DEL PROYECTO:

ING. MARIO ALFREDO MAJANO GUERRERO

DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:

ING. RENÉ MAURICIO HERNÁNDEZ ORTIZ

SANTA TECLA, DICIEMBRE DE 2011



ISBN: 978-99923-982-2-7

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA - FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**INCIDENCIA DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS EN LA
EFICIENCIA DE SISTEMAS FOTOTÉRMICOS:
CASO PRÁCTICO DE IMPLEMENTACIÓN EN LA
CAFETERÍA ESCUELA DE ITCA-FEPADE**

ESCUELA PARTICIPANTE:

DIRECTOR COORDINADOR DEL PROYECTO:

DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:

ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

ING. MARIO ALFREDO MAJANO GUERRERO

ING. RENÉ MAURICIO HERNÁNDEZ ORTIZ

SANTA TECLA, DICIEMBRE DE 2011

AUTORIDADES

Rectora

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

Vicerrector Académico

Ing. José Armando Oliva Muñoz

Vicerrectora Técnica Administrativa

Inga. Frineé Violeta Castillo de Zaldaña

EQUIPO EDITORIAL

Lic. Ernesto Girón

Ing. Mario Wilfredo Montes

Ing. Jorge Agustín Alfaro

Licda. María Rosa de Benítez

Licda. Vilma Cornejo de Ayala

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

Ing. Mario Wilfredo Montes

Ing. David Emmanuel Agreda

Lic. Ernesto José Andrade

Sra. Edith Cardoza

AUTOR

Ing. René Mauricio Hernández Ortiz

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborado por el Sistema Bibliotecario ITCA - FEPADE

333.7923

H476i Hernández Ortiz, René Mauricio

Incidencia de variables atmosféricas en la eficiencia de sistemas foto térmicos: caso práctico de implementación en la Cafetería Escuela de ITCA-FEPADE / Por René Mauricio Hernández Ortiz. - 1ª ed. - Santa Tecla, El Salvador: Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, 2011.

18 p. ; il. ; 28 cm.

ISBN: 978-9 9923-982-2-7 (impreso)

1. Energía solar. 2. Colectores (electricidad). 3. Placas colectoras. 4. Uso de la energía
- I. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE.
- II. Título.

El Documento **Incidencia de variables atmosféricas en la eficiencia de sistemas foto térmicos: Caso práctico de implementación en la Cafetería Escuela del ITCA**, es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE. Este informe de investigación ha sido concebido para difundirlo entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. El contenido de la investigación puede ser reproducida parcial o totalmente, previa autorización escrita de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE o del autor. Para referirse al contenido, debe citar la fuente de información. El contenido de este documento es responsabilidad del autor.

Sitio web: www.itca.edu.sv

Correo electrónico: biblioteca@itca.edu.sv

Tiraje: 16 ejemplares

PBX: (503) 2132 – 7400

FAX: (503) 2132 – 7423

ISBN: 978-99923-982-2-7 (impreso)

Año 2011

ÍNDICE

	Página
I. Índice	5
1. Introducción	6
2. Antecedentes	6
3. Marco Teórico	7
4. Cálculo de necesidad de agua caliente necesaria	10
5. Cálculo de calor necesario para calentamiento del agua	11
6. Cálculo del costo de calentar el agua con gas propano	12
7. Cálculo de calor disponible para calentar el agua en los colectores.	13
8. Comparación de variables	14
a. Temperatura del agua de salida de los colectores y la radiación solar	14
i. Radiación solar	
ii. Temperatura ambiente	
iii. Velocidad del viento	
iv. Precipitación de lluvia	
9. Cálculo de eficiencia de los colectores.	19
10. Conclusiones	20
11. Recomendaciones.	20
12. Fuentes de información	21

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente renovable y limpia, por lo que debería incrementarse su utilización, ya sea en aplicaciones tan simples como calentar agua, que es la aplicación que se ha implementado en la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

La investigación tenía como objetivo, comprobar la influencia de variables atmosféricas en la eficiencia de un sistema de colectores fototérmicos y cual de ellas, tenía mayor protagonismo, para que de esta forma, hacer recomendaciones para otros proyectos de instalación.

El presente informe contiene algunos tópicos pueden ser de mucho interés para las personas que buscan reducir costos en el uso de energía, para nuestro caso, se calculó cuanto podría ser el ahorro calentando agua con gas propano.

