

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



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

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

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD
DE UNA TERMA SOLAR CON DOS COLECTORES
EN SERIE DE 1m² CADA UNO**

AUTOR : BACH. NIXON MARIN MONTENEGRO ZUMAETA

ASESOR: Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS - PERÚ

2013



0 6 ENF 2014

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



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

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

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE UNA TERMA
SOLAR CON DOS COLECTORES EN SERIE DE 1m² CADA UNO**

AUTOR:

BACH. NIXON MARIN MONTENEGRO ZUMAETA

ASESOR:

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS – PERÚ

2013



06 ENE 2014

DEDICATORIA

A Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y por mostrarnos día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles y que han sido incentivos de mi vida.

Nixon M

AGRADECIMIENTO

A Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres por el cariño y su esfuerzo que hicieron posible el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, gracias a su sacrificio y la paciencia que me mostraron todos estos años.

Al Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por toda la colaboración brindada y asesoramiento en la realización de la presente tesis, por sus consejos que me ayudaron a formarme como persona e investigador.

A mi hermana Yamily del Pilar, que siempre la he sentido presente en mi vida. Sé que está orgullosa de la persona en la cual me he convertido.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Por los datos meteorológicos brindados.

**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

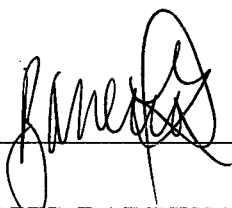
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la tesis titulada “**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE UNA TERMA SOLAR CON DOS COLECTORES EN SERIE DE 1 M² CADA UNO**” del tesista egresado de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-A:

BACH. NIXON MARIN MONTENEGRO ZUMAETA

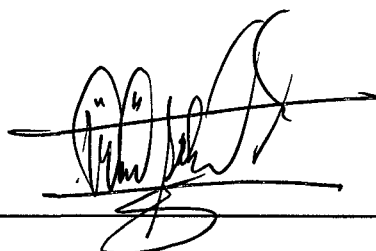
El docente de la UNTRM-A que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 09 de setiembre de 2013.



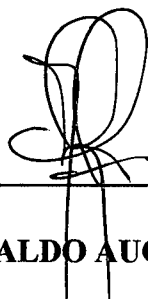
Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
PROFESOR PRINCIPAL DE FICA-UNTRM-AMAZONAS

JURADO EVALUADOR



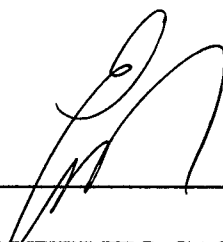
Ing. MEREGILDO SILVA RAMÍREZ

Presidente



Ing. ERICK ALDO AUQUIÑIVÍN SILVA

Secretario



Ing. EFRAIN MANUELITO CASTRO ALAYO

Vocal

ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Autoridades universitarias	iii
Visto Bueno del Asesor	iv
Jurado Evaluador	v
Índice	vi
Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Fotografías	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIAL Y METODOS	Pág.
2.1. Material para construcción del colectores	12
2.2. Material para el acondicionamiento del tanque de almacenamiento de agua.	12
2.3. Material para el sistema de tuberías	13
2.4. Otros materiales y herramientas	14
2.5. Construcción de los componentes de la terma solar	14
2.5.1. Caja del colector solar	14
2.5.2. Parrilla de tubos	14
2.5.3. Tapa del colector	16
2.5.4. Tanque de almacenamiento de agua caliente	16
2.5.5. Sistema de abastecimiento de agua	17
2.5.6. Conexión de los colectores	18
2.5.7. Conexión en serie	18
2.5.8. Conexión en paralelo	19
2.5.9. Frecuencia de registro de datos	20

2.5.10. Eficiencia de la terma solar	20
III. RESULTADOS	22
3.1. En serie	22
3.1.1. Días soleados	22
3.1.2. Días combinados	25
3.1.3. Días nublados	27
3.2. En paralelo	29
3.2.1. Días soleados	29
3.2.2. Días combinados	31
3.2.3. Días nublados	33
3.2.4. Días sin cambiar el agua	35
3.2.5. Días enfocados con espejos la luz solar de los dos colectores	37
IV. DISCUSIÓN	40
V. CONCLUSIONES	44
VI. RECOMENDACIONES	45
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	48
Anexo 1. Serie datos experimentales	49
Anexo 2. Paralelo datos experimentales	53
Anexo 3. Secuencia fotográfica de construcción solar	59
Anexo 4. planos de la terma solar	65

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Eficiencia típica de dispositivos convencionales.	9
Tabla 2. Efecto de los materiales del colector solar.	10
Tabla 3. Datos experimentales promedio para días soleados.	50
Tabla 4. Datos experimentales promedio para días combinados.	51
Tabla 5: Datos experimentales promedio para días nublados.	52
Tabla 6: Datos experimentales promedio para días soleados.	54
Tabla 7: Datos experimentales promedio para días combinados.	55
Tabla 8. Datos experimentales promedio para días nublados.	56
Tabla 9. Datos experimentales promedio para días sin cambiar el agua.	57
Tabla 10. Datos experimentales promedio para días enfocando con un espejo la luz solar al colector.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conexión de colectores solares en serie.	7
Figura 2. Conexión de colectores solares en paralelo	7
Figura 3. Posición e inclinación de un colector solar	8
Figura 4. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y del ambiente vs tiempo; en días soleados con colectores conectados en serie.	23
Figura 5. Determinación del área bajo la curva para calcular la radiación solar en kWh/m ² .	24
Figura 6. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días combinados con colectores conectados en serie.	25
Figura 7. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días nublados con colectores conectados en serie.	28
Figura 8. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y del ambiente vs tiempo; en días soleados con colectores conectados en paralelo.	30
Figura 9. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días combinados con colectores conectados en paralelo.	32
Figura 10. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días nublados con colectores conectados en paralelo.	34
Figura 11. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el	36

tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días sin cambiar el agua con colectores conectados en paralelo.

Figura 12. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días enfocando con espejos la luz solar de los dos colectores con colectores conectados en paralelo.

38

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Partes del colector solar	15
Fotografía 2. Colector solar de ½" (izquierda) y de 1" (derecha).	15
Fotografía 3. Colectores solares terminados.	16
Fotografía 4. Tanque de almacenamiento de agua caliente.	17
Fotografía 5. Controlador del nivel de agua en el tanque	18
Fotografía 6. Terma solar con colectores en serie	19
Fotografía 7. Terma solar con colectores en paralelo.	19
Fotografía 8. Enfoque de la luz solar con dos espejos hacia los colectores.	20
Fotografía 9. Construcción de los colectores solares	60
Fotografía 10. Colectores solares terminados.	60
Fotografía 11. Acondicionamiento para el tanque de almacenamiento.	61
Fotografía 12. Aislamiento del tanque de almacenamiento.	61
Fotografía 13. Controlador de nivel de agua en el calentador solar.	62
Fotografía 14. Medición de temperaturas de entrada de alimentación a la salida del primer colector, y salida del segundo colector.	62
Fotografía 15. Terma solar con colectores en serie.	63
Fotografía 16. Terma solar con colectores en paralelo.	63
Fotografía 17. Estudiantes alemanes junto a la terma solar.	64
Fotografía 18. Estudiantes alemanes atendiendo la explicación del funcionamiento de la terma solar.	64

RESUMEN

Para la presente investigación se construyó y evaluó una terma solar con dos colectores de 1 m^2 cada uno conectados en serie y luego en paralelo, con un tanque de almacenamiento de agua caliente de 100 L, con el objetivo de determinar su eficiencia y capacidad: con los colectores en serie se tomaron los datos en tres tipos de días: soleados, combinados y nublados. La conexión en paralelo se evaluó en cinco tipos de días: soleados, combinados, nublados, sin cambiar el agua y enfocando la luz solar con dos espejos. Cada día desde las 8:00 hasta las 16:00 horas y cada 30 minutos, se registró las temperaturas de: entrada del agua al primer colector solar, en el interior de este, a la salida del primer colector, del agua de entrada al segundo colector, en el interior de este, a la salida del segundo colector y la del agua en el tanque de almacenamiento. De la estación meteorológica ubicada a 100 m de la terma solar se obtuvo, al mismo tiempo y frecuencia, la temperatura ambiente y radiación solar. Se determinó la eficiencia por medio de la energía térmica ganada y la energía solar recibida, esta última calculada como el 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 tipo de días. La radiación solar en kWh/m^2 , la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del agua en el tanque y la eficiencia (%), para cada tipos de días con colectores en serie: soleados 5,66; 49; 57, combinados 4,22; 43; 52; nublados 3,13; 28; 37; con colectores en paralelo: soleados 5,81; 57; 69; combinados 3,77; 45; 58, nublados 3,36; 35; 44, sin cambiar el agua del calentador 4,59; 52; 38 y enfocando la luz solar con los espejos hacia los dos colectores 6,32; 61; 73; respectivamente; teniendo una temperatura de inicio de análisis de 17°C excepto para días sin cambiar el agua, la cual inició a 34°C , temperatura que se encontró a las 8:00 horas. Con los colectores conectados en paralelo se ha obtenido la mayor eficiencia y capacidad de calentamiento de agua.

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

ABSTRACT

For the present investigation each one constructed himself and evaluated a solar terma with two collectors of 1 m² connected in series and then in parallel, with a tank of storage of warm water of 100 L, with the aim to determine his efficiency and capacity: with the collectors in series the information took in three types of days: sunny, cocktails and clouded. The connection in parallel was evaluated in five types of days: sunny, cocktails, clouded, without changing the water and focusing the solar light with two mirrors. Every day from 8:00 until 16:00 hours and every 30 minutes, one registered the temperatures of: entry of the water to the first solar collector, inside exit of the first collector, of the water of entry to the second collector, inside this one, to the exit of the second collector and that of the water in the tank of storage. Of the meteorological station located to 100 m of the solar terma it was obtained, at the same time and frequency, the temperature sets and solar radiation. The efficiency decided by means of the energy thermal gained and the received solar power, the latter calculated as the area under the curve of the solar radiation vs time, by means of the method of the area of the rectangles under this curve, obtaining the solar radiation per hour and m² for every type of days. The solar radiation in kWh/m², the temperature (°C) of the water in the tank and the efficiency (%), for every types of days with collectors in series: sunny 5,66; 49; 57, combined 4,22; 43; 52; clouded 3,13; 28; 37; with collectors in parallel: sunny 5,81; 57; 69; cocktails 3,77; 45; 58, clouded 3,36; 35; 44, Without the water of the heater changes 4,59; 52; 38 and focusing the solar light with the mirrors towards both collectors 6,32; 61; 73; respectively; having a temperature of beginning of analysis of 17°C except for days without changing the water, which initiated to 34°C, temperature that one found at 8:00. With the collectors connected in parallel there has been obtained the major efficiency and capacity of water warming.

Keywords: collector, won heat, solar energy received

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento del agua para higiene personal y limpieza representa un consumo energético importante en una vivienda. La demanda promedio es de 40 L/día/persona. En países en desarrollo es el 30 a 40% del consumo de energía de un hogar, siendo mayor que en los países desarrollados, donde se emplea para este propósito el 26% del consumo total de la vivienda. El calentamiento del agua, a nivel mundial, es el segundo uso energético doméstico después de la calefacción y la refrigeración. La aplicación de la energía solar para este propósito, además de ser una alternativa ecológica, es una tecnología económicamente atractiva y competitiva en muchos países (Agencia Internacional de Energía, 2006).

Las fuentes de energía renovable son abundantes en la tierra y perdurarán por miles de años, las usemos o no; estas son: solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidráulica y oceánica. Muchos países, incluido el nuestro, tienen un potencial enorme para su aprovechamiento lo que se atenuará los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las energías convencionales (Vertiz, 1997).

Con el propósito de eliminar de forma gradual y progresiva la utilización de combustibles fósiles no renovables y lograr una transición hacia las energías limpias y renovables, creando conciencia y el compromiso necesario de la industria, los políticos, y los usuarios finales hacia esta tecnología y al servicio que presta, se promueve la utilización e instalación domiciliaria de calentadores solares, de acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES): si en México se instalaran “cinco millones de metros cuadrados de calentadores solares, en menos de 10 años, el GLP equivalente dejado de consumir en los siguientes 20 años sería de 15 millones de toneladas, lo que además evitaría lanzar a la atmósfera casi 30 millones de toneladas de CO₂ principal gas de efecto invernadero causante del cambio climático” (Pilatosky, 2007).

A finales del 2004 se había instalado 164 millones de m² de colectores solares, correspondiente a una capacidad de 115 GWh. China tiene el 38%, Estados Unidos está en segundo lugar (17%) y Japón tercero (4,7%). La Unión Europea representa el 10,4% del mercado internacional, siendo Alemania, Austria y Grecia los principales mercados (Pilatosky, 2007).

En los países desarrollados, las instalaciones de energía solar térmica son elementos cada vez más presentes en el paisaje y son promovidas por normativas como las ordenanzas solares o el reciente Código Técnico de la Edificación. El objetivo es hacer un poco más conocidos estos sistemas, tanto para aquellas personas que ya encuentran los sistemas solares en su nuevo hogar como para quienes se plantean incorporar en sus viviendas esta energía limpia. (Gómez, 2009).

La eficiencia de un artefacto dice mucho de su calidad y rentabilidad. Se debe tener en cuenta en la compra de un equipo el valor de su eficiencia; de ello depende si en su uso se tendrá algún ahorro significativo. En aplicaciones de energía solar, la eficiencia es el factor decisivo en la puesta a punto y rentabilidad de un sistema (Valera, 2007).

La energía solar es radiación electromagnética que emite el sol compuesta de tres tipos: radiación infrarroja (42%), son ondas de calor invisibles para el ser humano, pero sensibles al tacto; la radiación visible (46%), el único rango sensible para la vista humana; y la radiación ultravioleta (12%), no la podemos visualizar, causa la insolación de la piel en la playa y dependiendo de la sensibilidad, puede causar cáncer de piel, por ser radiación de alta energía. A la superficie terrestre llegan mayormente la radiación visible y la infrarroja, para diversas aplicaciones (fototérmicas, fotovoltaicas, etc.). (Valera, 2007).

La hora, la inclinación de la tierra respecto del sol, condiciones meteorológicas y grado de contaminación son factores que influyen sobre la incidencia del sol, llegando a ser la intensidad de la radiación en la superficie terrestre 900 W/m^2 , aprovechando el calor (conversión térmica) y la luz (conversión fotovoltaica). La energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:(Tegueste, 2011).

Dispersión: Su valor apenas alcanza 1 kWh/m^2 , muy por debajo de otras intensidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.

Intermitencia: Hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada.

La energía solar es esencialmente radiación electromagnética que emite el sol debido a su temperatura.

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

$$1000 \text{ W/ m}^2 \geq RD \geq 0 \quad \text{y} \quad 400 \text{ W/ m}^2 \geq Rd \geq 100 \text{ W m}^2$$

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).

Según su incidencia, la radiación solar puede ser (Margevicius, 1984).

- Radiación directa: Proviene directamente del sol, es aquella que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de la propia radiación y se caracteriza por ser una luz cegadora.
Una superficie captadora absorberá mayor radiación directa, si se instala con una inclinación que la coloque perpendicularmente a los rayos solares. De lo contrario tendrá pérdidas que pueden incrementarse en cuanto más oblicua este.
- Radiación difusa: Es la producida por las nubes, tiene una radiación más débil que la directa, es térmicamente aprovechable y sus rayos son los encargados de producir el color azul del cielo.
- Radiación reflejada: Está constituida por la radiación directa o difusa que es reflejada cuando incide sobre la superficie de la tierra.

Una superficie captadora colocada en forma horizontal no recibirá ninguna radiación reflejada, pues no ven superficie terrestre. En tanto que las se colocan en posición vertical reciben más radiación. A manera de resumen, se tiene que la radiación total que incide sobre una superficie inclinada es igual a la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada.

Las localidades ideales para aplicaciones solares poseen dosis de radiación casi constante todo el año. Para el Perú, los datos oscilan entre 4 y 6,5 kWh/m² (Estación Meteorología UNI Cajamarca). En la Región Amazonas, los datos están entre 3,22 y 5,99 kWh/m² debido a que no presenta mucho tiempo de radiación efectiva por las condiciones climáticas (Estación meteorológica INDES - CES Amazonas).

Los requerimientos de la demanda de energía calorífica de la instalación deberán satisfacerse realizando la selección adecuada de la superficie de captación (1m² de colectores a instalar) y optimizando el rendimiento del colector. La optimización del rendimiento de los colectores depende mucho de la forma en que estos sean conectados. Los colectores pueden conectarse en paralelo (para incrementar el flujo), en serie (para aumentar la temperatura) y serie-paralelo (para combinar las condiciones anteriores) (McCartney, 1978).

