



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**EN ENERGÍA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE  
COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE  
AGUA SANITARIA EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA  
PRIVADA CRISTIANA BERESHI DE CHIMBOTE".**

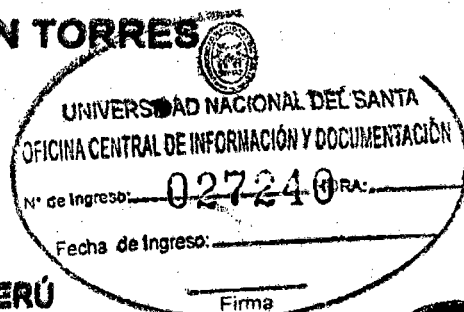
**Tesis Para Optar el Título de Ingeniero en Energía**

**AUTORES.**

**Bach. PEDRO JHERSON SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ**  
**Bach. LUIS MIGUEL IPARRAGUIRRE VILLAVICENCIO**

**ASESOR:**

**M.Sc HUGO CALDERÓN TORRES**



**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**  
**Agosto 2014**

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

#### **CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo a la denominación siguiente:


#### **TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**

#### **INGENIERO EN ENERGÍA**

**TÍTULO: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIVADA CRISTIANA BERESHI DE CHIMBOTE”**

**AUTORES: Bach. Pedro Jeherson SANCHEZ DOMINGUEZ**

**Bach. Luis Miguel IPARRAGUIRRE VILLAVICENCIO**



**M.Sc. Hugo Calderón Torres**

**Asesor**

**NUEVO CHIMBOTE, 2014**

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

#### **CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS**

Damos conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 210-2010-UNS-CFI), titulado:


**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE COLECTORES  
SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA EN LA  
INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIVADA CRISTIANA BERESHI DE  
CHIMBOTE”**

#### **TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**Presentado por: Bach. Pedro Jeherson SANCHEZ DOMINGUEZ  
Bach. Luis Miguel IPARRAGUIRRE VILLAVICENCIO**

**Revisada y Evaluada por el siguiente Jurado Evaluador:**

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Robert Guevara Chinchayán  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Francisco Risco Franco  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Hugo Calderón Torres  
Integrante

**NUEVO CHIMBOTE, 2014**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, Pedro y Martha, porque siempre estuvieron brindándome su cariño, confianza y apoyo incondicional permitiéndome concluir satisfactoriamente esta etapa de mi vida. A mi hermana Anyela que siempre ha estado brindándome su apoyo, muchas veces poniéndose en el papel de madre. A mis tíos Orestes y Violeta por el apoyo brindado quienes junto a mis primos Elmer, Yanet, Nancy y Orlando me hicieron sentir que su familia es mi segundo hogar.

**Pedro Sánchez Domínguez**

## **DEDICATORIA**

Al mis padres, Jaime y Balvina, quienes siempre me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, que a pesar de sus limitaciones estuvieron apoyándome económica y moralmente permitiéndome cumplir con mis objetivos como persona y estudiante. A mi hermano Acxel quien más que un hermano es un amigo para mí, a pesar de su corta edad siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo. A mi familia en general, por compartir conmigo buenos y malos momentos.

**Luis Iparraguirre Villavicencio**

---



---

**INDICE**

Hoja de Conformidad del Asesor .....	i
Hoja de conformidad del jurado evaluador de la tesis.....	ii
Dedicatoria .....	iii
Indice .....	vii
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación e importancia .....	2
1.3. Lugar e Institución Donde se realiza el Proyecto.....	3
1.4. Limitaciones de la investigación .....	3
1.5. Formulación del Problema.....	3
1.6. Formulación de la Hipótesis .....	3
1.7. Objetivos.....	4
1.7.1. General.....	4
1.7.2. Específicos.....	4
II. MARCO TEÓRICO .....	5
1. LA ENERGÍA SOLAR .....	6
1.1. Ventajas e inconvenientes del uso de la energía solar .....	6
1.2. Usos de la energía solar.....	7
1.3. Radiación solar.....	8
2. COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA.....	14
2.1. Colector solar plano con termotanque.....	14
2.2. Colectores solares de tubos al vacío.....	17
2.3. Colector compacto .....	19
2.4. Comparación de diferentes tipos de calentadores solares.....	22
3. PRINCIPALES CONFIGURACIONES DE LOS CAS .....	23
3.1. Subconjunto de termotransferencia .....	23
3.2. Circulación directa del agua caliente sanitaria (sin intercambiador) entre los captadores y el almacenamiento.....	24
3.3. Circulación por termosifón.....	26

---



---

3.4. Circulación del fluido caloportador primario por termosifón.....	32
3.5. Circulación forzada.....	36
3.6. Circulación del fluido caloportador primario por electrocirculador.....	37
3.7. Transmisión de calor mediante un intercambiador exterior.....	37
4. <b>NORMATIVIDAD A SEGUIR PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO</b>	
DE CAS. ....	38
5. <b>DIMENSIONAMIENTO</b> .....	39
5.1. Determinación del consumo de agua caliente y del patrón de demanda.....	39
5.2. Determinación de la demanda energética.....	41
5.3. Determinación del recurso solar.....	41
5.4. Determinación del área efectiva (Nº de colectores).....	42
5.5. Tamaño del tanque de almacenamiento.....	44
5.6. Sistema de intercambio de calor.....	44
5.7. Efectividad de un Intercambiador de calor .....	45
6. <b>EVALUACIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR</b> .....	47
6.1. Declinación solar y pendiente de los colectores .....	47
6.2. Medición y estimación de la radiación solar incidente en la superficie de los colectores .....	51
6.3. Absorción, reflexión y transmisión de la radiación .....	52
6.4. Eficiencia del colector .....	56
6.5. Coeficiente de pérdida de calor UL.....	58
6.6. Factor de remoción del colector (FR).....	61
6.7. Factor de eficiencia del colector (FE).....	62
III. <b>DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR</b> .....	64
3.1. Características y necesidades de ACS del lugar.....	65
3.2. Dimensionamiento de los colectores .....	66
3.2.1. Cálculo de la demanda energética.....	66
3.2.2. Cálculo del recurso solar disponible y el ángulo de inclinación óptimo.....	68
3.2.3. Calculo del área de captación:.....	70
3.3. Número de días de autonomía .....	72
3.4. Precios de mercado de las termas requeridas .....	73
3.5. Características de la terma a construir:.....	75



---

---

3.6. Costos de construcción de la terma .....	75
IV. CONSTRUCCIÓN .....	78
4.1. Construcción del colector solar. ....	79
4.2. Construcción de la base del colector: .....	83
4.3. Construcción del tanque .....	83
4.4. Construcción de la base del tanque.....	85
4.5. Ensamblaje de la terma solar .....	86
V. EVALUACIÓN DEL COLECTOR .....	87
5.1. Instrumentos a utilizar: .....	88
5.2. Resultados de mediciones:.....	91
5.3. Evaluación de la eficiencia del colector .....	92
5.4. Cálculo de fluido calefactor:.....	94
5.5. Evaluación económica del colector .....	99
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
1.7.3. Conclusiones: .....	103
1.7.4. Recomendaciones:.....	105
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	106
7.1. Referencias bibliográficas .....	107
7.2. Referencias electrónicas .....	109
ANEXOS .....	110
ANEXO N° 1: COTIZACIONES DE TERMAS SOLARES	
ANEXO N° 2 : DATOS EXPERIMENTALES	
ANEXO N° 3: PLANOS CONSTRUCTIVOS	

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación nace ante la necesidad de contribuir con el desarrollo sostenible en el país, fomentando el uso eficiente de energías limpias como es el caso del aprovechamiento de la energía solar que al ser aprovechada no emite ningún contaminante que afecte al medio ambiente como es el caso de los combustibles convencionales (diésel, gasolina, carbón, etc.).

Se obtuvo Agua Caliente Sanitaria (ACS) mediante el uso de colectores solares de placa plana en la institución Educativa Cristiana Bereshi de Chimbote, se realizó el diseño y dimensionamiento de dos sistemas de colectores para abastecer con ACS a una demanda de 40 los alumnos de nivel de educación inicial cada sistema, además se evaluó la viabilidad económica de construir o comprar donde la opción más conveniente fue la de construir ahorrando S/. 1212.35 por sistema. Luego de ser construidas se realizó la evaluación del colector, aplicando el método estacionario para el cálculo de la eficiencia instantánea, obteniéndose una eficiencia de operación diaria del 52.8% en promedio.

## **ABSTRACT**

This research originates from the need to contribute to sustainable development in the country , promoting the efficient use of clean energy such as the use of solar energy to be harnessed not emit any pollutant that affects the environment as is the case of conventional fuels (diesel , gasoline , coal, etc.. ) .

Domestic Hot Water (DHW) was obtained by using flat plate solar collectors in Christian Educational institution Bereshi of Chimbote. Was made the design and sizing of two systems of collectors was performed with DHW to supply a demand for 40 students each level of initial education system, and the economic feasibility of building or buying where the option was evaluated more was to build convenient saving S/. 1212.35 per system. After being built collector evaluation was performed using the stationary method for calculating the instantaneous efficiency, obtaining an efficiency of 52.8% day operation on average.

---

**CAPITULO I**

**I. INTRODUCCIÓN**

---

### **1.1. Antecedentes**

A la actualidad se desconoce de la implementación de colectores solares en escuelas en la ciudad de Chimbote pero se tomará como antecedentes estudios relacionados al tema.

- ✓ El primer colector solar plano fue fabricado por el suizo Nicholas de Saussure (1740-1799), y estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una caja con su correspondiente aislamiento térmico. Este colector solar se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior.
- ✓ Existen alrededor de 10000 termas solares instaladas en Arequipa, Ayacucho 44, Lima 25, Puno 52, Tacna 29, Ancash 11 son los principales; de acuerdo a estudio realizado por el MEM durante el 2004.
- ✓ En el año 2008 Por decisión de directiva de APAFA del Colegio Salesiano de Huancayo, se realizó el proyecto de sistema solar para el calentamiento de la piscina semi olímpica dicha planta de la piscina cuenta con 85 colectores solares y 5 termas solares.

### **1.2. Justificación e importancia**

Considerando que el desarrollo sostenible es parte de la política de la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi impulsando el aprovechamiento de energías renovables con el fin de salvaguardar el clima de nuestro planeta, la implementación de colectores solares para calentamiento de agua sanitaria permitirá a la institución educativa contribuir con la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, aportando de una forma práctica a disminuir la excesiva contaminación que sufrimos hoy día, a través de la utilización de energía limpia e inagotable proveniente del gran

astro sol, además permitiría a la institución ahorros en consumo en electricidad o gas para el calentamiento de agua sanitaria.

### **1.3. Lugar e Institución Donde se realiza el Proyecto**

El presente Trabajo de Investigación se realizará en la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi en el departamento de Ancash, Provincia del Santa Distrito de Chimbote.