2. ANTECEDENTES

En El Salvador, Investigaciones sistemáticas sobre energía solar se han realizado en la Universidad de El Salvador, en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y más precisamente en la Escuela de Ingeniería Mecánica, además, en la Escuela de Física. Otros estudios se han realizado en la Universidad Centroamericana (UCA) y en la Universidad Don Bosco, en estas universidades principalmente a nivel de trabajos de graduación. Durante el pasado año 2005, se realizó en el ITCA sede Santa Tecla, estudios del consumo de agua caliente en la cocina de la cafetería del Instituto y con los datos obtenidos y la ayuda de un software de simulación, propiedad de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, se obtuvieron los datos y parámetros básicos para la construcción o selección de los colectores.

Gran cantidad de industrias utilizan agua caliente y vapor de agua, por ejemplo: la industria alimenticia y la industria química, además del sector servicios como de Hoteles y Hospitales, por nombrar algunos de los sectores donde la aplicación de la energía solar es posible; en El Salvador se está utilizando en: Las instalaciones del Hospital del Seguro Social en la ciudad de San Miguel, Asilo Sara Saldívar, hogar para ancianos, de la

6 "INCIDENCIA DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS EN LA EFICIENCIA DE SISTEMAS FOTOTÉRMICOS: CASO PRÁCTICO DE IMPLEMENTACIÓN EN LA CAFETERÍA ESCUELA DEL ITCA".
Documento propiedad de ITCA-FEPADE. Derechos Reservados.

ciudad de San Salvador y en el Hotel Siesta, también en San Salvador. Todos estos estudios y aplicaciones que se tomaron como referentes importantes durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

3. MARCO TEÓRICO

La energía solar es la energía radiante que es producida en el sol como resultado de reacciones nucleares y que llega hasta la tierra. La energía que irradia el sol hacia el universo y por ende hacia la tierra, la realiza por medio cuantos de energía, llamados fotones. La intensidad de la radiación solar en exterior de la atmósfera se calcula en $2 \text{ cal / min. / cm}^2$. De acuerdo a los estudios realizados por diferentes investigadores, la intensidad de la radiación solar esta proporcionando a la tierra la cantidad de 5.4×10^{24} Joule (1.5×10^{21} Watts – hr) anual, que representa 4 500 veces el consumo mundial de energía.

Aunque la cantidad de energía proporcionada por el sol es altísima, el aprovechamiento es muy bajo, además, de estar supeditada a las condiciones climáticas de cada zona geográfica.

Cuando se desea utilizar la energía solar, se debe tener en cuenta que esta se divide en dos partes, la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa se refiere exactamente a la percibida por iluminación de los rayos del sol y la radiación difusa, es la que es absorbida por la atmósfera y llega hacia la superficie de la tierra como calor arrastrado por el viento o la incidencia de los rayos infrarrojos o ultravioleta. La intensidad de radiación oscila entre $1\ 300$ y $1\ 400 \text{ W / m}^2$. Las pérdidas en la atmósfera por absorción, reflexión y dispersión la reducen un 30%. Si las condiciones climáticas son buenas podemos llegar a tener $1\ 000 \text{ W / m}^2$, y si las condiciones no son adecuadas, se podrá tener tan solo 50 W / m^2 . Todo lo anterior, fue obtenido de informaciones de España, es decir, de un país que tiene las cuatro estaciones bien definidas, para El Salvador,

se deberán estudiar y analizar las cartas de radiación solar que se puedan tener, esto probablemente muestre que, las cantidades de energía solar sean mayores.

El aprovechamiento actual de la energía solar se puede realizar por dos formas, una por un sistema fotovoltaico y por radiación directa ó foto térmica. Los sistemas fotovoltaicos, transforman la energía solar en energía eléctrica directamente, mientras que por radiación directa, se aprovecha el calor radiante del sol.

Comúnmente, los sistemas de aprovechamiento de energía solar por radiación directa, utilizan los mecanismos de transferencia de calor, es decir, radiación, convección y conducción. Esto depende el aparato o equipo que se esté utilizando, para el caso, llamados colectores solares de concentración, ya sea de placa plana, parabólicos, semiesféricos (fig. No 1), etc.