Los calentadores solares son sencillos y resistentes, pueden tener una vida útil de hasta 20 años sin mayor mantenimiento. En muchos climas un calentador solar puede disminuir el consumo energético utilizado para calentar agua. Tal disminución puede llegar a ser de hasta 50 % - 75 % o inclusive 100 % si se sustituye completamente, eliminando el consumo de gas o electricidad. Aunque muchos países en vías de desarrollo cuentan con climas muy propicios para el uso de estos sistemas, su uso no está extendido debido al costo inicial de la instalación. En varios países desarrollados las normativas estatales obligan a utilizar estos sistemas en viviendas de nueva construcción (Barral y Wood, 1984).

La terma solar permite calentar agua con la radiación solar y almacenarla para ser usada en cualquier momento. La eficiencia y vida media de un calentador solar depende de los materiales y el diseño empleados (Valera, 2007). Consta de colector solar, tanque de almacenamiento de agua y sistema de tuberías.

Los colectores solares son utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido; es decir, para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas (Cárdenas et al., 2006). 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).

El colector solar puede utilizar la radiación solar difusa (reflejada por las nubes), además de la directa. El calentamiento del agua en el colector y su paso al tanque de almacenamiento tiene lugar usualmente entre las 9 y las 15 horas; después, la temperatura del agua en el colector es menor que en la parte superior del tanque interrumpiéndose el termosifón, permaneciendo el agua caliente en el tanque, cuyo calor conservará dependiendo del aislamiento dispuesto a su alrededor (Valera, 2007).

El colector solar presenta una superficie absorbente de radiaciones solares. Se coloca sobre una estructura protectora (caja de madera o de plancha galvanizada). En la parte superior se coloca una lámina de vidrio y por la parte inferior y los laterales se colocan material aislante. Dentro de este se coloca una parrilla de tubos por los que circulará el agua que será calentada (Cabirol y Roux, 2006).

El sistema de tuberías tiene la función de transportar el agua fría o caliente a través de los elementos que forman la terma solar. Se puede utilizar tuberías de cobre, fierro galvanizado o plástico especial para agua caliente. Debe estar apropiadamente aislado, tanto para su protección como para evitar las pérdidas de calor del agua.

Para la buena circulación natural del agua entre el colector y el tanque de almacenamiento; 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).

La terma solar basa su operación en los siguientes principios físicos:

- La pintura negra mate absorbe al máximo la radiación directa y la difusa. El coeficiente de absorción α es la fracción de radiación que absorbe; pintura blanca $\alpha = 0,25$, pintura negra esmalte $\alpha = 0,80$ y pintura negra mate $\alpha = 0,90$ (Valera, 2007).
- El efecto invernadero generado por el vidrio que es transparente a la radiación solar (visible e infrarroja); pero opaco a la radiación infrarroja lejana que emite el cuerpo calentado, actuando como una trampa de calor.
- La conducción del calor por un gradiente de temperatura, ocurre entre la lámina metálica absorbente y los tubos, y de éstos al agua que circula por su interior.

- El agua circula en el sistema por termosifón producido por el incremento de su temperatura en el colector solar. El agua caliente es menos densa que la fría y sube al tanque, estableciéndose una circulación natural, sin necesidad de equipo de bombeo.

La eficiencia energética (η_E) de una terma solar se define como el cociente entre la energía térmica útil ganada por la terma y la energía solar recibida o disponible ese día. Se debe tener en cuenta la evolución de la temperatura en el tanque de agua y la radiación solar correspondiente. Un colector plano puede llegar a temperaturas entre 65 - 90°C con una eficiencia de 40 - 60% (Valera, 2007).

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).

Para comprender el comportamiento térmico de los sistemas de calentamiento de agua, es muy importante conocer las formas o mecanismos de transmisión de calor. El calor es un estado de agitación molecular que se propaga de un cuerpo a otro y se realiza de tres formas diferentes. (Goetzbege, 1987).

- **Conducción:** Ocurre cuando la energía calorífica viaja de una molécula a otra, existiendo un contacto físico directo. Un ejemplo de ello es cuando se calienta una sartén en una estufa.
- **Convección.:** Se presenta en los fluidos, mismos que al calentarse se expansionan y hacen que cada una de sus unidades volumétricas se vuelvan más ligeras,

provocando que el calor escape hacia arriba dando lugar a corrientes llamadas de convección.

- **Radiación.:** A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no necesita de un medio físico para propagarse; puede atravesar el vacío transmitiéndose de un cuerpo caliente a uno frío. Se transmite en forma de radiación electromagnética y su intensidad depende de la temperatura a la que se encuentre.

La optimización del rendimiento de los colectores depende mucho de la forma en que estos sean conectados. Los colectores pueden conectarse de la siguiente manera:

a) Conexión en serie

El objetivo de esta configuración es el de alcanzar temperaturas más altas, sin importar que se reduzca el rendimiento. El flujo entre cada colector es el mismo, no así la temperatura que va incrementándose al paso por cada uno de ellos y afecta al último colector, el cual debe soportar una temperatura muy elevada que a su vez afecta su rendimiento. Por este motivo, se limita el número de colectores a usarse en este tipo de conexión (McCartney, 1978).

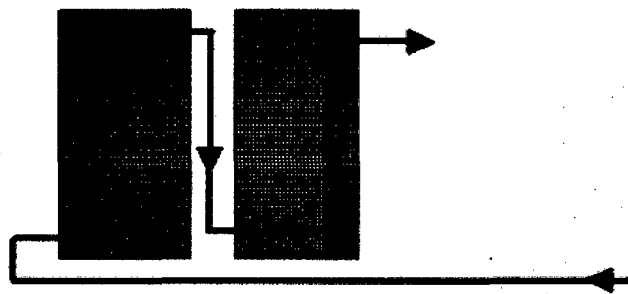


Figura 1. Conexión de colectores solares en serie.

b) Conexión en paralelo

El objetivo es evitar pérdidas de carga en los tubos de cada colector. Por otro lado, debe garantizarse que todos los colectores trabajen en las mismas condiciones, es decir que tengan un flujo equilibrado. Esta configuración además de aumentar el flujo, mantiene una temperatura de trabajo baja que implica menores pérdidas del total de la energía recogida. Un grupo de colectores solares conectados en paralelo capta más energía que otros conectados en serie (McCartney, 1978).

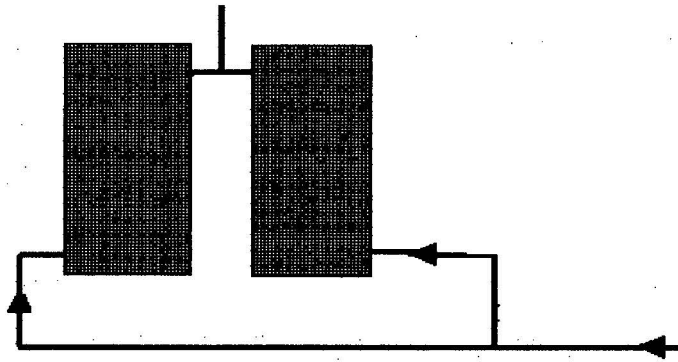


Figura 2. Conexión de colectores solares en paralelo

Los colectores solares usados para el calentamiento de agua deberán de tener una inclinación igual a la de la latitud del lugar donde se instalan, orientándolos hacia el sur con una tolerancia máxima de desviación horizontal y vertical de 15°, cualquier variación en este parámetro traerá consigo la reducción de su eficiencia. 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 (Gutiérrez, 2004).

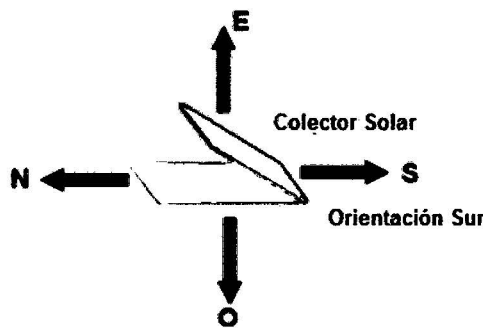


Figura 3. Posición e inclinación de un colector solar

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 (Valera, 2007).

En la Tabla 1 se mencionan algunos dispositivos convencionales, su función de transformación energética y su eficiencia.

Tabla 1. 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.

El colector solar es el constituyente más importante de una terma solar y de cuyo diseño y acabado depende el rendimiento global de la terma. A su vez el corazón del colector lo constituye la placa colectora. Los materiales constructivos de la placa colectora son esencialmente los materiales conductores. Se considera como terma referencial, aquella cuyo colector es construido en base a cobre, lo que ordinariamente corresponde a una terma clásica y presenta el mejor grado de eficiencia (Valera, 2007).

Tabla 2: Efecto de los materiales del colector solar.

Colector	Cobre	Aluminio	Hierro	Plástico
Temperatura promedio Máxima (15h)	74°C	73°C	67°C	54°C
Temperatura promedio Mínima(7h)	60°C	59°C	55°C	46°C
Temperatura media ganada	48°C	47°C	42°C	31°C
Eficiencia(η_{eff})	43%	42%	38%	28%
Eficiencia relativa	Ref	-2%	-12	-35%

Fuente: (Valera, 2007).

El parámetro más significativo de un dispositivo solar es el valor de su eficiencia (η).

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 (Pilatowsky et al., 2007).
- La calidad del colector. Depende del diseño termo mecánico 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.

Los materiales, para cubrir el colector solar tales como el vidrio, deben de ser transparentes a la luz, y a la vez opacos al calor. Esta propiedad del vidrio común se denomina “efecto invernadero” y 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 (Valera, 2007).

Los materiales aislantes se emplean en todos los componentes de la terma solar por su propiedad de poseer un coeficiente de conductividad térmica muy bajo, de tal modo 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. (Valera, 2007).

Para aprovechar mejor la radiación solar, en el colector se debe emplear materiales conductores, que 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.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales para la construcción de los colectores

- Tubo de PVC para agua caliente de ½"
- Tubo de PVC de 1"
- Te de PVC para agua caliente de ½"
- Te de embone de PVC de 1"
- Codo de PVC para agua caliente de ½" x 90°
- Codo embone de PVC de 1" x 90°
- Reducción de PVC de 1" a ½"
- Unión universal para agua caliente de PVC de ½"
- Pegamento Oatey de 1/32 gl para tubería de PVC de agua caliente
- Pintura esmalte mate negro: 1/8 gl
- Vidrio transparente incoloro: 4mm de espesor: 02
- Cartucho de silicona para pegar vidrio
- Plancha de tecnoport de 1" x 1,2 m x 2,4 m
- Termómetro de 0 a 150°C
- Plancha de triplay de 1 m x 1 m x 4 mm
- Listones de madera de 4" x 1" x 5 m
- Listones de madera de 2" x 2" x 5 m
- Clavo para madera de 2"
- Clavo para madera de 1"
- Planchas de calamina de 0,22 mm
- Alambre de amarre galvanizado
- Varilla de ángulo de 1" de aluminio
- Rollo papel de aluminio
- Válvula de entrada de agua a tanque de water
- Llave de paso de plástico de ½"

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 tecnoport: 01

- Chips de tecnoport: 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 1/2"x 15 cm con 5 cm de rosca: 03
- Unión de PVC de 1/2" con rosca: 02
- Arandelas de jebe microporoso de 1/2": 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 1/2": 01
- Llave de paso de plástico de 1/2": 02
- Cinta teflón: 08 rollos
- Niples de PVC de 1/2"x 15 cm con 5 cm de rosca: 01
- Arandelas de jebe microporoso de 1/2": 04
- Unión de PVC de 1/2" con rosca: 02
- Unión de PVC de 1" con rosca: 02
- Codo de PVC de 1/2" de embone: 03
- Codo de PVC de 1" de embone: 03
- Codo de PVC de 1/2" con rosca: 03
- Codo de PVC de 1" con rosca: 03
- Te de PVC de 1/2" de embone: 02
- Te de PVC de 1" de embone: 02
- Termómetro de 0 a 150°C: 05
- Tapón hembra de fierro galvanizado de 1/2": 03
- Bloque de tecnoport de 90 cm x 30 cm x 30 cm: 04
- Cinta masking de 1": 03
- Tubo de PVC 1/2" pesado para agua: 03

2.4. Otros materiales y herramientas

- Brocha de 2": 01
- Thinner acrílico: 03 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

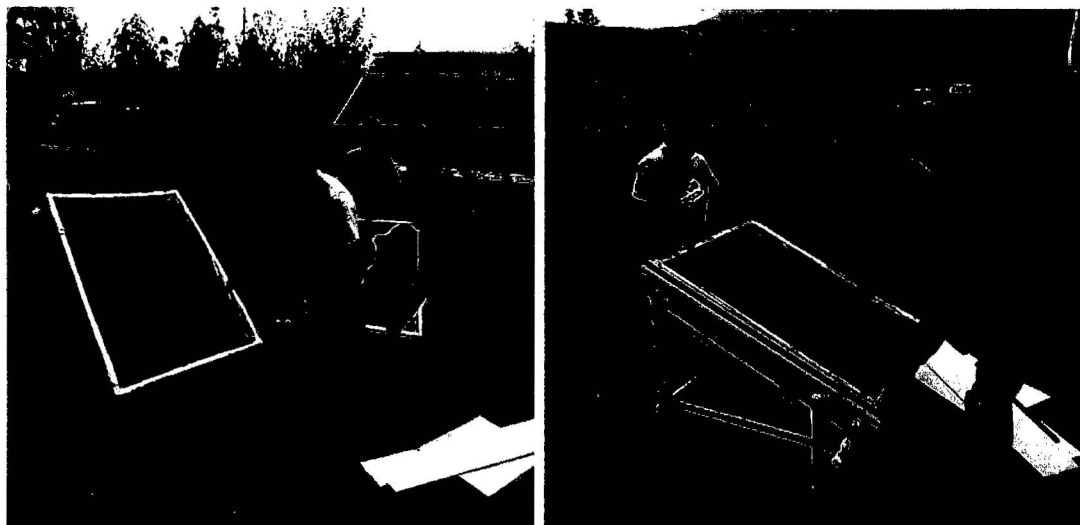
2.5.1. Caja del colector solar

Se construyó de forma rectangular, para cada colector se empleó 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 para cada colector (Fotografía 1).

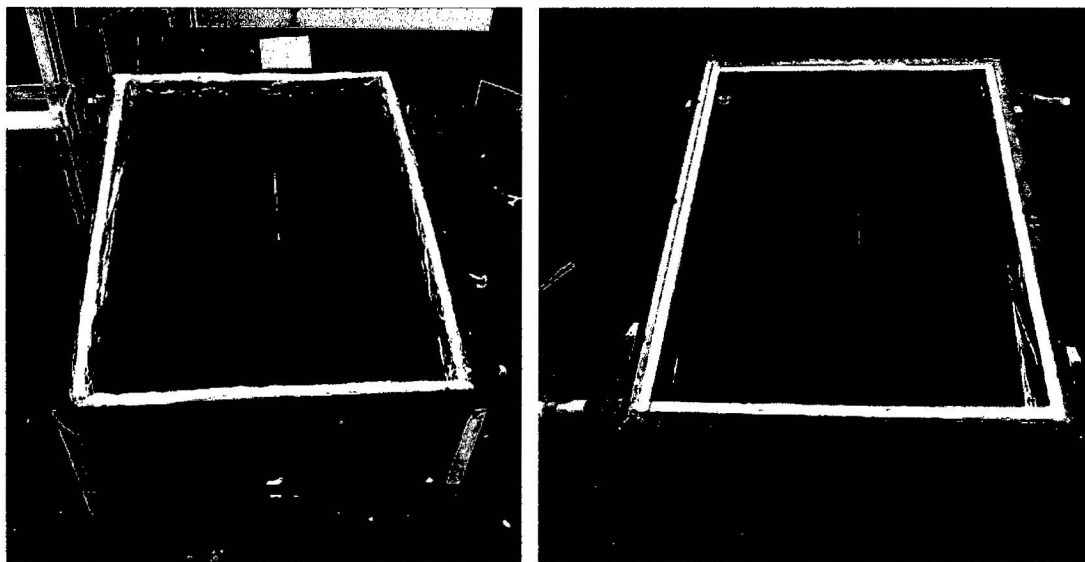
2.5.2. Parrilla de tubos

La parrilla de tubos del primer colector estuvo constituida por 09 tubos de PVC de 1/2" para agua caliente, de 1m de longitud; para el segundo colector se empleó el mismo número de tubos de PVC de 1" y 1 m de longitud. A cada tubo se pegó en su parte inferior y superior una te de PVC para agua caliente de 1/2" y de 1", respectivamente, con niples del mismo material para tener una separación entre tubos de 10 cm. Por la parte inferior de cada

parrilla de tubos ingresará el agua a menor temperatura y por la parte superior saldrá el agua a mayor temperatura. La parrilla de tubos se fijó con alambre sobre la plancha de calamina de la caja del colector, en varios puntos para que tengan un buen contacto y favorecer la conducción de calor. En el centro de la parrilla se colocó un termómetro de vidrio para medir la temperatura en el interior del colector solar (Fotografía 2).