### **1.4. Limitaciones de la investigación**

- ✓ La construcción y/o selección de los colectores estará limitada por el espacio con el que se dispone para la instalación de los mismos.
- ✓ El tipo de materiales a utilizar estará limitado por el costo de los mismos.
- ✓ El uso que se le pretende dar al agua caliente sanitaria producida en el colector solar será exclusivamente para el uso en los lavaderos de los baños de las aulas del colegio.

### **1.5. Formulación del Problema**

Con la finalidad de aprovechar eficientemente el recurso solar disponible en la zona de estudio, se considera fundamental el conocimiento de los parámetros de operación de los colectores solares, por lo cual se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuáles son los parámetros de operación de los colectores solares de placa plana para el calentamiento de agua sanitaria en la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi en Chimbote?

### **1.6. Formulación de la Hipótesis**

Los parámetros de operación de los colectores solares de placa plana para calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa serán: un área efectiva

de captación de  $1.5\text{m}^2$  con ángulo de inclinación  $\beta = 20^\circ$ , para una temperatura final de utilización a  $29^\circ\text{C}$ , considerando que los colectores de placa plana tienen una eficiencia entre 30 y 50%, por lo se asumirá que los colectores tendrán una operación óptima con una eficiencia de 40% en promedio.

## **1.7. Objetivos**

### **7.1.General**

Diseñar, construir y evaluar colectores solares para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) en la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi de Chimbote.

### **7.2.Específicos**

- Evaluar el Recurso solar del lugar en el que se pretende implementar los colectores solares.
- Determinar la viabilidad o factibilidad de aprovechamiento de energía solar en la zona de estudio.
- Determinar la demanda de agua caliente sanitaria en la institución educativa.
- Realizar el dimensionamiento del equipo necesario para la generación de agua caliente.
- Evaluar la viabilidad económica entre la compra o construcción de los colectores solares para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria.
- Instalar e implementar los colectores solares en la institución educativa.
- Evaluar y determinar los parámetros de operación de los colectores solares.

---

**CAPITULO II**

**II. MARCO TEÓRICO**

---



## 1. LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que energía calorífica y energía luminosa. Necesita sistemas de captación y almacenamiento para aprovechar la radiación del sol de diferentes maneras:

- **Utilización directa:** Mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada “energía solar térmica pasiva”, se utiliza para acondicionamiento térmico de un edificio aprovechando la energía solar para disminuir sus necesidades de calefacción y refrigeración.
- **Transformación de calor:** es la llamada “energía solar térmica activa”, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para atemperar piscinas, etc.
- **Transformación en electricidad:** es la llamada “energía solar fotovoltaica” que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

### 1.1. Ventajas e inconvenientes del uso de la energía solar

La energía solar es una de las energías renovables con mayores posibilidades.

#### Ventajas de la utilización de la energía solar:

- Escaso impacto ambiental.
- No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente.
- Distribuida por todo el mundo.

- No tiene más costos una vez instalada que el mantenimiento el cual es sencillo
- No hay dependencia de las compañías suministradoras de electricidad.

**Inconvenientes de la utilización de la energía solar:**

- Se precisan sistemas de acumulación, que muchas veces contienen agentes químicos peligrosos (el caso de baterías para almacenar energía eléctrica). los depósitos de agua caliente deben protegerse contra la legionela.
- Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones.
- Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno.

Se calcula que durante un año, el sol arroja sobre la tierra 4,000 veces más energía de la que se va a consumir.

**1.2. Usos de la energía solar**

En una lista parcial de posibles usos de la energía solar, figuran:

- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| ➤ Calefacción domestica | ➤ Hornos solares            |
| ➤ Refrigeración         | ➤ Cocinas                   |
| ➤ Calentamiento de agua | ➤ Evaporación               |
| ➤ Destilación           | ➤ Acondicionamiento de aire |
| ➤ Generación de energía | ➤ Control de heladas        |
| ➤ Fotosíntesis          | ➤ Secado                    |

Las instalaciones solares pueden considerarse clasificadas por tres tipos de aplicación. Primero, hornos solares, usados como medio de laboratorio para obtener altas temperaturas en diversos estudios y propuestos para usos se mi

industriales. En segundo lugar los usos potenciales de disposiciones solares sencillas, como cocinas, refrigerantes y bombas de irrigación en regiones no industrializadas, con radiación segura y en donde los actuales recursos de energía no son satisfactorios o resulten caros. Un tercer grupo de aplicación de energía solar podrá competir en el futuro económicamente con otras fuentes de energía en algunas zonas de países industrializados, si los adelantos técnicos en este campo o los cambios en el costo de la energía de otras fuentes llegan a alterar su costo relativo.

Los problemas con que se tropieza para recoger la energía solar, almacenarla y usar la energía resultante, son los mismos para numerosos usos potenciales de esta fuente de energía y se estudian uno por uno en lo que sigue.

### **1.3. Radiación solar**

Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, la cual es aproximadamente  $63,450,720 \text{ W/m}^2$  y la constante solar representa la energía media que llega a la capa más externa de la atmósfera terrestre y cuyo valor es igual a  $1353 \text{ W/m}^2$ , pero este valor no es el que precisamente llega a la superficie del suelo, debido a que hay un sin número de factores que afectan la captación del 100 % de la energía radiante que proviene del sol.



polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

**Radiación reflejada.** La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

**Radiación global.** Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.

En un día despejado, con Cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

Los distintos tipos de colectores solares aprovechan de forma distinta la radiación solar. Los colectores solares planos, por ejemplo, captan la radiación total (directa + difusa), sin embargo, los colectores de concentración sólo captan la radiación directa. Por esta razón, los colectores de concentración suelen situarse en zonas de muy poca nubosidad y con pocas brumas, en el interior, alejadas de las costas. Los

colectores solares planos pueden colocarse en cualquier lugar, siempre que la Insolación sea suficiente.

### 1.3.2. Espectro de la radiación solar

La aplicación de la Ley de Planck al Sol con una temperatura superficial de unos 6000 K nos lleva a que el 99 % de la radiación emitida está entre las longitudes de onda 0,15  $\mu\text{m}$  (micrómetros o micras) y 4 micras. Como 1 angstrom  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-4} \text{ micras}$  resulta que el Sol emite en un rango de 1500  $\text{\AA}$  hasta 40000  $\text{\AA}$ . La luz visible se extiende desde 4000  $\text{\AA}$  a 7400  $\text{\AA}$ . La radiación ultravioleta u ondas cortas iría desde los 1500  $\text{\AA}$  a los 4000  $\text{\AA}$  y la radiación infrarroja u ondas largas desde las 0,74 micras a 4 micras.<sup>2</sup>

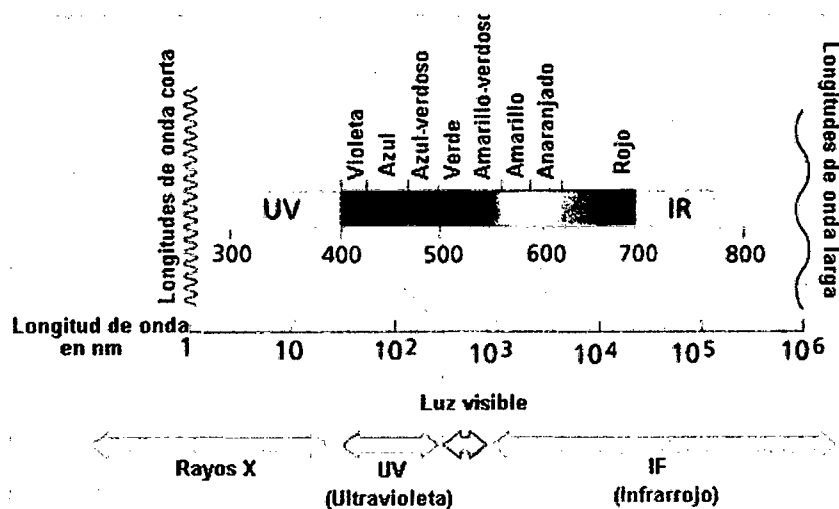


Fig. 2: Espectro de radiación solar

La parte externa de la atmósfera absorbe parte de las radiaciones reflejando el resto directamente al espacio exterior, mientras que otras

<sup>2</sup> Antonio Valero Muñoz, Principios de color y holopintura (España: Club Universitario, 2012), p. 60.

pasarán a la Tierra y luego serán irradiadas. Esto produce el denominado balance térmico, cuyo resultado es el ciclo del equilibrio radiante.

Ello nos libra de la ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 micras, ello no afecta a la radiación solar pero sí a la energía emitida por la Tierra que llega hasta las 40 micras y que es absorbida. A este efecto se lo conoce como efecto invernadero.

### 1.3.3. Movimientos del sol

El sol dibuja trayectorias diferentes según la estación del año. En invierno sube poco y en verano mucho, lo que hace que las sombras sean diferentes en unas estaciones y en otras (Fig. 3).<sup>3</sup>

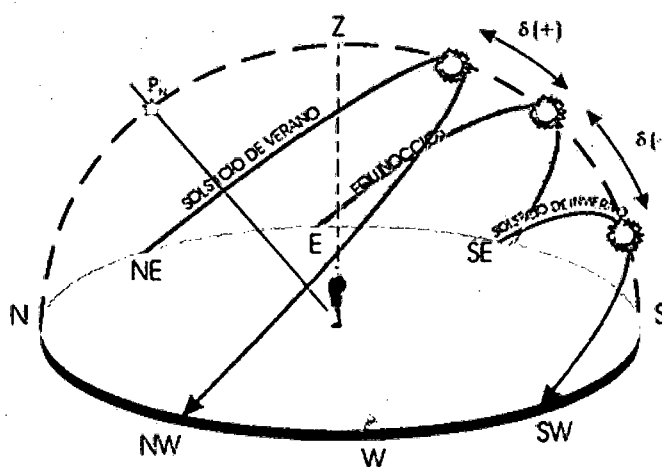


Fig. 3: Movimientos del sol (movimiento aparente)

Para conocer el movimiento del sol se utilizara un sistema de coordenadas con dos ángulos, que permite saber en cada momento donde se encuentra (Fig. 4).

<sup>3</sup> Javier Méndez, J. Cuervo y F. Bureau, Energía Solar Térmica (España: Fundación Confemetal, 2008), p. 36.

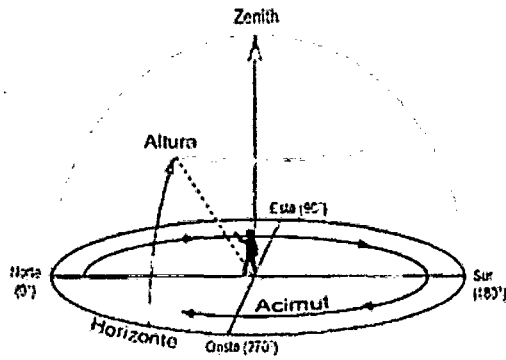


Fig. 4: Determinación de la posición del Sol

**Altura solar ( $\alpha$ ):** Es el ángulo formado por la posición aparente del sol en el cielo con la horizontal del lugar (Fig. 5).