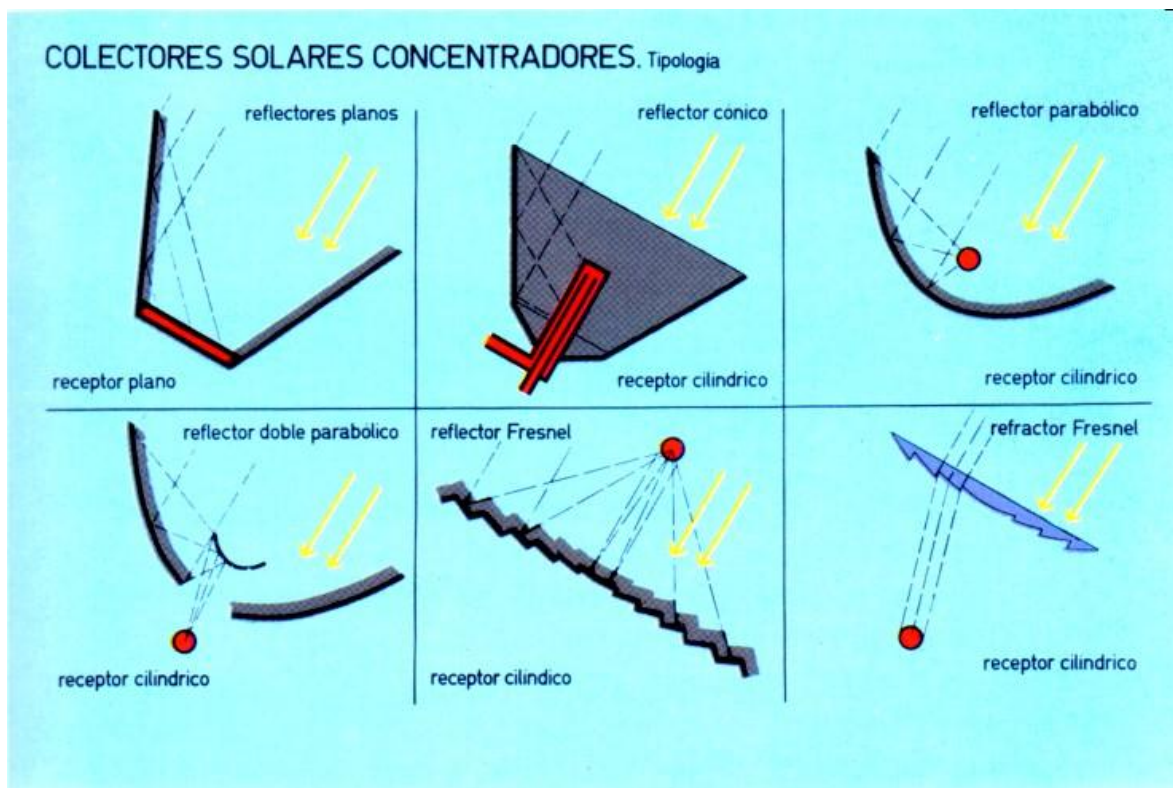


Fig. No 1: Tipos de colectores solares foto térmicos.

Una descripción sencilla del sistema de calentamiento de agua propuesto se muestra en la figura No 2. Un colector de placa plana, formado básicamente por una placa plana metálica (cobre) y sobre ella, soldados se encuentran tubos también metálicos (cobre), por donde circula el fluido a calentar. Todo el colector es una caja parcialmente aislada, para minimizar las pérdidas de calor. Tal como se muestra en la figura No 3. El resto de la instalación esta formado por válvulas, tuberías, tanques colectores de agua, una bomba y controladores de temperatura.

Un sistema de calentamiento de agua utilizando colectores foto térmicos, consta de más de un colector, los cuales pueden ser conectados en serie, en paralelo ó una combinación de ambos, esto es, dependiendo del volumen de fluido a calentar y la temperatura requerido para el.

