

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA
DE 80 LITROS CON COLECTOR DE 1 m²**

AUTORES:

**Bach. LADY VIRGINIA VIGO CRUZ
Bach. RONAL ROYMER TRIGOSO VALLE**

ASESOR:

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS, AMAZONAS - PERÚ

2012



18 0 ENE 2013

01 00

101

UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE
80 LITROS CON COLECTOR DE 1 m²

AUTORES:

Bach. LADY VIRGINIA VIGO CRUZ

Bach. RONAL ROYMER TRIGOSO VALLE

ASESOR:

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS, AMAZONAS – PERÚ

2012



30 ENE 2013

DEDICATORIA

A mis padres.

A mi hijo que es la luz de mi camino.

Lady

A Dios, a mis padres y hermano; quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento.

Ronal

AGRADECIMIENTO

A nuestros queridos padres, hermanos y demás familiares, por haber hecho hasta lo imposible para que podamos superarnos.

A todas las personas que lucharon para el funcionamiento de nuestra Casa Superior de Estudios, la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, la cual satisface nuestras expectativas como alumnos y futuros profesionales.

A nuestro asesor de una manera muy especial, quien con su experiencia nos orientó en la realización de la presente tesis.

A todas las personas que nos apoyaron para que este trabajo se haga realidad.

A los compañeros y amigos, con quienes compartimos momentos de alegría que vivirán plasmados por siempre en nuestros recuerdos.

Mil gracias a todos.

Lady y Ronal

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph. D. Dr. Hab. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ
Rector

Dr. ROBERTO JOSÉ NERVI CHACÓN
Vicerrector Académico (e)

Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN
Vicerrector Administrativo (e)

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la tesis titulada “**EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE 80 LITROS CON COLECTOR DE 1 m²**” de los tesisistas egresados de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-A:

Bachiller LADY VIRGINIA VIGO CRUZ

Bachiller RONAL ROYMER TRIGOSO VALLE

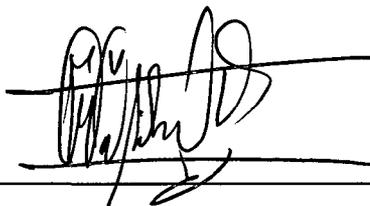
El docente de la UNTRM-A que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 14 de Diciembre de 2012.



Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
PROFESOR PRINCIPAL DE FICA-UNTRM-AMAZONAS

JURADO EVALUADOR



Ing. MEREGILDO SILVA RAMIREZ

Presidente



Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA

Secretario



Ing. SEGUNDO VICTOR OLIVARES MUÑOZ

Vocal

ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Autoridades universitarias	iii
Visto Bueno del Asesor	iv
Jurado Evaluador	v
Índice	vi
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras	x
Índice de Fotografías	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Energía calorífica	3
1.2. Energía solar	4
1.3. Calentador solar de agua	6
1.3.1. Colector solar	6
1.3.2. Tanque de almacenamiento	8
1.3.3. Sistema de tuberías	9
1.3.4. Orientación e inclinación del colector	9

1.3.5. Funcionamiento del calentador solar	11
1.3.6. Eficiencia de transformación energética	12
1.3.7. Eficiencia de un colector solar	13
1.3.8. Materiales cobertores	15
1.3.9. Materiales aislantes	16
1.3.10. Materiales conductores	16
1.3.11. Recubrimiento	16
II. MATERIAL Y METODOS	18
2.1. Material para construcción del colector	18
2.2. Material para el acondicionamiento del tanque de almacenamiento de agua.	18
2.3. Material para el sistema de tuberías	19
2.4. Otros materiales y herramientas	19
2.5. Construcción de los componentes de la terma solar	20
2.5.1. Caja de colector solar	20
2.5.2. Parrilla de tubos	21
2.5.3. Tapa del colector	21
2.5.4. Tanque de almacenamiento de agua caliente	22
2.5.5. Sistema de abastecimiento de agua	23
2.6. Llenado de la terma solar	24
2.7. Frecuencia de registro de datos	26

2.8. Eficiencia de la terma solar	26
III. RESULTADOS	28
3.1. Días soleados	28
3.2. Días combinados	32
3.3. Días nublados	36
3.4. Días sin cambiar el agua	40
3.5. Días enfocando con un espejo la luz solar al colector	44
IV. DISCUSIÓN	49
V. CONCLUSIONES	52
VI. RECOMENDACIONES	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	56
Anexo 1. Datos experimentales	57
Anexo 2. Secuencia fotográfica de la construcción de la terma solar	63
Anexo 3. Planos de la terma solar	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros característicos de los distintos tipos de colectores solares	8
Tabla 2. Grados de inclinación del colector y su porcentaje de inclinación	10
Tabla 3. Propiedades del agua en función de su temperatura	12
Tabla 4. Eficiencia típica de dispositivos convencionales	13
Tabla 5. Datos experimentales promedio para días soleados	58
Tabla 6. Datos experimentales promedio para días combinados	59
Tabla 7. Datos experimentales promedio para días nublados	60
Tabla 8. Datos experimentales promedio para días sin cambiar el agua	61
Tabla 9. Datos experimentales promedio para días enfocando con un espejo la luz solar al colector.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Evolución de la eficiencia general de un colector solar (η_{pc}) en función de la temperatura (T).	14
Figura 2. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo, en día soleado.	28
Figura 3. Temperatura ambiente y temperatura interior del colector vs tiempo, en día soleado.	29
Figura 4. Radiación solar y temperatura interior del colector vs tiempo, en día soleado.	30
Figura 5. Radiación solar y temperatura del agua en el tanque vs tiempo, en día soleado.	30
Figura 6. Temperatura del agua de alimentación y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en día soleado.	31
Figura 7. Determinación del área bajo la curva para calcular la radiación solar en kWh/m ² .	31
Figura 8. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo, en días combinados.	33
Figura 9. Temperatura ambiente, temperatura en el interior del colector vs tiempo, en días combinados.	34
Figura 10. Radiación solar, temperatura en el interior del colector vs tiempo, en días combinados.	34
Figura 11. Radiación solar y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en días combinados.	35

Figura 12. Temperatura del agua de alimentación y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en días combinados.	35
Figura 13. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo ,en días nublados .	37
Figura 14. Temperatura ambiente y temperatura en el interior del colector vs tiempo, en días nublados.	37
Figura 15. Radiación solar y temperatura en el colector vs tiempo, días nublados.	38
Figura 16. Radiación solar y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, días nublados.	38
Figura 17. Temperatura de alimentación y temperatura en el tanque vs tiempo, en días nublados.	39
Figura 18. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo, en días sin cambiar el agua.	40
Figura 19. Temperatura ambiente y temperatura en el interior del colector vs tiempo, para días sin cambiar el agua.	41
Figura 20. Radiación solar y temperatura en el interior del colector vs tiempo, en días sin cambiar el agua.	42
Figura 21. Radiación solar y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en días sin cambiar el agua.	42
Figura 22. Temperatura de entrada y temperatura en el interior del tanque vs	

Figura 24. Temperatura ambiente, temperatura en el interior del colector vs tiempo para días enfocando con un espejo la luz solar al colector.	45
Figura 25. Radiación Solar, temperatura en el interior del colector vs tiempo en días enfocando con un espejo la luz solar al colector.	46
Figura 26. Radiación Solar, temperatura en el tanque vs tiempo en días enfocando con un espejo la luz solar al colector.	46
Figura 27. Temperatura de entrada y temperatura en el tanque vs tiempo en días enfocando con un espejo la luz solar al colector.	47

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Caja del colector solar .	20
Fotografía 2. Parrilla de tubos.	21
Fotografía 3. Colector solar .	22
Fotografía 4. Tanque de almacenamiento de agua caliente.	23
Fotografía 5. Controlador del nivel de agua en el tanque .	24
Fotografía 6. Trayectoria de la sombra del sol.	25
Fotografía 7. Terma solar completa.	25
Fotografía 8. Enfoque de la luz solar con un espejo hacia el colector.	26
Fotografía 9. Construcción del colector solar.	64
Fotografía 10. Colector solar terminado.	64
Fotografía 11. Acondicionamiento para el tanque de almacenamiento.	65
Fotografía 12. Aislamiento del tanque de almacenamiento.	65
Fotografía 13. Controlador de nivel de agua en el calentador solar.	66
Fotografía 14. Sistema de tuberías.	66
Fotografía 15. Trayectoria de la sombra del sol para la ubicación del calentador solar.	67
Fotografía 17. Medición de temperaturas de entrada y en el colector.	67
Fotografía 18. Calentador solar completo.	68

RESUMEN

Para realizar el presente trabajo de investigación se ha construido y evaluado un calentador solar de agua con colector de 1 m^2 y tanque de almacenamiento de 100 L, con el objetivo de determinar la eficiencia en 5 grupos de días diferentes los que fueron: 8 días soleados, 7 días combinados, 7 días nublados, 4 días sin cambiar el agua y 4 días enfocando la luz solar con un espejo, entendiéndose como eficiencia al porcentaje de energía solar que realmente se aprovecha para calentar el agua en el tanque de almacenamiento. Para determinar la eficiencia se hizo el registro durante 30 días, y en cada día desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm, cada 30 minutos, de las siguientes temperaturas: de entrada del agua al colector solar, en el interior del colector solar y el agua en el tanque de almacenamiento. De la estación meteorológica ubicada a 100 m de la terna solar se obtuvo al mismo tiempo y frecuencia los datos de velocidad del viento y radiación solar. Se determinó la eficiencia por medio de la energía térmica ganada y la energía solar recibida, esta última calculada por medio del área bajo la curva de la radiación solar vs tiempo, mediante el método del área de los rectángulos bajo esa curva, obteniendo la radiación solar por hora y m^2 para cada grupo de días siendo este, para los días soleados $5,42 \text{ kWh/m}^2$, para días combinados $4,01 \text{ kWh/m}^2$, en días nublados $3,22 \text{ kWh/m}^2$, en días sin cambiar el agua $5,99 \text{ kWh/m}^2$ y en días enfocados con el espejo $5,51 \text{ kWh/m}^2$ con esta incidencia de radiación solar en el tanque se alcanzó las siguientes temperaturas 44°C en días soleados, 36°C en día combinados, 25°C en días nublados, 44°C en días sin cambiar el agua y 45°C en días enfocados con un espejo; teniendo una temperatura de inicio de análisis de 16°C para cuatro grupo de días excepto para días sin cambiar el agua, el cual inició con la misma temperatura que se encontró en las horas de la mañana que fue de 28°C . Obteniendo al final la eficiencia para los diferentes grupos: días soleados 52%, días combinados 48%, días nublados 30%, para días sin cambiar el agua 31% y para días enfocados con un espejo 63%.

Palabras claves: colector, energía térmica ganada, energía solar recibida

ABSTRACT

The objective of this research has been built and evaluated a solar water heater with 1 m² collector and storage tank 100 L, for determining the efficiency in 5 different days groups which are: 8 sunny days, 7 days combined, 7 days cloudy, 4 days without change the water and 4 days focused with a mirror, defined as the percentage efficiency of solar energy which is actually used to heat the water in the storage tank. To determine the efficiency is recorded for 30 days, and every day from 8:00 am to 4:00 pm, every 30 minutes, for the following temperatures: inlet water to the solar collector, inside the solar collector and the water in the storage tank. Weather station located 100 m from the solar therm obtained at the same time and frequency data, wind speed and solar radiation. Efficiency was determined by means of thermal energy gained and solar energy received, the latter calculated by the area under the curve solar radiation versus time, obtaining the solar radiation in m² per hour and also for each group of days: for sunny days 5,42 kWh/m², 4,01 kWh/m² on days combined 3,22 kWh/m² on cloudy days, in days without changing the water 5,99 kWh/m² and focused with a mirror days 5,51 kWh/m² with this incidence of solar radiation in the tank the following temperatures reached 44 °C on sunny days, 36 °C on combined days, 25 °C on cloudy days, 44 °C without change water day and 45 °C on day focused with a mirror having an start temperature of 16 °C for four days group except for days without change the water which start with the same temperature was found in the morning that was 28 °C. Getting end efficiency for different groups of days, sunny days 52%, 48% combined days to cloudy days 30%, for days without changing the water 31% and for days focused with a mirror 63%.

Keywords: collector, won heat, solar energy received

I. INTRODUCCION

El calentamiento del agua representa un consumo energético importante en una vivienda, la que se emplea para la higiene personal y la limpieza de la casa. A nivel internacional existen algunos datos de consumo de agua caliente; en general, se considera que un consumo medio típico es del orden de 40 litros por día y por persona. En los países en desarrollo este consumo constituye entre el 30 y el 40% del consumo de energía de un hogar, este porcentaje es mayor que en los países desarrollados, donde el consumo de energía para producir agua caliente sanitaria (ACS) es el 26% del consumo total de la vivienda. El calentamiento del agua, a nivel mundial, es el segundo uso energético doméstico en importancia después de la calefacción y la refrigeración. Por esta razón, el calentamiento de agua mediante energía solar, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología económicamente atractiva y competitiva en muchos países (Agencia Internacional de Energía, 2006).

El calentamiento solar de agua para consumo doméstico, como alternativa para sustituir los calentadores tradicionales (eléctricos, a gas, etc.), es una opción atractiva, si se toma en cuenta las bajas temperaturas necesitadas (40 °C a 60 °C), además, desde el punto de vista de ahorro energético es la opción más favorable, ya que en estos sistemas, la fuente de calor es la radiación solar, la cual sustituye los combustibles fósiles o la electricidad (Burbano *et al.*, 2006).

Por otro lado tenemos la gran importancia de las fuentes renovables de energía que son aquellas que se van renovando o rehaciendo con el tiempo de forma continua y son tan abundantes en la tierra, que perdurarán por miles de años, las usemos o no. Las fuentes de energía renovable son: solar, eólica, geotérmica, biomasa, minihidroeléctrica y oceánica. Contando muchos países incluido el nuestro con un potencial enorme para aprovechar las energías renovables. Si se apoyara su desarrollo, esto atenuará los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales, que son los combustibles fósiles, como el carbón, el gas y el petróleo sin dejar de lado la electricidad. Debemos redoblar nuestros esfuerzos para asegurar que las generaciones venideras se beneficien de todas las ventajas socioeconómicas y medioambientales que las energías renovables ofrecen (Vertiz, 1997).

En los últimos años se está produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica en el mundo; los avances tecnológicos permitieron la fabricación de sistemas de mejor calidad y a menor costo y la sociedad está entendiendo la necesidad de sustituir los combustibles fósiles por fuentes de energía renovable.

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas (Cárdenas *et al.*, 2006).

La creciente preocupación por lograr un cabal aprovechamiento de las energías renovables, la necesidad de diversificar las fuentes aprovechables de energía y reducir las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero precursor del cambio climático global, ha permitido introducir nuevas perspectivas en las investigaciones por impulsar el aprovechamiento de este tipo de tecnologías (Follari, 2004).

Es pertinente señalar que el desarrollo de las energías renovables en nuestro país ha estado presente por más de treinta años. Sin embargo de manera particular, el desarrollo de calentadores solares de agua no se ha tomado en cuenta con la importancia que requiere.

En el contexto internacional, el calentamiento solar es una alternativa aplicada con gran amplitud. A finales del 2004 se tenía instalados 164 millones de m² de colectores, correspondiente a una capacidad instalada de cerca de 115 GWh. China es el mercado líder en el mundo, con el 38% de la capacidad instalada, mientras que Estados Unidos está en segundo lugar (17%) y Japón tercero (4,7%). La Unión Europea en su conjunto representa el 10,4% del mercado internacional, donde Alemania, Austria y Grecia son los principales mercados; en los dos primeros se ha instalado 41,1 millones de m² en el 2010. La producción anual de todo el campo de captadores solares instalados en el 2004 fue de poco más de 68000 GWh, correspondientes a 10,8 billones de litros de equivalente de petróleo y a una disminución de 29,6 millones de toneladas de emisiones de CO₂ (Pilatowsky *et al.*, 2005).

En enero de 2007, la ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation) publicó un plan de acción de energía solar térmica a largo plazo para la Unión Europea, en la que

se definen dos nuevos objetivos para el 2020, uno mínimo de 91 GWt (130 millones de m²) y un objetivo ambicioso de 320 GWt (457 millones de m²), es decir, 1 m² de colector por habitante. La ESTIF señala que para alcanzar este último objetivo, la energía solar térmica tendrá que ser ampliamente utilizada en aplicaciones de calefacción y refrigeración (Placco *et al.*, 2006).

Actualmente el valor de la eficiencia de un artefacto dice mucho de la calidad y rentabilidad del mismo, así por ejemplo, hoy en día se habla de lámparas ahorrativas, autos de alto rendimiento, etc. Lo que está contribuyendo a crear una nueva conciencia en nuestra sociedad, en la que, un factor adicional que se debe tener en cuenta en la compra de un equipo es, quizás más importante que la presencia, el valor de su eficiencia, ya que de ello depende si en su uso futuro se tendrá algún ahorro significativo (Valera, 2007).

Particularmente en aplicaciones de energía solar veremos que la eficiencia es el factor decisivo en la puesta a punto y rentabilidad de un sistema. Más aun conociendo el factor de eficiencia de un equipo podemos realizar cálculos de diseño y de dimensionamiento (Valera, 2007).

1.1. Energía calorífica

El calor es una de las formas de energía más comunes y relativamente fáciles de generar. Así por ejemplo, prender fuego con una lupa en un papel oscuro, constituye un caso de transformación de radiación solar en calor, produciéndose la ignición del papel cuando la temperatura obtenida pasa los 300 °C. La llama a su vez alcanza una temperatura superior (2000 °C), generando luz y calor.

En general, todo cuerpo caliente emite luz y calor. Al calor se le denomina técnicamente radiación infrarroja y es invisible para la vista humana. Por ejemplo, el calor que emite una plancha caliente (150 °C) no lo podemos ver, pero si sentir si acercamos la mano. Al calor podemos considerarlo un estado de los cuerpos, relacionado directamente con el grado de movilidad de los átomos (moléculas) constituyentes del mismo y cuya temperatura es una medida de esa energía (Valera, 2007).

1.2. Energía solar

La energía solar es el resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el interior del Sol. De toda la energía que se genera en este proceso, nuestro planeta recibe menos de una milmillonésima parte, la cual resulta, en proporción con el tamaño de la tierra, una cantidad enorme.

La energía solar es esencialmente radiación electromagnética que emite el sol debido a su temperatura. Esta radiación está compuesta de tres tipos:

- Radiación infrarroja (IR): 42%
- Radiación visible (Vis): 46%
- Radiación ultravioleta (UV): 12%

La radiación infrarroja constituye esencialmente ondas de calor invisibles para el ser humano, pero sensibles al tacto. La radiación visible, constituye el único rango sensible para la vista humana y abarca longitudes de onda entre 0,7 y 0,4 μm (Valera, 2007).

Finalmente el sol emite una pequeña fracción de radiación ultravioleta ($\lambda < 0,4\mu\text{m}$), que tampoco podemos visualizar y es por ejemplo, la que causa la insolación de la piel en la playa y dependiendo de su sensibilidad, puede causar cáncer de piel, por ser radiación de alta energía (Valera, 2007).

A la superficie de la tierra llegan mayormente la radiación visible y la infrarroja, que son importantes para las diversas aplicaciones (fototérmicas, fotovoltaicas, etc.). A su vez la radiación solar terrestre está compuesta esencialmente de dos componentes: la radiación solar directa R_D , (incide directamente del sol) y la radiación solar difusa R_d , que procede de la bóveda celeste.

Debido de un lado a la variabilidad de la atmósfera y de otro lado al aparente movimiento del sol, tanto R_D , como R_d , van a variar durante el día asumiendo valores en el rango:

$$1000 \text{ W/m}^2 \geq R_D \geq 0 \quad \text{y} \quad 400 \text{ W/m}^2 \geq R_d \geq 100 \text{ Wm}^2$$

Siempre y cuando se trate de atmósferas limpias y a nivel del mar (Valera, 2007).

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede transformar en electricidad o calor. Puede ser utilizada directamente como calor o para producir vapor (solar térmica) y para generar electricidad (solar eléctrica).

De esta forma, en un año, la tierra recibe del sol la energía que se podría producir con 60 millones de toneladas de petróleo. De acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar AC, si se lograra convertir el 1% de esta energía en electricidad se podría producir el equivalente a la electricidad utilizada en México.