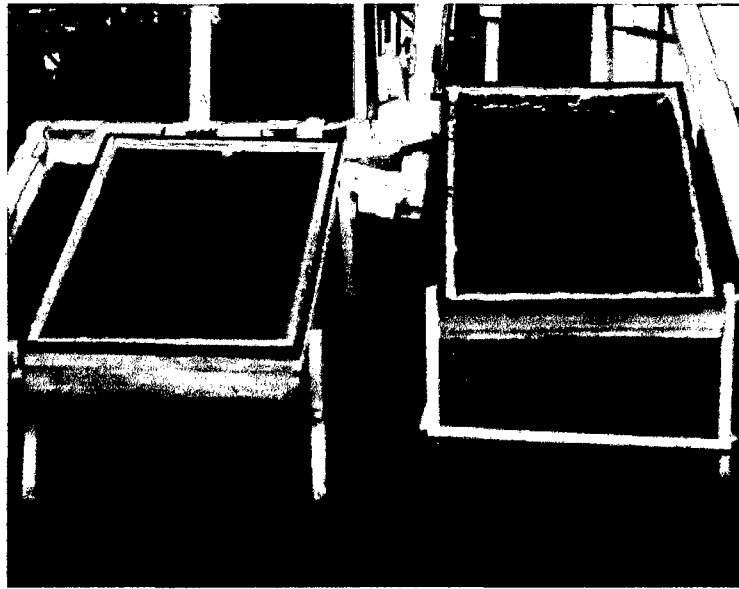
Fotografía 1. Partes del colector solar.



Fotografía 2. Colector solar de $\frac{1}{2}$ " (izquierda) y de 1" (derecha).

2.5.3. Tapa del colector

Se empleó una plancha 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).

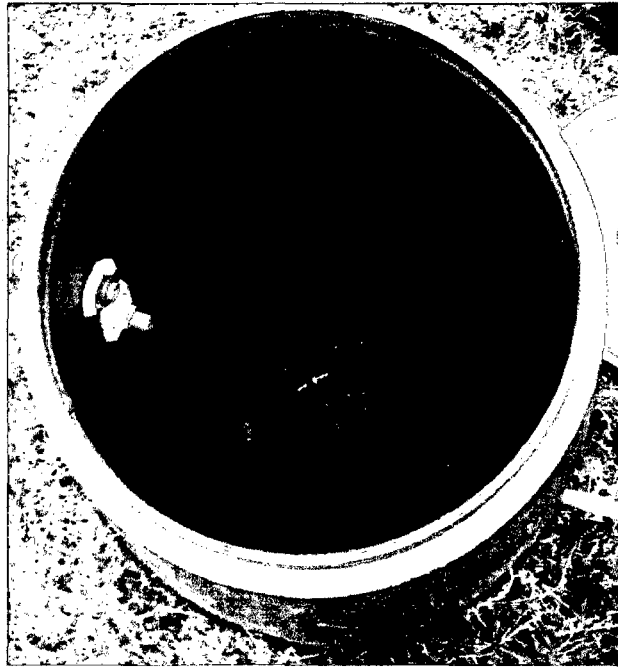


Fotografía 3. Colectores solares terminados.

2.5.4. Tanque de almacenamiento de agua caliente

Se empleó un tanque cilíndrico de polietileno con tapa, de 140 litros, con un volumen de trabajo de 100 litros. Se le hizo un orificio de $\frac{1}{2}$ " a 10 cm de su base, que sirvió para entrada de agua al tanque y para salida del agua hacia los dos colectores; en esta entrada se colocó una manquera de $\frac{5}{8}$ " x 30 cm con agujeros (como flauta) 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 de los dos colectores y 10 cm arriba se hizo el orificio de $\frac{1}{2}$ " para instalar la tubería de salida de agua caliente a la ducha. Para el aislamiento térmico del tanque se construyó una caja con listones y plancha de triplay, en cuyo interior se colocó planchas y chips de tecnoport alrededor del tanque. Esta caja tiene una puerta de triplay con tecnoport para el ingreso del tanque y facilitar la medición de la temperatura del agua en el interior del

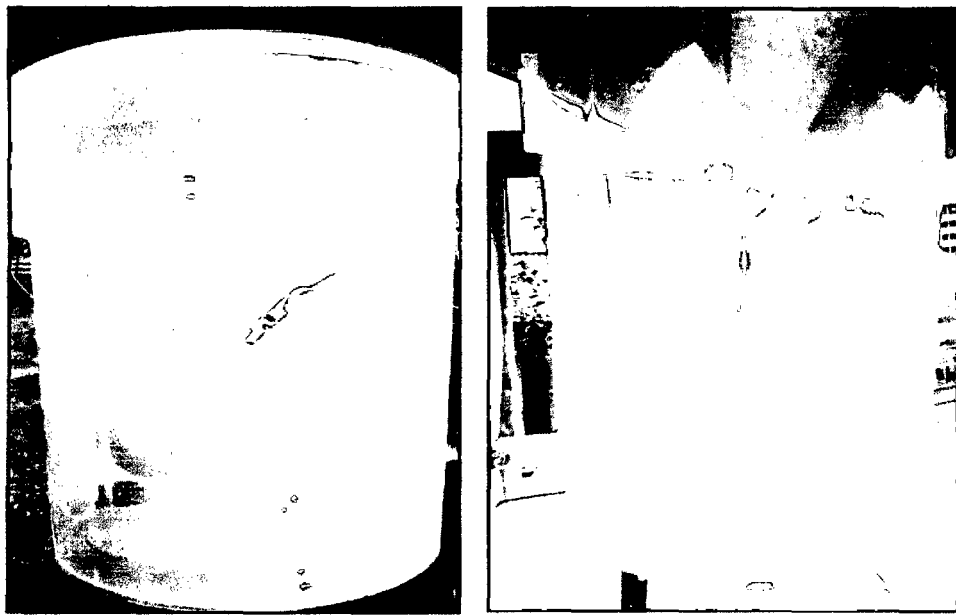
tanque. En la parte superior se colocó un techo de calamina para protegerlo de la lluvia. (Fotografía 4).



Fotografía 4. Tanque de almacenamiento de agua caliente.

2.5.5. Sistema de abastecimiento de agua

Se acondicionó dentro de un balde de plástico de 20 litros, una válvula de tanque de wáter a la que se conectó la red de agua potable. En la base del balde se conectó la salida de agua hacia el tanque de almacenamiento, de manera que se mantenga siempre lleno, reponiendo el agua que se consume. 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).



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

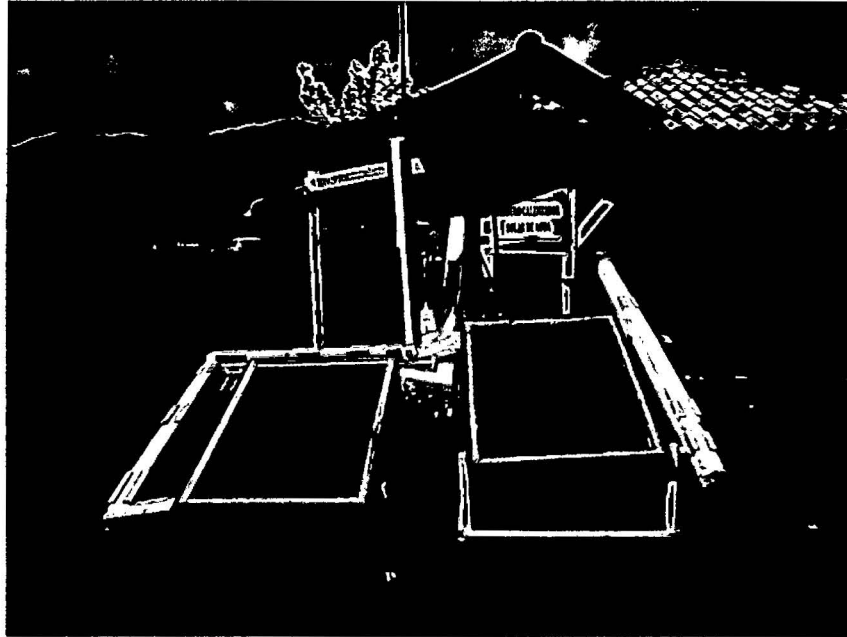
2.5.6. Conexión de los colectores

En la presente investigación se empleó dos colectores solares, el primero hecho con tubos de $\frac{1}{2}$ " y el segundo con tubos de 1", ambos colocados con una inclinación de 30° , ubicados para que les de sol todo el día. El tanque para almacenamiento de agua se ubicó a 35 cm arriba del borde superior de ambos colectores. Para llenar con agua todo el sistema, se abrió la llave de 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 $\frac{1}{2}$ " hacia el fondo del tanque y de éste hacia los colectores. Se evaluó primero la conexión de los colectores en serie y luego en paralelo.

2.5.7. Conexión en serie

El agua ingresó primero por la parte inferior del colector con parrilla de tubos de $\frac{1}{2}$ ", que en esta disposición funcionó como precalentador del agua, en cuya entrada se colocó un termómetro para medir la temperatura del agua alimentada. El agua circuló de manera ascendente por los tubos del primer colector, de donde pasó al segundo colector con parrilla de tubos de 1" que funcionó como calentador final, al que ingresó por su parte inferior, ascendió por la parrilla de tubos y de aquí pasó al tanque aislado para su almacenamiento (Figura 1). Cuando alcanzó el nivel de 100 L, la boya de la válvula de tanque de wáter cerró el ingreso de agua, quedando la terma solar

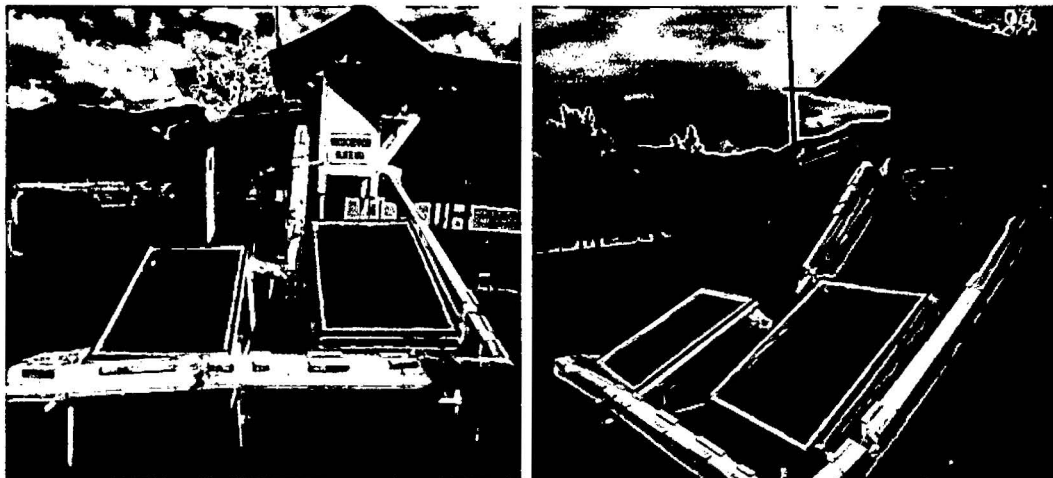
lista para su funcionamiento. Todo el sistema de tuberías se aisló con tecnoport (Fotografía 6).



Fotografía 6. Terma solar con colectores en serie.

2.5.8. Conexión en paralelo

El agua ingresó de manera simultánea por el fondo de cada uno de los colectores solares, ascendió por la parrilla de tubos y se dirigió al tanque de almacenamiento (Figura 2, Fotografía 7).



Fotografía 7. Terma solar con colectores en paralelo.

2.5.9. 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 primer colector solar, en el interior de éste, temperatura del agua en la salida del primer y segundo colector, en el interior del segundo colector y la 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 y radiación solar.

Durante los días de evaluación se obtuvo datos para los tipos de días: soleados, combinados, nublados, sin cambiar el agua de la terma. Además, se evaluó dos días enfocando la luz solar con un espejo hacia los dos colectores, haciéndose el registro de datos como en los demás días de evaluación (Fotografía 8).



Fotografía 8. Enfoque de la luz solar con dos espejos hacia los colectores.

2.5.10. Eficiencia de la terma solar

Se calculó empleando la siguiente relación:

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

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

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, es el área bajo la curva de radiación solar vs tiempo, calculada 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 los colectores y éstos transfirieron su calor al agua. El incremento de temperatura del agua contenida en los tubos de los dos colectores 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 de los dos colectores sea igual a la temperatura del agua dentro del tanque de almacenamiento. Para cada evaluación se cambiaba completamente el agua del sistema. Con los colectores en serie se tomaron los datos en tres tipos de días: soleados, combinados y nublados. La conexión en paralelo se evaluó en cinco tipos de días: soleados, combinados, nublados, sin cambiar el agua y enfocando la luz solar con dos espejos. Cada día desde las 8:00 hasta las 16:00 horas y cada 30 minutos, se registró las temperaturas de: entrada del agua al primer colector solar, en el interior de éste, temperatura del agua en la salida del primer y segundo colector, en el interior del segundo colector y la del agua en el tanque de almacenamiento.

3.1. Colectores conectados en serie

3.1.1. 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 47 a 49 °C. Los resultados obtenidos en promedio de 4 días soleados se muestran en la Figura 4 y la Tabla de datos está en el Anexo 1.

A las 8:00 am la temperatura ambiente estuvo por debajo de los 15°C, en el transcurso de la mañana se incrementó hasta la 1:00 de la tarde en que llegó a 21°C, a partir de esa hora empezó a disminuir llegando a las 16:00 horas (4:00 pm) a una temperatura menor de 20°C.

La radiación solar aumentó desde 0,2 kWh/m² a las 8:00 am, hasta su pico más alto de 1kWh/m² a las 11:30 am. Similar comportamiento tuvo la temperatura en el interior del primer colector que se incrementó de forma

acelerada llegando a su punto más alto (97°C) a la 1:00 de la tarde; asimismo, la temperatura en el interior del segundo colector se incrementó llegando a su punto más alto (80°C) a partir de la 1:00 de la tarde.

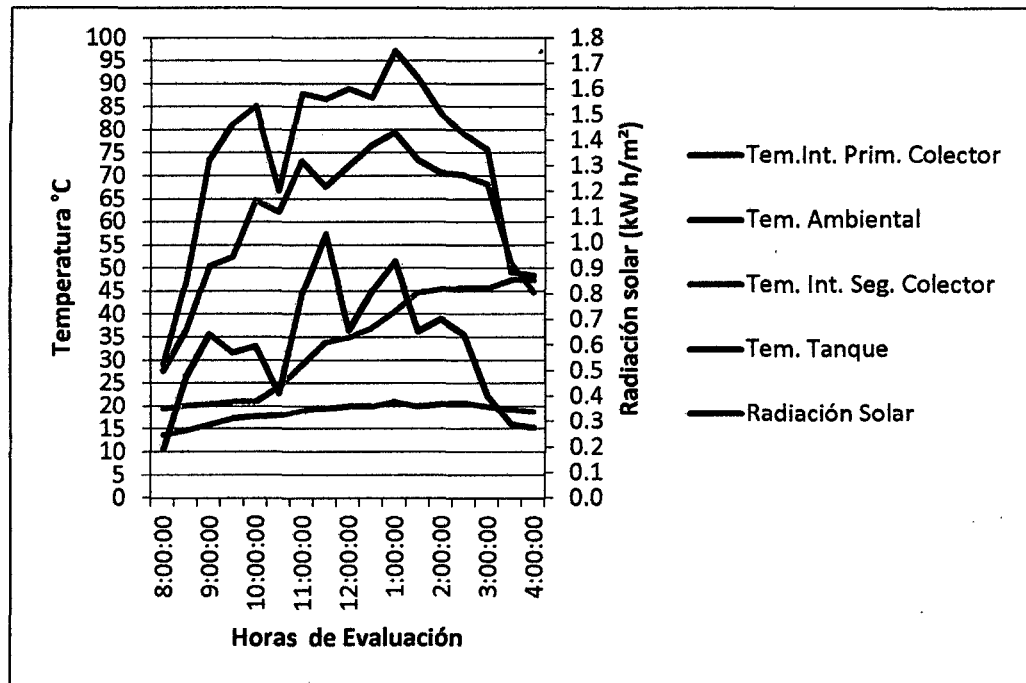


Figura 4. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y del ambiente vs tiempo; en días soleados con colectores conectados en serie. Fuente: elaboración propia.

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 11:30 am y luego comenzó a descender.

Al inicio de cada evaluación, el agua se encontraba en promedio a 17 °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 28 °C.