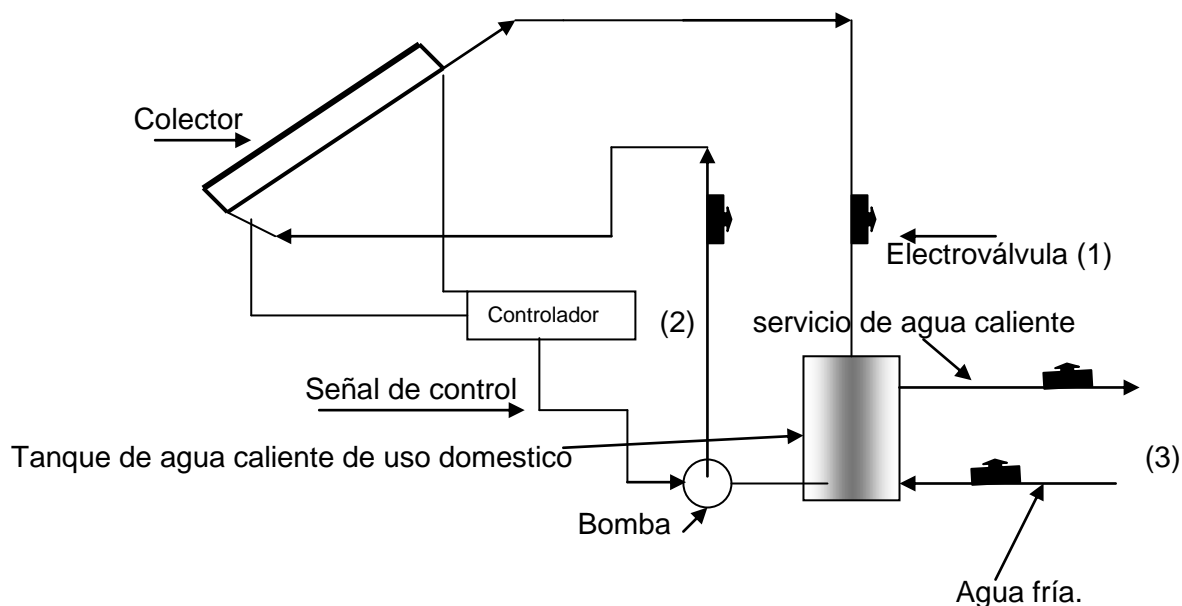


Fig. No 2: Esquema de la instalación de calentamiento de agua.

La instalación está formada por un tanque que suministra el agua fría y colecta el agua caliente, además, el tanque tiene la conexión para el suministro de agua caliente a la red de distribución de la cocina. El sistema completo deberá ser controlado por un PLC ó un controlador de temperatura del tipo PID. Este controlador permitirá el paso de agua fría hasta la batería de colectores, esto se realiza por medio de una bomba. El agua caliente que se encuentra en los

colectores es desplazada hacia el tanque de almacenamiento. El agua se estratifica en el tanque, por diferencia de densidades, la más caliente en la parte superior y la más fría en la parte inferior, donde se encuentra la succión de la bomba.

A continuación, se muestran diferentes formas que pueden tener los colectores de placas plana. Los colectores instalados en el ITCA – FEPADE, son del primer tipo.

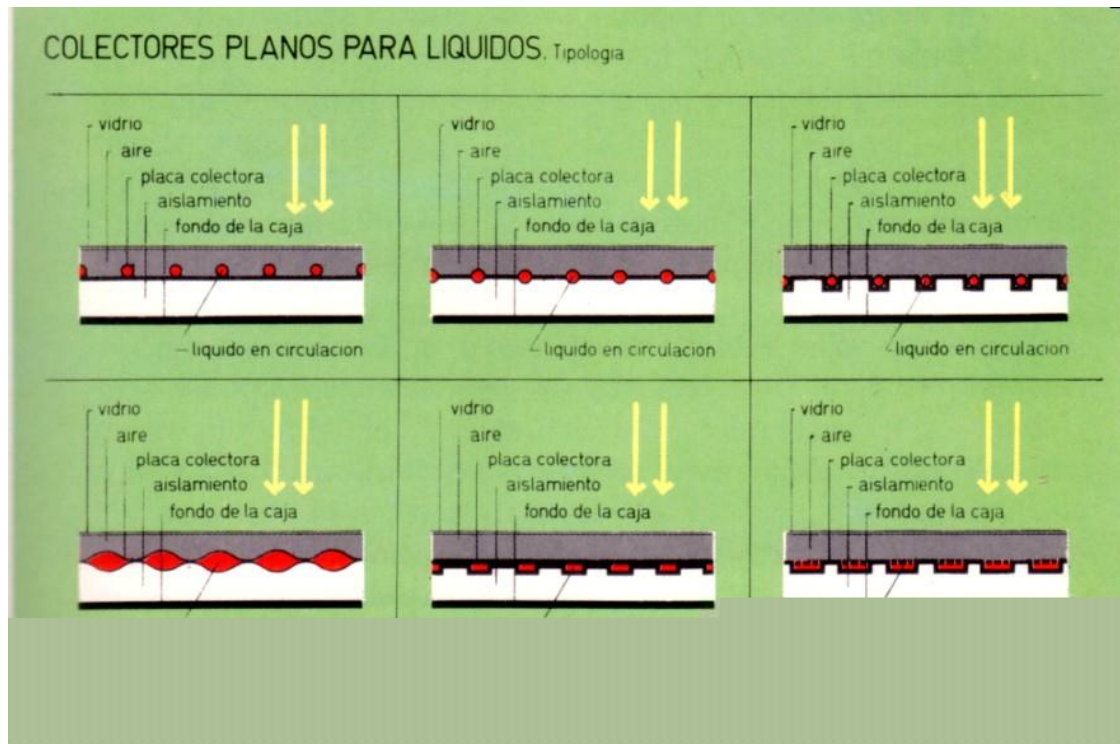


FIG. No 3: Tipos de colectores de placa plana.