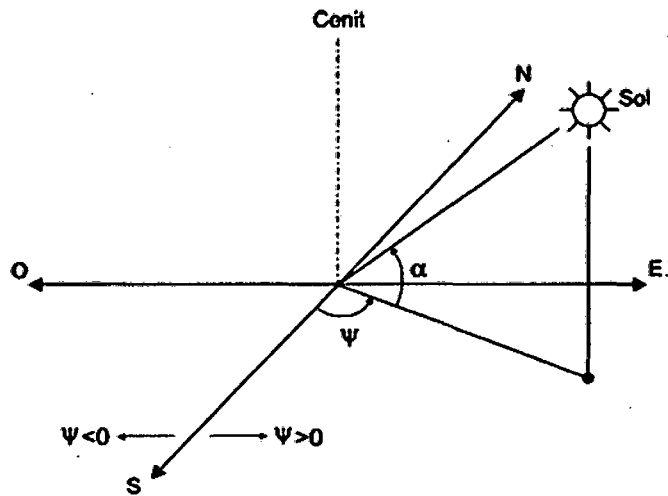


Fig. 5: *Altura solar  $\alpha$  y Acimut solar  $\psi$*

**Acimut solar ( $\psi$ ):** Es el ángulo horizontal formado por la posición del sol y la dirección del verdadero sur (Fig. 5).



## **2. COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA**

Los colectores solares permiten captar la energía solar disponible y transformarla en calor de forma que se pueda utilizar en diferentes necesidades.

En general, es necesario acumular esta energía para cuando se requiera su consumo, mediante un fluido contenido en depósitos. La principal aplicación para la que se utiliza es la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), en general, el consumo de agua caliente no está influido por la estación del año y la temperatura que se requiere para la utilización del agua no es muy elevada (60° C por ejemplo).

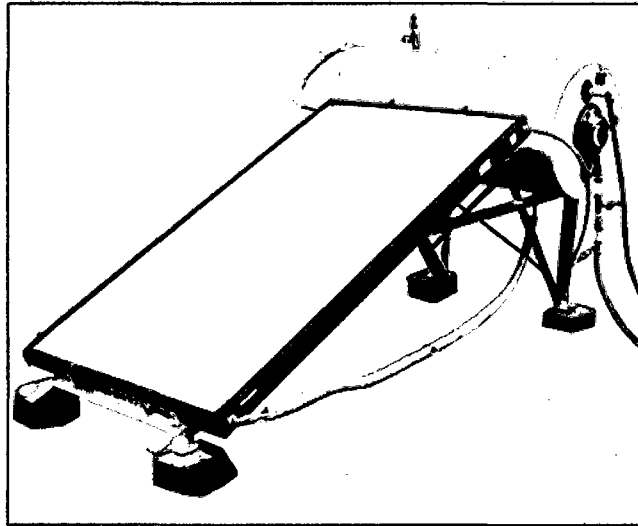
### **Tipos de captadores solares para calentamiento de agua**

En el mercado mundial existen, principalmente, tres tipos de calentadores solares para uso doméstico (Luis Bérriz Pérez - CUBASOLAR):

- ✓ Colector solar plano con termotanque.
- ✓ Colector solar de tubos al vacío con termotanque: termosifónicos, o de tubos calóricos.
- ✓ Colector solar compacto.

#### **2.1. Colector solar plano con termotanque**

El calentador solar de placa plana se compone de dos partes principales: el colector y el tanque-termo.



**Fig. 6:** Calentador solar plano con termotanque.

El colector está compuesto por un plato absorbedor formado por una placa metálica, gran conductora de calor y de baja capacidad calórica, que tiene la función de absorber toda la energía solar posible. Esta placa tiene acoplada tubos por donde circula el agua que es calentada con la radiación solar que recibe la placa. Este colector tiene, además, una envoltura aislante y una cubierta transparente.

La superficie de la placa de absorción debe tener las características necesarias para que la mayor parte de la radiación que reciba sea absorbida, y muy poco reflejada, lo que se logra aplicándole diferentes tratamientos químicos y físicos, y finalmente un acabado de color negro mate. Actualmente se fabrican colectores con placas de superficie selectiva, la que absorbe un máximo de energía solar, y emite un mínimo de radiación infrarroja.

La cubierta del colector está destinada a dejar pasar la radiación solar hacia la placa de absorción, y disminuir la pérdida de calor por convección y radiación.

Para facilitar el efecto aislante, la cubierta está formada por una o dos planchas de material transparente, vidrio o plástico, separadas convenientemente.

La cubierta y la envoltura aíslan del medio ambiente a la placa absorbadora. El material más frecuentemente usado para la cubierta es el vidrio, ya que posee la propiedad de dejar pasar casi toda la radiación solar y, por el contrario, es opaco a la radiación infrarroja emitida por el plato de absorción. También se usa el plástico (últimamente se emplea con mayor frecuencia el policarbonato).

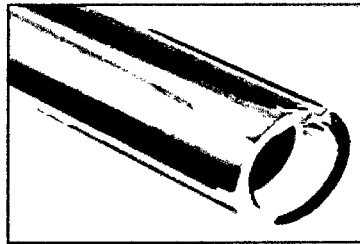
El colector va acoplado a un termotanque comúnmente confeccionado con metal y aislante de poliuretano o lana de vidrio.

#### **Ventajas y desventajas de los calentadores de placa plana:**

- ✓ El comportamiento térmico es inferior a otros colectores solares que se comercializan. Su eficiencia oscila entre 30 y 50%.
- ✓ El aprovechamiento de la luz difusa permite lograr temperaturas por encima de 40 °C en días nublados.
- ✓ Son sensibles a la rotura del vidrio. Deben fabricarse con vidrios térmicos resistentes a impactos. En caso de rotura del vidrio, siguen trabajando, aunque con una eficiencia inferior.
- ✓ Su montaje es sencillo, si se tiene experiencia.
- ✓ Son muy sensibles a las incrustaciones, debido a que las tuberías de la placa absorbadora son finas. El mantenimiento es complejo si se requiere una limpieza por incrustaciones. La única solución es una limpieza química.
- ✓ Pueden trabajar con presiones en el tanque-termo superiores a 4 atmósferas.
- ✓ Por su forma apantallada, no resisten vientos fuertes, por lo que se recomienda su desmontaje en caso de ciclones.

## 2.2. Colectores solares de tubos al vacío

Los calentadores de tubos al vacío tienen el mismo principio de trabajo que los colectores de placa plana, es decir, la radiación es recibida por el absorbedor y llevada en forma de calor hacia un tanque acumulador. La diferencia consiste en que el absorbedor está formado por tubos en los cuales se ha hecho vacío para disminuir las pérdidas de calor, y dentro del tubo van colocados las secciones del absorbedor (Fig. 7).



**Fig. 7:** Detalle de un extremo de los tubos en los que se ha creado vacío.

Algunos modelos están formados por tubos sencillos de vidrio, los cuales tienen en su interior un sector de placa plana de absorción acoplado a un tubo metálico por donde fluye el líquido. En otros modelos, el absorbedor suele ser un tubo interior con tratamiento óptico selectivo, lo que mejora todavía más la eficiencia del colector. Entre el tubo interior y el exterior, ambos concéntricos, existe vacío.

Existen varios modelos de colectores de tubos al vacío, en dependencia del movimiento del fluido y el método de transferencia de calor utilizado. Los principales son (Fig. 8):

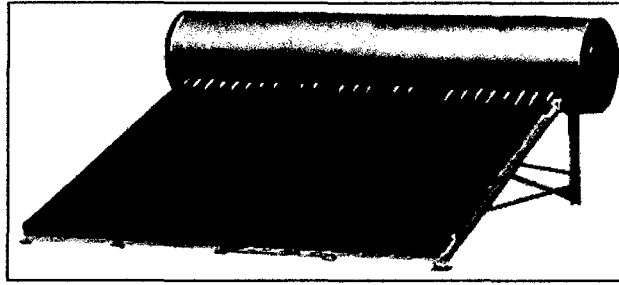


Fig. 8: Colector solar de tubos al vacío.

- Tubos termosifónicos.
- Tubos calóricos.

En todos los casos, los tubos van directamente acoplados al termotanque, o a un cabezal por donde fluye el agua o líquido que se desea calentar.

En el caso de los tubos termosifónicos, el agua del termotanque fluye directamente por dentro del tubo interior, y su movimiento dentro del mismo se debe al cambio de densidad del agua más caliente (la cual sube) y la menos caliente (la cual baja). En este caso, la presión del tanque-termo se transmite al tubo de vidrio.

Otra variante es el calentador de tubos al vacío con tubos calóricos, que ha significado un gran avance en la tecnología de transferencia de calor, aplicada en este caso al calentador solar. En este modelo, por dentro del tubo de vidrio no fluye el agua, sino que tiene en su eje central un tubo calórico para transmitir el calor solar ganado al agua del termotanque o cabezal.

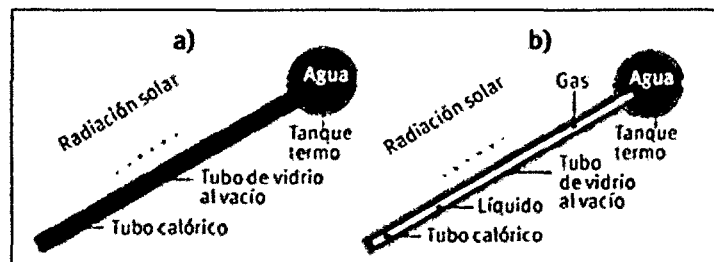


Fig. 9: Calentador solar de tubos al vacío: a) termosifónico y b) tubos calóricos.

**Ventajas y desventajas de los calentadores de tubos al vacío:**

- ✓ Son productos de alta calidad, y dada la baja emisividad del tubo (0,08), su alta absorbencia (0,93) y su aislamiento por vacío, se consiguen rendimientos superiores a otros tipos de calentadores solares.
- ✓ El aprovechamiento de la luz difusa permite lograr temperaturas por encima de 40 °C en días totalmente nublados.
- ✓ El comportamiento térmico es superior a otros colectores solares que se comercializan, pudiendo trabajar a temperaturas superiores a los 80 °C, con una eficiencia superior a 50%.
- ✓ La curvatura del tubo de vidrio (de 30 a 40 mm de diámetro) ofrece una mayor resistencia a los impactos que los colectores planos. Su montaje es muy sencillo si se tienen experiencias.
- ✓ El mantenimiento es muy sencillo y solamente requiere de limpieza una vez al año. No son sensibles a las incrustaciones.
- ✓ En los modelos de tubos calóricos se puede trabajar con presiones en el termotanque superiores a cuatro atmósferas, no así en el modelo de tubos termosifónicos, que no resiste sobrepresiones.
- ✓ En los modelos de tubos calóricos, si un tubo de vidrio se rompe, el calentador sigue funcionando; sin embargo, si un tubo de vidrio se rompe en el modelo de tubos termosifónicos, la instalación se vacía y deja de funcionar.
- ✓ Por la forma aerodinámica de los tubos, resisten vientos fuertes, por lo que si el montaje ha sido correcto, no es necesario desmontarlos durante ciclones.