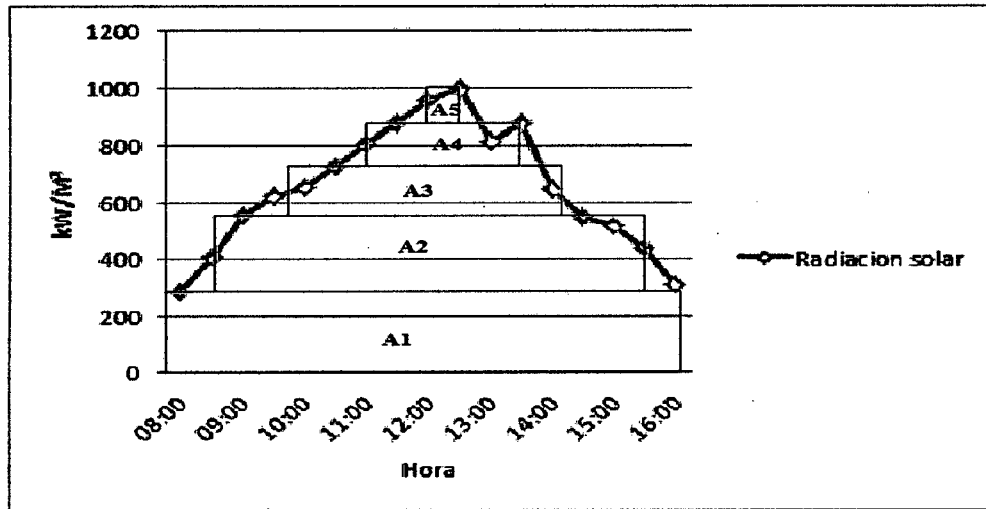


Figura 5. Determinación del área bajo la curva para calcular la radiación solar kWh/m².

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

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

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

$$ET = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \times (48^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$ET = 11,70 \times 10^6 \text{ J}$$

$$ES = \text{es} \cdot A$$

La radiación solar recibida (es) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 5, obteniéndose 5,66 kWh/m²

$$\text{es} = (5,66 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$\text{es} = 20,37 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$Es = 20,37 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$Es = 20,37 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta E = \frac{11,70 \times 10^6 \text{ J}}{20,37 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta_E = 0,57$; en porcentaje la eficiencia será de 57 % para días soleados.

3.1.2. Días combinados

En este grupo se consideró a los días donde se obtuvo temperaturas medias en el interior del tanque entre 33 a 36 °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 días combinados se muestran en la Figura 6 y la Tabla de datos está en el Anexo 1.

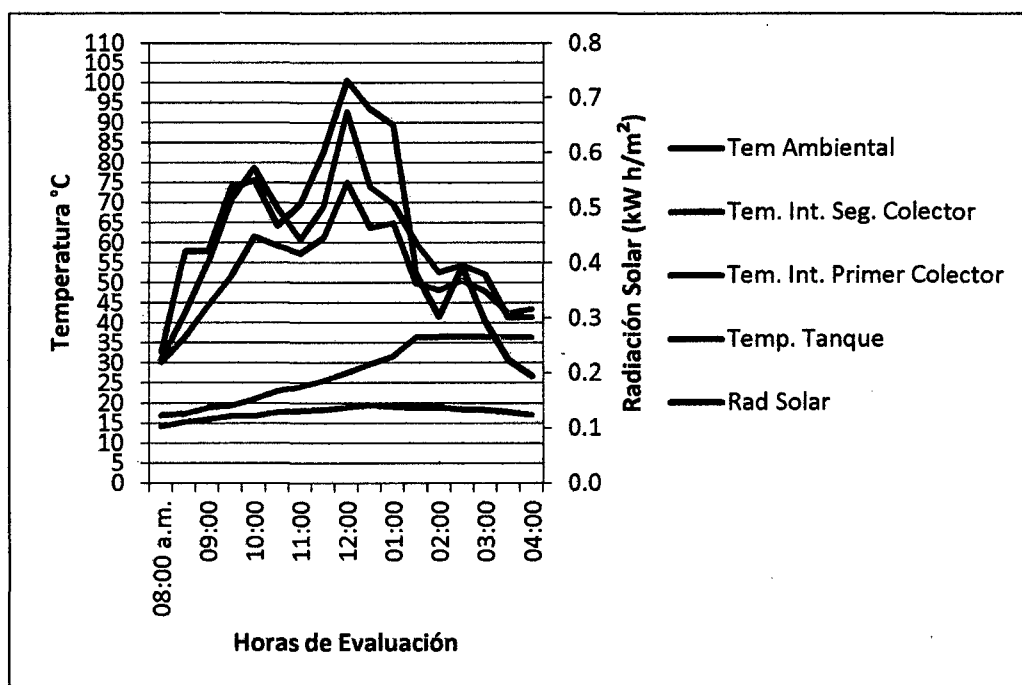


Figura 6. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días combinados con colectores conectados en serie. Fuente: elaboración propia.

La temperatura ambiente osciló entre los 14 y 20 °C teniendo un aumento constante hasta el mediodía, desde ahí descendió hasta una temperatura de 15°C a las 16 horas.

La presencia visible del sol produjo picos de radiación solar hasta 0,7 kWh/m², y en su ausencia descendió hasta 0,3 a 0,4 kWh/m². La radiación solar a las 8:00 y 16:00 horas tuvo el mismo valor de 0,2 kWh/m².

En el interior del primer colector la temperatura varió en comparación con la temperatura ambiente que tuvo un incremento constante, obteniendo su mayor valor a las 12:30 horas.

En el interior del segundo colector la temperatura varió, el primer incremento se dio a las 10:00 horas del día. Luego tuvo un incremento mayor a las 12:30 horas desde ahí descendió hasta las 16 horas.

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

Al inicio, la temperatura del agua a la entrada de los colectores y en el tanque fue de 17°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 25°C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

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

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

$$ET = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \times (36^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C})$$

$$ET = 7,94 \times 10^6 \text{ J}$$

$$ES = \text{es. A}$$

La radiación solar recibida (es) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 5, obteniéndose 4,22 kWh/m²

$$es = (4,22 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$es = 15,19 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$Es = 15,19 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$Es = 15,19 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta E = \frac{7,94 \times 10^6 \text{ J}}{15,19 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta E = 0,52$; en porcentaje la eficiencia será de 52 % para días combinados.

3.1.3. Días nublados

Se consideró a los días en que los dos colectores tuvieron las más bajas temperaturas y calentó el agua solo hasta 28°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 7 y la Tabla de datos está en el Anexo 1.

La temperatura ambiente fue de 14°C, llegando a su máximo valor de 17°C desde las 13:00 hasta las 3:00 horas, luego descendió en el resto de la tarde.

La radiación solar fue muy variable obteniendo su incremento mayor de 0,6 kWh/m², a las 12:30 horas siendo su valor inicial 0,1 kWh/m². El rango de radiación solar fue muy bajo en comparación con un día soleado.

La temperatura en el interior del primer colector fue muy variada teniendo un incremento mayor a las 3:30 horas en comparación con la temperatura ambiente que tuvo un incremento constante. La temperatura en el interior del segundo colector va ascendiendo a partir de las 10:30 horas hasta las 3:00 horas desde ahí descendió hasta las 16 horas.

La radiación solar y la temperatura del interior del primer colector y segundo colector tuvieron similares picos y descensos. El mayor pico se obtuvo entre las 10:30 y 12:30 horas.

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

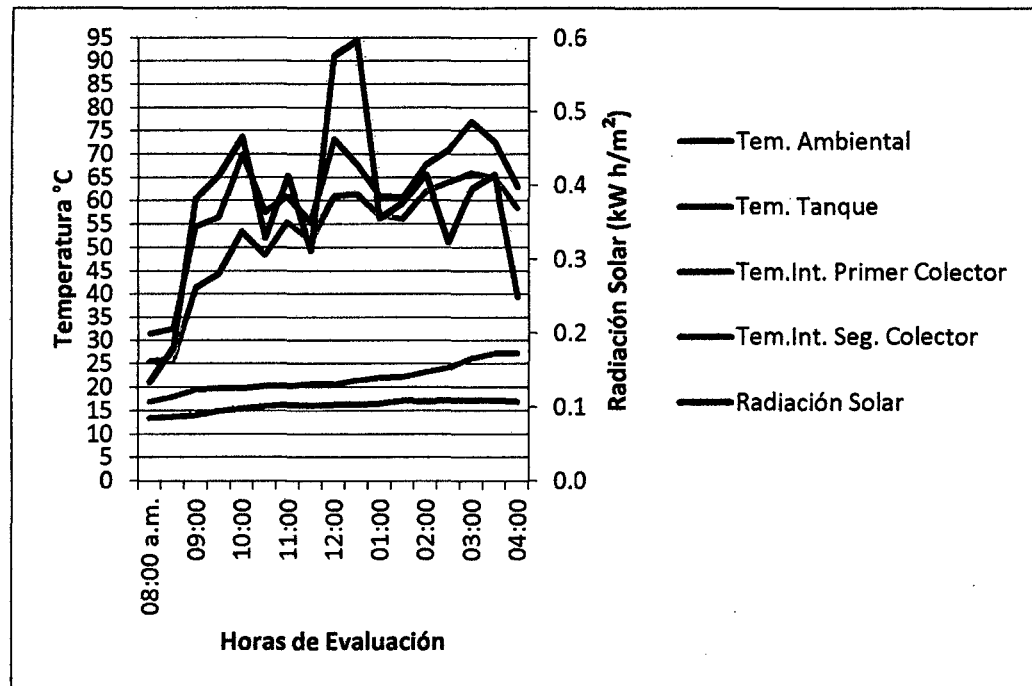


Figura 7. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días nublados con colectores conectados en serie. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas del agua en la entrada y en el tanque fueron las mismas (17 °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 7 °C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

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

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

$$ET = (10^5 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \times (27^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C})$$

$$ET = 4,18 \times 10^6 \text{ J}$$

ES= es. A

La radiación solar recibida (es) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 5, obteniéndose 3,13 kWh/m²

$$es = (3,13 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$es = 11,26 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$Es = 11,26 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$Es = 11,26 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta E = \frac{4,18 \times 10^6 \text{ J}}{11,26 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta E = 0,37$; en porcentaje la eficiencia será de 37 % para días nublados.

La temperatura que alcanzó el primer colector (tubos de ½”) fue mayor que la del segundo colector (tubos de 1”) en los tres tipos de días evaluados; sin embargo, ambas curvas tuvieron la misma tendencia.

3.2. Colectores conectados en paralelo

3.2.1. 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 52 a 57 °C. Los resultados obtenidos en promedio de 5 días soleados se muestran en la Figura 8 y la Tabla de datos está en el Anexo 2.

A las 8:00 horas la temperatura ambiente estuvo por debajo de los 13°C desde ahí el incremento fue constante hasta las 12:00 horas en que llegó a 20°C, a partir de esa hora empezó a disminuir llegando hasta las 16:00 horas a una temperatura menor de 18°C.

La radiación solar llegó a su pico más alto a las 12:00 del día con un valor de 1 kWh/m² y la radiación más baja fue 0,275 kWh/m². En las horas de incremento de la radiación solar también se incrementó la temperatura en el interior de ambos colectores.

La temperatura en el interior del primer colector se incrementó de forma acelerada llegando a su punto más alto (102°C) a las 12:00 horas, la temperatura en el interior del segundo colector se incrementó también de forma acelerada llegando a su punto más alto (76°C) a partir de las 2:00 pm de la tarde.

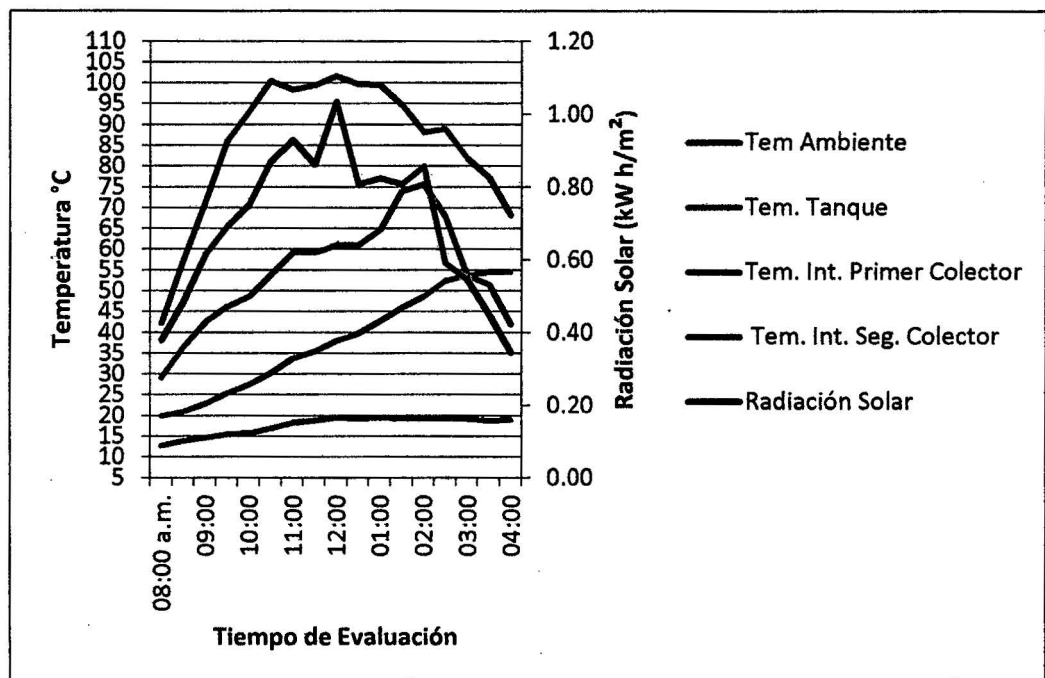


Figura 8. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y del ambiente vs tiempo; en días soleados con colectores conectados en paralelo. Fuente: elaboración propia.

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.

Al inicio de cada evaluación, el agua se encontraba en promedio a 17 °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 34°C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

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

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

$$ET = (10^5 \text{g}) \times (4,18 \text{ J/g}^\circ\text{C}) \times (55^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$ET = 14,63 \times 10^6 \text{ J}$$

$$ES = \text{es.A}$$

La radiación solar recibida (es) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 5, obteniéndose 5,81 kWh/m²

$$es = (5,81 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$es = 20,92 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$Es = 20,92 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$Es = 20,91 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta E = \frac{14,63 \times 10^6 \text{ J}}{20,92 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta E = 0,69$; en porcentaje la eficiencia será de 69 % para días soleados.

3.2.2. Días combinados

En este grupo se consideró a los días donde se obtuvo temperaturas medias en el interior del tanque entre 37 a 45 °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 9 y la Tabla de datos está en el Anexo 2.

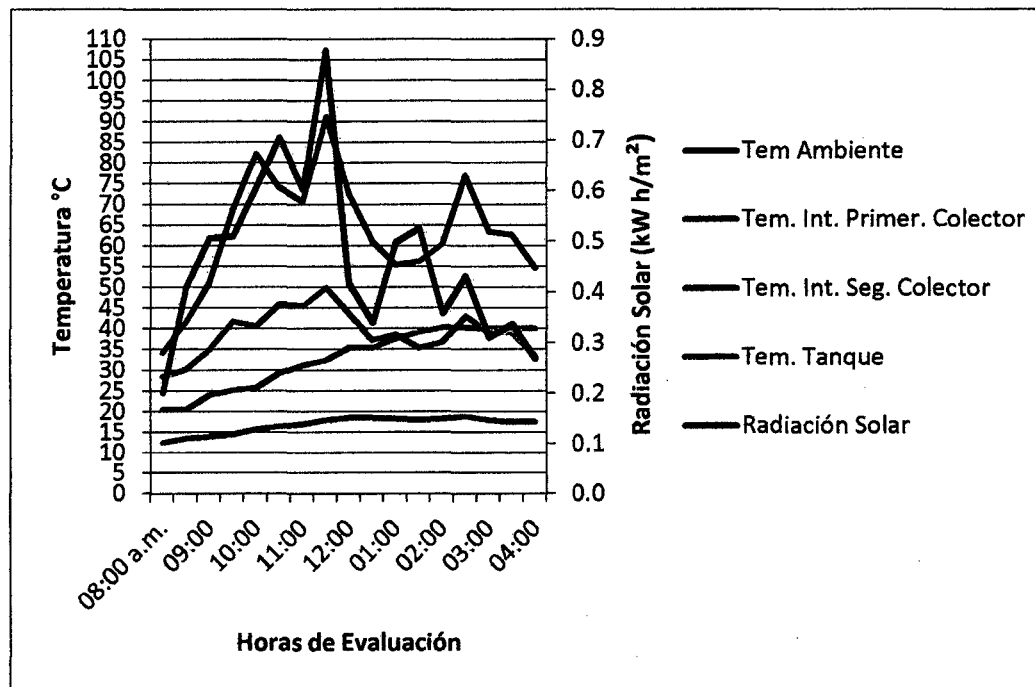


Figura 9. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días combinados con colectores conectados en paralelo. Fuente: elaboración propia.

La temperatura ambiente osciló entre los 13 y 19 °C teniendo un aumento constante hasta el mediodía, desde ahí descendió hasta una temperatura de 18°C a las 16 horas.