4. CÁLCULO DE CANTIDAD DE AGUA CALIENTE NECESARIA

Los tres equipos que utilizan agua caliente en la cafetería son:

a) Lava vajillas:

- Volumen de agua caliente utilizado por lavado: 5 litros.
- Temperatura requerida del agua: 50 °C
- Cantidad de veces que se utiliza el equipo: 8
- Total de agua caliente necesaria al día: 40 litros.

b) Marmitas:

- Volumen de agua caliente utilizada ciclo de trabajo: 75.4 litros.
- Temperatura requerida del agua: 90 °C
- Cantidad de veces que se utiliza el equipo al día: 8
- Total de agua caliente necesaria al día: 603.2 litros

c) Mesa térmica:

- Volumen de agua caliente utilizada cada ciclo de trabajo: 43.7 litros.
- Temperatura requerida del agua: 70 °C
- Cantidad de veces que se utiliza el equipo: 2
- Total de agua caliente necesaria al día: 87.4 litros.

Total de agua caliente necesaria en la cafetería por día: 730.6 litros = 0.731 metros cúbicos, como una aproximación y como una medida de seguridad el sistema se calculo para un metro cúbico de agua caliente.

5. CÁLCULO DE CALOR NECESARIO PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA

NECESARIO EN LA CAFETERÍA

El siguiente cálculo es para determinar si es posible calentar el metro cúbico que se requiere en la cafetería.

Según la Física de Tippens, el calor se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Donde: Q = calor transferido.

m = masa a la que se le transfiere calor.

c = capacidad calorífica específica.

ΔT = variación de temperatura.

Por lo tanto:

$$Q = 49\,260\,000 \text{ cal / día}$$

$$c = 1 \text{ cal / gr. } ^\circ\text{C}$$

$$m = ?$$

$$\begin{aligned}\Delta T &= (\text{temperatura de agua caliente} - \text{temperatura de agua entrando}) \\ &= (70\, ^\circ\text{C} - 20\, ^\circ\text{C}) = 50\, ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

El promedio de temperatura del agua que sale de un colector plano es de 70 °C.

Así que la masa de agua que podemos calentar hasta los 70 °C es:

$$m = Q / (c \times \Delta T) = (49\,260\,000 \text{ cal / día}) / (1 \text{ cal / gr } ^\circ\text{C}) (50\, ^\circ\text{C}) = 985\,200 \text{ gr / día}$$

Si dividimos la masa entre la densidad ($\rho = m / V$) del agua (1 gr / cm³), el volumen de que podemos calentar es de aproximadamente 0.985 m³ / día.

6. CÁLCULO DEL COSTO DE CALENTAR EL AGUA CON GAS PROPANO

Si para calentar el agua se utiliza gas propano, el consumo de gas por día se calcula de la siguiente forma:

El poder calorífico del propano es: $q = 120\,000 \text{ BTU / Lbm}$

$$q = (120\,000 \text{ BTU / Lbm}) (252 \text{ cal / 1 BTU})(1 \text{ Lbm / 0.454 Kg}) = 13\,728\,960 \text{ cal / Kg}$$

$$q = 13\,728\,960 \text{ cal / Kg.}$$

Este es el calor que puede entregar el gas propano cuando se quema de forma perfecta. Ahora sabemos que para calentar el agua desde 20 °C hasta 70 °C, se necesita:

$$49\,260\,000 \text{ cal / día}$$

Para conocer la cantidad de gas propano que se necesita se realiza la siguiente operación:

$$\text{Masa de propano necesaria} = (49\,260\,000 \text{ cal / día}) / (13\,728\,960 \text{ cal / Kg})$$

$$M_{\text{propano}} = 3.588 \text{ Kg / día}$$

Como la densidad del propano es:

$$\rho = m / V = 507.2 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$M_{\text{propano}} = (3.588 \text{ Kg} / \text{día}) / (507.2 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 0.00707 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Pero el gas propano se vende por galones, entonces:

$$M_{\text{propano}} = (0.00707 \text{ m}^3 / \text{día}) (264.17 \text{ gal} / 1 \text{ m}^3) = 1.869 \text{ gal} / \text{día}$$

El costo del gas propano industrial es de: 1.9 \$/gal

El costo de calentar el agua desde 20 °C hasta los 70 °C es de:

Costo de calentamiento de agua = C_{cal}

$$C_{\text{cal}} = (1.869 \text{ gal} / \text{día}) (1.9 \text{ \$/gal}) = (3.55 \text{ \$/día}) (30 \text{ días/mes}) = \mathbf{106.53 \text{ \$} / \text{mes}}$$

7. CÁLCULO DE CALOR DISPONIBLE PARA CALENTAR EL AGUA EN LOS COLECTORES

Los datos aportados por el “Servicio Nacional de Estudios Territoriales – SNET”, el promedio para el mes de mayo de radiación solar fue de 410.5 cal / cm² x día, con este valor se calcula cuanto calor podrían absolver los colectores solares instalados, los cuales son seis y cada uno tiene 1 metro por 2 metros, lo que da un área de colección de 12 metros cuadrados (12 m²) lo que equivale a 120 000 cm².