La radiación solar (llamada también luz solar) está compuesta de rayos electromagnéticos de diferentes longitudes de onda y de diferentes frecuencias (la longitud de onda de un rayo es inversamente proporcional a su frecuencia).

Si se mide la radiación solar que recibe una superficie horizontal, durante todo un día soleado, el resultado permitirá realizar algunas estimaciones de la energía solar incidente en diferentes lugares de nuestro planeta.

Las localidades ideales para aplicaciones solares son aquellas que poseen dosis de radiación casi constante todo el año, lo cual corresponde muy bien para latitudes ecuatoriales siendo este el caso de Cuba el cual presenta un valor energético promedio de 5 y 7,5 kWh/m²; para el caso de nuestro país que tiene una cercanía a la línea ecuatorial, los datos oscilan en valores aproximadamente 4 y 6,5 kWh/m² (Estación Meteorología UNI Cajamarca).

Por otro lado, en la Región Amazonas los datos oscilan entre 3,22 y 5,99 kWh/m² debido a que no presenta mucho tiempo de radiación efectiva por las condiciones climáticas, ya que los datos de radiación solar son los promedios mensuales de las dosis diarias de energía solar recibida (Estación meteorológica INDES - CES Amazonas).

Desde el punto de vista de su valor energético, la región ultravioleta del espectro solar puede despreciarse en la superficie terrestre, ya que casi toda es filtrada por la capa de ozono de la atmósfera. Aproximadamente el 50% pertenece a la región visible y otro 50% a la infrarroja.

Cuando la radiación solar llega a un cuerpo, parte es captada o absorbida, parte es reflejada y, en los casos de los cuerpos llamados transparentes o translúcidos, parte es transferida (o sea, pasa parte de la luz a través del cuerpo).

1.3. Calentador solar de agua

Son dispositivos que permiten calentar agua directamente con la radiación solar y más aún posibilitan su almacenamiento para ser usada en cualquier momento. La efectividad y vida media de un calentador solar depende esencialmente de los materiales empleados, el diseño aplicado y las consideraciones del constructor (Valera, 2007).

Realiza la función de calentar sustancias utilizando una fuente de energía mucho más limpia y gratuita. Sabemos que las energías renovables son sin lugar a dudas las más económicas, como la de tipo solar así como también la energía eólica y geotérmica que están en pleno ascenso (Gómez, 2009).

1.3.1. Colector solar

Es el elemento que contiene a la parrilla de tubos protegiéndolas a su vez de las pérdidas de temperatura y las inclemencias del tiempo, está cubierta con una superficie transparente que permite el paso de la radiación solar con una orientación en forma perpendicular a los rayos del sol, donde se captura la energía del sol y se transfiere al agua.

a) Tipos de colectores solares para calentar agua

- **Colectores de placa plana con cubierta**

Los colectores de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento, una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y una placa absorbidora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa, que es de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de la parrilla de tubos colocada sobre esta placa del colector. Tienen la ventaja que pueden utilizar la radiación

solar difusa (reflejada a través de las nubes), aparte de la radiación directa. Un colector plano puede dar temperaturas entre 65 - 90 °C con una eficiencia promedio 40 - 60%.

- **Collectores concentradores parabólicos compuestos (CPC) estacionarios**

Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales. Poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo concentradores parabólicos compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50%.

- **Collectores de placa plana sin cubierta**

Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten de un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están constituidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua.

En la Tabla 1 se muestran valores típicos de los parámetros característicos eficiencia óptica (η_0), coeficiente global de pérdidas (U_L) y rango normal de temperaturas de trabajo para distintos tipos de colectores.

Tabla 1: Parámetros característicos de los distintos tipos de colectores solares.

Tipo de colector	Factor de conversión (η_0)	Factor de pérdidas térmicas: U_L ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)	Rango de temperatura ($^\circ C$)
Sin cubierta	0,9	15-25	10 – 40
Cubierta simple	0,8	7	10 – 60
Cubierta doble	0,65	5	10 – 80
Superficie selectiva	0,8	5	10 – 80
Tubos de vacío	0,7	2	10 – 130

Fuente: CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar)

- **Colectores de tubos al vacío**

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos al vacío (o evacuados), cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calor – portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 $^\circ C$ a 177 $^\circ C$. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura.

1.3.2. Tanque de almacenamiento

Es el otro componente básico de la terma solar y de cuya configuración depende que el agua caliente, captada del colector, se mantenga disponible el mayor tiempo posible al estar debidamente aislado para evitar que el agua se enfríe durante la noche.

El proceso de calentamiento del agua en el tanque de almacenamiento tiene lugar usualmente entre las 9 y las 15 horas, luego de lo cual la temperatura del agua en el colector es menor que en la parte superior del tanque interrumpiéndose el proceso termosifón, permaneciendo el agua caliente

captada en el tanque y cuya duración depende explícitamente del aislamiento dispuesto a su alrededor (Valera, 2007).

1.3.3. Sistema de tuberías

Poseen la función de transportar el agua fría y el agua caliente a través de los elementos que forman el sistema. Se puede utilizar tuberías de cobre, fierro galvanizado o plástico especial para agua caliente.

Por este sistema circula el agua y sirve para la conexión entre el tanque y el colector. Debe estar apropiadamente aislado, tanto para su protección como para evitar las pérdidas de calor del agua.

1.3.4. Orientación e inclinación del colector

Se debe tener en cuenta dos factores a la hora de instalar los componentes de la terma solar: la orientación respecto al sol y la distancia mínima que debe haber entre el colector y el tanque para que el agua fluya por efecto termosifón.

Para la obtención de una buena circulación natural del agua en el sistema de colector y tanque térmico; el tanque debe estar encima del nivel del colector, cuanto mayor sea este desnivel y atendiendo la diferencia de alturas caracterizado por el punto de retorno, mayor será la velocidad de circulación, mejorando la eficiencia térmica del sistema (Gutiérrez, 2004).

Respecto a su orientación, el colector capta un máximo de energía cuando se halla perpendicular a los rayos solares, siendo el norte nuestra orientación óptima. Es conveniente ajustar la inclinación del colector, se recomienda tener un margen de $+15^\circ$ y -15° con respecto al ángulo de los rayos del sol en el equinoccio; otro de los métodos para lograr el funcionamiento todo el año es considerar que la inclinación será igual a la suma del ángulo de la latitud del lugar + 10, mejorando la eficiencia del equipamiento en el periodo de invierno (Gutiérrez, 2004).

No siempre al momento de construir un colector solar se tiene a la mano un transportador para regular/medir su inclinación, por ello debe tenerse en cuenta los datos de la Tabla 2, que permiten definir los grados deseados con facilidad.

Tabla 2. Grados de inclinación del colector y su porcentaje de inclinación.

Grados	% de elevación	Grados	% de elevación	Grados	% de elevación
1	1,75	16	28,67	31	60,09
2	3,49	17	30,57	32	42,49
3	5,24	18	32,49	33	64,94
4	6,99	19	34,43	34	67,45
5	8,75	20	36,40	35	70,02
6	10,51	21	38,39	36	72,65
7	12,28	22	40,40	37	75,36
8	14,05	23	42,45	38	78,13
9	15,84	24	44,52	39	80,98
10	17,63	25	46,63	40	83,91
11	19,44	26	48,77	41	86,93
12	21,26	27	50,95	42	90,04
13	23,09	28	53,17	43	93,25
14	24,93	29	55,43	44	96,57
15	26,79	30	57,74	45	100,00

Fuente: Gutiérrez, 2004.

La utilización de la Tabla 2 es de la forma siguiente: para inclinar un colector en 25 grados, vemos en la Tabla que 25 grados equivalen a 46,63% de inclinación. Procedemos a trazar horizontalmente una línea de un metro de largo (100 cm). Al final de esta línea, a 90 grados trazamos una línea vertical de 46,63 cm. Se une la punta superior de la vertical con el inicio de la línea de 100 cm, de esta manera se tendrá la inclinación deseada de 25° (Gutiérrez, 2004).

1.3.5. Funcionamiento del calentador solar

El calentador solar basa su operación en principios físicos como:

- Propiedad de la pintura negra de absorber al máximo la radiación directa y también la difusa.
- El llamado efecto invernadero es generado por el vidrio que es un material con propiedades especiales. Siendo transparente a la radiación solar, tanto visible como infrarroja; sin embargo, es opaco a la radiación infrarroja lejana que emite el cuerpo calentado, o sea, actúa como una trampa de calor.
- El proceso de conducción del calor que se realiza mediante la transferencia de energía entre moléculas adyacentes, y tiene lugar siempre que exista un gradiente de temperatura, se realiza tanto entre la lámina metálica absorbente con los tubos, así como también entre los tubos y el agua que circula por el interior de estos.
- El agua circula dentro del sistema, mediante el mecanismo de termosifón producido por la diferencia de temperatura en el agua, generada por el calentamiento del colector a causa del sol. Esto significa que el agua caliente es más ligera que la fría y, en consecuencia, tiende a subir permitiendo que el agua caliente se almacene en el interior del tanque, con lo cual se establece una circulación natural, sin necesidad de ningún equipo de bombeo (Tabla 3). El ciclo anterior se repite un número ilimitado de veces, siempre y cuando exista diferencia de temperatura en el sistema. El suministro de energía obtenido por este tipo de aparato está garantizado en las condiciones más adversas del año.
- La convección natural es un mecanismo de transferencia de calor que se caracteriza por estar acompañado de movimiento macroscópico de materia. Se establece, en general, entre un sólido y un fluido en contacto. El movimiento del fluido puede estar provocado por las variaciones de densidad del fluido debido a las diferencias de temperatura en su seno, lo que se conoce como convección natural. Si la pared está más caliente, el fluido en contacto con ella también eleva su temperatura por sobre el

resto del fluido. Esto genera una diferencia de densidad que da lugar al movimiento del fluido. El fluido caliente se desplaza hacia arriba y es reemplazado por el más frío. Si la pared está más fría, ocurre el proceso inverso.

Tabla 3. Propiedades del agua en función de su temperatura.

Temperatura (°C)	Densidad: ρ (kg/m ³)	Calor específico: Cp (J/kg.k)
0	999,8	421,76
10	999,7	419,21
20	998,2	418,18
30	995,6	417,84
40	992,2	417,85
50	988,1	418,06
60	983,2	418,43
70	977,8	418,95
80	971,8	419,63
90	965,3	420,50
100	958,4	421,59

Fuente: Discoli *et al.*, 2007.

1.3.6. Eficiencia de transformación energética

Prácticamente todas las formas de energía se transforman una en otra y viceversa, así por ejemplo un foco transforma la energía eléctrica en luz, pero también existe un dispositivo que transforma luz en energía eléctrica, siendo esta la celda solar. No obstante estas transformaciones son parciales, es decir, no es aún posible transformar una forma de energía completamente en otra, lo que constituye para nosotros una eficiencia de transformación del 100%, y que se indicaría ($\eta = 100\%$ ó $\eta = 1$). En general la eficiencia de transformación η de un equipo la definimos como la relación existente entre la cantidad de energía transformada a la cantidad de energía consumida.

En la Tabla 4 se mencionan algunos dispositivos convencionales, su función de transformación energética y su eficiencia.

Tabla 4. Eficiencia típica de dispositivos convencionales.

Dispositivo	Eficiencia (%)	Transformación energética
Horno de combustión	50 – 90	Energía de enlace químico → calor
Motor de combustión	20 – 50	Calor → energía cinética
Generador eléctrico	90	Energía cinética → energía eléctrica
Motor eléctrico	60 – 90	Energía eléctrica → energía cinética
Reactor nuclear	30 – 90	Energía nuclear → calor
Celdas solares	10	Energía radiante → energía eléctrica
Termas solares	60	Energía radiante → calor (temperatura media ~ 60 °C)
Concentradores solares	50 – 90	Energía radiante → calor (alta temperatura/ 300°C a 4000°C)
Generadores termoeléctricos	10	Calor → energía eléctrica
Lámparas	3 – 30	Energía eléctrica → luz

Fuente: Valera, 2007.

1.3.7. Eficiencia de un colector solar

El parámetro más significativo de un dispositivo solar es el valor de su eficiencia (η). En particular en el caso de un calentador solar, se suele definir la eficiencia puntual (η_p), como la relación existente entre la potencia térmica útil proporcionada por el equipo en relación a la potencia solar incidente.

$$\eta_p = \text{potencia térmica útil} / \text{potencia solar recibida.}$$

Es claro que η_p es un valor instantáneo que en general, se aplica de manera global, al caracterizar el rendimiento de una terma solar. No obstante, también puede ser aplicado de manera individual para evaluar el rendimiento del colector solar η_{pc} .

Una forma de expresar esta eficiencia puntual es en función de la temperatura (T), resumiéndose en la expresión:

$$\eta_{pc} = \alpha\tau[1 - (T - T_{amb}) / (T_{max} - T_{amb})]$$

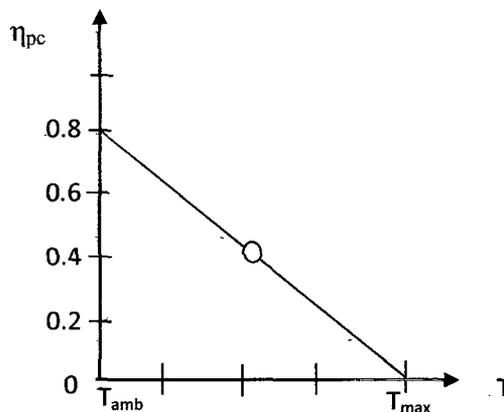


Figura 1. Evolución de la eficiencia puntual de un colector solar (η_{pc}) en función de su temperatura (T). Fuente: Valera, 2007.

En la Figura 1 se observa que la eficiencia puntual del colector (η_{pc}) asume su valor máximo ($\alpha\tau$) aproximadamente 0,8 cuando $T = T_{amb}$ y asume su valor mínimo ($\eta_{pc} = 0$), cuando la temperatura del colector llega a su valor máximo ($T = T_{max}$).

Por lo expuesto, es claro que el valor de la eficiencia del colector solar va variando durante el día desde un valor máximo de 0,8 temprano cuando sale el sol, hasta su valor mínimo 0, al mediodía cuando la temperatura del colector se satura. Motivo por el cual la eficiencia (η_{pc}) no es un valor referencial del rendimiento del dispositivo a menos que se esté comparando simultáneamente rendimientos instantáneos de diversos colectores.

El concepto de eficiencia más apropiado para caracterizar una terma solar es el referente a la evaluación de su rendimiento energético global: la eficiencia

energética (η_E), que se define como la relación entre la energía térmica útil ganada por la terma y la energía solar disponible ese día.

$$\eta_E = \text{Energía térmica útil} / \text{energía solar recibida.}$$

Para el desarrollo de la fórmula anterior se debe tener en cuenta la evolución de la temperatura promedio en el tanque de agua y la radiación solar correspondiente (Valera 2007).

La eficiencia del calentador solar es el porcentaje de la energía solar que realmente se aprovecha para calentar el agua. Esto dependerá de los siguientes factores:

- La calidad del colector. Depende del diseño termomecánico y la calidad de los materiales empleados en su construcción. (En general, cuanto más eficiente se requiere que sea un calentador solar, mayor deberá ser su calidad).
- La instalación y operación adecuada. Si el calentador solar es instalado de forma inadecuada o es mal operado no tendrá la eficiencia esperada. Por lo que es muy importante que la instalación se haga siguiendo las especificaciones del proveedor, o de preferencia por un técnico solar calificado.
- La calidad de radiación solar. La eficiencia del colector solar aumenta cuando la radiación solar es más intensa. Es por ello que un mismo calentador solar será más eficiente en México que en Europa o África del Sur, en donde los índices de irradiación son menores. De igual manera, la energía solar es mejor aprovechada, y las pérdidas de calor del calentador son menores mientras mayor sea la temperatura ambiente (Pilatowsky *et al.*, 2007).

1.3.8. Materiales cobertores

Son aquellos materiales que además de ser transparentes a la luz, son a la vez opacos al calor, tal como el vidrio. Esta propiedad del vidrio común se

denomina “efecto invernadero” y su función es vital para el funcionamiento de una terma solar.

Además del vidrio ordinario, existen otros materiales con propiedades análogas, tales como los plásticos especiales (plásticos para invernaderos y plásticos térmicos), que se diferencian de los plásticos comunes (PVC, polietileno, etc.) en el hecho de ser opacos al calor, además de ser transparentes a la luz y más aun no se degradan fácilmente por la acción del sol, por tener incluidos ciertos aditamentos protectores.

Desde el punto de vista de presencia y durabilidad, el vidrio es siempre el cobertor más recomendable, no obstante tiene la desventaja de ser una alternativa más costosa y muy frágil, sobre todo si la aplicación está dirigida al medio rural.

1.3.9. Materiales aislantes

Son aquellos que poseen un coeficiente de conductividad térmica muy bajo, tal que los objetos protegidos por estos materiales guardan muy bien tanto el frío como el calor. Dependiendo de la aplicación, los aislantes más usados son: fibra de vidrio, espuma plástica, poliuretano, tecnoport, etc.

1.3.10. Materiales conductores

Los materiales conductores son esencialmente placas metálicas, cuya función es transmitir rápidamente el calor colectado de una zona a otra. Las placas metálicas más usadas para fines solares son de cobre, aluminio o fierro galvanizado. Una placa metálica delgada se calienta más rápido que una gruesa del mismo metal.

1.3.11. Recubrimiento

Se emplea una pintura negra mate por ser la que absorbe más la radiación solar, transmitiendo el calor generado a la placa soporte. Evidentemente es el coeficiente de adsorción α del material, el parámetro que define, el porcentaje de radiación que absorbe y el consiguiente aumento de

temperatura; en el caso de la pintura blanca $\alpha \approx 0,25$ y para la pintura negra $\alpha \approx 0,80$ (pintura negra esmalte), $\alpha \approx 0,90$ (pintura negra mate).

En general, las capas de pintura constituyen las formas más simples de recubrimiento posible, existiendo otras alternativas más elaboradas tales como los recubrimientos electrolíticos.