**2.3.Colector compacto**

Un Colector solar compacto está formado, en esencia, por un recipiente cerrado pintado de negro, con una entrada y una salida de agua. Este recipiente está

convenientemente aislado por el fondo y los lados con cualquier material aislante, y por arriba (por donde le llega la radiación solar), con un vidrio u otro material transparente (Fig. 10).

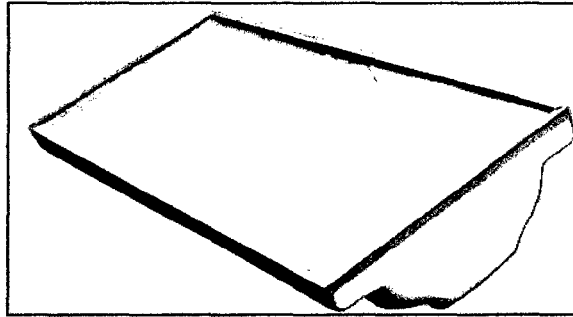


Fig. 10: Colector compacto.

El recipiente puede tener cualquier forma, pero preferentemente debe hacerse con un tubo de un diámetro adecuado, pues tolera más presión y es más fácil taparlo por los extremos (Fig. 11).

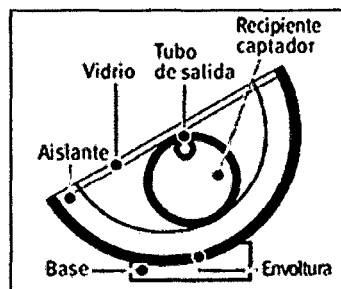


Fig. 11: Corte transversal del Colector compacto.

La envoltura o caja aislante del colector solar puede hacerse también con materiales de la construcción, tales como ladrillos, bloques, etc. En la figura siguiente puede observarse el corte transversal de una variante de colector solar construido con un tubo de aluminio, ladrillos y vidrio. Como a veces el sellado

de la cubierta no puede ser perfecto, debe dejarse la posibilidad de que salga el agua, en caso de que entre, mediante un pequeño agujero situado en la parte inferior de la base.

Un colector compacto bien construido y aislado, puede conservar el agua caliente inclusive por la noche.

**Ventajas y desventajas de los colectores compactos:**

- ✓ Son los calentadores más sencillos que existen en el mercado. A diferencia de los otros tipos, no requieren de tanque-termo independiente, ya que el colector hace también la función de tanque-termo.
- ✓ El aprovechamiento de la luz difusa permite lograr temperaturas por encima de 40 °C en días nublados.
- ✓ En días de radiación normal en Cuba, adquiere temperaturas de 60 °C.
- ✓ El comportamiento térmico es aceptable, pudiendo trabajar a temperaturas de 50 °C, con una eficiencia superior a 50%.
- ✓ Son sensibles a la rotura del vidrio. Deben fabricarse con vidrios térmicos resistentes a impactos, o con policarbonato estabilizado a la radiación ultravioleta. En caso de rotura del vidrio, siguen trabajando, aunque con una eficiencia inferior.
- ✓ Su montaje es muy sencillo.
- ✓ El mantenimiento es muy sencillo, y generalmente no lo requiere.
- ✓ Soportan presiones superiores a cuatro atmósferas.
- ✓ Por su forma, resisten vientos fuertes, por lo que no hace falta su desmontaje en caso de ciclones.
- ✓ Debido a su sencillez, es fácil su fabricación, así como su montaje y explotación.



## 2.4. Comparación de diferentes tipos de calentadores solares

En la siguiente tabla se muestra de manera simplificada, la comparación de las principales características de los colectores solares de calentamiento de agua sanitaria.

Tabla 1: Comparación entre calentador plano y calentador compacto

Variables	Calentador plano con absorbedor de plato	Calentador compacto con Absorbedor acumulador
temperatura de trabajo	Relativamente bajas (inferior de 70°C)	Relativamente bajas (inferior de 60°C)
Eficiencia	50%, a 50°C	50%, a 50°C
	40%, a 60°C	30%, a 60°C
	30%, a 70°C	15%, a 70°C
Sobrepresión de trabajo	5 atmosferas	5 atmosferas
Gastos de inversión	150-200 USS por metro cuadrado	80-150 USS por metro cuadrado
Gastos de Operación y mantenimiento	Muy bajos, casi nulos, si se cumplen las normas de instalación y explotación	
Influencia a las incrustaciones	Muy sensible a las incrustaciones	Poco sensible a las incrustaciones
Resistencia a impactos	Depende del vidrio de la cubierta	
Resistencia al viento	Son muy sensibles a vientos altos, tanto el colector como el tanque	Si se instalan pegado al suelo, son poco sensibles a vientos altos
Recomendaciones	No se recomienda para las condiciones de cuba, principalmente por el efecto de las incrustaciones y poca durabilidad de su funcionamiento	Se recomienda para uso doméstico (calentamiento de agua sanitaria)

Fuente: Luis Bérrez Pérez – CUBASOLAR

**Tabla 2:** Comparación entre calentadores solares de tubos al vacío

Variables	Calentador de tubos al vacío termoiónico	Calentador tubos al vacío de tubos calóricos
Temperatura de trabajo	Moderadas (entre 70°C y 80°C), aunque pueden trabajar a 90°C	
Eficiencia	70%, a 50°C	
	60%, a 60°C	
	50%, a 70°C	
	40%, a 80°C	
Sobrepresión de trabajo	5 atmosferas	5 atmosferas
Gastos de inversión	150-200 USS por metro cuadrado	300-400 USS por metro cuadrado
Gastos de Operación y mantenimiento	Muy bajos, casi nulos, si se cumplen las normas de instalación y explotación	
Influencia a las incrustaciones	Poco sensible a las incrustaciones	
Resistencia a impactos	Por su forma tubular, son más resistentes a granizadas	
Resistencia al viento	Por su forma tubular, son poco sensibles a vientos altos la sensibilidad es del tanque termo.	
Recomendaciones	Se recomienda tanto para uso doméstico como comercial e industrial, Si se necesitan altas presiones, esta debe darse con una bomba conectada después del tanque termo	Se recomienda para todos los usos. Son los mejores para instalaciones industriales o grandes dimensiones.

Fuente: Luis Bérriz Pérez – CUBASOLAR

### 3. PRINCIPALES CONFIGURACIONES DE LOS COLECTORES SOLARES

#### 3.1. Subconjunto de termotransferencia

Está formado por aquellos elementos de la instalación encargados de transferir la energía recogida en los captadores solares hasta el depósito acumulador de A.C.S.

El principal de estos elementos, en aquellas instalaciones en que exista, será el intercambiador, pero además hay que considerar el conjunto de tuberías,

válvulas y demás piezas que forman parte integrante del sistema de transporte del calor.

Según el tipo de sistema de termotransferencia utilizado, las instalaciones se pueden clasificar en dos grupos: de transferencia térmica directa y de transferencia térmica indirecta.

El primero de ellos comprende los casos en que el agua sanitaria pasa también directamente por los captadores, esto es, el circuito primario está comunicado directamente con el acumulador.

En el segundo grupo, en el que entran la mayor parte de las instalaciones, existe un intercambiador térmico, y el fluido caloportador del primario no está nunca en contacto físico, ni se mezcla con el A.C.S.

En uno y otro caso, para que la termotransferencia sea eficaz, es necesario asegurar la circulación del fluido, y esto se puede conseguir también de dos formas diferentes: por termosifón (circulación natural) y mediante una bomba de circulación (circulador).

### **3.2. Circulación directa del agua caliente sanitaria (sin intercambiador) entre los captadores y el almacenamiento**

Esta es la solución más simple y la que proporciona mejor rendimiento térmico, aunque presenta los inconvenientes siguientes:

- ✓ Necesidad de que el circuito de captadores esté realizado con materiales que no contaminen el agua.
- ✓ Riesgo de vaporización en todo el circuito, siendo preciso instalar en el punto más alto un dispositivo de evacuación de vapor.
- ✓ Todo el circuito, incluidos los captadores, trabaja a la presión de red, lo cual no suele ser tolerado por la mayoría de los modelos, incluso con la

instalación de una válvula reductora, ya que estas no son de mucha fiabilidad.

- ✓ El riesgo de congelación no puede evitarse mediante adición de anticongelantes.
- ✓ Los riesgos de corrosión del circuito primario son mayores, debido al alto contenido en aire del agua de red.
- ✓ Posibilidad de incrustaciones calcáreas y de suciedad en el circuito, lo que exige un conocimiento previo de la dureza y calidad del agua.
- ✓ Restricciones de tipo legal, al exigir algunas normativas que el agua de consumo no pase a través de los captadores.
- ✓ En los casos de regiones muy frías, en las que la instalación quede fuera de servicio durante el invierno -lo cual no es muy frecuente en nuestras latitudes-, puede usarse este sistema sin necesidad de disponer costosos dispositivos anti helada, ya que el circuito se vacía.

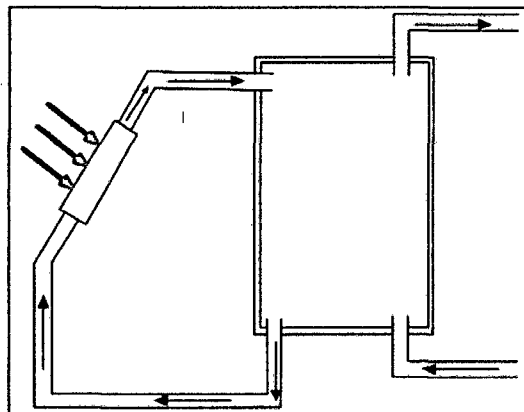


Fig. 12: Sistema de circulación directa.

En un sistema directo la circulación del agua podrá ser por termosifón o mediante bomba de circulación, en cuyo caso hay que asegurarse de que sea adecuada para el agua de red.

### 3.3. Circulación por termosifón

Para entender cómo se produce el movimiento del agua por efecto termosifón, basta con considerar el punto más bajo del circuito y analizar cuáles son las presiones hidrostáticas ejercidas por las columnas de agua correspondientes a los tramos de ida y de retorno en ese punto. Si la presión en el tramo de ida es inferior a la presión en el tramo de retorno, la circulación del fluido será desde la parte superior de los captadores hacia el depósito (termosifón directo). En caso contrario, la circulación del fluido será desde el depósito hacia la parte superior de los captadores (termosifón inverso), provocando pérdidas de la energía almacenada.

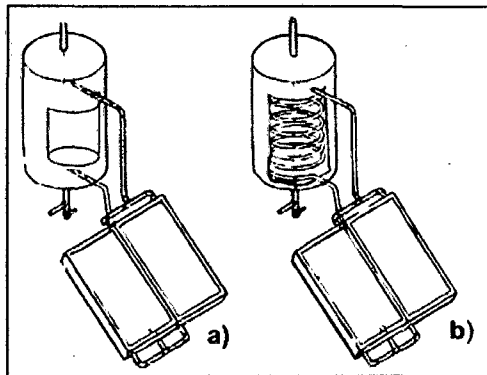


Fig. 13: Sistemas por termosifón: (a) Directo, (b) Con intercambiador.