La presencia visible del sol produjo picos de radiación solar hasta 0,9 kWh/m², y en su ausencia descendió hasta 0,3 a 0,35 kWh/m².

En el interior de ambos colectores la temperatura varió en comparación con la temperatura ambiente que tuvo un incremento constante, obteniendo su mayor valor a las 12:00 horas. La temperatura en el interior de ambos colectores varió en relación directa con la radiación solar, teniendo ambos picos en horas de presencia visible del sol.

Al inicio, la temperatura del agua en la entrada al colector y en el tanque fueron las mismas (17°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 24 °C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

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

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

$$ET = (10^5 \text{g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \times (40^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

$$ET = 7,94 \times 10^6 \text{ J}$$

ES= es. A

La radiación solar recibida (es) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 5, obteniéndose 3,77 kWh/m²

$$es = (3,77 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$es = 13,57 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$Es = 13,57 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$Es = 13,57 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta E = \frac{7,94 \times 10^6 \text{ J}}{13,57 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta E = 0,58$; en porcentaje la eficiencia será de 58 % para días combinados.

3.2.3. Días nublados

Se consideró a los días en los que el colector tuvo las más bajas temperaturas y calentó el agua solo hasta 35 °C. En estos días no hubo presencia visible del sol, solo nubosidad permanente. Los resultados obtenidos en promedio de 4

días nublados se muestran en la Figura 10 y la Tabla de datos está en el Anexo 2.

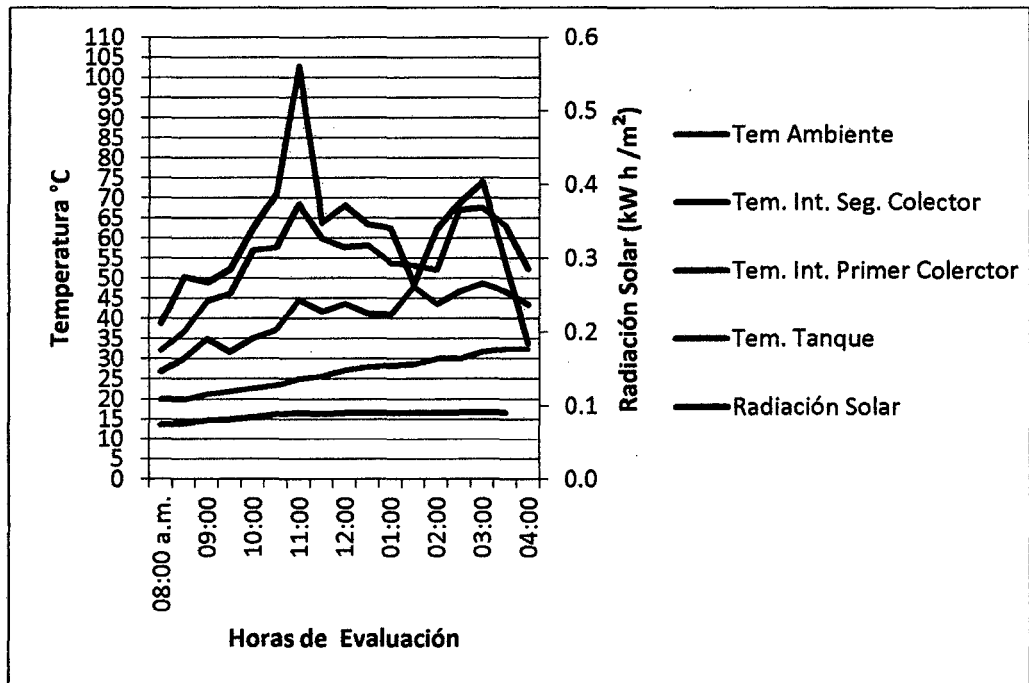


Figura 10. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días nublados con colectores conectados en paralelo. Fuente: elaboración propia.

La temperatura ambiente fue de 13 °C, llegando a su máximo valor de 17 °C desde las 11:00 de la mañana que permaneció constante hasta las 4:00 de la tarde.

La radiación solar fue muy variable llegando a su pico más elevado a las 11:30 am encima de 0,5 kWh/m², siendo su valor inicial 0,2 kWh/m². El rango de radiación solar fue muy bajo en comparación con un día soleado.

La temperatura en el interior del primer colector tuvo un incremento a las 11:30 am con un valor de 69 °C luego descendió hasta las 2:30 de la tarde; varió en comparación con la temperatura ambiente que tuvo un incremento constante.

La temperatura en el interior del segundo colector tuvo un incremento a las 2:00 de la tarde con un valor de 49 °C luego descendió en el resto de la tarde.

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

Las temperaturas del agua en la entrada y en el tanque fueron las mismas (17 °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 15°C.

3.2.4. Días sin cambiar el agua

Fueron tres 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. La temperatura de inicio fue de 30; 38 y 41°C, respectivamente. Los resultados se muestran en la Figura 11 y la Tabla de datos está en el Anexo 2.

La temperatura ambiente tiene un incremento constante hasta un máximo de aproximadamente 20°C, llegando a su máximo valor a las 13:00 horas, luego descendió. La radiación solar se mantuvo alrededor de 0,9 kWh/m² todo el tiempo de evaluación.

La temperatura ambiente en comparación con la temperatura en el interior del primer colector se incrementó de manera constante. La temperatura en el interior del primer colector presentó su pico más elevado a las 10:30 horas del día debido a la presencia súbita del sol, que luego comenzó a descender en horas de la tarde.

La temperatura en el interior del segundo colector se incrementó de manera constante siendo su pico más elevado a las 11:00 horas, después comenzó a descender en horas de la tarde. Las dos curvas tienen la misma tendencia ya que la temperatura del colector depende directamente de la radiación solar.

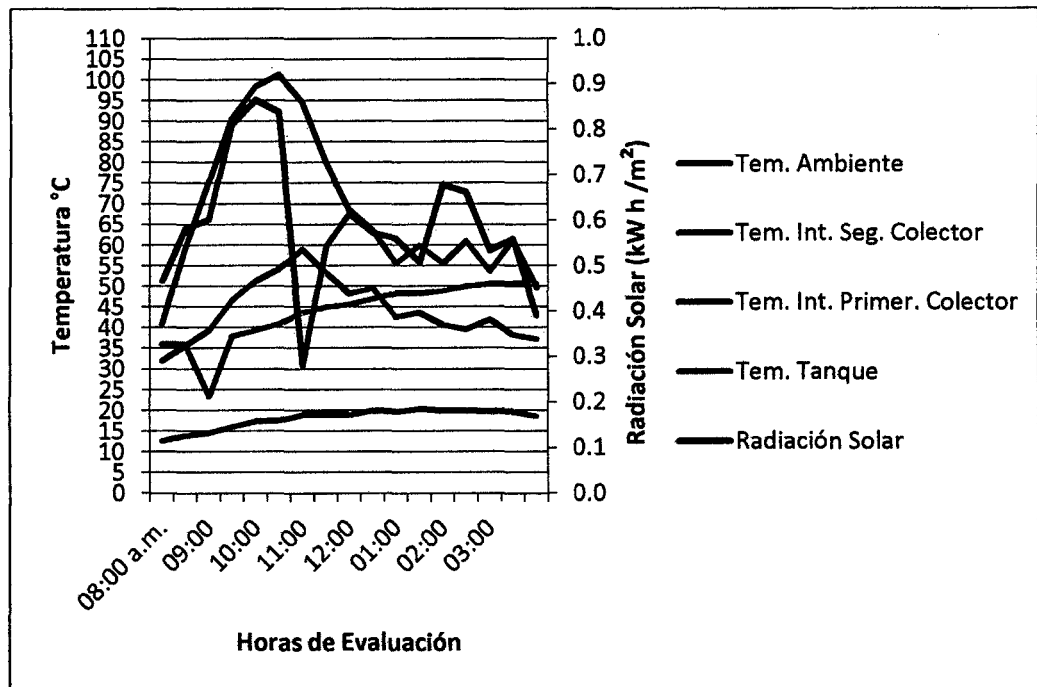


Figura 11. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días sin cambiar el agua con colectores conectados en paralelo. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas del agua en la entrada fue de 17 °C y en el tanque 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 10°C.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

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

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

$$ET = (10^5 \text{g}) \times (4,18 \text{ J/g}^\circ\text{C}) \times (51^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C})$$

$$ET = 6,27 \times 10^6 \text{ J}$$

$$ES = \text{es. A}$$

La radiación solar recibida (es) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 5, obteniéndose 4,59 kWh/m²

$$es = (4,59 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$es = 16,52 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$Es = 16,52 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$Es = 16,52 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta E = \frac{6,27 \times 10^6 \text{ J}}{16,52 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta E = 0,38$; en porcentaje la eficiencia será de 38% para días sin cambiar el agua.

3.2.5. Días enfocando con espejos la luz solar de los dos colectores

Se consideró los tres tipos días que se había enfocado la luz solar a los colectores con dos espejos, para conocer hasta que temperatura puede alcanzar en estas condiciones se muestran en la Figura 12 y la Tabla de datos está en el Anexo 2.

La temperatura ambiente tuvo un incremento constante hasta un máximo de 21°C llegando a su máximo punto en las horas del mediodía, manteniéndose constante en horas de la tarde.

La radiación solar fue muy variable y se incrementó por encima 0,7 kWh/m² a las 2:00 horas de la tarde, de ahí tuvo un descenso llegando a las 4:00 horas a 0,35 kWh/m².

La curva de la radiación solar fue muy variable teniendo su pico más elevado a la 1:30 pm. La temperatura en el interior del primer colector se incrementó hasta 110°C en horas del medio, luego descendió en las horas de la tarde. La temperatura en el interior del segundo colector tuvo su pico más elevado (80°C) al medio día, luego descendió en horas de la tarde. La temperatura en

el tanque tuvo un incremento constante. Las dos temperaturas tienen un incremento constante durante todo el proceso de evaluación teniendo al final una diferencia de aproximadamente 37°C.

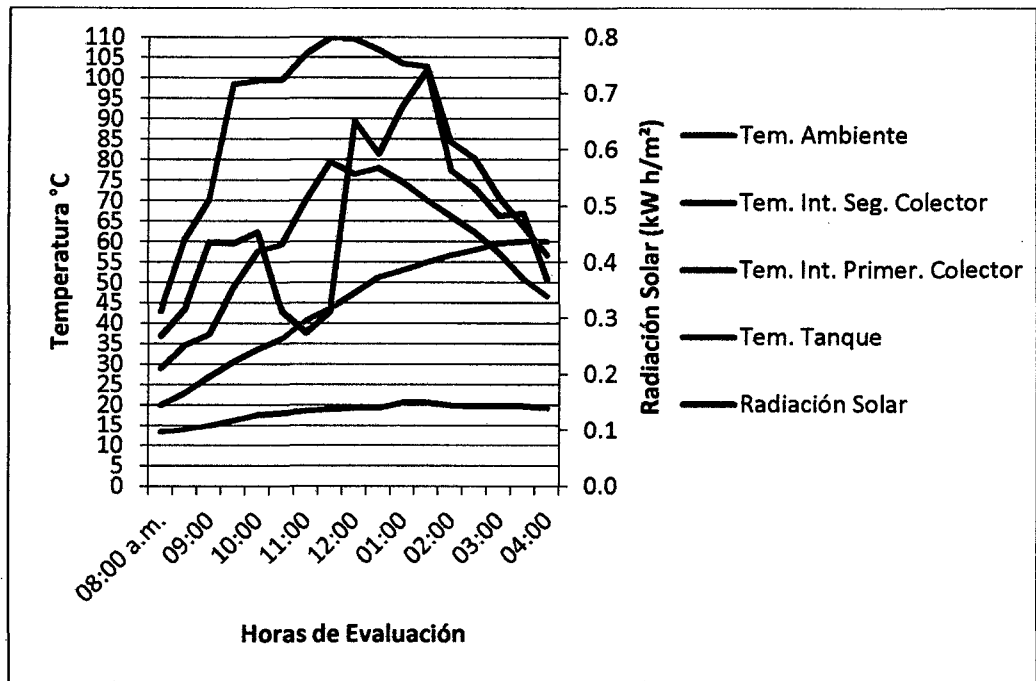


Figura12. Radiación solar, temperatura en el interior del primer colector, en el interior del segundo colector, del agua en el tanque y temperatura ambiente vs tiempo; en días enfocando con espejos la luz solar de los dos colectores con colectores conectados en paralelo. Fuente: elaboración propia.

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

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

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

$$ET = (10^5 \text{g}) \times (4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \times (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$ET = 16,72 \times 10^6 \text{ J}$$

$$ES = \text{es. A}$$

La radiación solar recibida (es) se calculó aplicando el método mostrado en la Figura 5, obteniéndose 6,32 kWh/m²

$$es = (6,32 \text{ kWh/m}^2) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$es = 22,75 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$Es = 22,75 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$Es = 22,75 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{16,72 \times 10^6 \text{ J}}{22,75 \times 10^6 \text{ J}}$$

$\eta_E = 0,73$; en porcentaje la eficiencia será de 73% para días enfocando la luz solar con un espejo hacia los dos colectores.

Con los colectores conectados en paralelo, se apreció que la temperatura alcanzada por el primer colector (tubos de ½") fue mucho mayor que la alcanzada por el segundo colector (tubos de 1"), aunque la tendencia de ambas curvas fue similar. La diferencia de temperatura entre ambos alcanzó hasta 40%.

IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó la eficiencia térmica de una terma solar de agua con dos colectores de 1 m^2 cada uno conectados en serie y luego en paralelo, con un tanque de almacenamiento de agua caliente de 100 L. Con los colectores en serie se tomaron los datos en tres tipos de días cuya eficiencia fue como se indican en porcentajes: soleados (57%), combinados (52%), nublados (37%).

La conexión en paralelo se evaluó en cinco tipos de días cuya eficiencia fue como se indica en porcentajes: soleados (69%), combinados (58%), nublados (44%), sin cambiar el agua (38%), enfocando la luz solar con dos espejos (73%). La tendencia decreciente de la eficiencia se debió directamente a la disminución de la presencia visible del sol, en el cuarto tipo de día, a pesar que el día fue soleado, la eficiencia fue menor que en los demás tipos de días 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 los espejos hacia los colectores permitió tener una eficiencia superior a la del día nublado y cercana a la del día combinado.

Las eficiencias obtenidas en la presente investigación, tanto para la conexión en serie como en paralelo son mayores a las reportadas por Vigo y Trigos (2012), con una terma solar de 100 L con un solo colector de 1 m^2 . Para el caso de la conexión de los colectores en paralelo, la diferencia de eficiencias es: en días soleados 32,7%, combinados 20,8%, nublados 46,7%, sin cambiar el agua del calentador 22,6% y enfocando la luz solar con los espejos hacia los dos colectores 15,9%.

En el presente trabajo de investigación, con los colectores conectados en serie la diferencia de temperatura alcanzada y la radiación solar fue como se indica a continuación: soleados (28°C ; $5,66 \text{ kWh/m}^2$), combinados (19°C ; $4,22 \text{ kWh/m}^2$), nublados (10°C ; $3,13 \text{ kWh/m}^2$). Con ambos colectores conectados en paralelo: soleados (35°C ; $5,81 \text{ kWh/m}^2$), combinados (19°C ; $3,77 \text{ kWh/m}^2$), nublados (13°C ; $3,36 \text{ kWh/m}^2$), sin cambiar el agua del calentador (15°C ; $4,59 \text{ kWh/m}^2$) y enfocando la luz solar con los espejos hacia los dos colectores (40°C ; $6,32 \text{ kWh/m}^2$). En consecuencia,

la conexión de los colectores en paralelo permite alcanzar mayor eficiencia a la terma solar, lo que se traduce en un mayor calentamiento del agua.

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 kWh/m² (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 kWh/m² 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.

En el presente trabajo de investigación, cuando los colectores se conectaron en serie, las temperaturas máximas del ambiente, del primer colector, del segundo colector, temperatura del agua de alimentación al primer colector, temperatura del agua de alimentación al segundo colector y del agua en el tanque, fue como se indica a continuación soleados (21, 113, 102, 36, 94, y 49 °C), combinados (21, 108, 85, 33, 81, y 43 °C), nublados (18, 95, 78, 28, 67, y 28 °C). Esto permite asegurar que el colector con tubos de ½” es el que aprovecha más la radiación solar y calienta más el agua, por tanto es más eficiente que el segundo colector hecho de tubos de 1”.