II. MATERIAL Y METODOS

2.1. Material para construcción del colector

- Tubo de PVC para agua caliente de ½": 01
- Te de PVC para agua caliente de ½": 16
- Codo de PVC para agua caliente de ½" x 90°: 02
- Unión universal para agua caliente de PVC de ½": 02
- Pegamento Oatey de 1/32 gl para tubería de PVC de agua caliente: 01
- Pintura esmalte mate negro: 1/8 gl
- Vidrio transparente incoloro: 1 m²
- Silicona para pegar vidrio: 01 cartucho
- Varilla de ángulo de aluminio de 3/4": 01
- Plancha de tecnoport de 1" x 1,2 m x 2,4 m: 01
- Papel de aluminio: 02 rollos
- Termómetro de 0 a 150°C: 01
- Plancha de triplay de 1 m x 1 m x 4 mm : 01
- Listones de madera de 4" x 1" x 5 m: 02
- Listones de madera de 2" x 2" x 5 m: 01
- Clavo para madera de 2": 1/2 kg
- Clavo para madera de 1": ½ kg

2.2. Material para acondicionamiento del tanque de almacenamiento de agua

- Plancha de triplay 1,2 m x 2,4 m x 4 mm: 01
- Clavo para madera de 2": 1/2 kg
- Clavo para madera de 1": ½ kg
- Plancha de teknoport: 01
- Chips de teknoport: 02 kg
- Planchas de calamina de 0,22 mm: 02
- Listones de madera de 4" x 1" x 5 m: 02
- Listones de madera de 2" x 2" x 5 m: 03
- Tanque cilíndrico de polietileno de 140 L con tapa: 01
- Manguera de 5/8": 01 m
- Termómetro de 0 a 150 °C: 01

- Niples de PVC de ½"x 15 cm con 5 cm de rosca: 03
- Unión de PVC de ½" con rosca: 02
- Arandelas de jebe microporoso de ½": 06

2.3. Material para el sistema de tuberías

- Válvula de entrada de agua al tanque de wáter: 01
- Balde de plástico transparente de 20 litros: 01
- Regadera de ducha de plástico de ½": 01
- Llave de paso de plástico de ½": 02
- Cinta teflón: 06 rollos
- Niples de PVC de ½"x 15 cm con 5 cm de rosca: 01
- Arandelas de jebe microporoso de ½": 04
- Unión de PVC de ½" con rosca: 02
- Codo de PVC de ½" de embone: 03
- Te de PVC de ½" de embone: 02
- Termómetro de 0 a 150°C: 01
- Tapón hembra de fierro galvanizado de ½": 01
- Bloque de tecnoport de 90 cm x 30 cm x 30 cm: 01
- Cinta masking de 1": 03
- Tubo de PVC ½" pesado para agua: 01

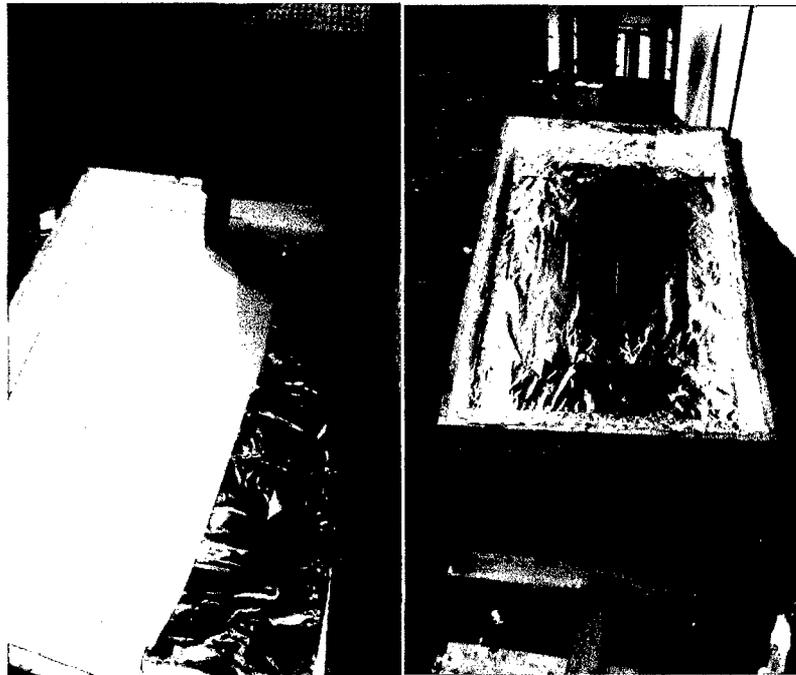
2.4. Otros materiales y herramientas

- Termómetro de 0 a 50 °C para temperatura ambiente: 01
- Brocha de 2": 01
- Thinner acrílico: 02 L
- Alambre de amarre galvanizado: 01 kg
- Arco con hoja de sierra para fierro: 01
- Serrucho para madera: 01
- Martillo: 01
- Pintura esmalte brillante blanco: 01 gl

2.5. Construcción de los componentes de la terma solar

2.5.1. Caja del colector solar

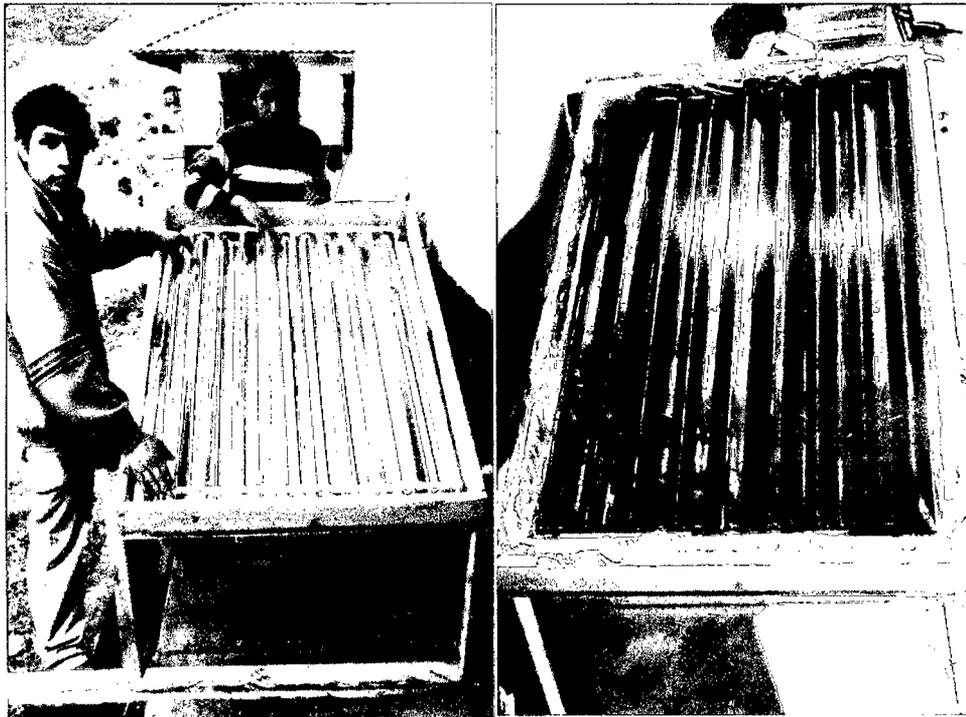
Se construyó de forma rectangular, con dos listones de madera de 4" x 1" x 1,15 m y dos listones de madera de 4" x 1" x 0,85 m. El fondo se reforzó con dos listones equidistantes de madera de 4" x 1" x 0,85 m sobre los que se colocó triplay. Sobre este fondo se colocó una plancha de tecnoport como aislante térmico para mejorar la eficiencia en la transferencia de calor, ya que mientras mejor aislada esté la caja, mayor temperatura alcanzará el agua en el interior de los tubos del colector solar. En las caras laterales interiores de la caja también se colocó tecnoport, de manera que todo el contorno quede aislado para evitar pérdida de calor. Todo el tecnoport se cubrió con papel de aluminio y sobre éste se puso una plancha de calamina de 1 m x 0,80 m, pintada con esmalte negro mate (cuerpo negro) para una mayor absorción de radiación solar. Sobre esta calamina se colocó la parrilla de tubos y un termómetro.



Fotografía 1. Caja del colector solar.

2.5.2. Parrilla de tubos

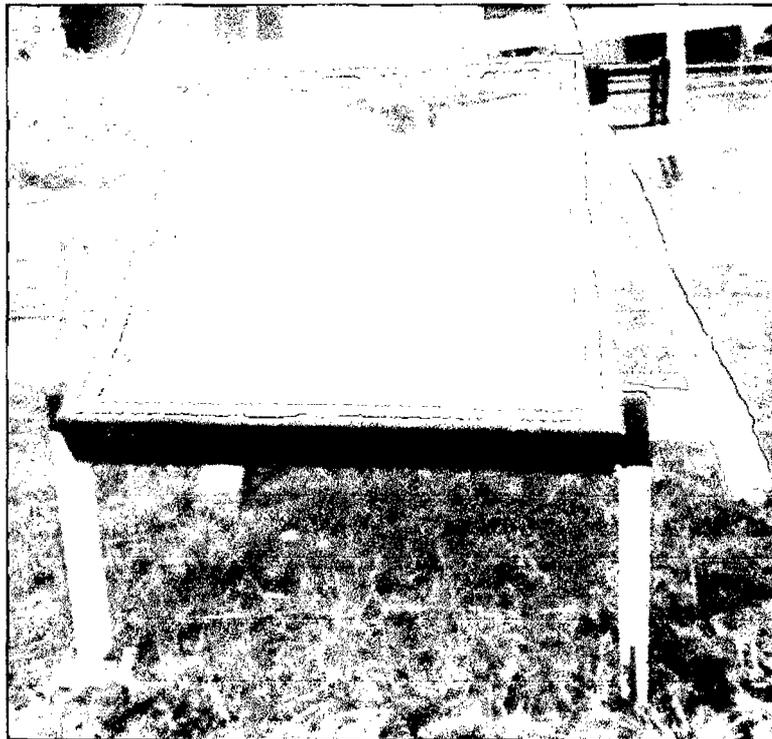
Constituida por 09 tubos de PVC para agua caliente de ½” y de 1 m de longitud. Cada tubo se conectó en su parte inferior y superior con te de PVC para agua caliente de ½” y niples de 10 cm del mismo material, con pegamento para PVC marca Oatey para agua caliente, para tener una separación entre tubos de 10 cm. Por el extremo inferior derecho de esta parrilla de tubos, ingresó el agua fría y salió por el extremo superior izquierdo hacia el tanque de almacenamiento. Esta parrilla de tubos se fijó sobre la plancha de calamina, de la caja del colector, con alambre en varios puntos para que tengan un buen contacto y favorecer la conducción de calor de la calamina a la parrilla.



Fotografía 2. Parrilla de tubos.

2.5.3. Tapa del colector

Se hizo de vidrio transparente de 1,15 m x 0,85 m y de 4 mm de espesor, fijado en el borde superior de la caja del colector con un cordón de silicona para un buen sellado y sujetado con varillas de ángulo de aluminio y tornillos.



Fotografía 3. Colector solar.

2.5.4. Tanque de almacenamiento de agua caliente

Para ello se empleó un tanque cilíndrico de polietileno con tapa, de 140 litros, con un volumen de trabajo de 100 litros de agua. Se le hizo un orificio de $\frac{1}{2}$ " a 10 cm de su base, que sirvió tanto para entrada de agua al tanque como para salida del agua hacia el colector; en esta entrada se colocó una manquera de $\frac{5}{8}$ " x 30 cm con agujeros para la mejor distribución del agua dentro del tanque. En el tercio superior del tanque se hizo un orificio de $\frac{1}{2}$ " para entrada del agua que viene del colector; a 10 cm arriba de esta última conexión se hizo el orificio de $\frac{1}{2}$ " para instalar la tubería de salida de agua caliente para su consumo. Estas tres conexiones al tanque se hicieron con niples de $\frac{1}{2}$ ", tuercas (mitad de unión de PVC de $\frac{1}{2}$ " con rosca), arandelas de jebe microporoso y contratueras (mitad de unión de PVC de $\frac{1}{2}$ " con rosca). Para el aislamiento térmico de este tanque se construyó una caja con listones de madera y plancha de triplay, en cuya base se colocó una plancha de tecnoport para asentar sobre ella el tanque; alrededor del tanque se colocó chips de tecnoport para llenar todos los vacíos. Esta caja tiene una puerta de triplay con tecnoport para el ingreso del tanque y facilitar la medición de la

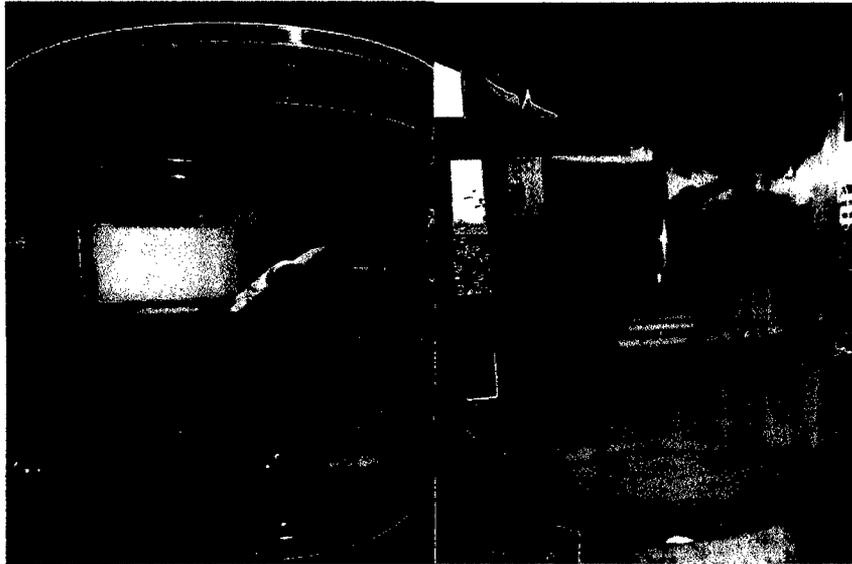
temperatura en el interior del tanque. En la parte superior se colocó un techo de calamina para protegerlo de la lluvia.



Fotografía 4. Tanque de almacenamiento de agua caliente.

2.5.5. Sistema de abastecimiento de agua

Tuvo como función regular, mediante una válvula de tanque de wáter, la entrada de agua del sistema de abastecimiento al tanque de almacenamiento, de manera que se mantenga siempre lleno, reponiendo el agua que se consume. Se acondicionó, dentro de un balde de plástico transparente de 20 litros, una válvula de tanque de wáter a la que se conectó la red de agua potable, y en la base del balde se conectó la salida de agua hacia el tanque y los demás componentes del sistema de la terna solar. Este balde se colocó sobre una repisa fijada en el lado izquierdo de la caja del tanque, a una altura que conserve el nivel de agua en el tanque de 100 l.



Fotografía 5. Controlador del nivel de agua en el tanque.

2.6. Llenado de la terma solar

El colector se colocó con una inclinación de 30° , en una ubicación de manera que le de sol todo el día; para lo cual se siguió el recorrido del sol haciendo trazos de la sombra que generaba una varilla durante todo el día (Fotografía 6). El tanque para almacenamiento de agua se ubicó a una altura de 35 cm arriba del colector. Para llenar con agua todo el sistema que compone la terma solar, se abrió la llave que permitió el ingreso de agua de la red de abastecimiento. El agua entró al balde a través de la válvula de tanque de wáter, circuló de allí por tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ " hacia el fondo del tanque y de éste hacia la parte inferior del colector, en cuya entrada se colocó un termómetro para medir la temperatura de entrada del agua. Al inicio, el agua circuló por gravedad y ascendió por los tubos del colector, de donde pasó al tanque aislado para su almacenamiento. Una vez que el agua dentro del tanque alcanzó el nivel de 100 L, la boya de la válvula dentro del balde cerró el ingreso de agua, quedando la terma solar lista para su funcionamiento (Fotografía 5). Toda la tubería que conectó el colector con el tanque y la que salió a la ducha, se aislaron con tecnoport.



Fotografía 6. Trayectoria de la sombra del sol

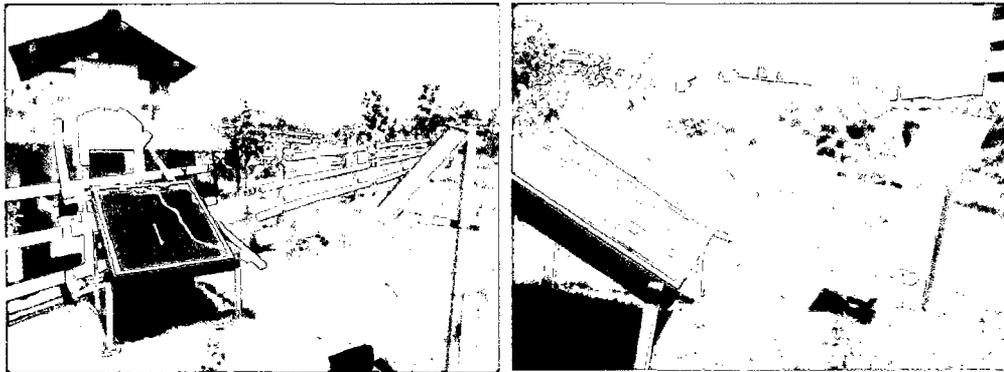


Fotografía 7. Terma solar completa.

2.7. Frecuencia de registro de datos

Se registró durante 30 días, y en cada día desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm, cada 30 minutos, las siguientes temperaturas: de entrada del agua al colector solar, en el interior del colector solar y del agua en el tanque de almacenamiento. De la estación meteorológica (Davis modelo Vantage Pro 2 Plus) ubicada a 100 m de la terma solar, se obtuvo al mismo tiempo y frecuencia los siguientes datos: temperatura ambiente, velocidad del viento y radiación solar.

Además, se evaluó dos días enfocando la luz solar con un espejo hacia el colector, haciéndose el registro de datos como en los demás días de evaluación (Fotografía 8).



Fotografía 8. Enfoque de la luz solar con un espejo hacia el colector.

2.8. Eficiencia de la terma solar

$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$

Energía térmica ganada: $E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$

Dónde:

m : masa de agua en la terma = 100 L = 1×10^5 g

c : calor específico del agua = 4,18 J/g. °C

ΔT = Temperatura máxima del agua (4:00 pm) – Temperatura del agua en el tanque al inicio (8:00 am), °C.

Energía solar recibida: $E_S = e_s \cdot A$

Dónde:

e_s : Energía solar recibida, se calcula por el área bajo la curva de radiación solar vs tiempo, calculado mediante el método del área de los rectángulos bajo esa curva.

A: Área del colector solar, m^2 .

III. RESULTADOS

El calor del sol calentó el colector y éste transfirió su calor al agua. El incremento de temperatura del agua contenida en los tubos del colector ocasionó que disminuya su densidad, generando un termosifón que hizo que el agua fluya hacia la parte superior de los tubos y de allí al tanque de almacenamiento, lo que a su vez originó que el agua fría entre al colector y se repita este ciclo de manera continua hasta que la temperatura del agua dentro del colector sea igual a la temperatura del agua dentro del tanque de almacenamiento. Para cada evaluación se cambiaba completamente el agua del sistema. Se ha agrupado los resultados en función de cinco grupos de días: soleados, combinados, nublados, sin cambiar el agua y enfocando con un espejo la luz solar al colector.

3.1. Días soleados

Se consideró a los días con presencia permanente del sol durante la evaluación, por lo que el calentador alcanzó las temperaturas más altas del agua en el interior del tanque de 38 a 44 °C. Los resultados obtenidos en promedio de 8 días soleados se muestran en la Figura 2 y la Tabla de datos está en el Anexo 1.

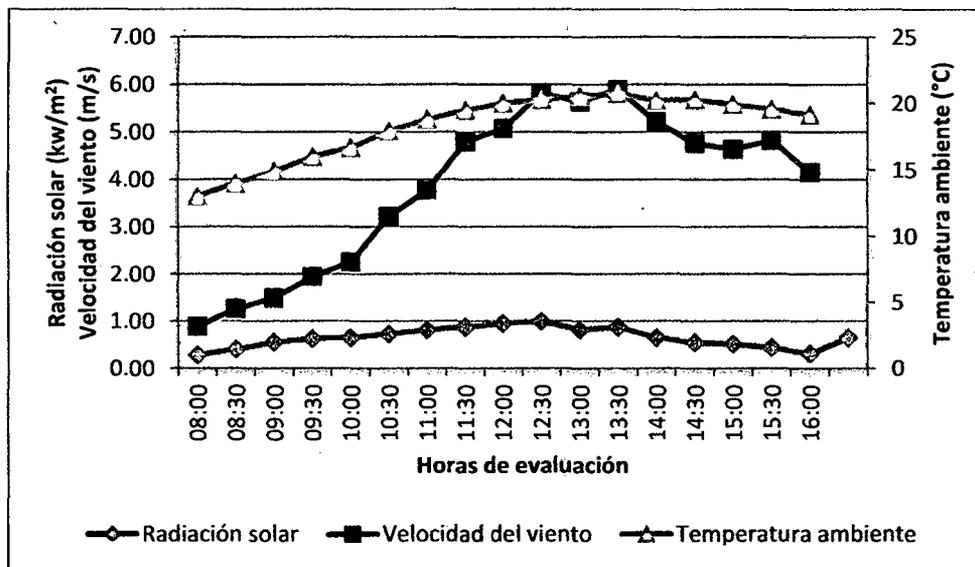


Figura 2. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo, en día soleado. Fuente: elaboración propia.

Se observa que a las 8:00 horas la temperatura está por debajo de los 15°C desde ahí el incremento de la temperatura ambiente es constante hasta las 13:30 horas en que llegó a 21°C, a partir de esa hora empieza a disminuir llegando hasta las 16:00 horas a una temperatura menor de 20°C.

Se observó un aumento de la radiación solar llegando a su pico más alto a las 12:30 del día con un valor de 1 kW/m² y la radiación más baja fue 0,25 kW/m².

La velocidad del viento se incrementó desde las 8:00 horas (0,6 m/s) hasta las 13:30 horas (5 m/s). A partir de esta hora empezó a descender.