Para el mes de marzo:

$$\begin{aligned} Q &= (936.4 \text{ Wh/m}^2) (12 \text{ m}^2) = 11\,236.8 \text{ W h} \times (859.85 \text{ cal} / \text{W h}) (12 \text{ hr}) = \\ &= 115\,943\,549.8 \text{ Cal} / \text{día} \text{ Calor disponible entregado por el sol.} \end{aligned}$$

Calor absorbido por el agua en los colectores:

$$Q = m C_p \Delta T = (985.2 \text{ Kg} / \text{día}) (1000 \text{ Cal} / \text{Kg } ^\circ\text{C}) (55.2 - 28.5) = 26\,304\,840 \text{ Cal} / \text{día}$$

Para el mes de junio:

$$\begin{aligned} Q &= (935.7 \text{ Wh/m}^2) (12 \text{ m}^2) = 11\,228.4 \text{ W h} \times (859.85 \text{ cal} / \text{W h}) (12 \text{ hr}) = \\ &= 115\,856\,876.9 \text{ Cal} / \text{día} \text{ Calor disponible entregado por el sol.} \end{aligned}$$

Calor absorbido por el agua en los colectores:

$$Q = m C_p \Delta T = (985.2 \text{ Kg / día}) (1000 \text{ Cal / Kg } ^\circ\text{C}) (40.7 - 27.2) = 13\,300\,200.0 \text{ Cal / día}$$

La eficiencia del sistema en la temporada de lluvia ha bajado casi al 50%. La eficiencia baja por que la temperatura promedio del ambiente ha bajado, siendo un promedio de 24.5 °C. Una temperatura ambiente baja, permite una mayor transferencia de calor desde el agua en los colectores al ambiente.

8. COMPARACIÓN DE VARIABLES

8.1. Temperatura del agua de salida de los colectores y la radiación solar.

En las dos tablas que se encuentran a continuación, se presentan los datos promedios de las variables involucradas en la eficiencia del sistema de calentamiento de agua por energía solar foto térmica.

En la tabla No 1 es para el mes de marzo, seleccionado por que es un mes representativo del verano. Las variables correlacionadas son:

- a. Temperatura del agua que sale de los colectores solares y la radiación solar. El cálculo del coeficiente de correlación se realizo por medio del software de Excel y el valor calculado es de: **0.80799**
- b. Temperatura del agua que sale de los colectores solares y la velocidad del viento, para realizar la correlación se tomaron los datos en metros / segundos, siendo la correlación de: **0.6492**
- c. Temperatura del agua que sale de los colectores solares y temperatura ambiente y el resultado de la correlación es de: **0.9163**

En la tabla No 2 los datos presentados son para el mes de junio. Este mes se seleccionó por ser representativo de la estación de lluvias en El Salvador. Las variables correlacionadas son las de la tabla No1 y se agregó la precipitación de lluvia, de la cual se tomaron datos de cantidad de lluvia precipitada en los intervalos de análisis, es decir, entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m. Las correlaciones calculadas son:

- a. Temperatura del agua que sale de los colectores solares y la radiación solar. El cálculo del coeficiente de correlación se realizó por medio del software de Excel y el valor calculado es de: **0.8678**

TABLA No 1: Promedio de variables atmosféricas y temperatura del agua en los colectores para el mes de marzo.