Con ambos colectores en paralelo, las temperaturas máximas del ambiente, del primer colector, del segundo colector, temperatura del agua de alimentación al primer colector, temperatura del agua a la salida del primer colector, temperatura del agua a la salida del segundo colector, y del agua en tanque fue: soleados (20, 108, 84, 38, 82, 73, y 57 °C), combinados (20, 105, 58, 28, 67, 52 y 45 °C), nublados (17, 94, 75, 25, 58, 42, y 35 °C), sin cambiar el agua del calentador (21, 105, 62, 43, 74, 52 y 52 °C) y enfocando la luz solar con los espejos hacia los dos colectores (21, 125, 85, 38, 86, 65 y 61 °C). Para este último tipo, el día fue de tipo combinado; sin embargo, el enfoque de la luz solar con los espejos hacia los dos colectores permite incrementar la temperatura del agua 17°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 (73 %). El incremento de temperatura del agua en el calentador solar está relacionado directamente con la presencia visible del sol. La conexión de ambos colectores en paralelo permite destacar el desempeño más eficiente del colector hecho con tubos de ½”.

Para todos los tipos de días evaluados se ha logrado incrementar la temperatura del agua como mínimo, con conexión en serie: 7,7°C; en paralelo: 10,5°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 en el tanque de almacenamiento a 57 °C (con colectores en paralelo) con aislamiento térmico, durante la noche disminuyó su temperatura en 8°C (bajó a 49°C); sin embargo, en la mañana siguiente se pudo retirar 20 litros de agua y su temperatura solo disminuyó 1°C (48 °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.

La optimización del rendimiento de los colectores depende mucho de la forma en que estos sean conectados. Los colectores pueden conectarse en paralelo (para incrementar el flujo), en serie (para aumentar la temperatura). En la conexión en serie, el flujo entre cada colector es el mismo, no así la temperatura que va incrementándose al pasar por cada uno de ellos y afecta al último colector, el cual debe soportar una temperatura muy elevada que a su vez afecta su rendimiento. La conexión en paralelo además de aumentar el flujo, mantiene una temperatura de trabajo baja que implica menores pérdidas del total de la energía recogida. Un grupo de colectores solares conectados en paralelo capta más energía que otros conectados en serie (McCartney, 1978). En la presente investigación, la conexión en paralelo ha permitido que la terma alcance una mayor eficiencia que cuando los colectores se conectan en serie.

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. Con los dos colectores conectados en serie, la eficiencia de la terma solar fue: soleados (57%), combinados (52%), nublados (37%).
2. Con ambos colectores conectados en paralelo, la eficiencia fue mayor: soleados (69%), combinados (58%), nublados (44%), sin cambiar el agua (38%), enfocando la luz solar con dos espejos (73%).
3. Con colectores en serie, la diferencia de temperatura alcanzada y la radiación solar fue como se indica a continuación: soleados (28°C; 5,66 kWh/m²), combinados (19°C; 4,22 kWh/m²), nublados (10°C; 3,13 kWh/m²).
4. Con colectores conectados en paralelo, la diferencia de temperatura alcanzada y la radiación solar fue como se indica a continuación: soleados (35°C; 5,81 kWh/m²), combinados (19°C; 3,77 kWh/m²), nublados (13°C; 3,36 kWh/m²), sin cambiar el agua del calentador (15°C; 4,59 kWh/m²) y enfocando la luz solar con los espejos hacia los dos colectores (40 °C; 6,32 kWh/m²).
5. La terma solar con dos colectores conectados en paralelo es más eficiente que con un solo colector.
6. El colector hecho con tubos de ½" calentó el agua a mayor temperatura que el colector hecho con tubos de 1".
7. Para todos los tipos de días evaluados conectados se ha logrado incrementar la temperatura del agua como mínimo 10,5 °C con colectores en paralelo, 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.
8. El agua almacenada a 57 °C en el tanque con aislamiento térmico, durante la noche disminuye su temperatura en 8°C (49°C), temperatura que se puede bajar mezclándola con agua fría para su uso.
9. 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

1. Las parrillas de tubos de los colectores solares deben hacerse con tubos de ½" y no de 1", porque calentarán más el agua al aprovechar mejor la radiación solar.
2. Cuando el sistema está sin agua, cubrir el colector con alguna manta, de lo contrario el calor solar deformará las tuberías de plástico provocando filtraciones.
3. Usar el agua caliente de preferencia en horas de la tarde o noche, que es cuando la tierra solar ofrece el agua a su máxima temperatura.
4. Para disponer de agua caliente en la mañana, se debe usar solo una parte el día anterior, de tal forma que siempre el tanque de almacenamiento tenga agua caliente.
5. Para usar el agua, la conexión a la ducha debe permitir la posibilidad de mezclar con agua fría, pues el agua puede salir muy caliente.
6. Mantener siempre limpia y libre de obstáculos la superficie de captación del colector solar, limpiando el vidrio con una franela húmeda.
7. Revisar periódicamente toda la instalación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energía. 2006. El caso de la tecnología de la terma solar. París.
- Barral, J. y B. Wood. 1984. "Calentadores solares para agua". Disponible en <http://www.textoscientificos.com/energia/solar/nuevo-colector-solar-acumulador>. Acceso el 19/09/2013.
- 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.
- Cabirol. M, R. Pelissou y J. Roux. 2006. [http://www.textoscientificos.com / energía / calentador - solar/ construcción - tres - calentadores-solares-agua](http://www.textoscientificos.com/energia/calentador-solar/construcción-tres-calentadores-solares-agua). Acceso el 19/09/2013
- Discoli, C., G. Viegas, V. Barros, M. Halt, J.J. Arévalo. 2007. Manual del usuario de tecnología sencilla. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Gómez, C. 2009. Principios elementales de física. Disponible en <http://micalentadorsolar.com/menu/index/introduccion>. Acceso el 19/09/201.
- Gutiérrez Iglesias, V. 2004. Manual de autoconstrucción del calentador solar de bajo coste. Argentina.
- Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. 2007. "Guía didáctica de energía solar". Disponible en http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49ae9a23d0d51/1236188976_Guia_didactica_colectores_solares_termicos.pdf. acceso el 27/03/2013.
- McCartney, Kevin y B. Ford. 1978. Agua caliente solar. H. Blume Editions. España.
- Margevicius, J. 1981. La energía solar y su aplicación en calentadores solares. Universidad Católica - República Dominicana.

- Pilatowsky, I. 2007. Sistema de calentamiento solar de agua. Editorial Grupo Grabado de Morelos S.A. México. Pág. 45.
- Tegueste Saravia, IES. 2011. “Energía solar”. Disponible en http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/10/07_fuentes-de-energ3ada_energ3ada-solar.pdf. Acceso el 19/09/2013.
- Uriarte, M. “Radiación solar”. Disponible en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/uscanga_s_m/capitulo2.pdf. Acceso el 19/09/2013.
- 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.
- Vigo Cruz, Lady V. y Ronal R. Trigoso Valle. 2012. Eficiencia térmica de un calentador solar de agua de 100 litros con un solo colector de 1 m². Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú

ANEXOS

ANEXO 1

DATOS EXPERIMENTALES CON COLECTORES CONECTADOS EN SERIE

Tabla 3. Datos experimentales promedio para días soleados

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua de alimentación al segundo colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente °C	Radiación Solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
8:00:00	17	29	24	28	20	14	0.2
8:30:00	18	47	27	37	20	15	0.5
9:00:00	21	74	43	51	21	16	0.6
9:30:00	25	81	58	53	21	17	0.6
10:00:00	28	85	63	65	21	18	0.6
10:30:00	23	67	53	62	23	18	0.4
11:00:00	23	88	57	73	28	19	0.8
11:30:00	20	87	51	68	34	20	1.0
12:00:00	22	89	60	72	35	20	0.7
12:30:00	21	87	55	77	37	20	0.8
1:00:00	25	97	62	80	41	21	0.9
1:30:00	23	91	53	74	45	20	0.7
2:00:00	25	84	55	71	46	21	0.7
2:30:00	25	79	63	70	46	21	0.6
3:00:00	26	76	58	68	46	20	0.4
3:30:00	22	49	30	51	48	19	0.3
4:00:00	22	49	34	45	48	19	0.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Datos experimentales promedio para días combinados

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua de alimentación al segundo colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente °C	Radiación Solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
08:00 a.m.	17	31	21	30	17	14	0.2
08:30	18	42	23	36	17	15	0.4
09:00	20	55	32	44	19	16	0.4
09:30	21	71	42	52	19	17	0.5
10:00	24	79	51	62	21	17	0.6
10:30	23	69	49	59	23	18	0.5
11:00	20	61	47	58	24	18	0.5
11:30	22	69	45	61	26	18	0.6
12:00	27	93	58	75	28	19	0.7
12:30	25	74	49	64	30	20	0.7
01:00	22	70	47	65	32	19	0.7
01:30	21	60	42	50	36	19	0.4
02:00	21	53	42	48	37	19	0.3
02:30	23	55	43	51	37	19	0.4
03:00	21	52	44	48	37	18	0.3
03:30	20	41	35	43	36	18	0.2
04:00	19	42	34	44	36	17	0.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Datos experimentales promedio para días nublados

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua de alimentación al segundo colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente °C	Radiación Solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
08:00 a.m.	17	32	19	26	17	14	0.1
08:30	17	33	21	26	18	14	0.2
09:00	18	55	31	42	20	14	0.4
09:30	18	57	38	45	20	15	0.4
10:00	19	70	45	54	20	16	0.5
10:30	21	58	43	49	20	16	0.3
11:00	20	61	43	56	20	16	0.4
11:30	19	56	40	52	21	16	0.3
12:00	21	73	47	61	21	16	0.6
12:30	20	68	47	62	22	16	0.6
01:00	20	61	39	57	22	17	0.4
01:30	21	61	42	56	22	17	0.4
02:00	24	68	42	62	23	17	0.4
02:30	24	71	49	64	24	17	0.3
03:00	25	77	46	66	26	17	0.4
03:30	25	73	48	65	27	17	0.4
04:00	25	63	42	59	27	17	0.2

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

DATOS EXPERIMENTALES CON COLECTORES CONECTADOS EN PARALELO

Tabla 6. Datos experimentales promedio para días soleados

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua a la salida del primer colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua a la salida del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente	temperatura radiación solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
08:00 a.m.	17	42	29	29	27	20	13	0.38
08:30	17	58	31	37	30	21	14	0.49
09:00	18	72	39	43	37	23	15	0.62
09:30	19	86	40	46	41	26	16	0.69
10:00	24	93	39	49	37	28	16	0.75
10:30	19	101	54	54	47	30	17	0.87
11:00	19	99	62	59	41	34	18	0.93
11:30	19	100	68	59	43	36	19	0.86
12:00	20	102	75	61	47	38	20	1.04
12:30	21	100	58	61	50	40	19	0.81
01:00	24	100	70	65	43	43	20	0.82
01:30	25	95	44	74	38	46	19	0.81
02:00	22	88	51	76	44	49	19	0.86
02:30	25	89	52	68	51	53	19	0.59
03:00	27	82	46	54	41	54	19	0.55
03:30	29	77	37	52	34	55	19	0.45
04:00	29	68	34	42	32	55	19	0.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Datos experimentales promedio para días combinados

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua a la salida del primer colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua a la salida del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente	temperatura radiacion solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
08:00 a.m.	17	34	24	29	24	21	13	0.2
08:30	17	42	24	30	26	21	14	0.4
09:00	18	51	30	35	34	24	14	0.5
09:30	18	69	40	42	37	25	15	0.5
10:00	19	82	38	41	36	26	16	0.6
10:30	19	74	42	46	43	29	17	0.7
11:00	19	71	34	46	42	31	17	0.6
11:30	19	91	43	50	40	33	18	0.8
12:00	20	73	45	44	42	36	19	0.4
12:30	21	61	32	37	42	36	19	0.3
01:00	21	56	35	39	38	38	18	0.4
01:30	22	56	36	36	38	39	18	0.5
02:00	22	61	33	37	38	40	18	0.3
02:30	23	77	30	43	41	40	19	0.4
03:00	23	64	30	39	37	40	18	0.3
03:30	24	63	31	39	37	40	18	0.3
04:00	23	55	26	34	36	40	18	0.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Datos experimentales promedio para días nublados

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua a la salida del primer colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua a la salida del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente	temperatura radiación solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
08:00 a.m.	17	32	24	27	24	20	14	0.2
08:30	17	37	27	30	25	20	14	0.3
09:00	18	45	29	35	27	21	15	0.3
09:30	18	46	29	32	24	22	15	0.3
10:00	18	57	31	35	27	23	16	0.3
10:30	18	58	33	37	24	24	16	0.4
11:00	18	69	32	45	22	25	17	0.6
11:30	19	60	31	42	21	26	16	0.3
12:00	19	58	34	44	27	27	17	0.4
12:30	20	58	38	41	24	28	17	0.3
01:00	20	54	33	41	24	28	17	0.3
01:30	20	53	29	48	23	29	17	0.3
02:00	21	52	29	44	23	30	17	0.3
02:30	22	67	31	47	24	30	17	0.4
03:00	22	68	29	49	21	32	17	0.4
03:30	22	63	26	47	25	33	17	0.3
04:00	22	53	25	44	24	33	17	0.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Datos experimentales promedio para días sin cambiar el agua

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua a la salida del primer colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua a la salida del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente	temperatura radiación solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
08:00 a.m.	29	41	30	32	29	36	13	0.5
08:30	29	59	32	36	32	36	14	0.6
09:00	30	75	37	39	37	23	15	0.6
09:30	32	91	39	47	41	38	16	0.8
10:00	33	98	51	51	42	39	17	0.9
10:30	37	101	56	54	46	41	18	0.8
11:00	34	95	54	59	45	44	19	0.3
11:30	36	80	56	53	46	45	19	0.5
12:00	33	69	52	48	42	46	19	0.6
12:30	31	64	42	50	43	47	20	0.6
01:00	29	56	41	43	43	48	20	0.6
01:30	31	60	39	44	40	48	20	0.5
02:00	31	56	34	41	39	49	20	0.7
02:30	28	61	34	40	38	50	20	0.7
03:00	29	54	35	42	39	51	20	0.5
03:30	29	61	37	38	38	51	20	0.6
04:00	30	50	35	37	37	51	19	0.4

Fuente: Elaboración propia

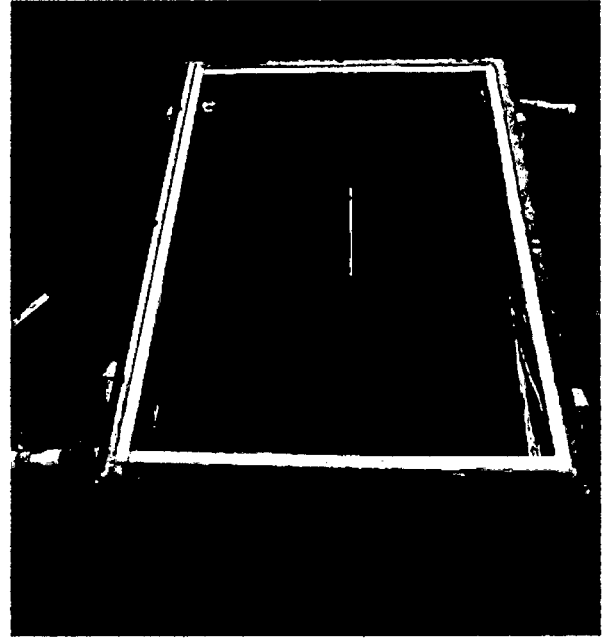
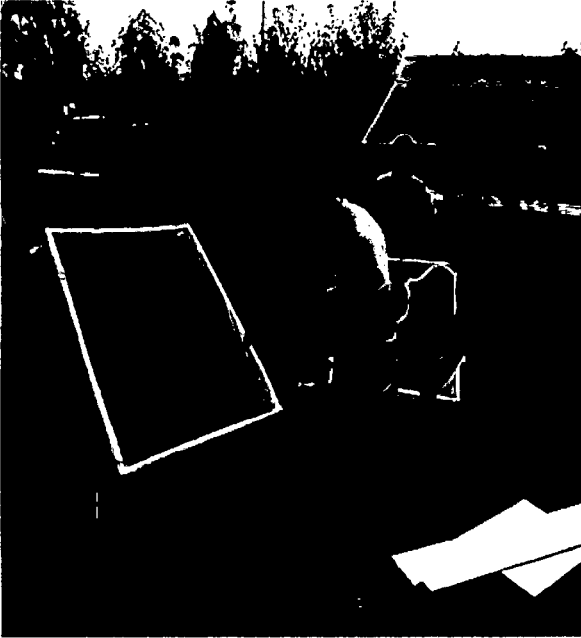
Tabla 10. Datos experimentales promedio para días enfocando con un espejo la luz solar al colector.