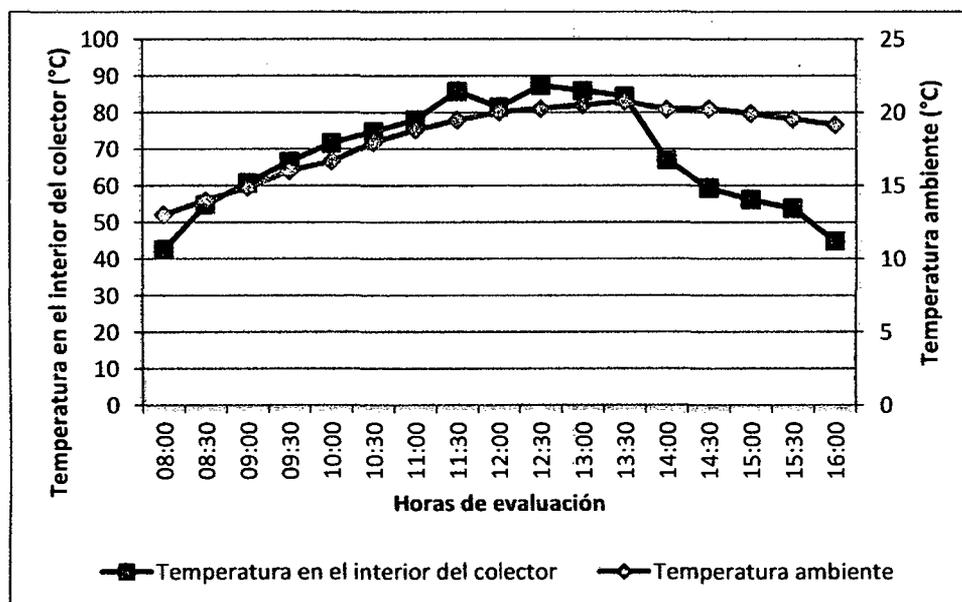


Figura 3. Temperatura ambiente y temperatura interior del colector vs tiempo, en día soleado. Fuente: elaboración propia.

Se observó que la temperatura en el interior del colector se incrementó de forma acelerada llegando a su punto más alto (90°C) al medio día. Similar tendencia tuvo la temperatura ambiente.

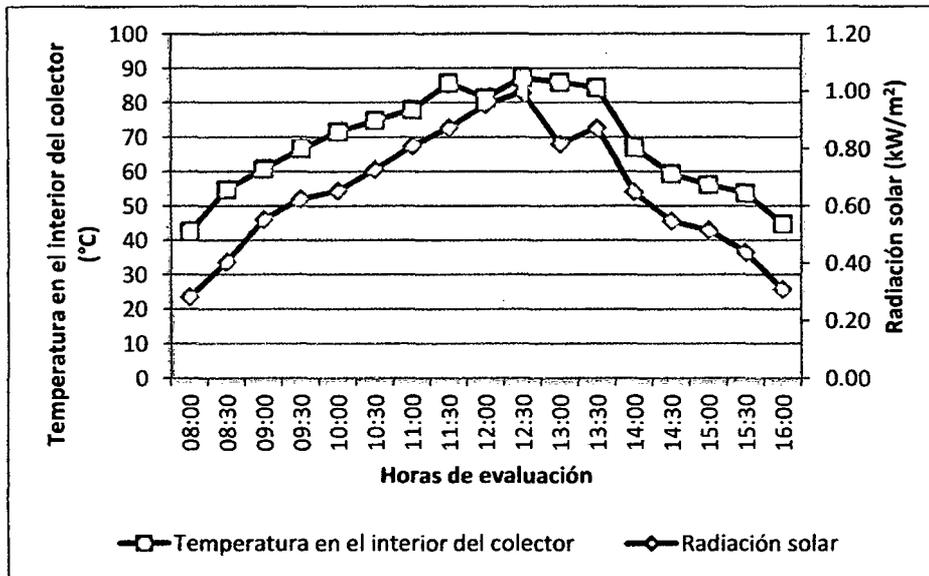


Figura 4: Radiación solar y temperatura interior del colector vs tiempo, en día soleado. Fuente: elaboración propia.

Se observó que en las horas de incremento de la radiación solar también se incrementó la temperatura en el interior del colector.

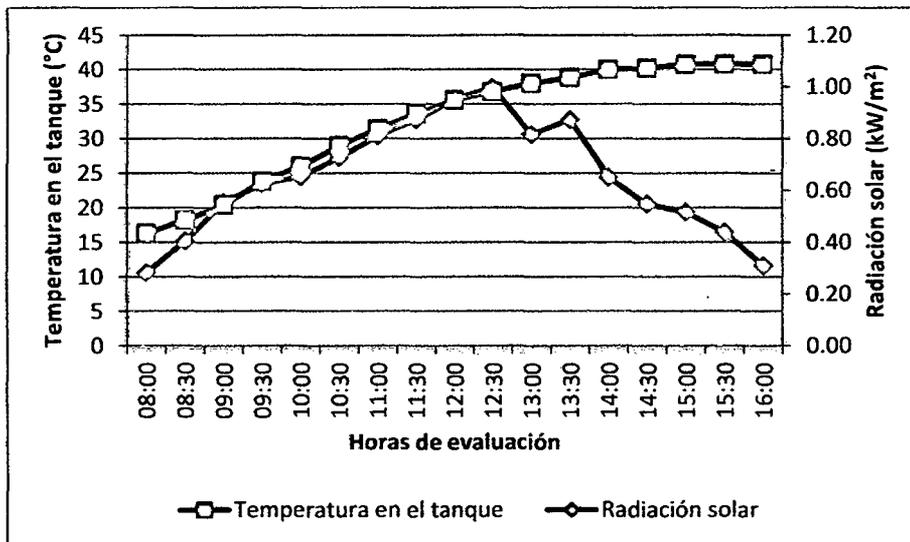


Figura 5. Radiación solar y temperatura del agua en el tanque vs tiempo, en día soleado. Fuente: elaboración propia.

La temperatura en el interior del tanque tuvo un aumento constante durante todo el día y su pico más elevado se dio en horas de la tarde, a diferencia de la radiación solar que incrementó hasta medio día y luego comenzó a descender.

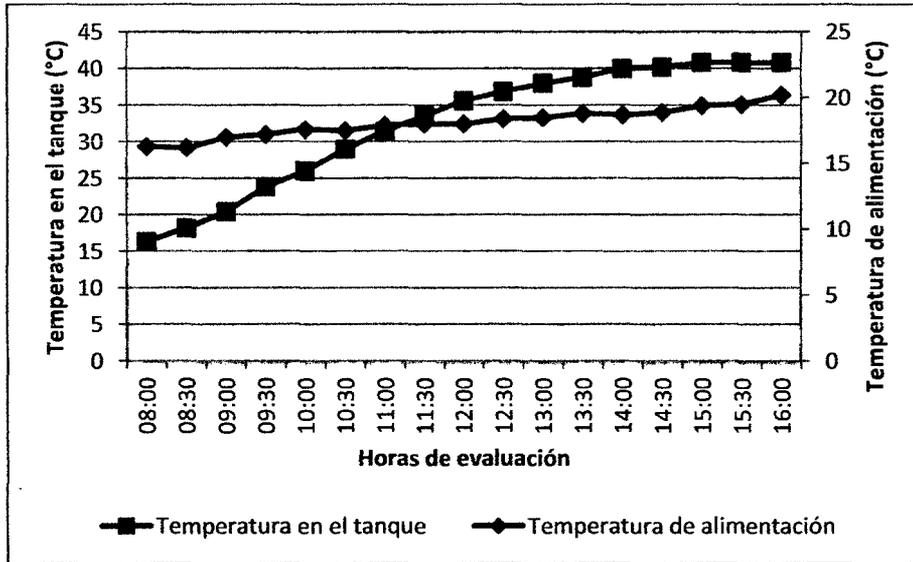


Figura 6. Temperatura del agua de alimentación y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en día soleado. Fuente: elaboración propia.

Al inicio de cada evaluación, el agua se encontraba en promedio a 15 °C, debido a que siempre se cambiaba toda el agua del sistema. Se observó un incremento constante de la temperatura durante el día, tanto del agua en el tanque como del agua de alimentación, alcanzando una diferencia entre ellas de aproximadamente 22 °C.

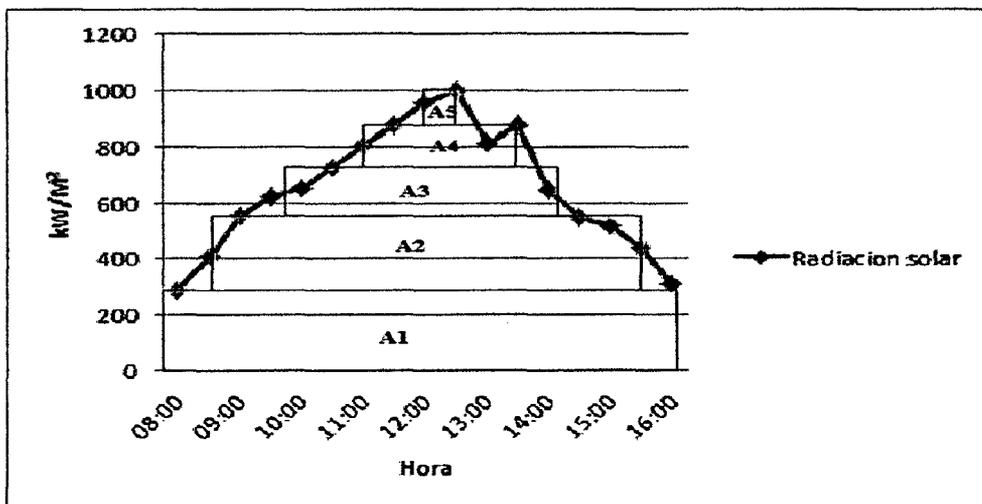


Figura 7. Determinación del área bajo la curva para calcular la radiación solar en kWh/m².

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$

$$E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$E_T = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \times (40,8 \text{ }^\circ\text{C} - 16,3 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$E_T = 10,24 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

La radiación solar recibida (e_s) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 7, obteniéndose $5,42 \text{ kWh/m}^2$

$$e_s = (5,42 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$e_s = 19,49 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$E_s = 19,49 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E_s = 19,49 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{10,24 \times 10^6 \text{ J}}{19,49 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta_E = 0,52$; en porcentaje la eficiencia será de 52 % para días soleados.

3.2. Días combinados

En este grupo se consideró a los días donde se obtuvo temperaturas medias en el interior del tanque entre 30 a 37 $^\circ\text{C}$. Hubo presencia parcial del sol, luego ya no se lo podía ver por la nubosidad. Este comportamiento se presentó de manera alternada en el transcurso del día. Los resultados obtenidos en promedio de 7 días combinados se muestran en la Figura 8 y la Tabla de datos está en el Anexo 1.

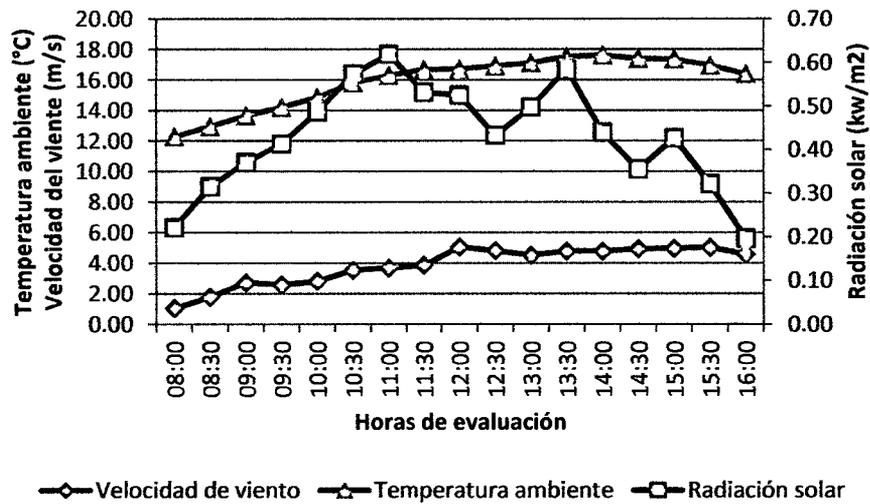


Figura 8. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo, en días combinados. Fuente: elaboración propia.

La temperatura ambiente osciló entre los 12 y 18 °C teniendo un aumento constante hasta el medio día, desde ahí descendió hasta una temperatura de 15°C a las 16 horas.

La presencia visible del sol produjo picos de radiación solar hasta 0,6 kW/m², y en su ausencia descendió hasta 0,35 a 0,42 kW/m². La radiación solar a las 8:00 y 16:00 horas tuvo el mismo valor de 0,20 kW/m².

La velocidad del viento se incrementó hasta el medio día desde 3 hasta 5 m/s, manteniéndose a esta velocidad en el transcurso de toda la tarde.

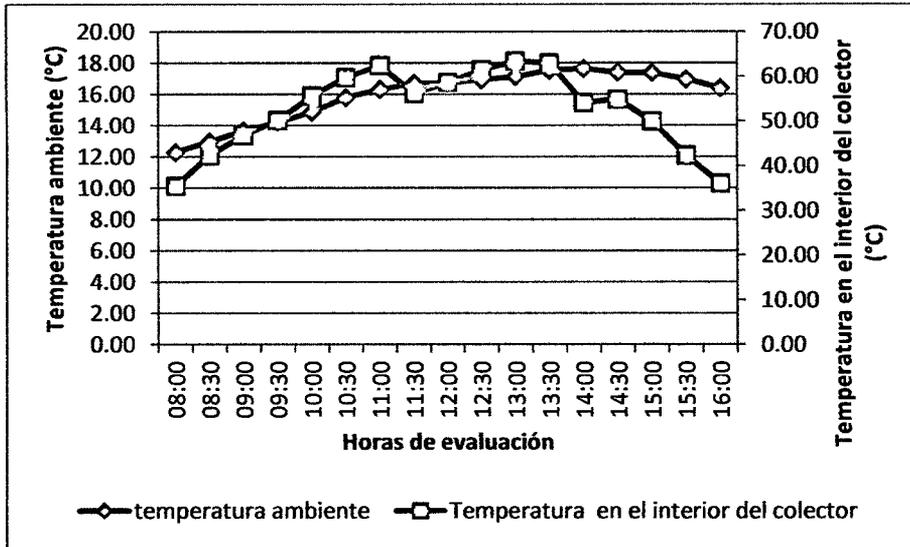


Figura 9. Temperatura ambiente, temperatura en el interior del colector vs tiempo, en días combinados. Fuente: elaboración propia.

En el interior del colector la temperatura varió en comparación con la temperatura ambiente que tuvo un incremento constante, obteniendo los dos parámetros su mayor valor a las 13:00 horas.

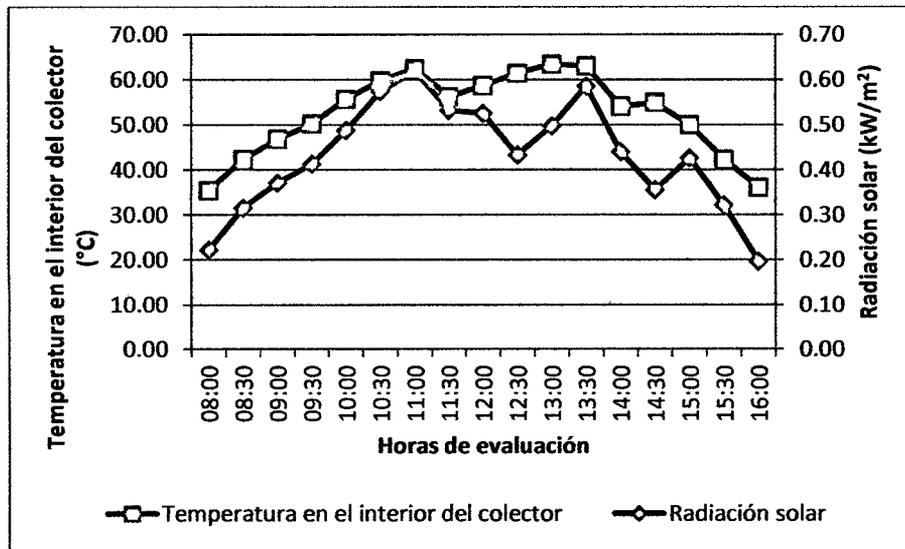


Figura 10. Radiación solar, temperatura en el interior del colector vs tiempo, en día combinado. Fuente: elaboración propia.

La temperatura en el interior del colector varió en relación directa con la radiación solar, teniendo ambos picos en horas de presencia visible del sol.

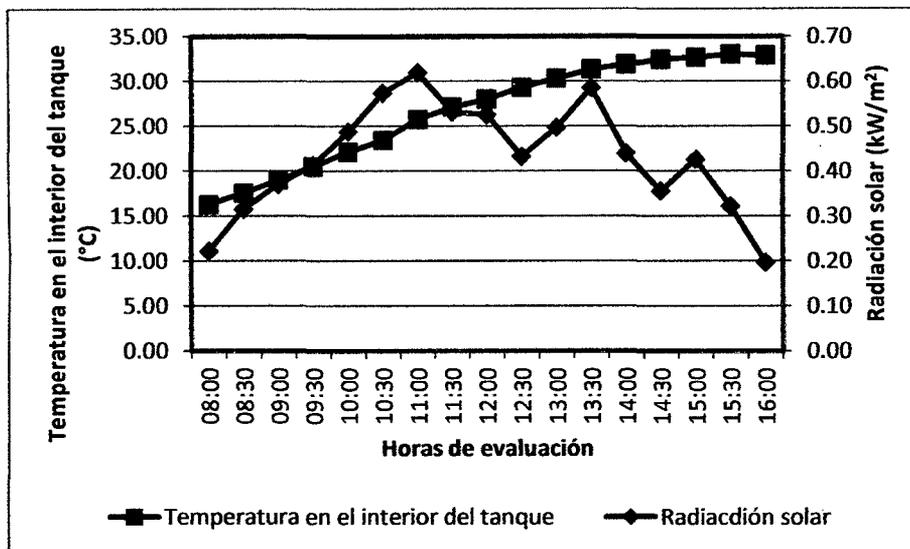


Figura 11. Radiación solar y temperatura del agua en el interior del tanque vs tiempo, en días combinados. Fuente: elaboración propia.

La radiación solar fue muy variable y dependió directamente de la presencia visible del sol. En cambio, la temperatura del interior del tanque se incrementó de manera constante en el transcurso del día.

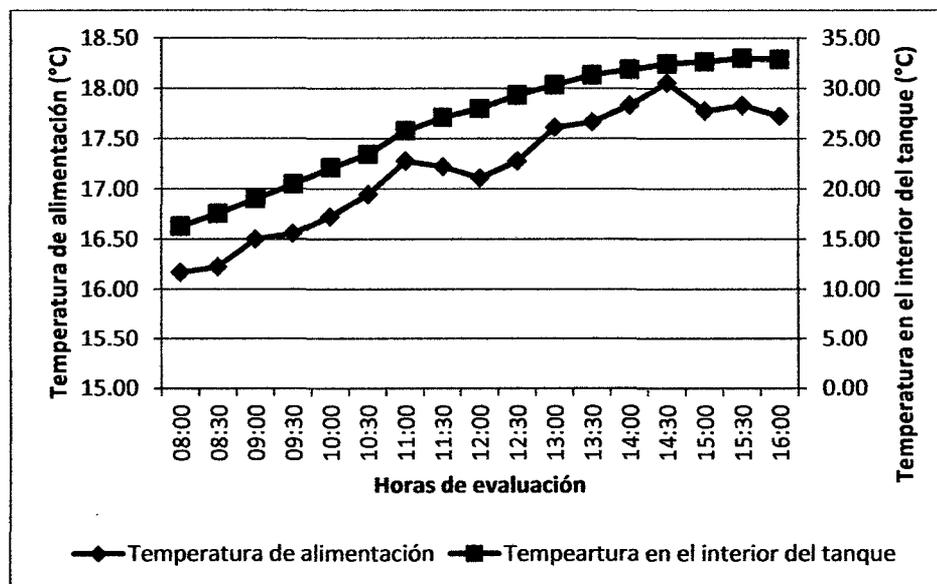


Figura 12. Temperatura del agua de alimentación y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en día combinado. Fuente: elaboración propia.