HORA DEL DÍA	Temp. De salida del colector °C	Temp. Entrada al colector °C	Temp. Ambiente °C	Radiación solar W - h / m2	Velocidad del viento nudos	Velocidad del viento metros / seg	Correlación entre la Temp. De salida y la radiación	Correlación entre la Temp. De salida y la velocidad del viento	Correlación entre la temp. De salida y temp. Amb.
06:00	15.5	18.7	17.7	922	0.1	0.06	0.807989108	0.649157567	0.916346224
06:30	17.9	22.7	18.2	921	0.1	0.03			
07:00	22.8	24.7	19.2	923	0.1	0.05			
07:30	24.2	26.9	20.0	924	0.1	0.06			
08:00	31.4	23.8	21.4	925	0.2	0.12			
08:30	36.5	27.9	22.5	928	0.4	0.18			
09:00	38.7	28.5	23.5	929	0.4	0.19			
09:30	43.6	28.8	24.8	932	0.3	0.17			
10:00	43.7	27.0	26.0	935	0.3	0.17			
10:30	46.8	30.0	26.6	936	0.5	0.25			
11:00	50.5	31.1	27.6	938	0.6	0.32			
11:30	50.3	28.2	28.3	940	0.5	0.26			
12:00	53.0	32.6	29.0	944	0.7	0.38			
12:30	55.4	33.5	29.4	946	0.7	0.37			
13:00	50.6	30.7	29.0	947	0.9	0.48			
13:30	50.7	32.6	29.4	946	0.6	0.32			
14:00	50.7	32.9	30.0	946	0.9	0.48			
14:30	48.8	31.0	29.6	946	0.8	0.42			
15:00	44.8	30.7	29.0	945	1.0	0.49			
15:30	41.5	29.8	28.0	944	1.1	0.59			
16:00	39.2	31.3	27.1	943	0.9	0.48			
16:30	34.3	30.7	26.0	941	0.7	0.34			
17:00	30.2	26.0	25.4	939	0.8	0.42			
17:30	29.1	26.0	24.3	936	0.5	0.26			
18:00	26.0	27.1	23.7	933	0.4	0.20			

Tabla No 2: Promedio de variables atmosféricas y temperatura del agua en los colectores para el mes de junio.

HOR A DEL DÍA	Temp. De salida del colector °C	Temp. Entrada al colector °C	Temp. Ambiente °C	Radiación solar W - h / m ²	Velocidad del viento nudos	Velocidad del viento metros / seg.	Lluvia acumulada en milímetros	Correlación entre la Temp. De salida y la radiación	Correlación entre la Temp. De salida y la velocidad del viento	Correlación entre la temp. De salida y temp. Amb.	Correlación entre la temp. De salida y precipitación de lluvia
06:00	17.4	24.5	19.0	924	0.3	0.13	0.00	0.86780750	0.91468035	0.93270073	0.122077406
06:30	19.9	24.8	19.6	925	0.1	0.06	0.03				
07:00	22.1	25.3	20.6	927	0.3	0.15	0.00				
07:30	26.1	26.2	21.4	929	0.4	0.19	0.02				
08:00	30.0	26.4	22.6	931	0.6	0.29	0.04				
08:30	33.1	26.4	23.4	932	0.5	0.27	0.06				
09:00	35.0	26.4	24.2	932	0.7	0.37	0.08				
09:30	36.6	27.4	25.0	934	1.0	0.54	0.00				
10:00	37.5	28.4	25.7	937	1.0	0.49	0.00				
10:30	38.5	27.8	26.2	939	1.0	0.51	0.01				
11:00	39.2	29.5	26.2	941	0.9	0.48	0.04				
11:30	40.1	28.6	26.5	941	0.8	0.41	0.19				
12:00	39.7	27.8	26.8	942	0.9	0.48	0.00				
12:30	40.7	29.9	27.1	942	0.9	0.44	0.00				
13:00	39.3	27.6	27.2	943	1.1	0.56	0.00				
13:30	37.3	29.0	26.8	943	0.9	0.46	0.10				
14:00	35.3	28.6	26.0	943	0.8	0.39	0.54				
14:30	33.1	27.5	25.8	942	0.6	0.32	0.00				
15:00	32.5	28.2	25.6	940	0.5	0.25	0.00				
15:30	31.5	26.9	25.4	939	0.5	0.25	0.00				
16:00	31.3	27.8	25.2	937	0.5	0.26	0.22				
16:30	29.8	27.5	24.6	936	0.4	0.23	0.34				
17:00	29.3	26.2	24.1	933	0.4	0.22	0.00				
17:30	26.5	26.4	23.5	932	0.3	0.15	0.02				
18:00	26.0	26.0	23.0	930	0.2	0.12	0.01				

- b. Temperatura del agua que sale de los colectores solares y la velocidad del viento, para realizar la correlación se tomaron los datos en metros / segundos, siendo la correlación de: **0.9147**
- c. Temperatura del agua que sale de los colectores solares y temperatura ambiente y el resultado de la correlación es de: **0.9327**
- d. Temperatura del agua que sale de los colectores solares y precipitación de lluvia. La correlación calculada es de: **0.1221**

En los anexos, se adjuntan las tablas con los datos que se utilizaron para calcular los promedios de las variables involucradas. Las variables ambientales fueron tomadas de la página Web de la oficina “Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)”. Los valores de temperatura del agua y salida de los colectores foto térmicos, fueron colectados del sistema de colección de datos instalados para ello específicamente y recolectados en el software Labview.