La presión en cada uno de los tramos se debe principalmente a su altura (diferencia de cotas) y a la temperatura (que se refleja en la densidad) del fluido que circula por los mismos. Durante el día, la temperatura del tramo de ida es superior (y, por tanto, la densidad es inferior) a la del retorno, produciéndose el termosifón directo (Fig. 14). Cuando se produce una extracción de agua caliente, el depósito se rellena con agua de la red (Fig. 15), la temperatura del depósito baja y el movimiento termosifónico se reinicia automáticamente. Durante la noche, el fluido de los tramos a la intemperie

(fuera del acumulador) se enfría, de forma que, si este enfriamiento es desigual, o bien existen tramos a la misma altura y distinta temperatura, se puede producir el efecto termosifón inverso si no se toman las medidas oportunas.

Conviene facilitar el intercambio térmico entre el agua de los captadores y la del depósito llevando, interiormente o por el exterior, una de las dos bocas de entrada lo más lejos posible de la otra.

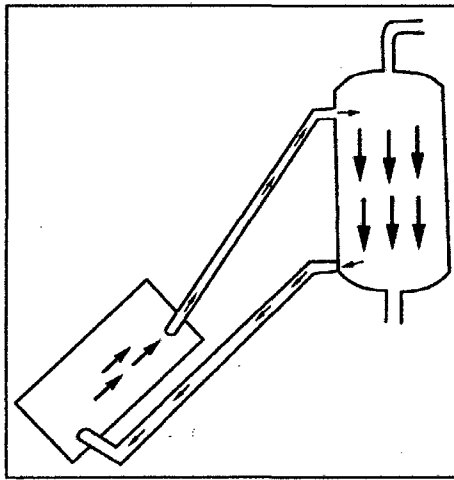


Fig. 14: termosifón directo

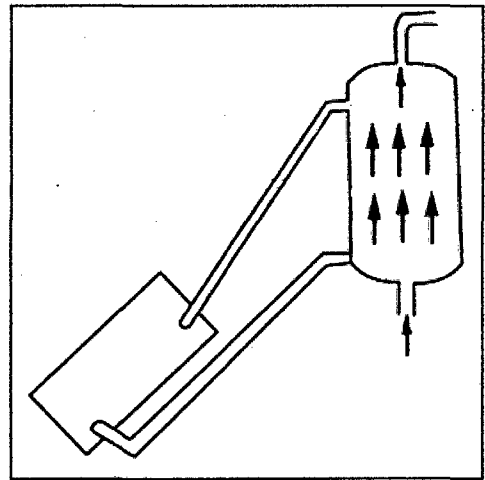


Fig. 15: Extracción de agua caliente

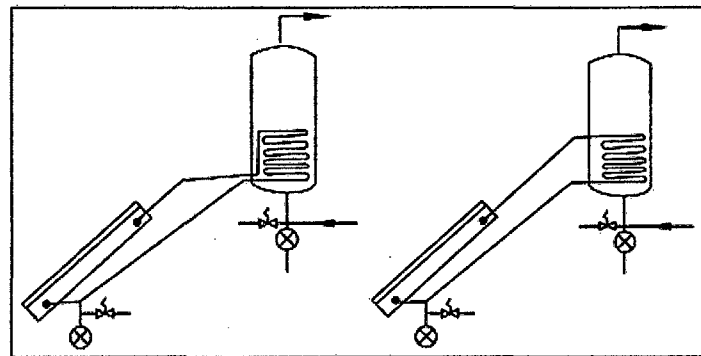


Fig. 16: La disposición de la derecha es preferible a la de la izquierda pues, al quedar la mayor parte del tramo ascendente de la tubería de ida dentro del propio acumulador, y por tanto, aislado térmicamente del exterior, se minimiza

el riesgo de que, debido a un posible enfriamiento de dicho tramo (por ejemplo, por la noche), se produzca una circulación en sentido inverso al descado.

Entendido, pues, que la circulación del fluido por efecto termosifón se debe a la diferencia de presiones en los tramos de ida y retorno del circuito, se puede concluir que dicho efecto se verá tanto más favorecido cuanto mayor sea la diferencia de cotas del circuito, esto es, más por encima de los captadores se coloque el acumulador, y mayor sea la diferencia de temperaturas en dichos tramos. Al efecto conjunto de los dos factores anteriores, altura y temperatura, se le denomina carga hidráulica del sistema.

Sabemos que en una tubería las pérdidas de carga producidas por el rozamiento del agua con valores altos si la tubería es demasiado estrecha. Las pérdidas producidas por la estrangulación del flujo en puntos tales como una reducción de la tubería o el interior de una válvula pueden llegar a ser de gran importancia. Los mayores rendimientos se obtienen con el esquema simple de la Fig. 17, que favorece el movimiento convectivo, al tener escasas pérdidas y actuar como temperatura fría la del propio tanque. Sin embargo, este esquema con gran frecuencia no puede ser utilizado, al no ser aceptable la circulación directa del agua de red por el circuito primario, como se ha explicado anteriormente.

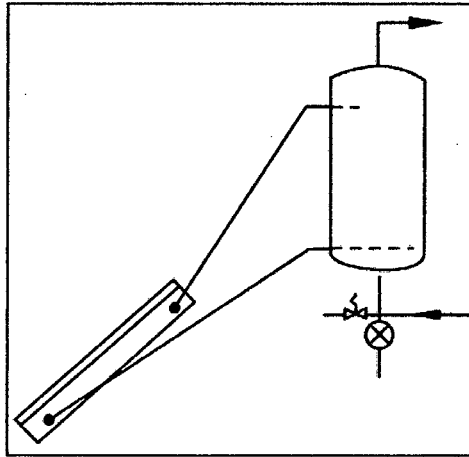


Fig. 17: Esquema simple

Consecuentemente, es necesario en general utilizar un intercambiador para separar el agua del circuito de captadores, o primario, del circuito del agua de red. De esta forma, disponemos de las configuraciones representadas en la Fig. 18 y Fig. 19, con intercambiador interior al depósito o de doble forro. Ambos sistemas son aceptables y la utilización de uno u otro puede ser función del coste.

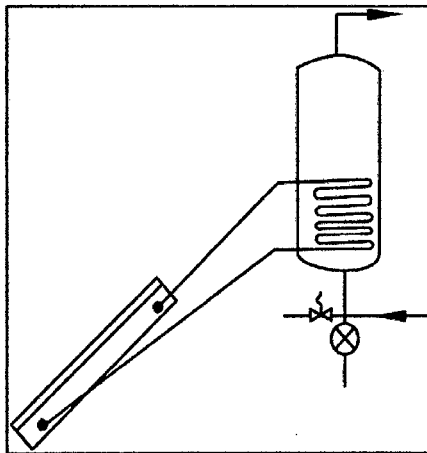


Fig. 18: Sistema con intercambiador

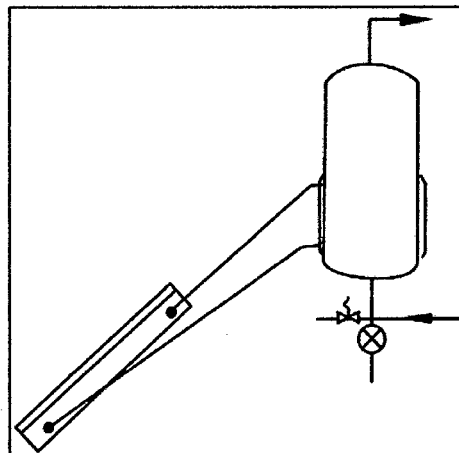


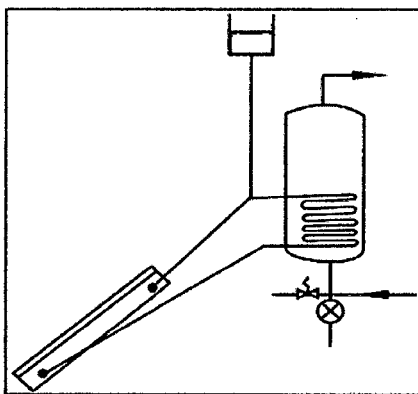
Fig. 19 Sistema sin intercambiador

La forma geométrica del intercambiador debe ser tal que no impida la circulación por termosifón. Tal sería el caso de un intercambiador de placas o de un intercambiador de serpentín colocado horizontalmente, en los que el

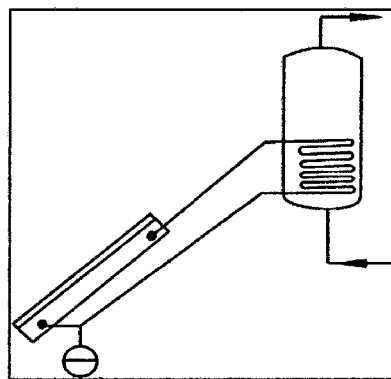


fluido debe circular "hacia arriba" y "hacia abajo" varias veces, algo imposible para la circulación natural.

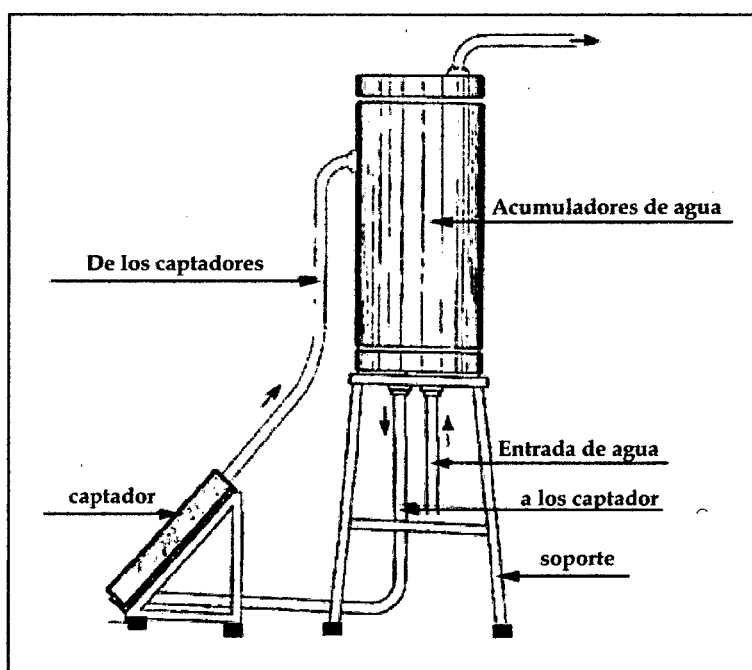
Las configuraciones estudiadas admiten dos variantes, en función del sistema de presurización del circuito. De esta forma, tenemos las instalaciones con vaso de expansión abierto ( Fig. 20) y las instalaciones con vaso de expansión cerrado (Fig. 21). La selección de uno u otro sistema es un aspecto de gran importancia, que analizaremos posteriormente.