Al inicio, la temperatura del agua en la entrada al colector y en el tanque fueron las mismas (16°C); en el transcurso del día ambas aumentaron, siendo el incremento mayor para la temperatura del agua del tanque, llegando a una diferencia final en horas de la tarde de aproximadamente 15 °C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$

$$E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$E_T = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}) \times (32,89 \text{ } ^\circ\text{C} - 16,28 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$E_T = 6,94 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_s = e_s \cdot A$$

La radiación solar recibida (e_s) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 7, obteniéndose 4,01 kWh/m²

$$e_s = (4,01 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$e_s = 14,436 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$E_s = 14,436 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E_s = 14,436 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{6,94 \times 10^6 \text{ J}}{14,436 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta_E = 0,48$; en porcentaje la eficiencia será de 48 % para días combinados.

3.3. Días nublados

Se considera a los días en los que el colector tuvo las más bajas temperaturas y calentó el agua solo hasta 25 °C. En estos días no hubo presencia visible del sol, solo nubosidad permanente. Los resultados obtenidos en promedio de 7 días nublados se muestran en la Figura 13 y la Tabla de datos está en el Anexo 1.

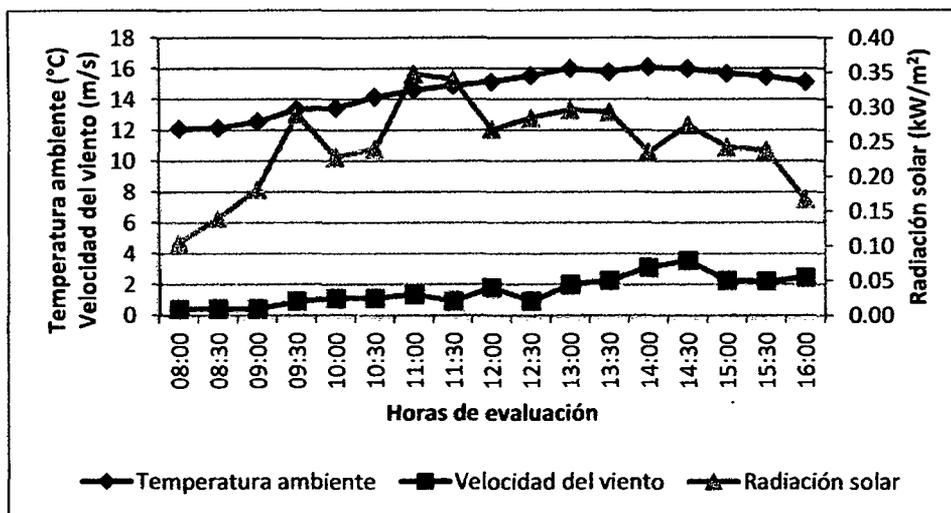


Figura 13. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo, en días nublados. Fuente: elaboración propia.

La temperatura ambiente fue de 12 °C, llegando a su máximo valor de 16 °C desde las 13:00 hasta las 14:30 horas, luego descendió en el resto de la tarde.

La velocidad del viento se mantuvo casi constante, solo se registró un pico de 3,5 m/s a las 14:30 horas.

La radiación solar fue muy variable y no se incrementó por encima de 0,35kW/m², siendo su valor inicial 0,1 kW/m². El rango de radiación solar fue muy bajo en comparación con un día soleado.

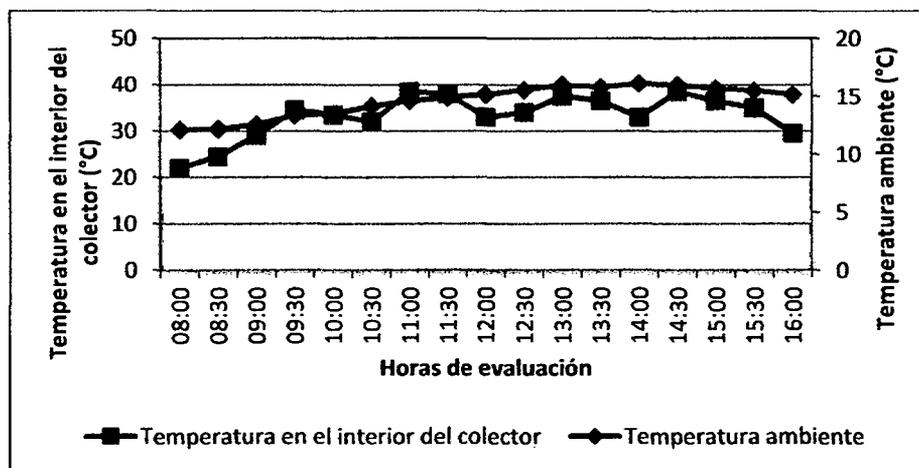


Figura 14. Temperatura ambiente y temperatura en el interior del colector vs tiempo, en días nublados. Fuente: elaboración propia.

La temperatura en el interior del colector varió en comparación con la temperatura ambiente que tuvo un incremento constante, en ambas se observó un incremento al medio día luego un descenso en horas de la tarde.

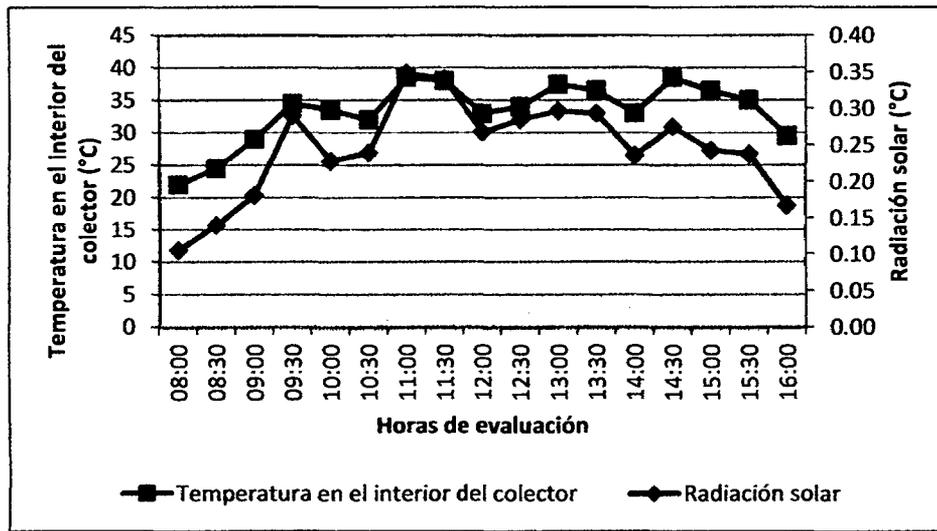


Figura 15. Radiación solar y temperatura en el colector vs tiempo, en días nublados. Fuente: elaboración propia.

La radiación solar y la temperatura del interior del colector tuvieron similares picos y descensos. El mayor pico se obtuvo entre las 11 y 12 horas.

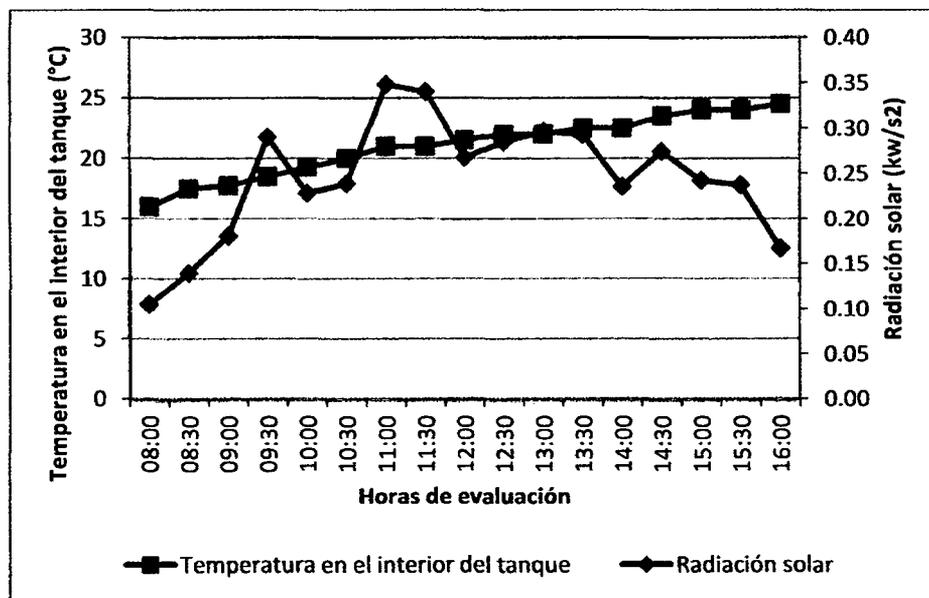


Figura 16. Radiación solar y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en días nublados. Fuente: elaboración propia.

La radiación solar fue muy variante y como vimos anteriormente dependió directamente de la ausencia del sol, en comparación con la temperatura en el interior del tanque que se incrementó de manera constante en el transcurso del día.

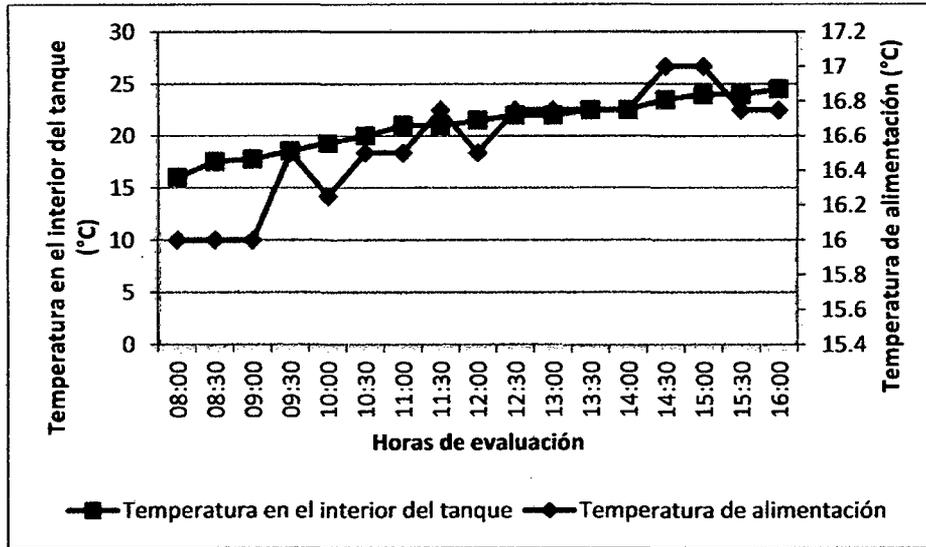


Figura 17. Temperatura de alimentación y temperatura en el tanque vs tiempo, en días nublados. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas del agua en la entrada y en el tanque fueron las mismas (16 °C) ambas aumentaron, siendo el incremento mayor para la temperatura del agua del tanque, llegando a una diferencia final en horas de la tarde de aproximadamente de 4 °C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

$$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$$

$$E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$E_T = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot \text{°C}) \times (24,5 \text{ °C} - 16 \text{ °C})$$

$$E_T = 3,553 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

La radiación solar recibida (e_s) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 7, obteniéndose $3,22 \text{ kWh/m}^2$

$$e_s = (3,22 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$e_s = 11,592 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$E_s = 11,592 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E_s = 11,592 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{3,553 \times 10^6 \text{ J}}{11,592 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta_E = 0,30$; en porcentaje la eficiencia será de 30 % para días nublados.

3.4. Días sin cambiar el agua

En este grupo se consideró a 4 días en que no se cambió el agua de la terma en las mañanas como en días anteriores, con la finalidad de conocer hasta que temperatura puede alcanzar en estas condiciones.

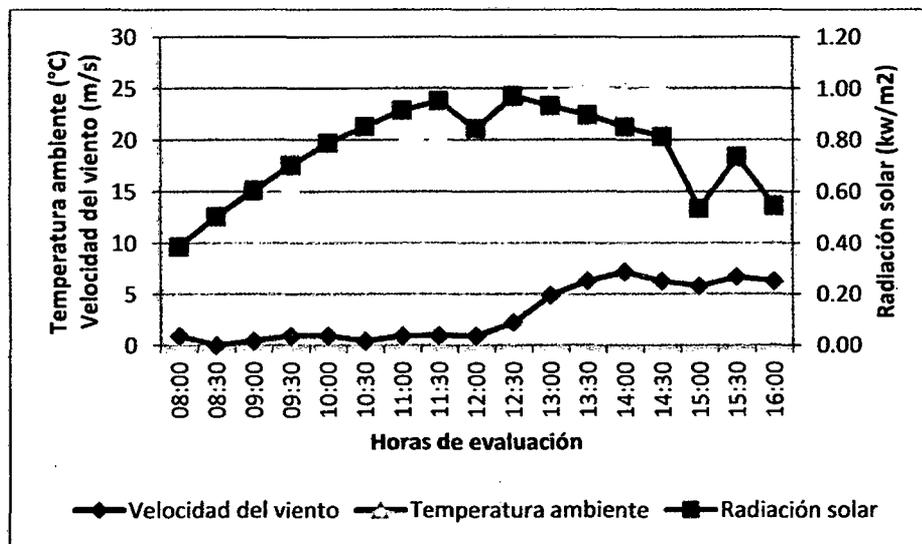


Figura 18. Temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento vs tiempo, en días sin cambiar el agua. Fuente: elaboración propia.

La temperatura ambiente tiene un incremento constante hasta un máximo de aproximadamente 23 °C, llegando a su máximo valor a las 13:00 horas, luego descendió.

La velocidad del viento se mantuvo en alrededor de 1 m/s hasta las 12:00 horas en que se incrementó hasta 7 m/s a las 14:00 horas, luego de ello se mantuvo alrededor de 6,5 m/s.

La radiación solar se mantuvo alrededor de 1 kW/m² durante todo el tiempo de evaluación.

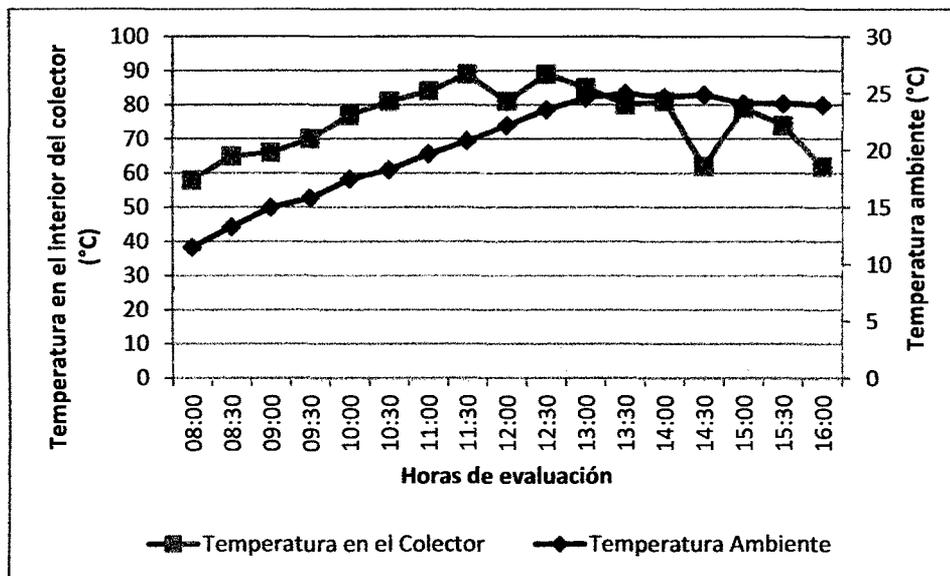


Figura 19. Temperatura ambiente y temperatura en el interior del colector vs tiempo, para días sin cambiar el agua. Fuente: elaboración propia.

La temperatura ambiente en comparación con la temperatura en el interior del colector es incrementó de manera constante. La temperatura en el interior del colector presentó picos al medio día, el pico que se muestra a las 15:00 horas se debió a la presencia súbita del sol.

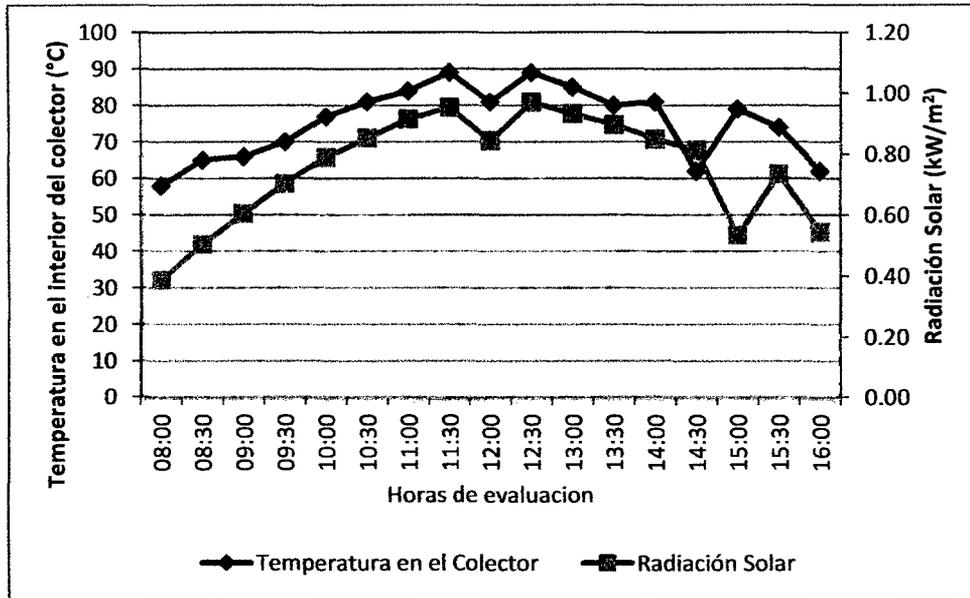


Figura 20. Radiación solar y temperatura en el interior del colector vs tiempo, en días sin cambiar el agua. Fuente: elaboración propia.

Las dos curvas tienen la misma tendencia ya que la temperatura del colector depende directamente de la radiación solar.

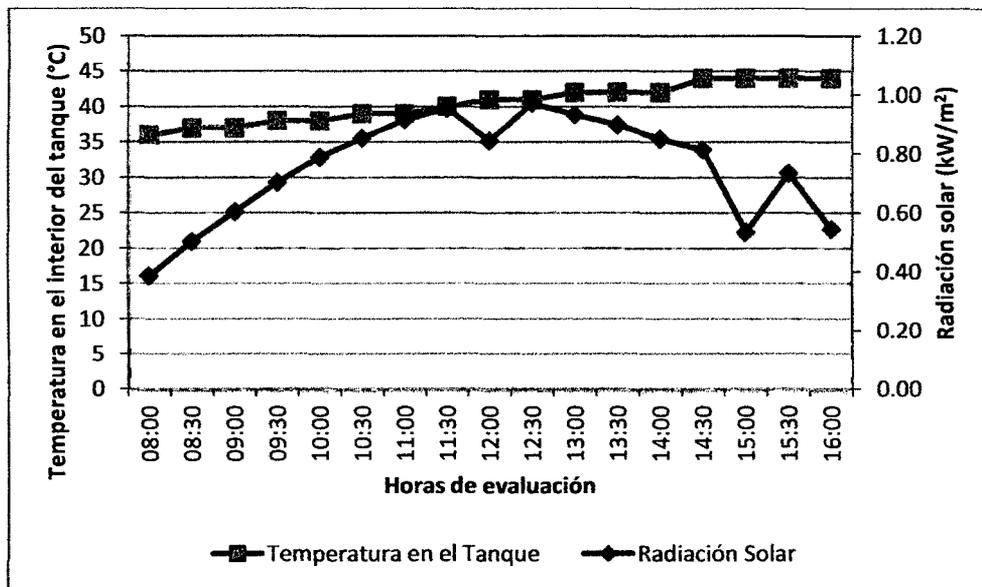


Figura 21. Radiación solar y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en días sin cambiar el agua. Fuente: elaboración propia.

La radiación solar fue muy variante el que depende directamente de la ausencia del sol, en comparación con la temperatura en el interior del tanque que se incrementó de manera constante en el transcurso del día.