Los valores de las correlaciones obtenidas, entre la temperatura de salida de los colectores y las variables atmosféricas, muestra la gran influencia que tienen estas en el funcionamiento de los colectores foto térmicos.

La única correlación que muestra poca influencia de una variable atmosférica y la temperatura del agua caliente se obtiene de los colectores, es la de precipitación de lluvia, pero esto es tiene una explicación desde la toma de datos. Los datos de precipitación de lluvia tomados de la página Web del SNET, son datos acumulados para la temporada. Los datos que se muestran en la tabla del anexo, se obtuvieron de las graficas y para el período de análisis, es decir, entre las 6 a.m. y 6 p.m. Al examinar la tabla, se nota que son datos muy dispersos, esto es porque la mayor cantidad de lluvia es en horas que estaban fuera de análisis.

9. CÁLCULO DE EFICIENCIA DE LOS COLECTORES.

Para el mes de marzo:

Calor absorbido por el agua en los colectores es de:

$$Q = 26\,304\,840 \text{ Cal / día}$$

Calor disponible por la radiación solar es:

$$Q = 115\,943\,549.8 \text{ Cal / día}$$

La eficiencia térmica en la absorción de calor:

$$\begin{aligned} \eta &= (\text{Calor absorbido} / \text{Calor disponible}) \times 100 \\ &= (26\,304\,840 \text{ Cal / día} / 115\,943\,549.8 \text{ Cal / día}) \times 100 \end{aligned}$$

$$\eta = 22.7 \%$$

Para el mes de junio:

Calor absorbido por el agua en los colectores:

$$Q = 13\,300\,200.0 \text{ Cal / día}$$

Calor disponible por la radiación solar en este mes:

$$Q = 115\,943\,549.9 \text{ Cal / día}$$

La eficiencia térmica en la absorción de calor:

$$\begin{aligned} \eta &= (\text{Calor absorbido} / \text{Calor disponible}) \times 100 \\ &= (13\,300\,200.0 \text{ Cal / día} / 115\,943\,549.9 \text{ Cal / día}) \times 100 \end{aligned}$$

$$\eta = 11.48 \%$$

10. CONCLUSIONES

1. La disponibilidad de la energía radiante es constante, para nuestros cálculos es de:
115 943 549.9Cal / día
2. Las variables atmosféricas analizadas influyen grandemente en la eficiencia de los colectores.
3. La temperatura ambiente tiene una incidencia grande en la eficiencia de los colectores, porque entre más baja es la temperatura ambiente, más transferencia de calor existe desde los colectores al ambiente.
4. La velocidad del viento tiene influencia en los colectores, porque parte de las pérdidas de calor se dan por convección. El índice de correlación entre las variables de temperatura de salida del agua de los colectores y la velocidad del viento, dio baja en el mes de marzo pero mucho más alta en el mes de junio. Por lo que podemos concluir que si influye en la eficiencia de los colectores.
5. La variable lluvia muestra un bajo coeficiente de correlación, pero esto es debido a que la variable es “precipitación acumulada en el período de lluvias”. Los datos seleccionados para dicha correlación, fueron tomados para el tiempo de análisis, esto fu entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m. donde se registro bien poca lluvia.

11. RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento por mucho más tiempo para observar el comportamiento general del sistema por un año completo.
2. Estudiar el sistema durante un año pero cambiando la inclinación de los colectores, de tala manera que siempre estén perpendicular al sol en su declinación sur – norte y norte – sur.
3. Como la velocidad del viento influye significativamente en la eficiencia de los colectores, se recomienda la instalación de estos en zona protegida a los vientos.

12. FUENTES DE INFORMACIÓN

Autor : Montgomery, Richard H.
Nombre del Libro : Energía solar. Selección del equipo, instalaciones y Aprovechamiento.
Casa editora : Limusa.
País : México
Año de edición : 1992

Autor : Kreith, Frank
Nombre del libro : Principios de Transferencia de Calos.
Casa editora : Herrero Hermanos, sucesores, S. A.
País : México
Año de edición : 1970

Autor : Ramaje, Janet.
Nombre del libro : Energía.
Casa editora : Editores Asociados Mexicanos, S. A.
País : México
Año de edición : 1987

Paginas Web consultadas:

1. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)
2. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

ITCA- FEPADE

VISIÓN

Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.

MISIÓN

Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial tanto como trabajadores y empresarios.

VALORES

- Excelencia**
- Espiritualidad**
- Comunicación**
- Integridad**
- Cooperación**

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

República de El Salvador en la América Central

FORMANDO PROFESIONALES PARA EL FUTURO



Nuestro método "APRENDER HACIENDO" es la diferencia
www.itca.edu.sv