**Fig. 20** Termosifón con vaso de expansión abierto.

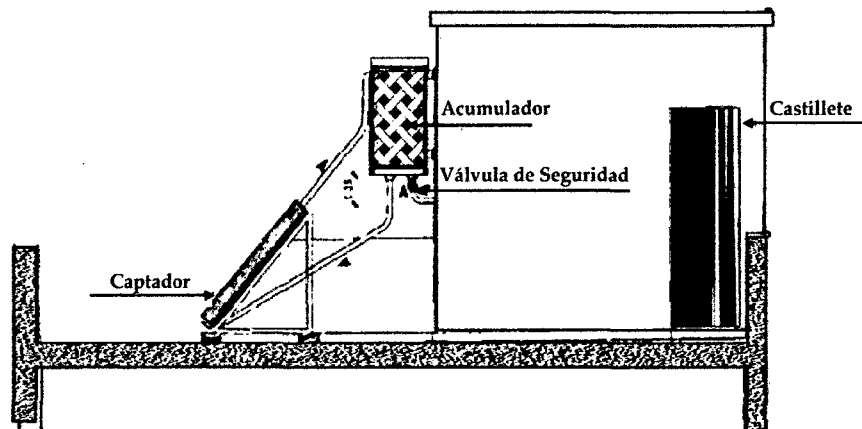


**Fig. 21** Termosifón con vaso de expansión cerrado.

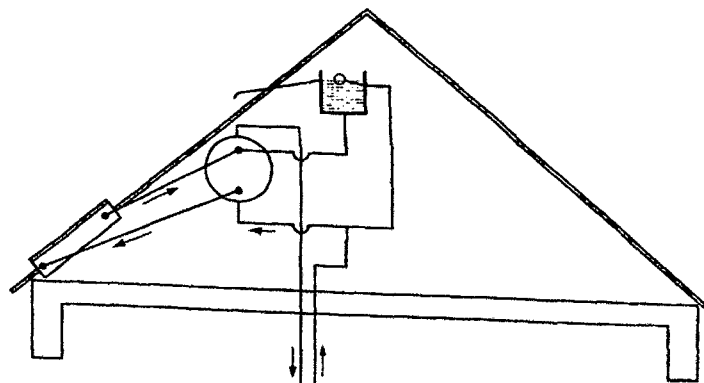


**Fig. 22:** Sistema termosifónico con acumulador vertical.

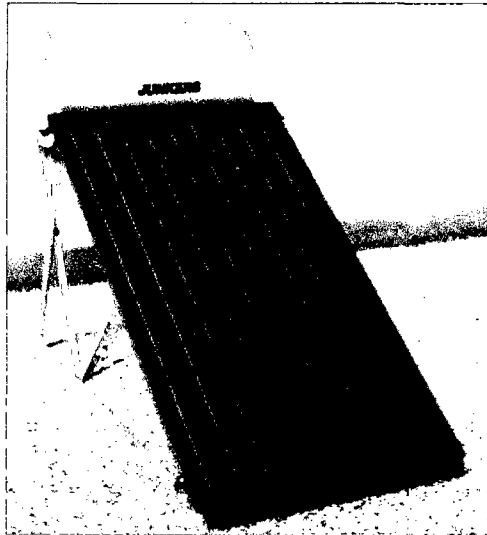
En relación con la posición del depósito, desde un punto de vista de eficiencia del sistema es siempre preferible situarlo verticalmente. Esta era la norma utilizada en las primeras instalaciones. Sin embargo, por razones de espacio, hoy día se tiende a situarlo horizontalmente, en especial en los sistemas compactos.



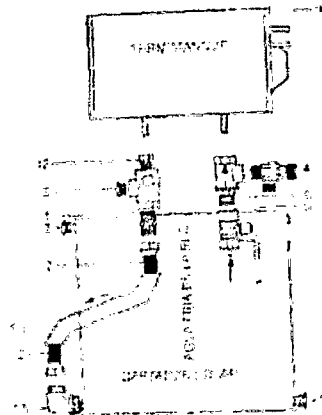
**Fig. 23:** Una instalación termosifónica adaptada a la terraza de una vivienda. Las instalaciones pueden fabricarse en el lugar, adaptándose a sus condicionantes (Fig. 23 y Fig. 24), o utilizar sistemas compactos (Fig. 25 y Fig. 26) construidos íntegramente en fábrica. Esta solución es indudablemente la de mayor fiabilidad y menor coste y, lógicamente, la más utilizada en la actualidad.



**Fig. 24:** Instalación termosifónica bajo el tejado



**Fig. 25:** Sistema compacto por termosifón.



**Fig. 26:** Sistema directo (un captador solar)

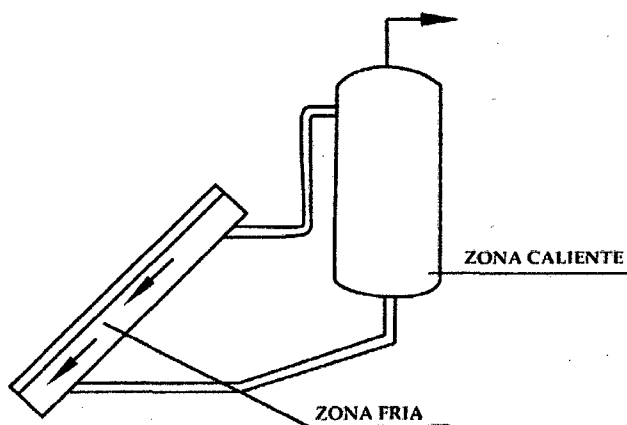
### 3.4. Circulación del fluido caloportador primario por termosifón

En las pequeñas instalaciones el termosifón suele utilizarse en circuitos con intercambiador, por lo que su efecto queda restringido al circuito primario y *no al acumulador*.

Si se usa, como es norma, un fluido caloportador con anticongelante u otros aditivos, hay que procurar que la viscosidad no sea excesiva pues, cuando está frío, la pérdida de carga puede dificultar el comienzo del efecto termosifón, lo cual es un inconveniente frente al sistema de termosifón directo.

No obstante, el sistema de circuito primario independiente conserva las ventajas del directo, como la autonomía, eliminación de riesgos de avería, etc. El riesgo de incrustaciones queda minimizado salvo en el caso de frecuentes vaciados y renovaciones del fluido para prevenir la congelación.

Debe evitarse que durante la noche se produzca la inversión de la dirección del flujo del agua, es decir, que al enfriarse el agua del captador en una instalación mal construida, como la indicada en la Fig. 27, el peso del agua fría de la parte superior del mismo obligue a que el agua más caliente de la parte inferior del depósito circule hacia el captador, ya que en esas condiciones este último actuaría como un radiador, perdiendo calor y enfriando el sistema.



**Fig. 27:** Instalación termosifónica defectuosamente diseñada, al estar parte del acumulador más bajo que el captador.

Es preciso disponer de una válvula anti-retorno en el circuito para evitar la circulación inversa nocturna, debiendo situarse en la tubería de ida a los captadores. Se utilizarán válvulas anti-retorno del tipo de clapeta vertical, u otro similar de baja pérdida de carga. En todo caso se evitarán las válvulas anti-retorno tipo muelle o de clapeta horizontal.

Como el movimiento se genera por diferencias pequeñas de densidad, deben reducirse al máximo las pérdidas friccionales en tuberías y las estrangulaciones de flujo en accesorios.

Las tuberías deben ser de mayor diámetro que las empleadas en instalaciones con circulación. Como regla práctica puede adoptarse el utilizar tuberías normalizadas de un diámetro inmediatamente superior al que se usaría en un sistema equivalente de bombeo. Por otro lado, en ningún caso deben emplearse tuberías inferiores a media pulgada.

Como valores indicativos para las tuberías del circuito primario pueden utilizarse los incluidos en la

**Tabla 3:** Diámetro recomendado para instalaciones por termosifón.

Altura de carga (m)	Distancia horizontal $d$ entre captador y depósito (m)	Diámetro nominal (mm)	Altura de carga (m)	Distancia horizontal $d$ entre captador y depósito (m)	Diámetro Nominal (mm)
$h < 0.3$	$d < 3$	25	$h < 1.5$	$d < 7$	40
$h < 0.3$	$3 < d < 7$	32	$h > 1.5$	$d < 7$	32
$h > 0.3$	$d < 7$	25	$h > 3$	$3 < d < 7$	32
			$h > 3$	$d < 3$	25

*Fuente: Centro de Estudios de la Energía Solare 2007 (CENSOLAR)*

En el montaje del circuito primario no se emplearán codos comerciales a 90°.

Se utilizarán para los cambios de dirección curvas con radios mínimos de tres veces el diámetro del tubo, y en el menor número posible.

Para evitar restricciones internas, en ningún caso se instalarán filtros, válvulas de corte, válvulas anti-retorno u otros componentes que impliquen estrangulaciones al flujo en el circuito primario, con la única excepción de la válvula anti-retorno de clapeta en los casos anteriormente indicados.

Por similares razones debe procurarse que el trazado de las tuberías sea lo más corto posible, situando para ello el depósito cercano a los captadores.

Junto al criterio anterior debe evitarse, siempre que sea posible, los trazados horizontales de tubería y, cuando éstos sean imprescindibles, las tuberías deberán instalarse con una ligera inclinación, no inferior al 5 % y siempre en dirección al tanque.

El flujo en el interior del captador debe ser orientado de forma que se favorezca el funcionamiento por termosifón e igualmente la conexión entre captadores.

La formación de bolsas de aire capaces de impedir el movimiento del fluido constituye uno de los mayores problemas de los sistemas térmicos solares de baja temperatura. La solución de este problema en los sistemas por termosifón va ligada con los criterios de diseño que favorecen el movimiento, esto es, tuberías cortas y siempre con una inclinación que propicie la ascensión de las burbujas de aire. En la parte más alta del circuito se situará un purgador de aire.

El circuito, como se ha indicado, debe incluir un vaso de expansión abierto o cenado, para absorber las dilataciones del agua y mantener presurizado el sistema. Con el estado actual de la tecnología es preferible utilizar vasos abiertos. En este caso el vaso puede actuar al mismo tiempo como elemento de seguridad, evitándose la válvula de seguridad.

Los sistemas con vaso de expansión cerrado deben obligatoriamente montar una válvula de seguridad tarada a la presión máxima del circuito.

### 3.5. Circulación forzada

El uso del electrocirculador presenta ventajas e inconvenientes. Las ventajas son la desaparición de los defectos inherentes a los sistemas de circulación natural, con la consiguiente garantía de una buena eficiencia del sistema.

Entre los inconvenientes, podemos citar:

- ✓ Necesidad de disponer de energía eléctrica, la cual no siempre existe, sobre todo en lo que concierne a viviendas alejadas de núcleos de población. Aunque este inconveniente podría ser subsanado mediante el uso de paneles fotovoltaicos, la instalación se encarecería notablemente.
- ✓ Necesidad de regulación y control del circulador.