Tiempo	Temperatura del agua de alimentación al primer colector	Temperatura en el interior del primer colector	Temperatura del agua a la salida del primer colector	Temperatura en el interior del segundo colector	Temperatura del agua a la salida del segundo colector	Temperatura del agua en el tanque	temperatura ambiente	temperatura radiación solar
(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW h/m ²)
08:00 a.m.	17	43	31	29	25	20	13	0.3
08:30	19	61	28	35	34	23	14	0.3
09:00	20	70	30	37	37	27	15	0.4
09:30	21	99	32	49	41	31	16	0.4
10:00	22	99	70	58	44	34	18	0.5
10:30	25	100	66	59	47	36	18	0.3
11:00	28	106	70	70	51	41	19	0.3
11:30	31	110	75	80	55	44	19	0.3
12:00	33	110	55	77	58	47	19	0.7
12:30	35	107	63	78	59	51	19	0.6
01:00	36	104	72	75	57	53	21	0.7
01:30	37	103	74	70	48	55	21	0.7
02:00	36	84	54	66	46	57	20	0.6
02:30	35	80	51	62	44	58	20	0.5
03:00	34	71	45	57	41	60	20	0.5
03:30	33	64	41	51	39	60	20	0.5
04:00	30	57	37	47	37	60	19	0.4

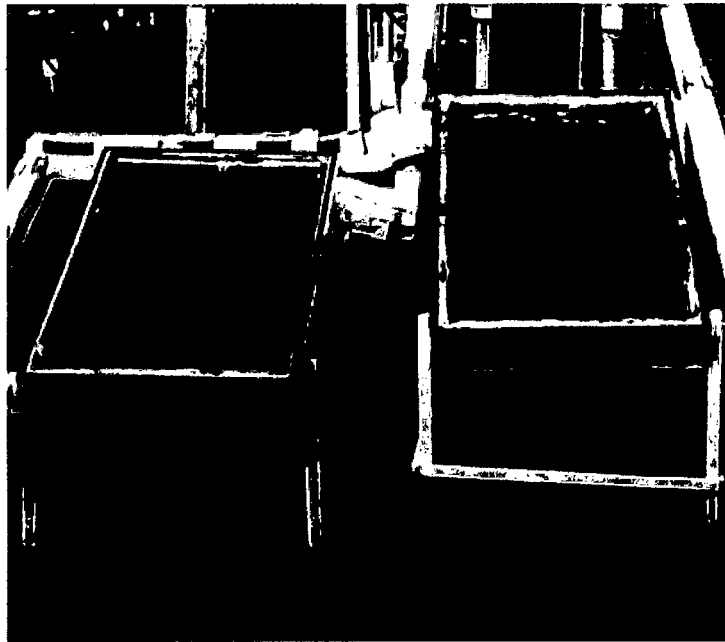
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3

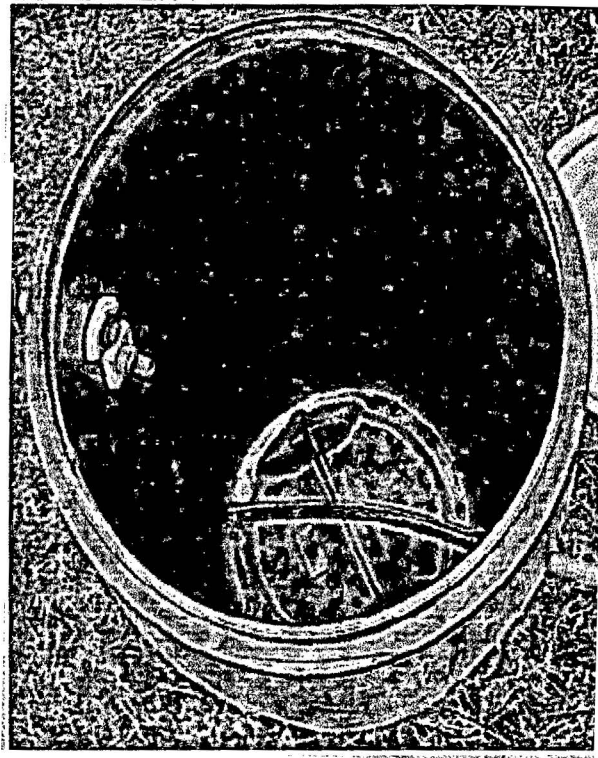
SECUENCIA FOTOGRAFÍCA DE CONSTRUCCIÓN DE LA TERMA SOLAR



Fotografía 9. Construcción de los colectores solares.



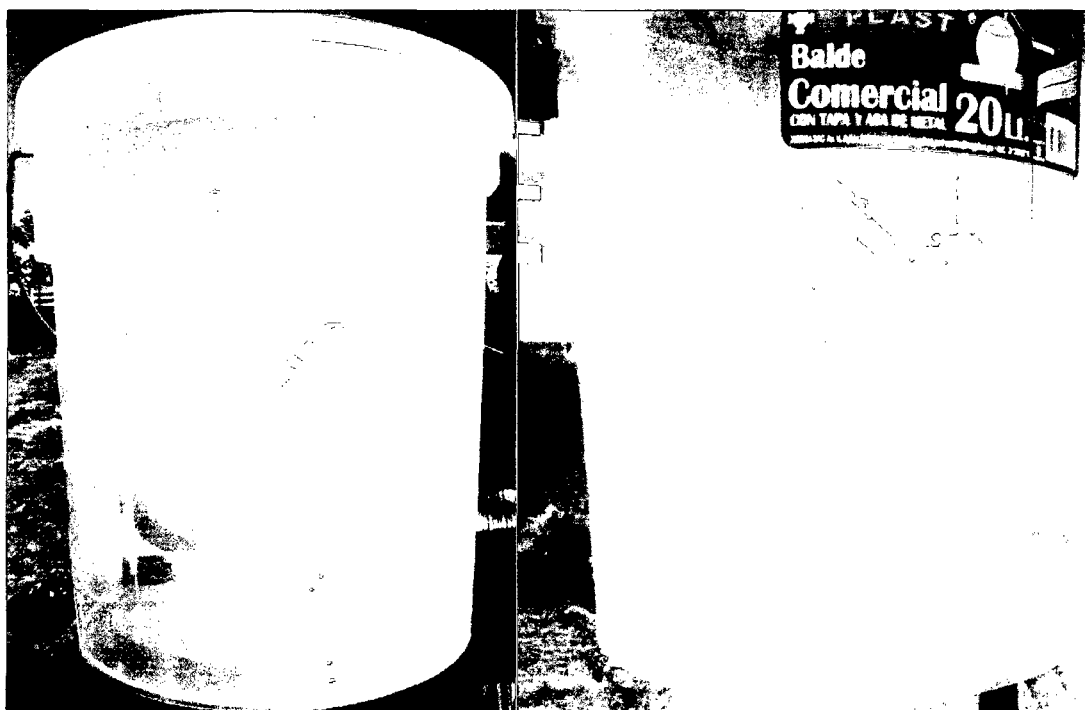
Fotografía 10. Colectores solares terminados.



Fotografía 11. Acondicionamiento para el tanque de almacenamiento.



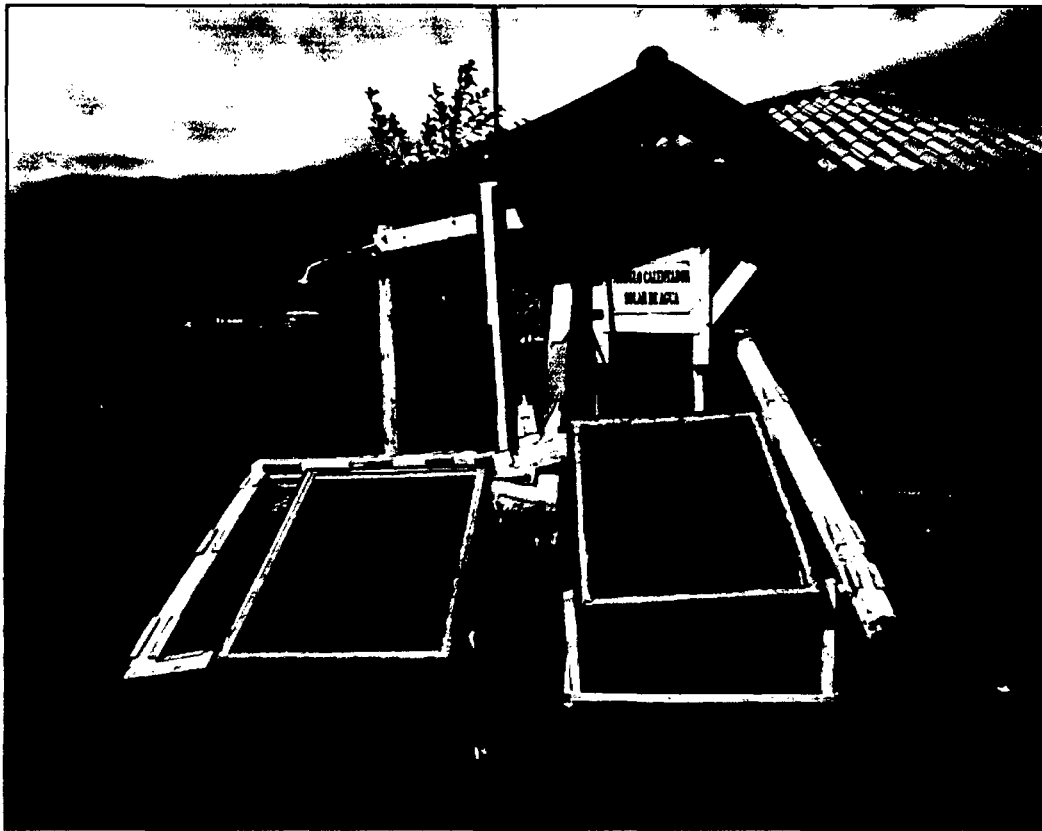
Fotografía 12. Aislamiento del tanque de almacenamiento.



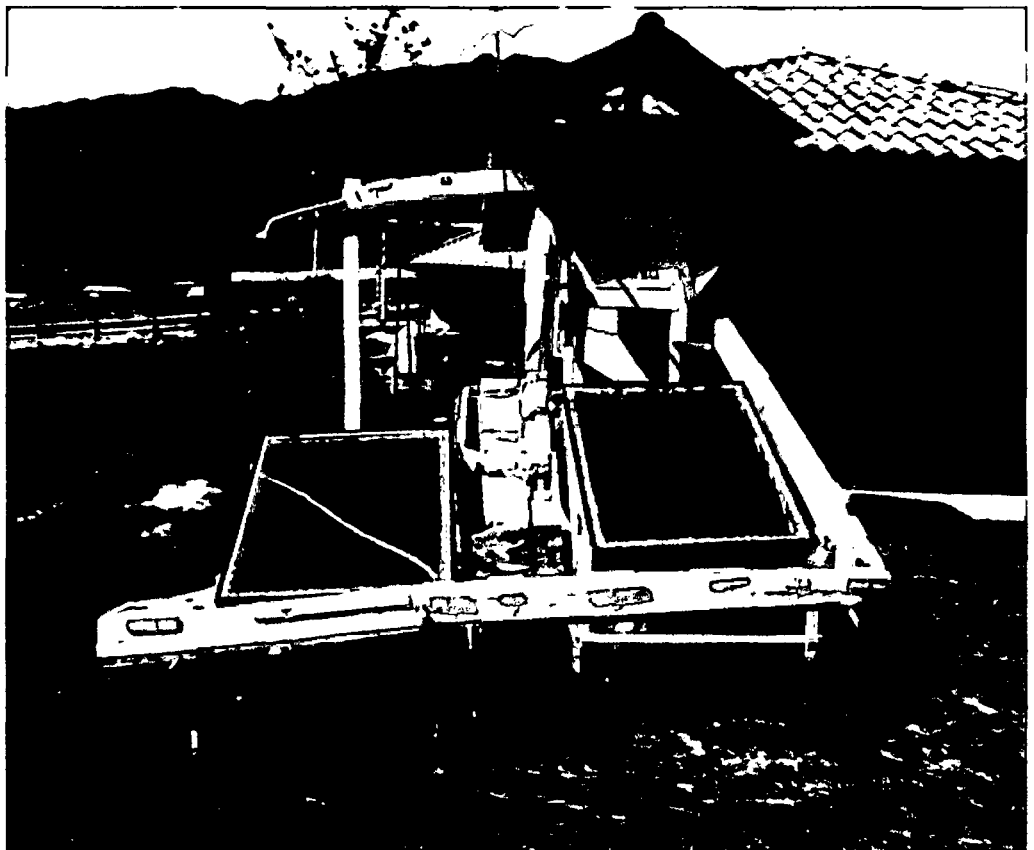
Fotografía 13. Controlador de nivel de agua en el calentador solar.



Fotografía 14. Medición de temperaturas de entrada de alimentación a la salida del primer colector, y salida del segundo colector.



Fotografía 15. Terma solar con colectores en serie.



Fotografía 16. Terma solar con colectores en paralelo.



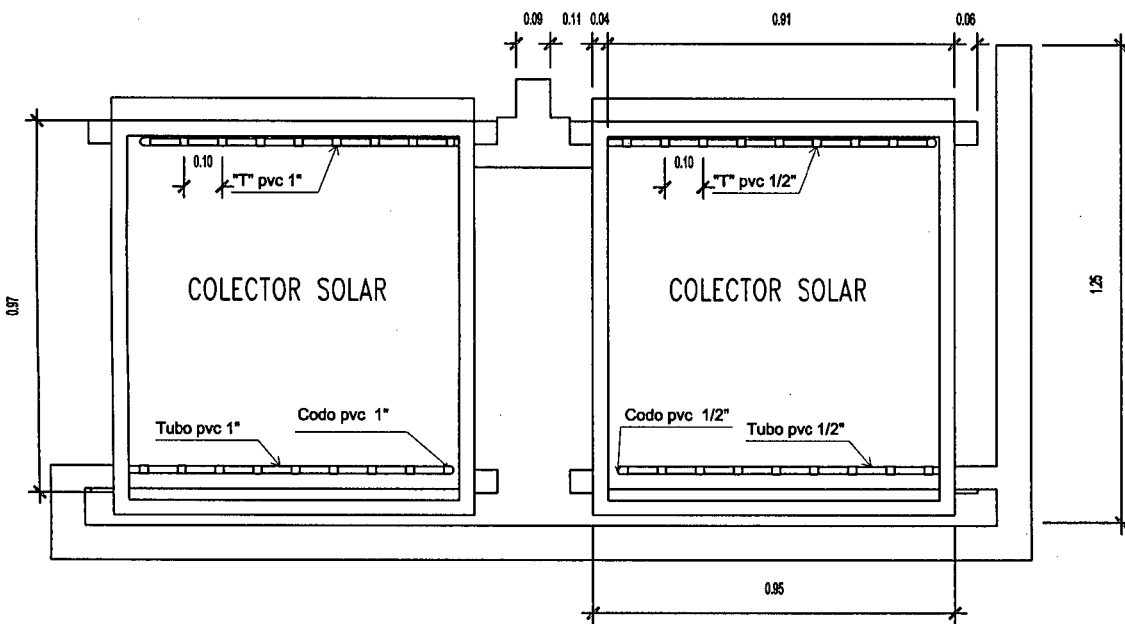
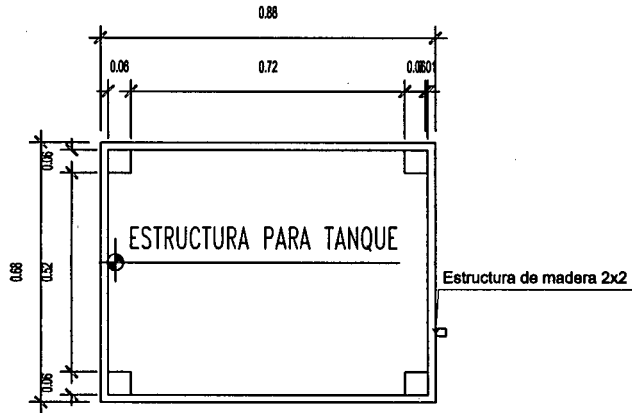
Fotografía 17. Estudiantes alemanes junto a la terma solar.



Fotografía 18. Estudiantes alemanes atendiendo la explicación del funcionamiento de la terma solar.