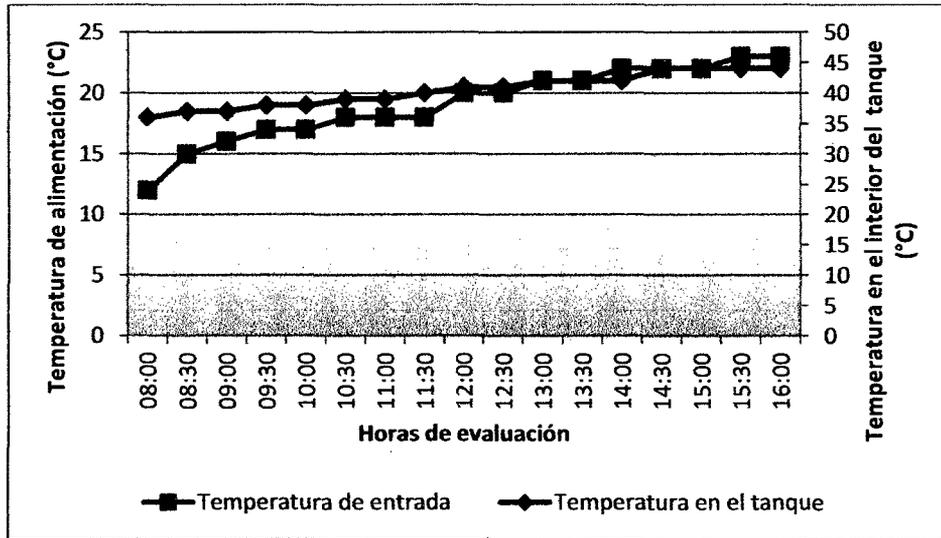


Figura 22. Temperatura de entrada y temperatura en el interior del tanque vs tiempo, en días sin cambiar el agua. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas del agua en la entrada es 12 °C y en el tanque es de 18 °C ambas aumentaron, siendo el incremento mayor para la temperatura del agua de entrada, llegando a una diferencia final en horas de la tarde de aproximadamente de 1 °C.

Según la fórmula de la eficiencia se obtuvo el siguiente resultado:

$$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$$

$$E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$E_T = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot \text{°C}) \times (44 \text{ °C} - 28 \text{ °C})$$

$$E_T = 6,69 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_s = e_s \cdot A$$

La radiación solar recibida (e_s) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 7, obteniéndose 5,99 kWh/m².

$$e_s = (5,99 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$e_s = 21,56 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$E_s = (21,56 \times 10^6 \text{ J/m}^2) \times 1 \text{ m}^2$$

$$E_s = 21,56 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{6,69 \times 10^6 \text{ J}}{21,56 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta_E = 0,31$; en porcentaje la eficiencia será de 31 % para días sin cambiar el agua.

3.5. Días enfocando con un espejo la luz solar al colector

En este grupo se considera los 4 días que se había enfocado la luz solar al colector con un espejo, para conocer hasta que temperatura puede alcanzar en estas condiciones.

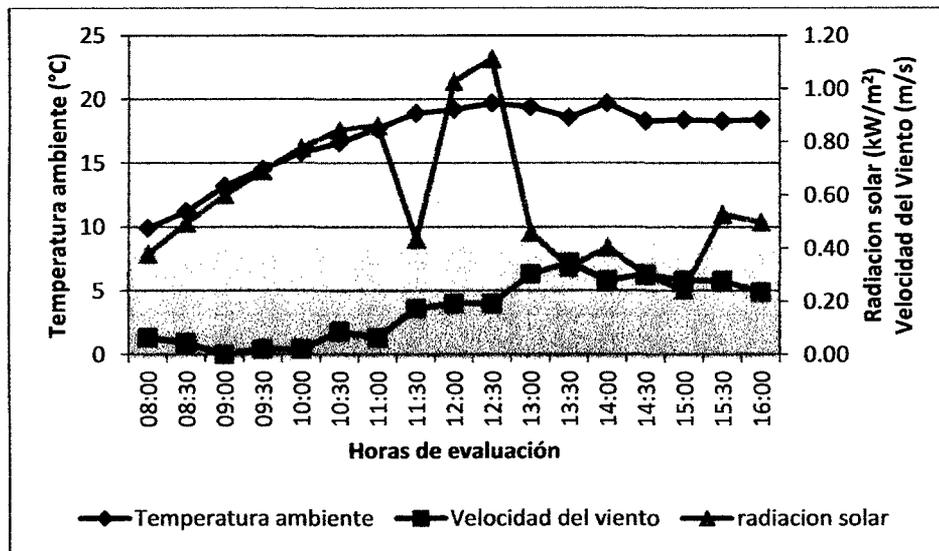


Figura 23. Temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento Vs tiempo en días enfocando con un espejo la luz solar al colector: Fuente.

Elaboración propia.

La temperatura ambiente tiene un incremento constante hasta un máximo de 20 °C llegando a su máximo punto en las horas del medio día, manteniéndose constante las horas de la tarde.

En este caso el viento su incrementó de manera constante, tuvo un pequeño pico elevado para las horas de la tarde a las 12:00 horas, en el resto del día se mantiene constante.

La radiación solar es muy variable se incrementó hasta 1 kW/m² en horas de la mañana, en horas de la tarde tuvo un descenso bien notorio a las 15:00 horas.

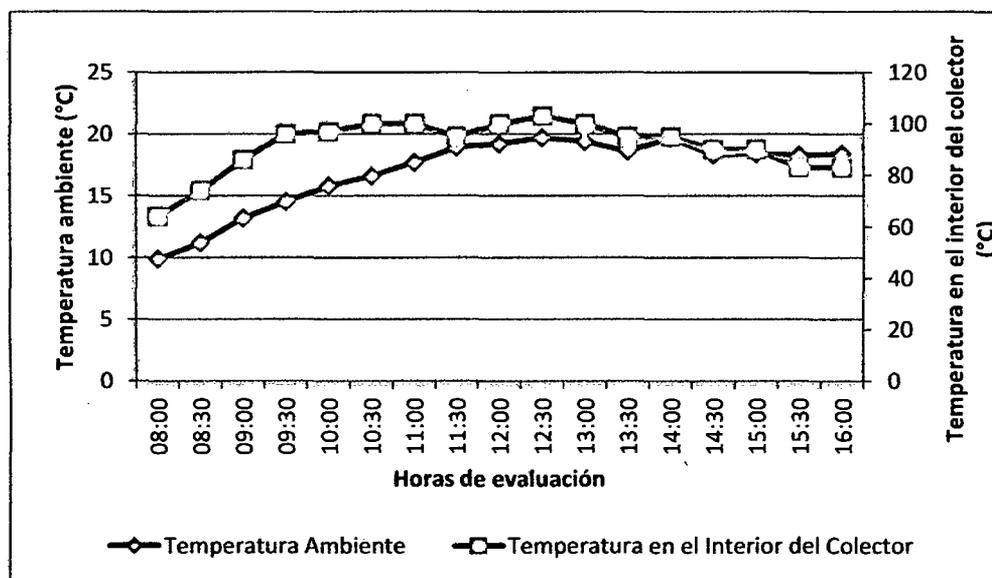


Figura 24. Temperatura ambiente, temperatura en el interior del colector vs Tiempo para días enfocando con un espejo la luz solar al colector: Fuente. Elaboración propia.

La temperatura ambiente y la temperatura en el interior del colector son constantes, sin presentar picos elevados durante la evaluación.

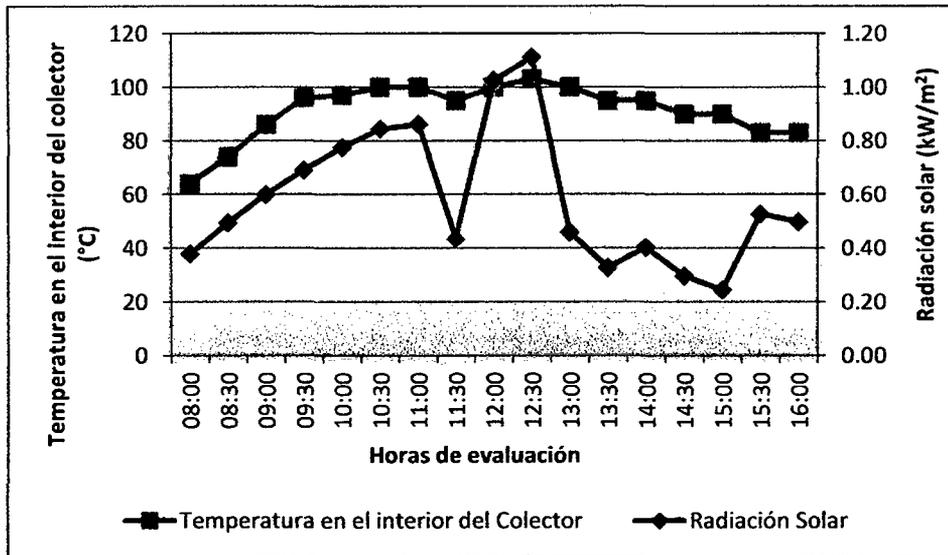


Figura 25. Radiación Solar, temperatura en el interior del colector vs tiempo en días enfocando con un espejo la luz solar al colector: Fuente: elaboración propia.

La curva de la radiación solar es muy variable teniendo su pico más elevado en horas del medio día en comparación con la temperatura en el interior del colector que es casi constante estando con mayor temperatura en horas de la mañana.

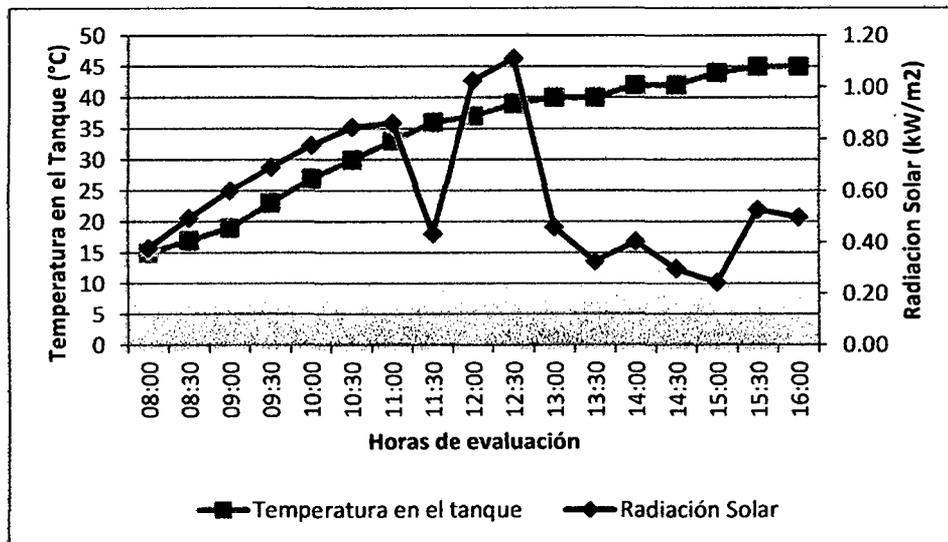


Figura 26. Radiación Solar, temperatura en el tanque vs tiempo en días enfocando con un espejo la luz solar al colector: Elaboración propia.

La temperatura en el tanque tiene un incremento constante en comparación con la radiación solar que tiene picos elevados en el medio día en cambio observando un descenso muy pronunciado en las horas de la tarde.

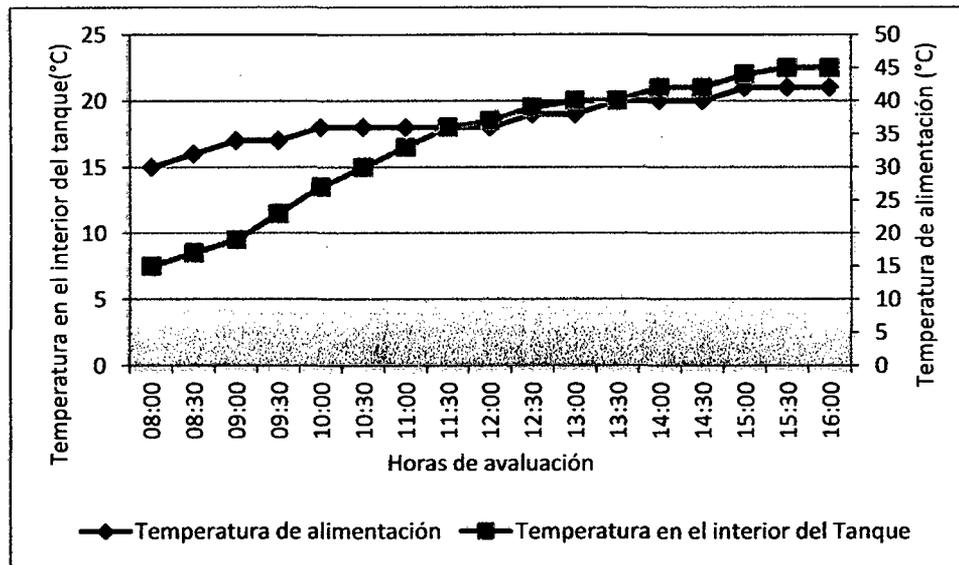


Figura 27. Temperatura de entrada y temperatura en el tanque vs tiempo en días enfocando con un espejo la luz solar al colector: Fuente: elaboración propia.

Las dos temperaturas tienen un incremento constante durante todo el proceso de evaluación teniendo al final una diferencia de aproximadamente 25 °C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia se obtuvo el siguiente resultado:

$$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$$

$$E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$E_T = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \times (45^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$E_T = 12,54 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

La radiación solar recibida (e_s) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 7, obteniéndose 5,51 kWh/m².

$$e_s = (5,51 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$e_s = 19,84 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$E_s = 19,84 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E_s = 19,84 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{12,54 \times 10^6 \text{ J}}{27,0 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta_E = 0,63$; en porcentaje la eficiencia será de 63 % para días enfocando con un espejo la luz solar al colector.

III. DISCUSION

En la presente investigación se ha determinado la eficiencia térmica de un calentador solar de agua con colector de 1 m^2 y tanque de almacenamiento de agua de 100 litros. Los datos experimentales se han tomado en cinco grupos de días, cuya eficiencia fue como se indica en porcentaje: soleados (52%), combinados (48%), nublados (30%), sin cambiar el agua del calentador (31%) y enfocando la luz solar con un espejo hacia el colector (63%). En los tres primeros grupos, la tendencia decreciente de la eficiencia se debe directamente a la disminución de la presencia del sol. En el cuarto grupo, a pesar que el día fue soleado, la eficiencia es menor que en los demás grupos debido a que el agua se conservaba en el tanque de almacenamiento, aislado térmicamente, a una temperatura mayor a la del ambiente, por lo que la diferencia de temperatura que se podía alcanzar en el día fue menor a la que se obtiene cuando se emplea agua de la red pública que se encuentra a temperatura ambiente. Para el quinto grupo, el día tuvo escasa presencia visible del sol, cuya luz enfocada con un espejo hacia el colector permitió tener una eficiencia superior a la del día nublado y cercana a la del día combinado.

En el presente trabajo de investigación, para cada uno de los cinco grupos de días, la diferencia de temperatura alcanzada y la radiación solar fue como se indica a continuación: soleados ($24,5^\circ\text{C}$; $5,42 \text{ kWh/m}^2$), combinados ($16,61^\circ\text{C}$; $4,01 \text{ kWh/m}^2$), nublados ($8,5^\circ\text{C}$; $3,22 \text{ kWh/m}^2$), sin cambiar el agua del calentador ($16,0^\circ\text{C}$; $5,99 \text{ kWh/m}^2$) y enfocando la luz solar con un espejo hacia el colector ($30,0^\circ\text{C}$; $5,51 \text{ kWh/m}^2$). Los datos de radiación solar presentados corresponden a la ciudad de Chachapoyas, ubicada a 2350 msnm, lugar donde se realizó la investigación. La radiación solar en la ciudad de Cajamarca (ubicada a 2700 msnm) es de $4,68 \text{ kWh/m}^2$ (Valera, 2007), valor que está entre la radiación solar de días soleados y combinados de Chachapoyas. La radiación solar promedio anual en Huancayo es de $5,98 \text{ kWh/m}^2$ y es la zona con mayor insolación de la sierra peruana (Valera, 2007). Los mayores valores de radiación solar se presentan en localidades con clima seco y escasa vegetación, como es el caso de Chachapoyas.

Para cada uno de los cinco grupos de días en que se evaluó para el presente trabajo de investigación, las temperaturas máximas del ambiente, del colector, del agua alimentada al sistema y del agua en la ducha fue como se indica a continuación: soleados (22, 96,

16 y 44 °C), combinados (18, 63, 16 y 36 °C), nublados (16, 38, 16 y 25 °C), sin cambiar el agua del calentador (25, 90, 28 y 44 °C) y enfocando la luz solar con un espejo hacia el colector (20, 104, 16 y 45 °C). Para este último grupo, el día fue de tipo combinado; sin embargo, el enfoque de la luz solar con un espejo hacia el colector permite incrementar la temperatura del agua 9°C, con respecto a lo que se puede alcanzar en día tipo combinado, entonces esta forma de trabajo permite que el calentador solar de agua sea más eficiente (63%). El incremento de temperatura del agua en el calentador solar está relacionado directamente con la presencia visible del sol. La velocidad del viento fue mayor en días soleados (5,0 m/s) que en días nublados (3,5 m/s), pero en ambos casos no tuvo influencia sobre el funcionamiento del calentador solar de agua.

Para todos los tipos de días evaluados, se ha logrado incrementar la temperatura del agua como mínimo 8,5 °C, lo que permitirá al usuario disponer de agua a una temperatura adecuada para su aseo personal o lavado de utensilios de cocina, dándole una mejor calidad de vida. El agua almacenada a 44 °C en el tanque con aislamiento térmico, durante la noche disminuye su temperatura en 8 °C (36 °C); sin embargo, en la mañana siguiente se puede retirar 20 litros de agua y su temperatura solo disminuye 1°C (35 °C), a pesar que la temperatura ambiente en horas de la noche en Chachapoyas era de 9°C y en la mañana era de 12 °C. Esto permite asegurar que el calentador solar de agua brindará confort al usuario y evitará que contraiga enfermedades respiratorias, por exponerse al agua fría debido a la temperatura ambiente baja.

El calentador solar de agua permite recuperar su costo en un máximo de tres años debido a que no se gastará en energía eléctrica, además su costo de mantenimiento es muy bajo porque no se producirán incrustaciones en el interior de los tubos, solo requiere una limpieza periódica del vidrio que cubre el colector solar para conservar su eficiencia. La energía solar es segura tanto en garantía de suministro energético durante todo el año como por falta de riesgo para quienes la utilizan; estos equipos no originan ruidos, escapes u olores y a diferencia de muchos otros artefactos, son ecológicos lo que implica un impacto beneficioso para el medio ambiente. El calentador solar cuenta con la particularidad de soportar cualquier tipo de agua y, por muy dura (calcárea) que sea podrá trabajar con ella sin inconveniente alguno, a su vez, se encuentra protegido para afrontar las condiciones climáticas extremas tales como heladas, granizos y tormentas.

La energía solar térmica es la solución más barata y limpia para instalaciones con un consumo importante de agua caliente, provoca el ahorro de grandes cantidades de petróleo, gas, electricidad y biomasa. Actualmente podemos afirmar que el aprovechamiento de la energía solar térmica es una tecnología madura y fiable, que las inversiones realizadas, en general, son amortizables, se trata de una alternativa respetuosa con el medio ambiente. Cada nuevo sistema de energía solar térmica es un paso hacia un ambiente limpio y sostenible. Según la Agencia Internacional de Energía (2006), una vivienda unifamiliar (2 m² de captadores) puede evitar 1,5 toneladas de CO₂ al año; un hotel con capacidad para 400 personas (580 m² de captadores) puede evitar 128 toneladas de CO₂ al año.

V. CONCLUSIONES

- 1- Los datos experimentales se han tomado en cinco grupos de días, cuya eficiencia fue como se indica en porcentaje: soleados (52%), combinados (48%), nublados (30%), sin cambiar el agua del calentador (31%) y enfocando la luz solar con un espejo hacia el colector (63%).
- 2- Para cada uno de los cinco grupos de días, la diferencia de temperatura alcanzada y la radiación solar fue como se indica a continuación: soleados (24,5 °C; 5,42 kWh/m²), combinados (16,61°C; 4,01 kWh/m²), nublados (8,5 °C; 3,22 kWh/m²).
- 3- Las temperaturas máximas del ambiente, del colector, del agua alimentada al sistema y del agua en la ducha fue como se indica a continuación: soleados (22, 96, 16 y 44 °C), combinados (18, 63, 16 y 36 °C), nublados (16, 38, 16 y 25 °C), sin cambiar el agua del calentador (25, 90, 28 y 44 °C) y enfocando la luz solar con un espejo hacia el colector (20, 104, 16 y 45 °C).
- 4- Para todos los tipos de días evaluados, el incremento de la temperatura del agua mínimo fue de 8,5 °C, con lo que el usuario dispondrá de agua a temperatura adecuada para su aseo personal o lavado de utensilios de cocina, dándole una mejor calidad de vida.
- 5- El costo de un calentador solar de agua se recupera en un máximo de tres años en base al ahorro en consumo de energía eléctrica o combustibles para calentar agua.