La tendencia actual apunta hacia el uso de electrocirculadores, ya que su precio no es elevado, pues las potencias necesarias son muy pequeñas y la excelente calidad de los que pueden encontrarse entre los catálogos de las primeras marcas hace que apenas presenten ningún tipo de problemas o averías.

Lo más usual es disponer el electrocirculador solamente en el circuito primario, pero a veces es preciso utilizar un segundo electrocirculador intermedio situado antes del acumulador. Por último, en lugares donde la presión natural de la red sea insuficiente para producir un buen aporte de A.C.S. en el circuito de distribución y consumo, será necesario disponer de otra bomba impulsora a la salida del depósito acumulador que asegure un caudal adecuado en los puntos de consumo. Estas bombas impulsoras, junto con una serie de dispositivos que llevan anexos, se conocen también con el nombre de «grupos de presión» y son usadas tanto en instalaciones convencionales como solares. En todo caso, al tratarse de un elemento común en instalaciones hidráulicas que se coloca en el circuito de distribución únicamente en caso de insuficiente presión de red, no será considerado con mayor atención.

---

### **3.6. Circulación del fluido caloportador primario por electrocirculador**

Como hemos dicho, el uso de un electrocirculador normalmente viene limitado al circuito primario, no presentándose en general ningún tipo de problemas, sobre todo en instalaciones pequeñas.

No se debe sobredimensionar la potencia eléctrica del mismo, a fin de no producir un consumo innecesario. Ya se ha dicho que el caudal estará normalmente comprendido entre 50 y 75 litros/hora por cada m<sup>2</sup> de superficie captadora.

En general, el uso de un electrocirculador en el primario es imprescindible cuando el intercambiador, interior o exterior al acumulador, se encuentre a un nivel inferior al de los captadores.

No hay que olvidar la necesidad de instalar también una válvula anti-retorno del tipo de clapeta para evitar el efecto termosifónico nocturno, si es que la forma geométrica del intercambiador no lo impide, de la cual nos aseguraremos acerca de su estanquidad.

Si la válvula anti-retorno es de muelle, hay que tener en cuenta la pérdida de cama suplementaria que produce este dispositivo a la hora de dimensionar el electrocirculador.

### **3.7. Transmisión de calor mediante un intercambiador exterior**

En estos casos la instalación tiene dos circuitos totalmente independientes (primario y secundario) que confluyen en el intercambiador, el cual puede ser de placas o de tubos.

Es teóricamente posible que, aunque se use un intercambiador exterior, la circulación en el primario pueda ser termosifónica, pero lo normal es que sea



acelerada por una bomba de circulación, ya que para que el intercambio sea eficaz requiere un caudal de circulación mínimo que difícilmente sería posible lograr por el simple efecto termosifón.

Este conjunto del circuito primario debe ser capaz de resistir la presión máxima de red, por si, en el caso de una avería en el intercambiador, se estableciese una comunicación entre el circuito secundario (a presión de red) y el primario o, en todo caso, disponer de una válvula de seguridad tarada a presión inferior a la que el circuito primario pueda soportar.

#### **4. NORMATIVIDAD A SEGUIR PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE CAS.**

##### **N.T.E. EM.080 Instalaciones Con Energía Solar**

###### *“6.1.1 LUGAR DE UBICACIÓN*

*Las termas solares se pueden disponer en terrazas, techos, patios, o cualquier área donde se pueda instalar una estructura adecuada que sirva de apoyo y soporte de la terma solar a instalar teniendo en cuenta que no deben existir elementos que obstaculicen la incidencia de los rayos solares sobre el área colectora o que puedan interferir en su buen funcionamiento (vegetación, nieve, tierra, construcciones cercanas, cables aéreos, etc.) y así reduzcan su rendimiento térmico.”*

###### *“6.1.2 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN*

*Los colectores solares planos deben estar orientados hacia el norte y mantener un ángulo de inclinación equivalente a la latitud del lugar de instalación más 10 grados.”*

###### *“6.1.3 ESTRUCTURA DE SOPORTE*

- *La estructura de soporte de los colectores y del tanque de almacenamiento deben ser fijados a elementos estructurales del techo o de la superficie*

*donde se instalen, mediante el uso de piezas de fijación de tamaño adecuado.*

- *Los soportes deben proveer un adecuado paso y sujeción de la tubería.”*

**NTP 399.400, 2001: COLECTORES SOLARES. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores solares**

*Esta Norma Técnica Peruana establece los métodos de prueba para determinar el comportamiento térmico de colectores de energía solar que usan fluidos de una sola fase y no tienen almacenamiento de energía interior significativo.*

**ANSI/ASHRAE 93-1986 (RA 91). Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors**

*Esta norma fue preparada por un comité formado principalmente por miembros de ASHRAE. El objetivo del comité era formular un procedimiento de ensayo con que puedan probarse colectores de energía solares, tanto bajo techo como al aire libre para evaluarlos de acuerdo a su comportamiento térmico y determinar su constante de tiempo y la variación de su eficiencia para cambios en el ángulo de incidencia de los rayos directos del sol y la normal a la abertura del colector.*

## **5. DIMENSIONAMIENTO**

### **5.1. Determinación del consumo de agua caliente y del patrón de demanda**

Para establecer el tamaño óptimo de una terma solar para determinados clientes, primero necesita conocer la demanda de agua caliente. Para calcular el consumo de agua caliente y el patrón de demanda de una casa, hotel o empresa, es preferible utilizar medidores de energía durante un periodo de un año.

El resultado de esta medición permite un cálculo detallado de la demanda y del patrón de demanda (por día, por mes y por año).

Si no fuera posible usar medidores de energía, por lo menos se puede medir el consumo de agua caliente de una semana, con lo cual se podrá calcular el consumo por mes y por año.

Otra opción para calcular el uso de agua caliente en un hogar es analizar mensualmente los recibos de agua. Para el promedio de familias, la cantidad de agua caliente utilizada constituye aproximadamente 25% del consumo total de agua.

Si ninguno de estos métodos es factible, la demanda será calculada mediante reglas básicas, utilizando el siguiente cuadro para demanda de agua caliente

**Tabla 4:** Cantidad de agua caliente usada por diferentes sectores

Criterio de demanda	Litros ACS/día	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel****	70	por cama
Hotel***	55	por cama
Hotel/Hostal**	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión*	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábrica y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

*Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. RITE*

Del cual el consumo diario de ACS se calcula:

$$\text{Consumo de ACS} = LPD * N^{\circ}c \dots \dots \dots \text{Ec. (1)}$$

Donde:

LPD: Consumo diario de ACS de cada consumidor

N°c: Número de consumidores

### 5.2. Determinación de la demanda energética

La demanda energética de ACS es la energía necesaria para llevar el agua desde la temperatura de la red hasta la temperatura deseada, siendo una temperatura óptima 32 °C utilizada normalmente en procesos quirúrgicos.<sup>4</sup>

$$E = MC_p(T_{ACS} - T_{H2O})n \dots \dots \dots \text{Ec. (2)}$$

Donde:

*E*: Energía calorífica requerida (MJ/mes)

*M*: Masa de agua a calentar (Kg/día)

*C<sub>p</sub>*: Calor específico del agua (4.18 kJ/kg°C)

*T<sub>H2O</sub>* : Temperatura inicial del agua (°C)

*T<sub>ACS</sub>*: Temperatura final del agua (°C)

*n*: Numero de días del mes que se considera

### 5.3. Determinación del recurso solar

El Perú cuenta con un gran potencial de energía solar, gracias a sus características geográficas y climatológicas. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y uniforme durante todo el año comparado con otros países.<sup>5</sup>

A nivel anual las zonas con mayor potencial de energía solar son:

- Costa Sur (16°a 18°S) con 6.0 a 6.5 kW h/m<sup>2</sup>
- Costa Norte (3°a 8°S) con 5.5 a 6.0 kW h/m<sup>2</sup>
- Gran parte de la Sierra sobre los 2500 msnm con el siguiente orden:  
Sierra

<sup>4</sup> Estela Porquis y N Benites, Procedimientos en Salud (UNALM: Perú, 2011), p.13.

<sup>5</sup> Dirección Nacional de Urbanismo, Ciudades Ecológicas (MVCS:Perú,2008),p.7

- Sur, Sierra Central y Sierra Norte.
- Selva, donde se registran los valores más bajos con 4.5 a 5.0 kW h/m<sup>2</sup>

La ciudad de Chimbote se encuentra en la costa norte, presenta un buen potencial energético para aprovechamiento del recurso los promedios mensuales de radiación solar incidente sobre la superficie en Chimbote se puede extraer del atlas Solar del Perú.<sup>6</sup> Obteniéndose para Chimbote los siguientes valores:

**Tabla 5:** Promedios Mensuales de Radiación Global en Chimbote

MESES	H <sub>c</sub> (kW-h/m <sup>2</sup> )		
	Máx.	Min	Prom
Enero	6,00	5,50	5,75
Febrero	5,50	5,00	5,25
Marzo	5,50	5,00	5,25
Abril	6,00	5,50	5,75
Mayo	5,50	5,00	5,25
Junio	4,50	4,00	4,25
Julio	4,50	4,00	4,25
Agosto	5,00	4,50	4,75
Septiembre	6,00	5,50	5,75
Octubre	5,00	4,50	4,75
Noviembre	6,00	5,50	5,75
Diciembre	7,00	6,50	6,75
<b>PROMEDIO ANUAL</b>	<b>5,54</b>	<b>5,04</b>	<b>5,29</b>

*Fuente: Atlas de energía Solar del Perú*

#### 5.4. Determinación del área efectiva (N° de colectores)

Una vez calculada la energía necesaria (E) para un día (de preferencia un día del mes crítico), se puede calcular el área de la superficie del colector, tomando en cuenta la radiación solar sobre el plano inclinado ( $\bar{H}_T$ ) y la eficiencia del

<sup>6</sup> Ministerio de Energía y Minas, Atlas de energía Solar del Perú, (Perú, MINEM, 2003).

sistema ( $\eta$ ). Área de captación requerida ( $A_{Cap}$ ) se determinara mediante la siguiente formula:

$$A_{Cap} = \frac{E}{H_p * \eta} \dots\dots\dots Ec. (3)$$

La radiación global varía durante el día, durante el año y también según la altitud y latitud. Para realizar los cálculos, puede utilizar el índice de radiación registrado para el Perú registrado en el Atlas solar (Ver tabla 5).

La eficiencia del colector depende, entre otras cosas, del tipo de colector, el aislamiento, la instalación, etc. Por lo general, la eficiencia de un sistema completo (colector y tanque), si se utiliza adecuadamente, está entre 30 - 50%.