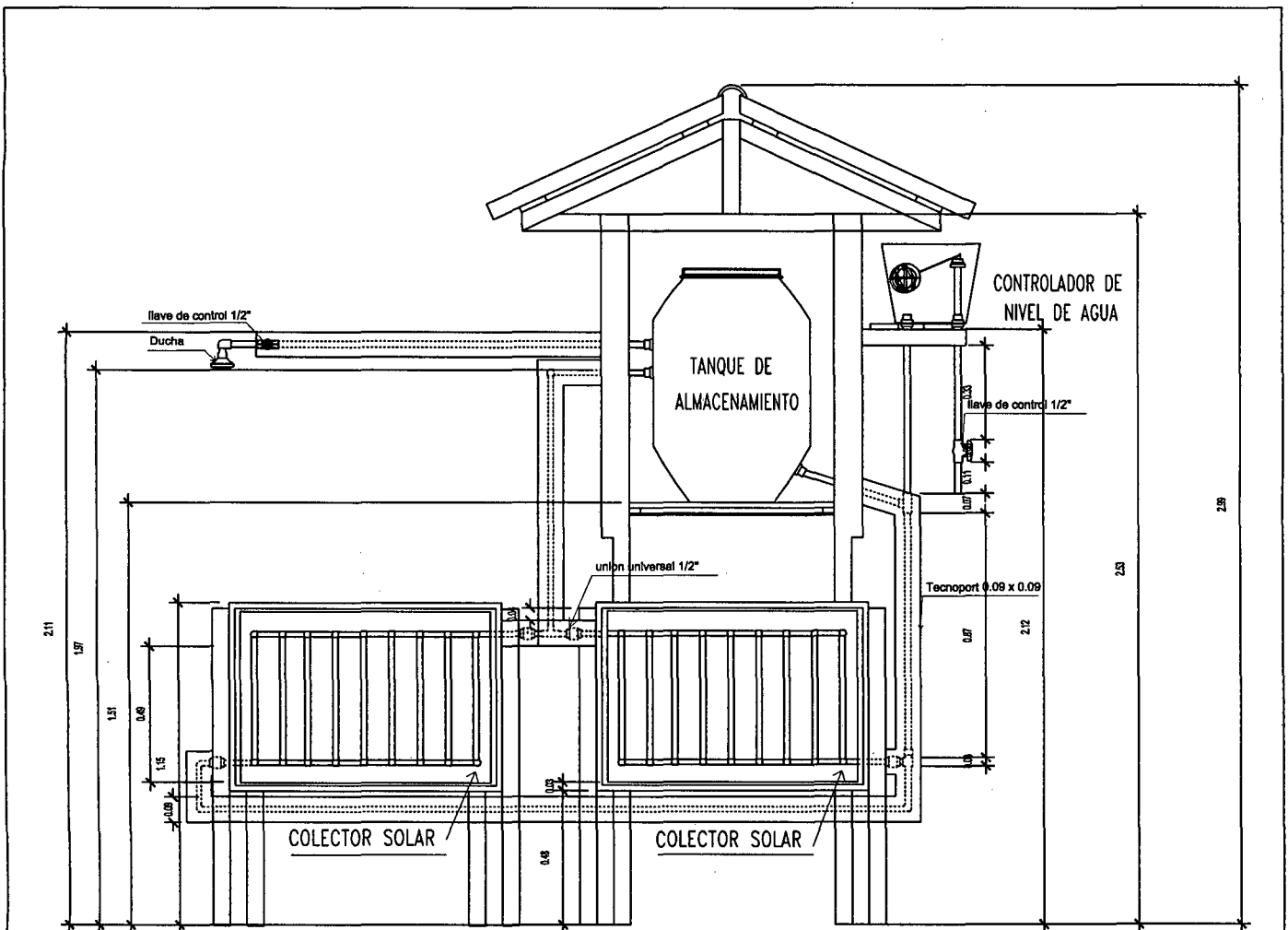
ANEXO 4

PLANOS DE LA TERMA SOLAR



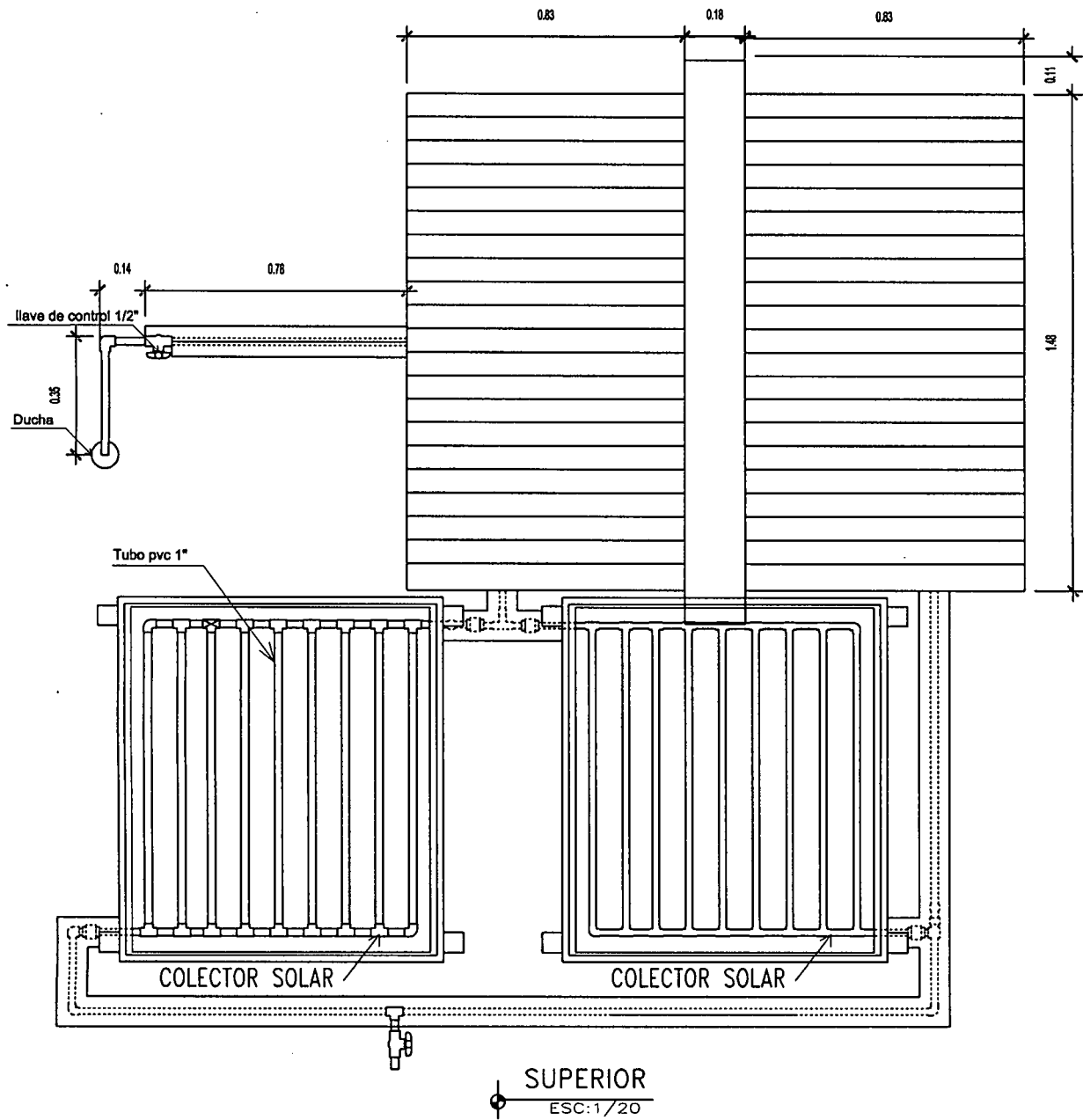
PLANTA
ESC: 1/20

PROYECTO: DETERMINACION DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE UNA TERMA SOLAR CON DOS COLECTORES EN SERIE 1 M2 CADA UNO		Arquitectura & Construcción	
UBICACION: SIPIAG/INDES-CES CHACHAPOYAS		PLANO: ARQUITECTURA	
PROPIETARIO: MONTENEGRO ZUMAETA NIXON MARIN.		ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.	
		LAMINA: A-01	
		ESC: 1/20	
		FECHA: SET-23/13	

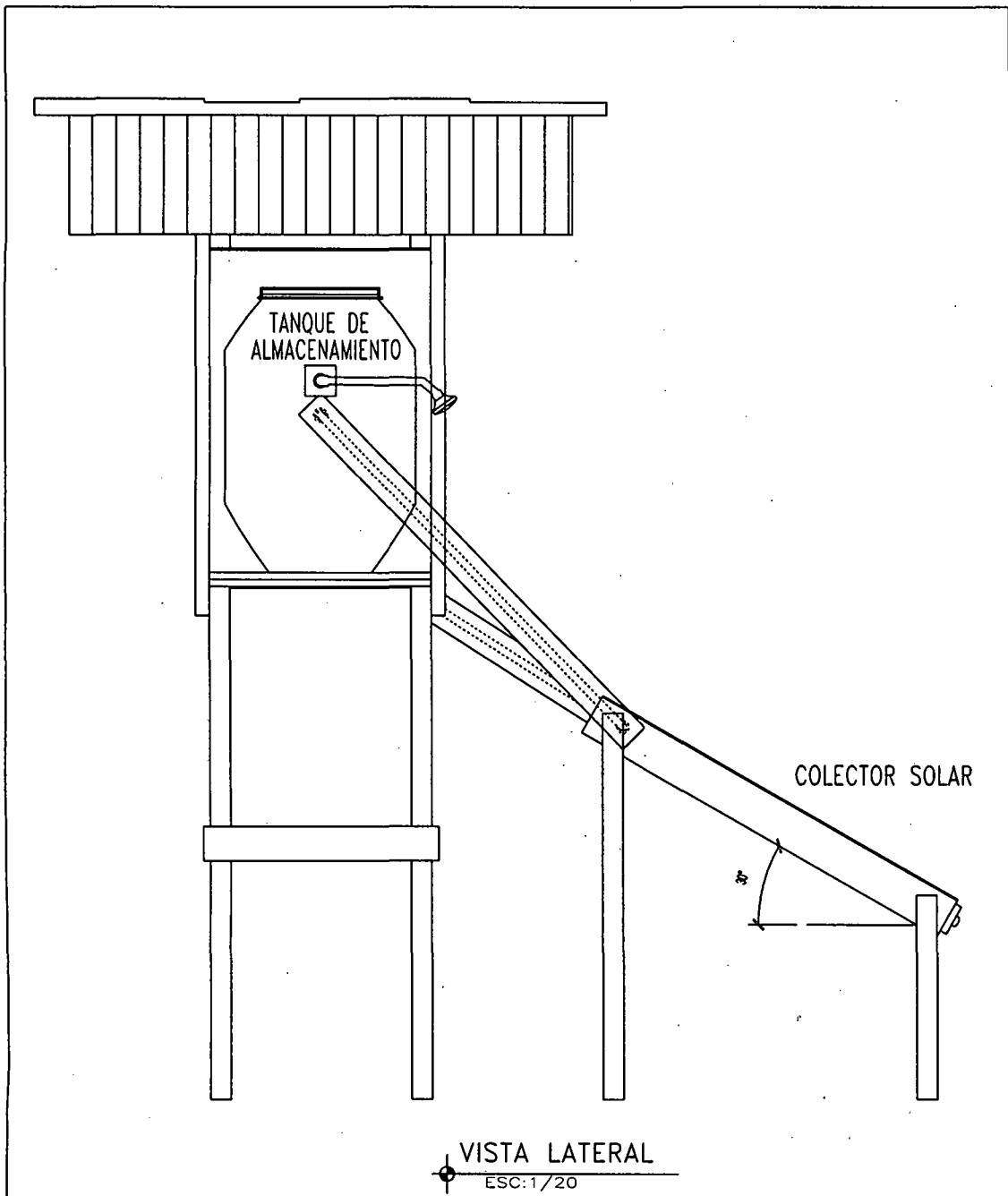


VISTA FRONTAL
 ESC: 1/25

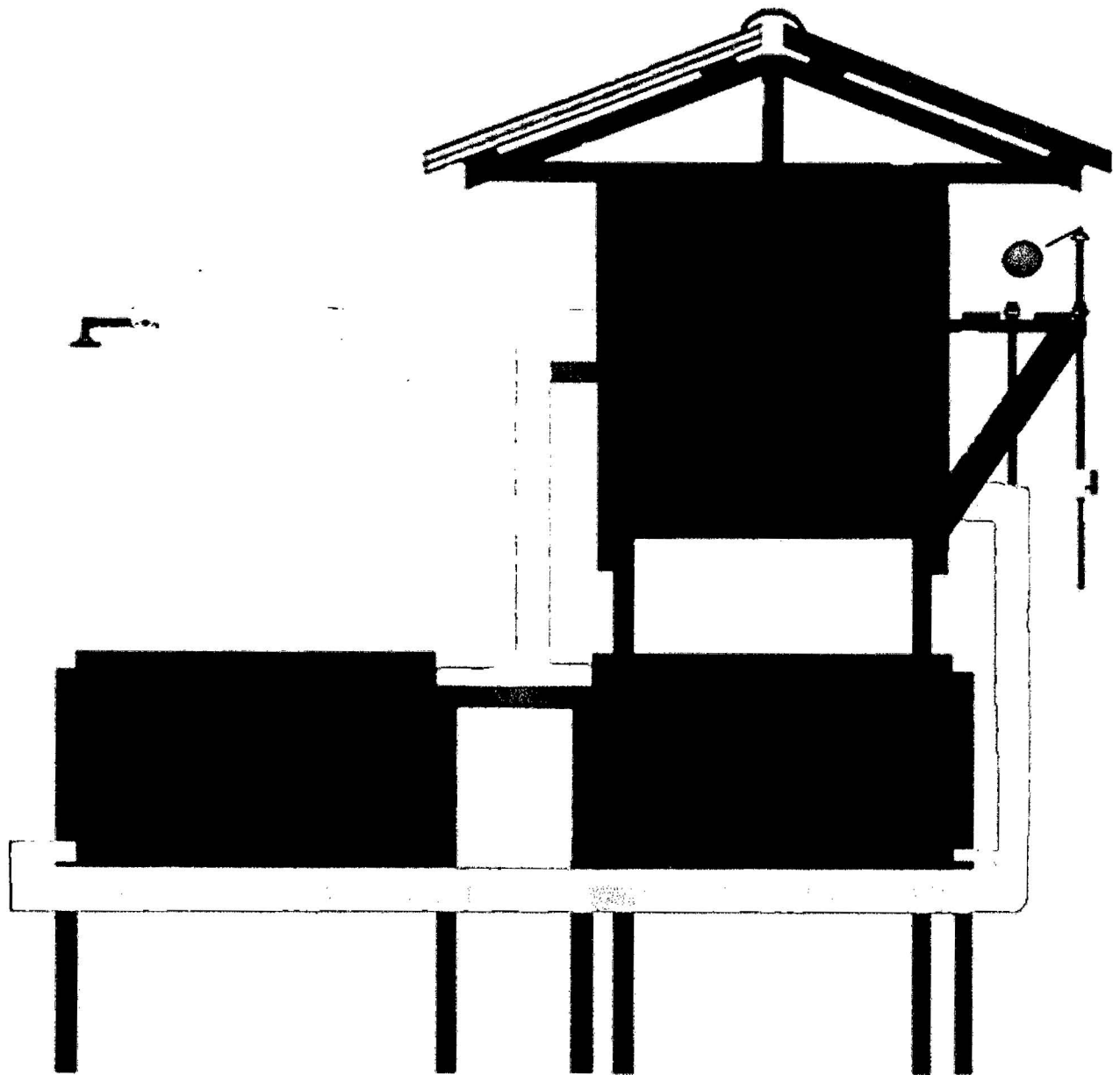
PROYECTO: DETERMINACION DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE UNA TERMA SOLAR CON DOS COLECTORES EN SERIE 1 M2 CADA UNO		Arquitectura & Construcción	
UBICACION: SIMAG/INDES-CES CHACHAPOYAS		PLANO: ARQUITECTURA	
PROPIETARIO: MONTENEGRO ZUMAETA NIXON MARIN.		ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.	
		ESC: 1/25 FECHA: SET-23/13	
		LAMINA: A-02	



PROYECTO: DETERMINACION DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE UNA TERMA SOLAR CON DOS COLECTORES EN SERIE 1 M2 CADA UNO		Arquitectura & Construccion	
		LAMINA: A-03	
UBICACION: SIPIAG/INDES-CES CHACHAPOYAS	PLANO: ARQUITECTURA		
PROPIETARIO: MONTENEGRO ZUMAETA NIXON MARIN.	ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.	ESC: 1/20 FECHA: SET-23/13	



PROYECTO: DETERMINACION DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE UNA TERMA SOLAR CON DOS COLECTORES EN SERIE 1 M2 CADA UNO		Arquitectura & Construcción
UBICACION: SIPIAG/INDES-CES CHACHAPOYAS		LAMINA: A-04
PROPIETARIO: MONTENEGRO ZUMAETA NIXON MARIN.		PLANO: ARQUITECTURA
ASESOR: DR. BARRENA GURBILLON MIGUEL A.		ESC: 1/20 FECHA: SET-23/13



PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA Y CAPACIDAD DE UNA TERMA SOLAR CON DOS COLECTORES EN SERIE 1 M2 CADA UNO		Arquitectura & Construcción	
UBICACIÓN: SIPIAG/INDES-CES CHACHAPOYAS		PLANO: ARQUITECTURA	
PROPIETARIO: MONTENEGRO ZUMAETA NIXON MARIN		ASESOR: DR. BARRENA GURBILLÓN MIGUEL A.	
		LAMINA: A-05	
		ESC: 1/25	
		FECHA: SET-23/13	