VI. RECOMENDACIONES

- Cuando el sistema está sin agua, cubrir el colector con alguna manta, de lo contrario el sol degradará las tuberías de plástico provocando filtraciones.
- Bañarse y usar el agua caliente de preferencia en horas de la tarde o noche, que es cuando el calentador ofrece el agua a su máxima capacidad.
- Para contar con agua caliente durante las mañanas, se debe usar solo una parte, es decir racionar el consumo, de tal forma que siempre contemos con agua caliente en el tanque de almacenamiento.
- Para usar el agua, la conexión a la ducha debe permitir la posibilidad de mezclar con agua fría, pues el agua puede venir muy caliente.
- Mantener libre de polvo y obstrucciones la superficie de captación de los colectores solares planos, limpiando el vidrio con una franela húmeda.
- Revisar periódicamente toda la instalación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energía. 2006. El caso de la tecnología de la terma solar. París.
- Burbano, J. C. Á.H. Restrepo y O.J. Sabogal. 2006. Diseño y construcción de un calentador solar de agua operado por termosifón. Disponible en <http://micalentadorsolar.com.mx>. Acceso el 12/09/2012.
- Cabirol, Thierry. 1978. El colector plano de efecto de invernadero y el calentador solar de agua. Editorial Continental. España.
- Cárdenas Salés, A. E., G. Quesada Ramos y M. Pérez Mena. 2006. Incrustaciones en instalaciones solares térmicas. Energía y Tú. Revista Científica Trimestral de CUBASOLAR. N° 36. Pág.18-24.
- CENSOLAR de la Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear. 2005. Un futuro para el mundo en desarrollo basada en las fuentes renovables de energía. Ministerio de Industria, Energía y Minería. Uruguay.
- Discoli, C., G. Viegas, V. Barros, M. Halt, J.J. Arévalo. 2007. Manual del usuario de tecnología sencilla. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Follari, Jorge. 2004. Política energética: actualidad y futuro. Publicado en el diario La República, Perú.
- Follari, J. y A. Fasulo. 1998. Veinte años con los calefones solares argentinos. Publicado en Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5. Argentina.
- Gómez, C. 2009. Principios elementales de física. Disponible en <http://micalentadorsolar.com/menu/index/introduccion>. Acceso el 04/08/2012
- Grupo Grabado de Morelos S.A.1997. Sistema de calentamiento solar de agua, una guía para el consumidor. Pág. 45. México.

- Gutiérrez Iglesias, V. 2004. Manual de autoconstrucción del calentador solar de bajo coste. Argentina.
- Horn, Manfred. 2006. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Publicado en Perú económico, Vol XXIX, No.11, Lima.
- Manrique, J. A. 1984. Energía solar. Editorial Harla S. A. México.
- Margevicius, J. 1981. La energía solar y su aplicación en calentadores solares. Universidad Católica - República Dominicana.
- McCartney, Kevin y B. Ford. 1978. Agua caliente solar. H. Blume Editions. España.
- NORMAS TÉCNICAS. 2004. Colectores solares de placa plana para calentamiento de agua de consumo doméstico. Santa Fé de Bogotá- Colombia. Pág. 23.
- Pilatowsky, I. 2005. Sistema de calentamiento solar de agua. Editorial Grupo Grabado de Morelos S.A. México. Pág. 45.
- Placco, C., L. Saravia, C. Cadena. 2006. Colectores solares para agua caliente. Editorial Salta S. A. Argentina.
- Rincón Mejía, Eduardo A. 2004. Las fuentes renovables de energía como base del desarrollo sostenible en México. Editorial Berlin.
- Thierry, Cabirol; Albert Pelissou; Daniel Roux. 1979. El calentador solar de agua. Editorial Continental, S.A. España. Pág. 150.
- Urkía, I. y S. Urkia. 2010. Energía renovable práctica. Editorial Pamiela S. A. Navarra – España.
- Valera Palacios, A. 2007. Energía solar II. Edición a cargo de la Asamblea Nacional de Rectores. Lima – Perú.
- Vertiz, S. 2006. Campaña de energía y cambio climático. Editorial Greenpeace. México D.F. Pág. 36-39.

ANEXOS

ANEXO 1

Datos experimentales

Tabla 5. Datos experimentales promedio para días soleados

HORA	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (kW/m ²)	Velocidad del viento (m/s)	T del agua de alimentación (°C)	T en el interior del colector (°C)	T del agua en el tanque (°C)
8:00	13,02	0,28	0,6	16,3	42,6	16,3
8:30	14	0,41	0,86	16,2	54,8	18,2
9:00	14,9	0,55	0,94	17	60,8	20,4
9:30	16,02	0,63	1,32	17,2	66,6	23,8
10:00	16,68	0,65	1,6	17,6	71,6	26
10:30	17,94	0,73	2,5	17,5	74,8	29
11:00	18,8	0,81	2,96	17,9	78	31,4
11:30	19,48	0,87	3,92	18	85,8	33,6
12:00	20,04	0,95	4,12	18	81,4	35,6
12:30	20,26	1,00	4,82	18,4	87,4	36,8
13:00	20,52	0,82	4,82	18,5	86	38
13:30	20,76	0,87	5,02	18,8	84,4	38,8
14:00	20,22	0,65	4,56	18,7	67	40
14:30	20,28	0,55	4,22	18,9	59,4	40,2
15:00	19,94	0,52	4,12	19,4	56,2	40,8
15:30	19,56	0,44	4,38	19,5	53,8	40,8
16:00	19,16	0,31	3,84	20,2	44,8	40,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Datos experimentales promedio para días combinados

HORA	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (kW/m ²)	Velocidad del viento (m/s)	T del agua de alimentación (°C)	T en el interior del colector (°C)	T del agua en el tanque (°C)
8:00	12,29	0,22	1,04	16,17	35,44	16,06
8:30	12,96	0,32	1,78	16,22	42,33	17,56
9:00	13,66	0,37	2,72	16,50	46,78	26,33
9:30	14,22	0,41	2,58	16,56	50,22	20,50
10:00	14,87	0,49	2,81	16,72	55,67	22,11
10:30	15,80	0,57	3,53	16,94	59,78	23,44
11:00	16,31	0,62	3,68	17,28	62,44	25,78
11:30	16,70	0,53	3,87	17,22	56,22	27,11
12:00	16,73	0,53	5,07	17,11	58,67	28,00
12:30	16,92	0,43	4,82	17,28	61,44	29,33
13:00	17,12	0,50	4,53	17,61	63,44	30,33
13:30	17,52	0,59	4,79	17,67	63,00	31,33
14:00	17,64	0,44	4,79	17,83	54,11	31,89
14:30	17,40	0,36	4,93	18,06	54,89	32,44
15:00	17,38	0,43	4,97	17,78	50,00	32,67
15:30	16,97	0,32	5,02	17,83	42,33	33,00
16:00	16,40	0,20	4,58	17,72	36,11	32,89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Datos experimentales promedio para días nublados

HORA	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (kW/m ²)	Velocidad del viento (m/s)	T del agua de alimentación (°C)	T en el interior del colector (°C)	T del agua en el tanque (°C)
8:00	12,1	0,11	0,4	16	22	16
8:30	12,15	0,14	0,4	16	24,5	17,5
9:00	12,55	0,18	0,4	16	29	17,75
9:30	13,35	0,29	0,9	16,5	34,5	18,5
10:00	13,45	0,23	1,1	16,25	33,5	19,25
10:30	14,15	0,24	1,1	16,5	32	20
11:00	14,6	0,35	1,35	16,5	38,5	21
11:30	14,9	0,34	0,9	16,75	38	21
12:00	15,15	0,27	1,8	16,5	33	21,5
12:30	15,55	0,28	0,9	16,75	34	22
13:00	16	0,30	2	16,75	37,5	22
13:30	15,8	0,29	2,25	16,75	36,5	22,5
14:00	16,1	0,24	3,1	16,75	33	22,5
14:30	16	0,27	3,55	17	38,5	23,5
15:00	15,7	0,24	2,25	17	36,5	24
15:30	15,5	0,24	2,2	16,75	35	24
16:00	15,15	0,17	2,45	16,75	29,5	24,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Datos experimentales promedio para días sin cambiar el agua.

HORA	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (kW/m ²)	Velocidad del viento (m/s)	T del agua de alimentación (°C)	T en el interior del colector (°C)	T del agua en el tanque (°C)
8:00	11,5	0,39	0,9	12	58	36
8:30	13,3	0,50	0	15	65	37
9:00	15	0,60	0,4	16	66	37
9:30	15,8	0,70	0,9	17	70	38
10:00	17,5	0,79	0,9	17	77	38
10:30	18,3	0,85	0,4	18	81	39
11:00	19,7	0,92	0,9	18	84	39
11:30	20,8	0,95	0,9	18	90	40
12:00	22,2	0,84	0,9	20	81	41
12:30	23,6	0,97	2,2	20	89	41
13:00	24,6	0,93	4,9	21	85	42
13:30	25	0,90	6,3	21	80	42
14:00	24,7	0,85	7,2	22	81	42
14:30	24,9	0,81	6,3	22	62	44
15:00	24,1	0,53	5,8	22	79	44
15:30	24,1	0,74	6,7	23	74	44
16:00	24	0,55	6,3	24	62	44

Fuente: Elaboración propia.

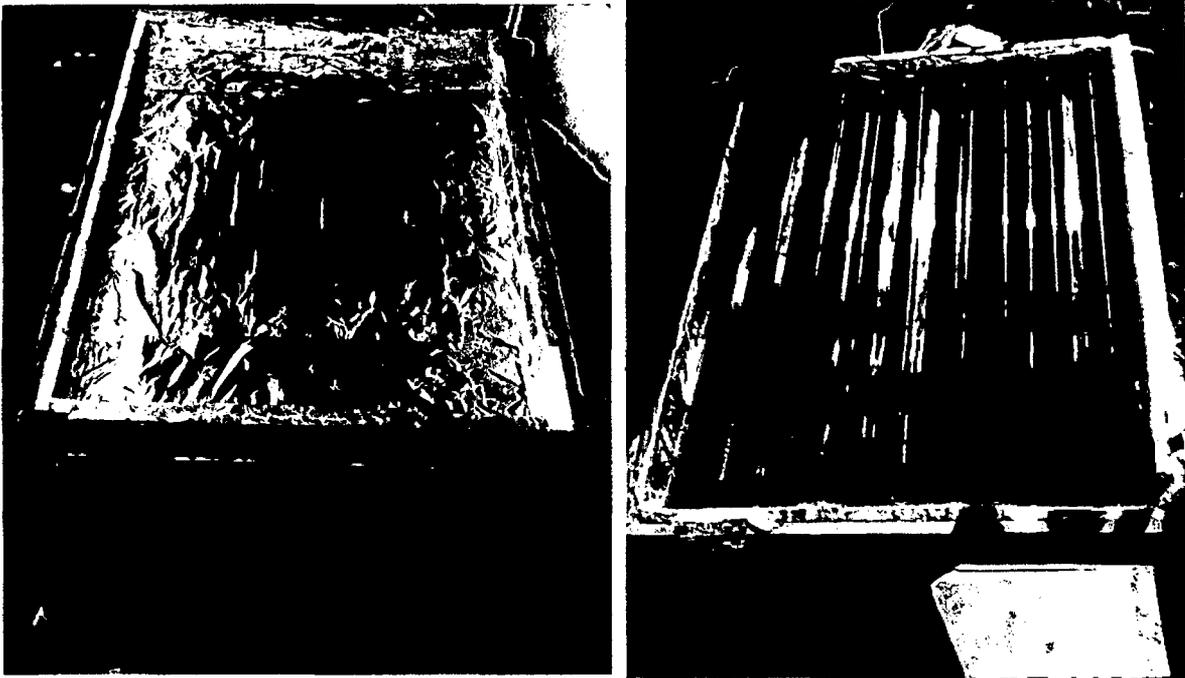
Tabla 9. Datos experimentales promedio para días enfocando con un espejo la luz solar al colector.

HORA	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (kW/m ²)	Velocidad del viento (m/s)	T del agua de alimentación (°C)	T en el interior del colector (°C)	T del agua en el tanque (°C)
8:00	9,9	0,38	1,3	15	64	8:00
8:30	11,2	0,49	0,9	16	74	8:30
9:00	13,2	0,60	0	17	86	9:00
9:30	14,5	0,69	0,4	17	96	9:30
10:00	15,8	0,78	0,4	18	97	27
10:30	16,6	0,85	1,8	18	100	30
11:00	17,7	0,86	1,3	18	100	33
11:30	18,9	0,43	3,6	18	95	36
12:00	19,2	1,03	4	18	100	37
12:30	19,7	1,11	4	19	103	39
13:00	19,4	0,46	6,3	19	100	40
13:30	18,6	0,33	7,2	20	95	40
14:00	19,7	0,40	5,8	20	95	42
14:30	18,3	0,30	6,3	20	90	42
15:00	18,4	0,24	5,8	21	90	44
15:30	18,3	0,53	5,8	21	83	45
16:00	18,4	0,50	4,9	21	83	45

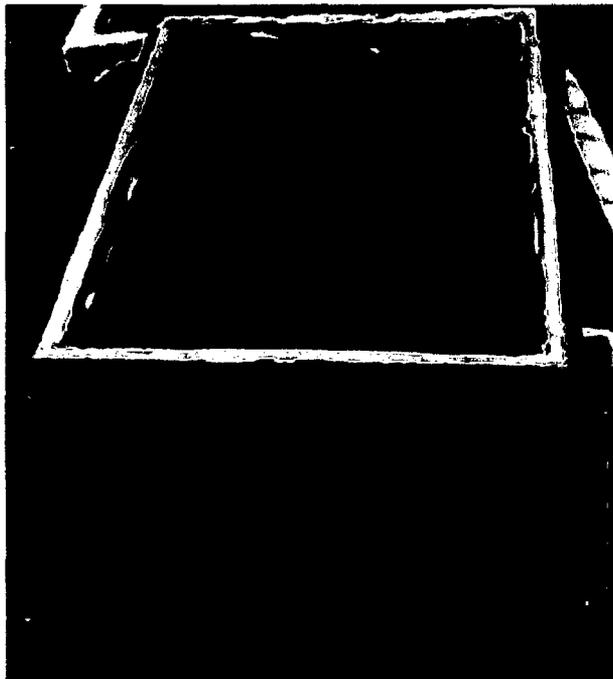
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2

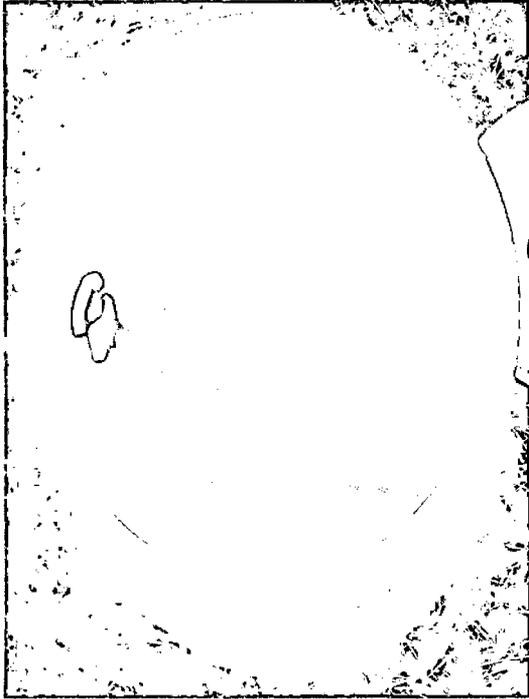
Secuencia fotográfica de la construcción del calentador solar



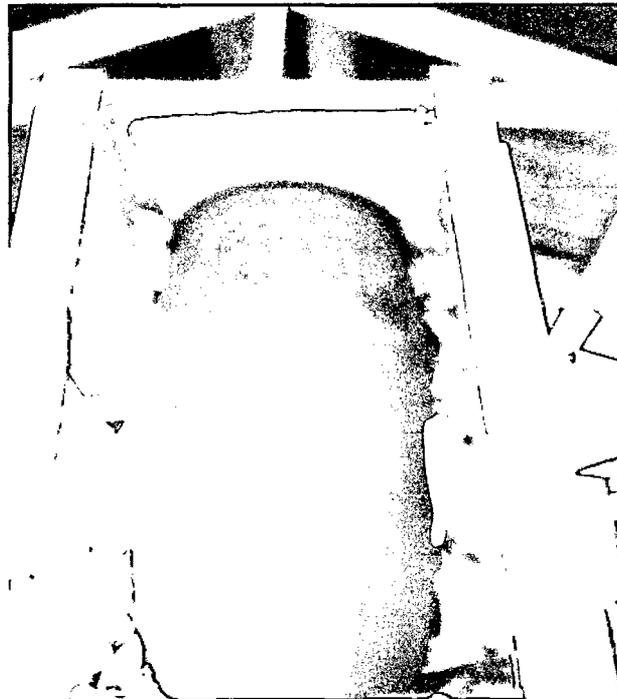
Fotografía 9. Construcción del colector solar



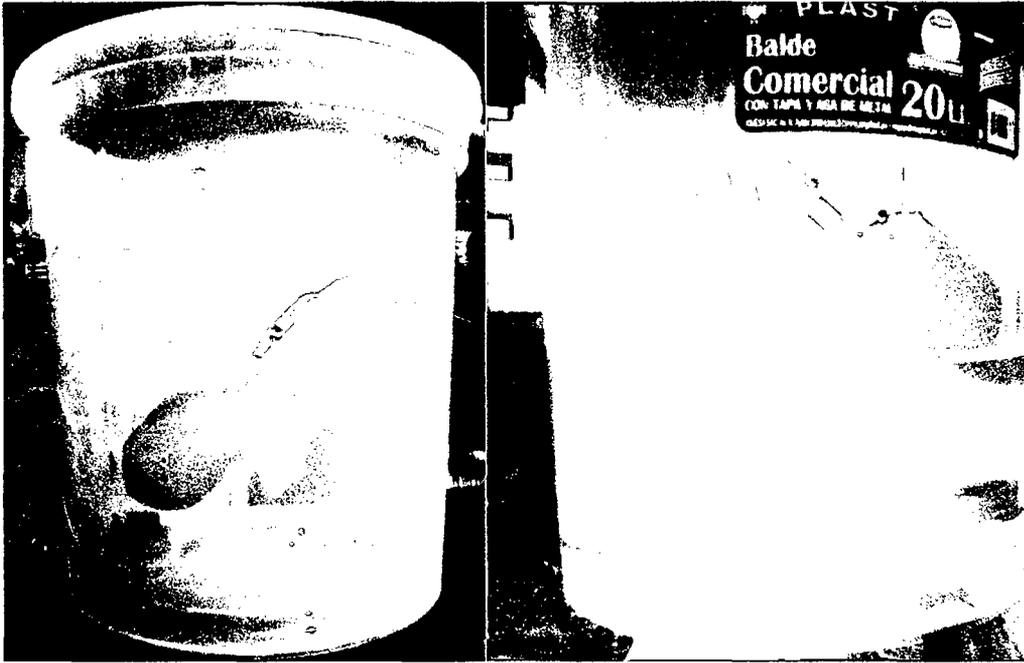
Fotografía 10. Colector solar terminado



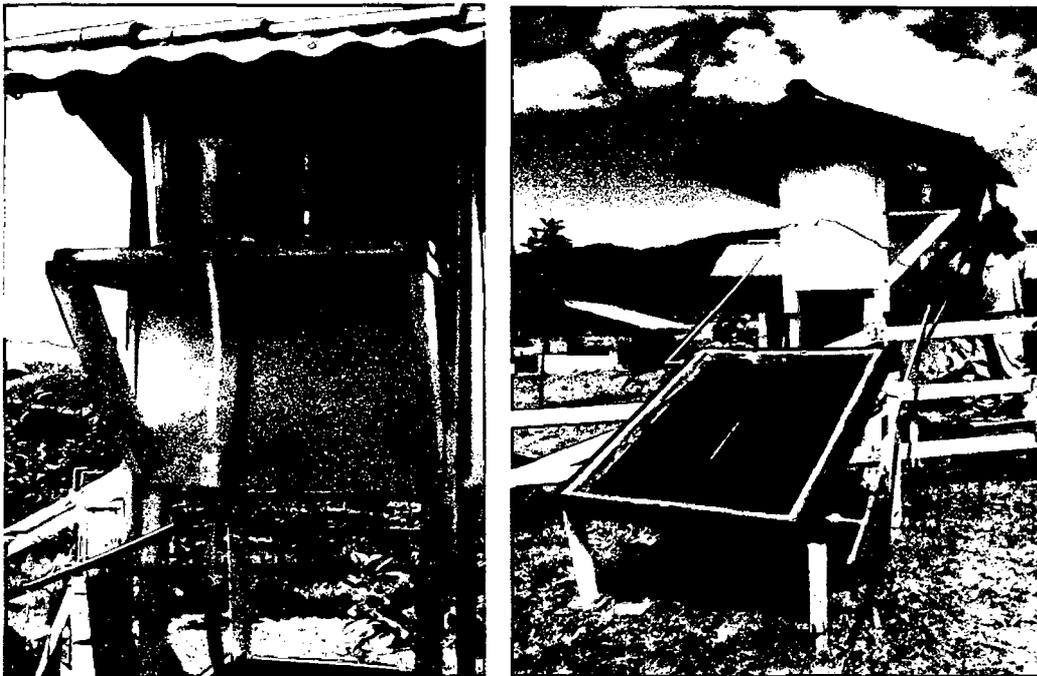
Fotografía 11. Acondicionamiento para el tanque de almacenamiento



Fotografía 12. Aislamiento del tanque de almacenamiento



Fotografía 13. Controlador de nivel de agua en el calentador solar.



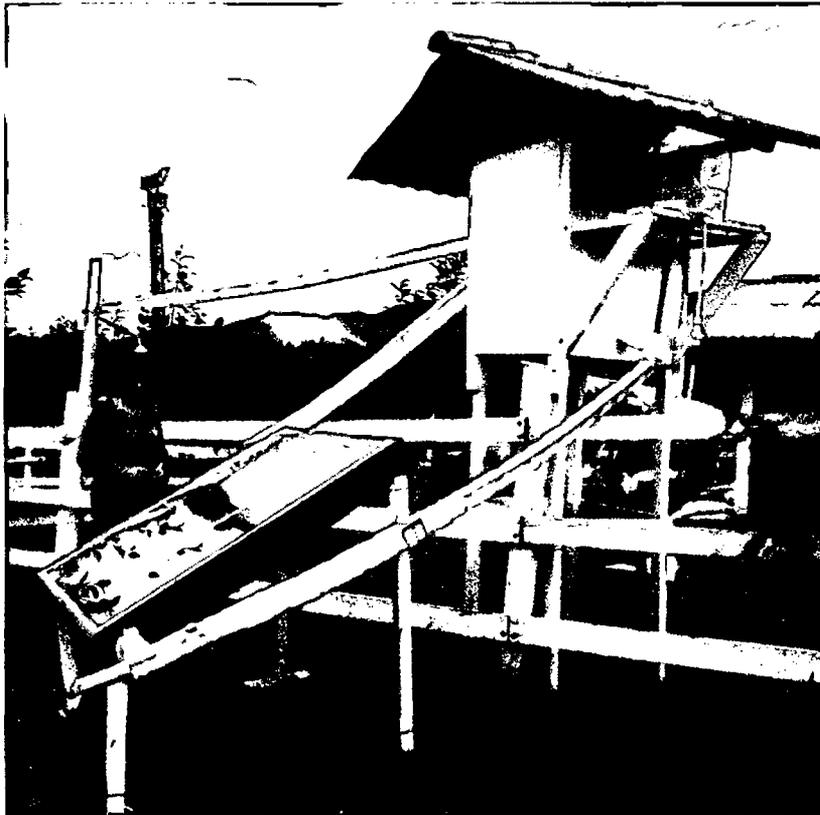
Fotografía 14. Sistema de tuberías



Fotografía 15. Trayectoria de la sombra del sol para la ubicación del calentador solar



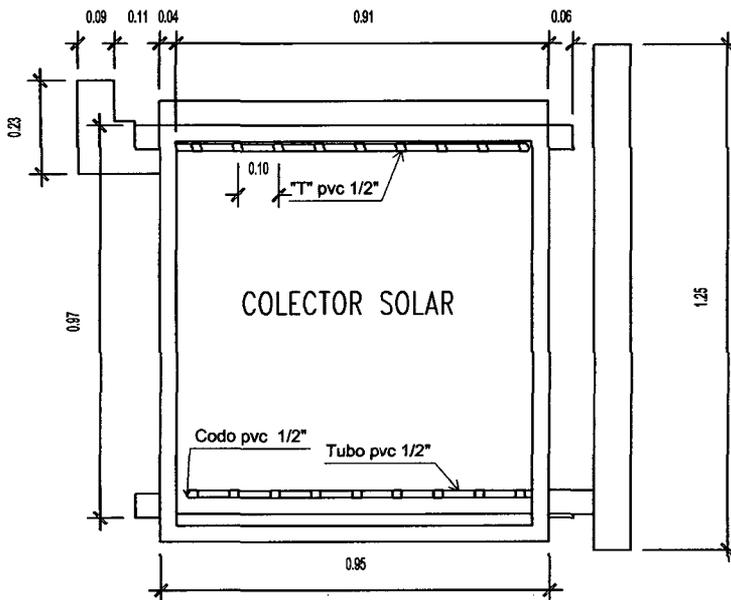
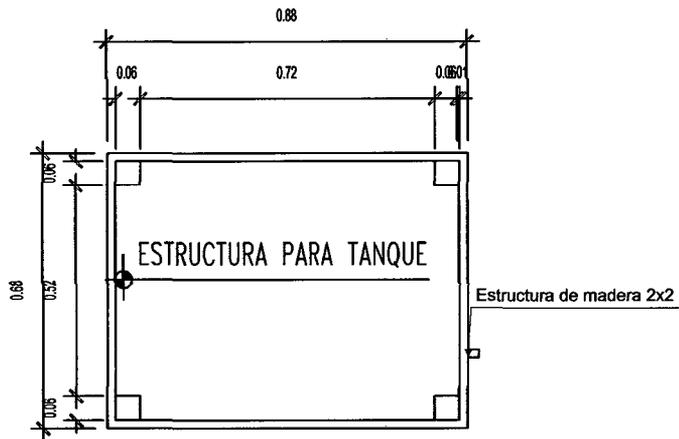
Fotografía 17. Medición de temperaturas de entrada y en el colector



Fotografía 18. Calentador solar completo

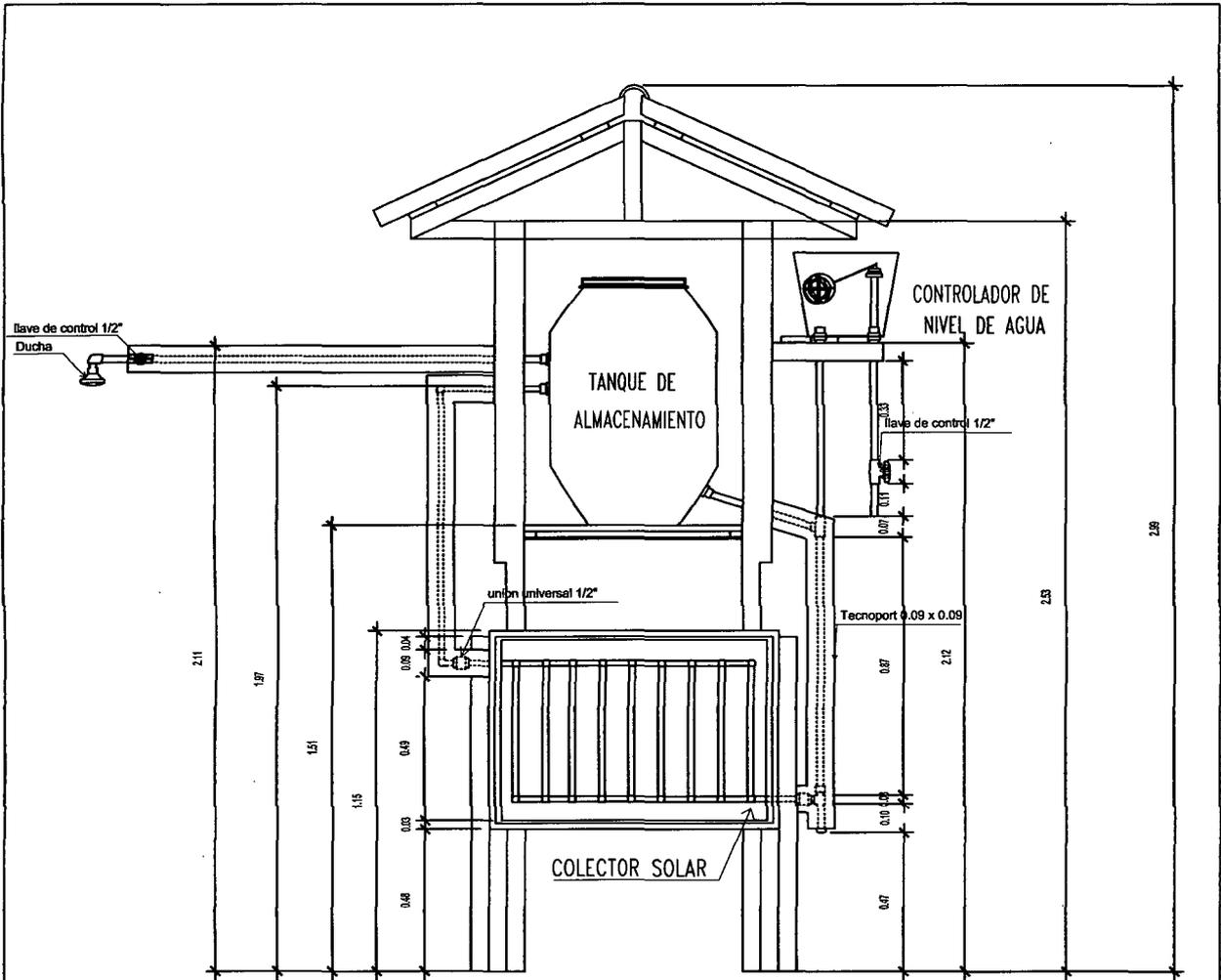
Anexo 3

Planos de la terma solar



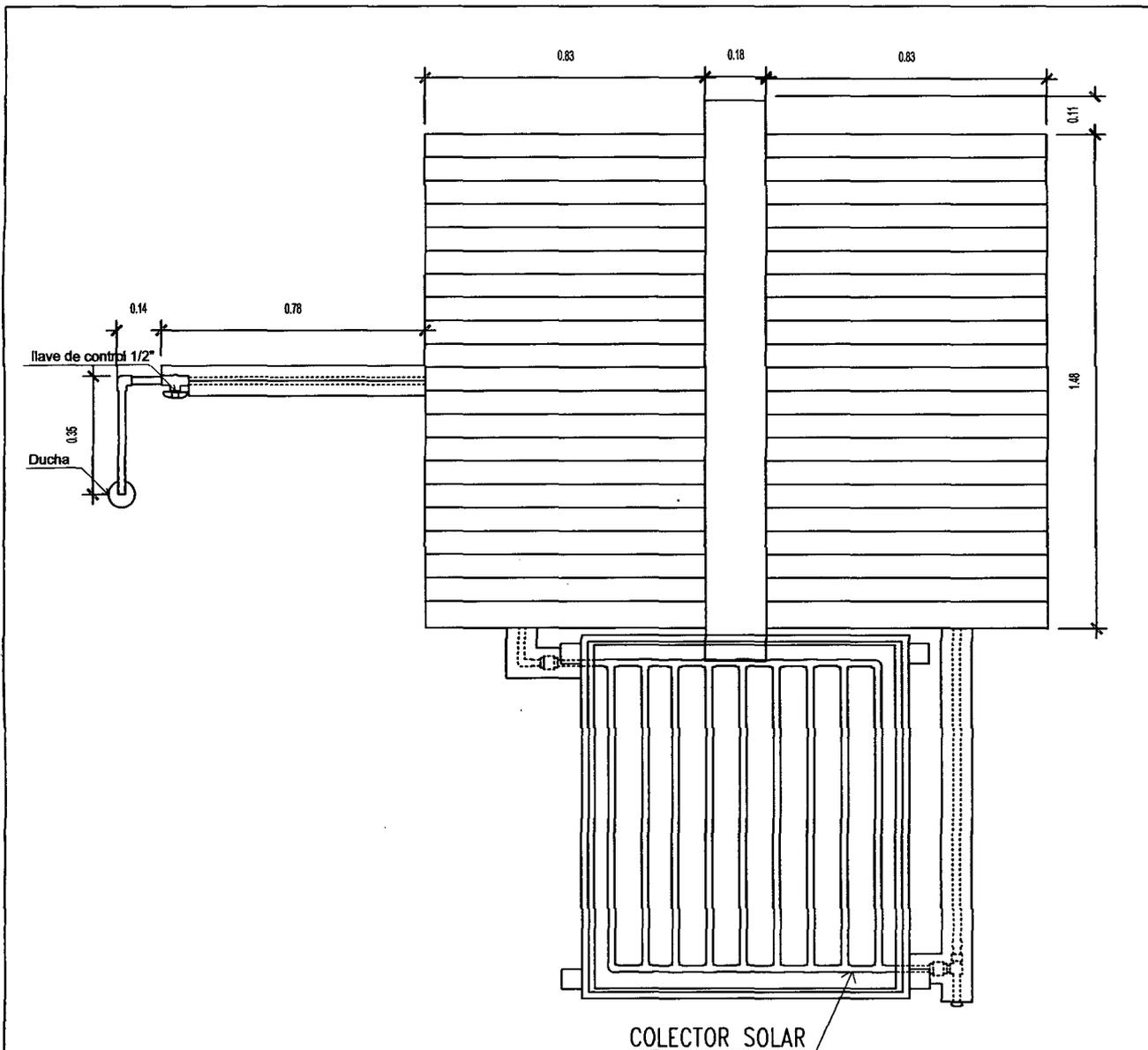
PLANTA
ESC: 1/20

PROYECTO: EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE 80 L CON COLECTOR DE 1 m²		Arquitectura & Construcción
UBICACION: SIPIAC/INDES-CES CHACHAPOYAS		PLANO: ARQUITECTURA
PROPIETARIO: TRIGOSO VALLE RONAL R. VIGO CRUZ LADY V.		ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.
		ESC: 1/20 FECHA: DIC-12
		LAMINA: A-01



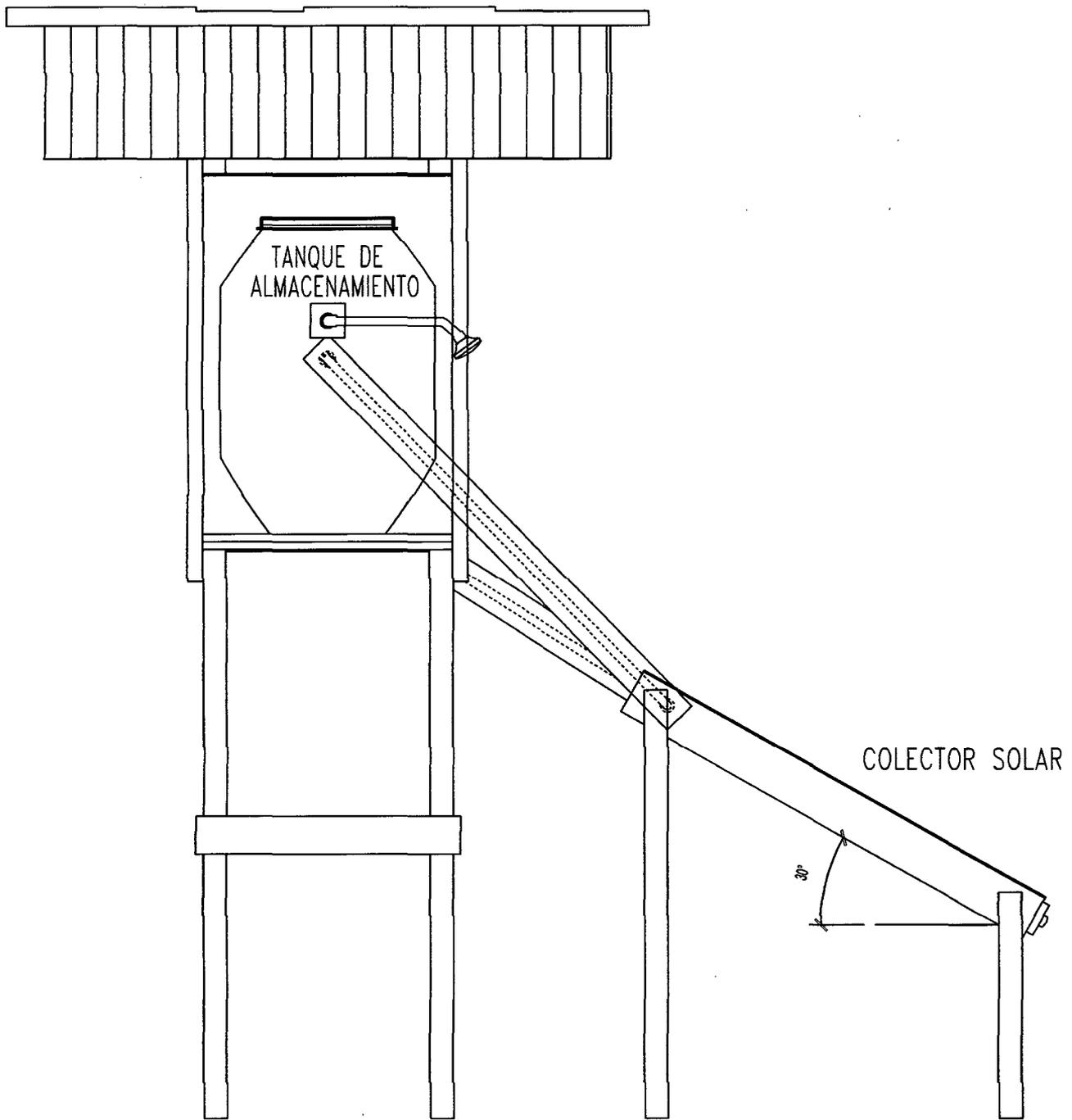
VISTA FRONTAL
 ESC: 1/25

PROYECTO: EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE 80 L CON COLECTOR DE 1m²		Arquitectura & Construccion
UBICACION: SIPIAC/INDES-CES CHACHAPOYAS		LAMINA: A-02
PROPIETARIO: TRIGOSO VALLE RONAL R. VIGO CRUZ LADY V.		PLANO: ARQUITECTURA
ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.		ESC: 1/25 FECHA: DIC-12



SUPERIOR
 ESC: 1/20

PROYECTO: EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE 80 l CON COLECTOR DE 1 m²		Arquitectura & Construccion
UBICACION: SIPIAC/INDES-CES CHACHAPOYAS		PLANO: ARQUITECTURA
PROPIETARIO: TRIGOSO VALLE RONAL R. VIGO CRUZ LADY V.		ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.
		ESC: 1/20 FECHA: DIC-12
		LAMINA: A-03



VISTA LATERAL
 ESC: 1/20

PROYECTO: EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE 80 L CON COLECTOR DE 1m2		Arquitectura & Construccion	
UBICACION: SIPIAC/INDES-CES CHACHAPOYAS		PLANO: ARQUITECTURA	
PROPIETARIO: TRIGOSO VALLE RONAL R. VIGO CRUZ LADY V.		ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.	
		ESC: 1/20 FECHA: DIC-12	
		LAMINA: A-04	



PERSPECTIVA

PROYECTO: EFICIENCIA TERMICA DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE 80 L CON COLECTOR DE 1 m²		Arquitectura & Construccion
		LAMINA: A-05
UBICACION: SIPIAC/INDES-CES CHACHAPOYAS	PLANO: ARQUITECTURA	
PROPIETARIO: TRIGOSO VALLE RONAL R. VIGO CRUZ LADY V.	ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.	FECHA: DIC-12