Podemos decir, como regla básica, que se puede utilizar un promedio de 35 - 40%.<sup>7</sup>

El número de colectores estará determinado por la siguiente relación:

$$N_C = \frac{A_{Cap}}{A_C} \dots\dots\dots Ec. (4)$$

Dónde:

$N_C$ : Número de colectores

$A_{Cap}$ : Área de captación

$A_C$ : Área del colector

<sup>7</sup>Carlos Orbegoso, B. Schulte y G. Hoogenstrijd, Calentamiento de agua mediante el uso de termas solares (Perú: Hulsebosch Prior, 1984), p. 52.

### **5.5. Tamaño del tanque de almacenamiento**

El tamaño del tanque deberá ser proporcional al requerimiento diario de agua. Si se instala un tanque más grande, el agua estará a una temperatura más baja durante los días de menor radiación. Un tanque más pequeño proporcionará agua caliente a temperatura más alta. Si un tanque es demasiado pequeño, se presentarán pérdidas de calor debido a la alta temperatura del flujo de entrada y probablemente, no pueda satisfacer la demanda completa de agua caliente. En días de mayor radiación, el tamaño del tanque deberá ser tal que la temperatura no exceda los 65 - 70° C.

### **5.6. Sistema de intercambio de calor**

El intercambiador más sencillo se puede realizar dividiendo un depósito mediante una pared estanca que transmita fácilmente el calor.

El intercambio de energía que se va a producir será directamente proporcional a la superficie de intercambio y a la diferencia de temperatura entre ambas caras. A mayor superficie mayor intercambio y a mayor diferencia de temperatura mayor potencia.

Lógicamente también influye el coeficiente de transmisión K (Tabla 6) del material de la pared y su espesor, quedando por tanto, en el caso más general la expresión de la transferencia de potencia de un intercambiador de placa plana por conducción, de la siguiente manera:

$$Q = K \frac{S(T_c - T_f)}{e} \dots\dots\dots \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

Q = potencia del intercambiador

K = coeficiente de transmisión

S = superficie de intercambio

Tc = temperatura cara más caliente

TF = temperatura cara más fría

**Tabla 6:** Coeficiente de transmisión de diferentes materiales

Material	Coeficiente (W/m°C)
Cobre	372
Acero	46
Aluminio	209.3
Ladrillo	0,46
Corcho	0,0046

### 5.7. Efectividad de un Intercambiador de calor

La efectividad de un Intercambiador de calor  $E$  se define como la relación entre la cantidad de calor real transmitida (Q) y la máxima transmisión de calor posible

$$E = \frac{Q}{Q_{\max}} \dots\dots\dots \text{Ec. (6)}$$

En un Intercambiador de calor, se tienen dos circuitos por donde circulan los fluidos (Fig. 28), uno que cede calor y otro que lo recibe:



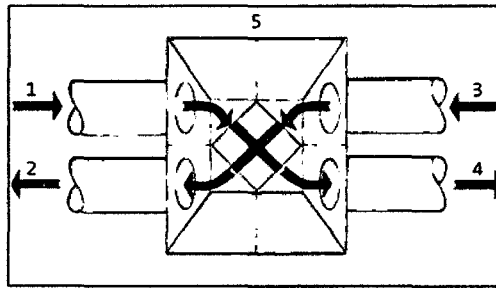


Fig. 28: Esquema de un Intercambiador de calor

Siendo:

$t_1$  = temperatura de entrada del fluido del circuito primario

$t_2$  = temperatura de salida del fluido del circuito primario

$t_3$  = temperatura de entrada del fluido del circuito secundario

$t_4$  = temperatura de salida del fluido del circuito secundario

Se llama primario a la parte con mayor temperatura del sistema de intercambio y secundario a la de menor temperatura, la que absorbe el calor.

La cantidad de calor transmitida entre ambos fluidos, en condiciones ideales es:

$$E = C_1 \cdot C_{e1} \cdot (t_1 - t_2) = C_2 \cdot C_{e2} \cdot (t_1 - t_3) \dots \dots \dots \text{Ec. (7)}$$

Dónde:

$C_1$  = caudal circuito primario

$C_2$  = caudal circuito secundario

$C_{e1}$  = calor específico del fluido del circuito primario

$C_{e2}$  = calor específico del fluido del circuito secundario

En función del caudal másico ( $m$ ) y del calor específico en los circuitos primario y secundario, puede determinarse la eficiencia del intercambiador.

Si  $m_p \cdot C_{e1} \leq m_s \cdot C_{e2}$  entonces la efectividad del Intercambiador  $E$  será:

$$E = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3} \dots\dots\dots \text{Ec. (8)}$$

En el caso de las instalaciones solares térmicas en regiones muy frías, el fluido primario es una solución que contiene anticongelante, que tiene un menor calor específico que el del circuito secundario que es agua.

Como referencia el valor de E para una instalación de uso constante durante todo el año puede considerarse de 0,7

## 6. EVALUACIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR

Los procedimientos y evaluación que a continuación se muestran son aplicables par colectores solares de placa plana, tomando en cuenta la metodología dada por Paz Gutiérrez<sup>8</sup> quienes aplican de manera práctica las ecuaciones de Duffie, J.A. y Beckman, W.A.<sup>9</sup>

### 6.1. Declinación solar y pendiente de los colectores

En el estudio de los procesos térmicos solares es muy importante el medio de captación de la energía solar, ya que con base en esto se puede diseñar todo un sistema que opere utilizándola y aprovechando el mayor porcentaje posible. Para recolectar la mayor cantidad de energía radiante procedente del sol, es necesario contar con un sistema de colectores que ofrezcan su cara perpendicular a la incidencia de los rayos solares, a la hora en que el sol se encuentra en su posición más alta sobre el meridiano local (12 horas tiempo solar).

La relación geométrica entre un plano con cualquier orientación particular

<sup>8</sup>Jenaro Paz, Colectores solares planos (UACJ:Mexico,2006),Vol. 1

<sup>9</sup>Jhon Duffie y W Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes (John Wiley & Sons: New York, 1991), p.250-326.

relativa a la Tierra a cualquier hora y la radiación solar incidente, esto es, la posición del sol con respecto a ese plano, se puede describir en términos de algunos ángulos (véase Fig. 29).

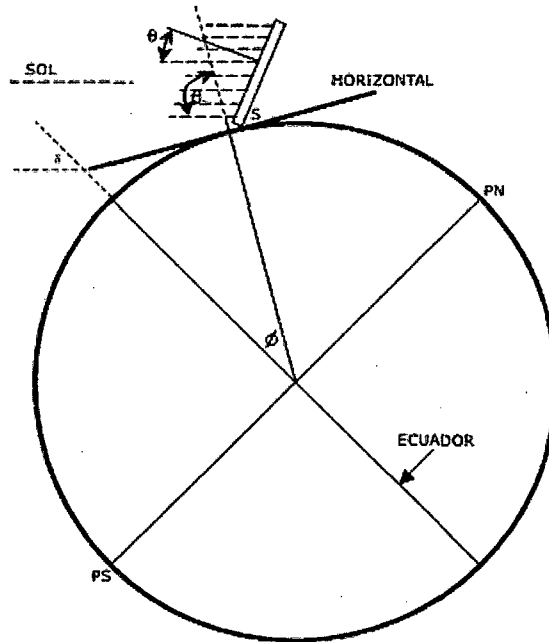


Figura que muestra las definiciones de los ángulos  $\phi$ ,  $\delta$  y  $\theta$ .

**Fig. 29:** Definiciones de ángulos

Estos ángulos y su definición son los siguientes:

$\phi$  = Latitud (norte positiva).

$\delta$  = Declinación (posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador) (norte positiva).

$S$  = El ángulo entre la horizontal y el plano (pendiente).

$\gamma$  = Desviación de la normal a la superficie con respecto al meridiano local, el punto cero corresponde al sur, el este es positivo y el oeste negativo.

$W$  = Ángulo de la hora, el mediodía solar corresponde al cero, y cada hora es igual a  $15^\circ$  de longitud con las mañanas positivas y las tardes negativas.

$\theta$  = El ángulo de incidencia de la radiación. Este ángulo se mide con respecto a la normal.

La declinación,  $\delta$ , se puede encontrar con la ecuación aproximada de Cooper (1969),

$$\delta(n) = 23.45 \text{sen} \left[ 360 \frac{284 + n}{365} \right] \dots\dots\dots \text{Ec. (9)}$$

Donde  $n$  es el día del año.

La relación entre  $\theta$  y los otros ángulos está dada por:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \text{sen} \delta \text{sen} \phi \cos S - \text{sen} \delta \cos \phi \text{sen} S \cos Y + \cos \delta \cos \phi \cos S \cos W \\ &+ \cos \delta \text{sen} \phi \text{sen} S \cos Y \cos W + \cos \delta \text{sen} S \text{sen} Y \text{sen} W \dots\dots\dots \text{Ec. (10)} \end{aligned}$$

Si consideramos un colector orientado en la dirección norte-sur ( $Y=0$ ) a las 12 horas tiempo solar ( $W=0$ ) tendremos que

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \text{sen} \delta \text{sen} \phi \cos S - \text{sen} \delta \cos \phi \text{sen} S \cos Y + \cos \delta \cos \phi \cos S + \cos \delta \\ &\text{sen} \phi \text{sen} S \cos Y \dots\dots\dots \text{Ec. (11)} \end{aligned}$$

$$\cos \theta = \text{sen} \delta [\text{sen}(\phi - S)] + \cos \delta [\cos(\phi - S)] = \cos(\delta + S - \phi)$$

$$\theta = \delta + S - \phi \dots\dots\dots \text{Ec. (12)}$$

Si lo que deseamos es que la radiación solar incida perpendicularmente sobre el colector tenemos

Que hacer  $\theta = 0^\circ$  y

$$S = \phi - \delta \dots\dots\dots \text{Ec. (13)}$$

Teniendo en cuenta que la latitud de Chimbote es de  $09^\circ 08'$  entonces  $\phi = 9.13^\circ$  y

$$S(n) = 9.13^\circ - \delta(n) \dots\dots\dots \text{Ec. (14)}$$

Será la fórmula para calcular la pendiente de los colectores para incidencia normal en cualquier día del año.

Otros ángulos suelen definirse, y el más frecuente es  $\theta_z =$  ángulo zenital, ángulo entre el rayo del sol y la vertical.

De la Fig. 29 vemos que para superficies horizontales ( $S = 0$ ), tenemos que

$$\cos \theta_z = \text{sen} \delta \text{ sen} \phi + \text{cos} \delta \text{ cos} \phi \text{ cos} W \quad \dots\dots\dots \text{Ec. ( 15 )}$$

Y por lo tanto, cuando se tiene un colector con una cierta pendiente  $S$  la relación que nos da el ángulo con que inciden los rayos solares sobre el colector es

$$\cos \theta_r = \text{sen} \delta \text{ sen}(\phi - S) + \text{cos} \delta \text{ cos}(\phi - S) \text{ cos} W \quad \dots\dots\dots \text{Ec. ( 16 )}$$

Por lo tanto, el factor que convierte la radiación sobre la superficie de la Tierra a ésa sobre el plano del colector es

$$R = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_z} \quad \dots\dots\dots \text{Ec. ( 17 )}$$

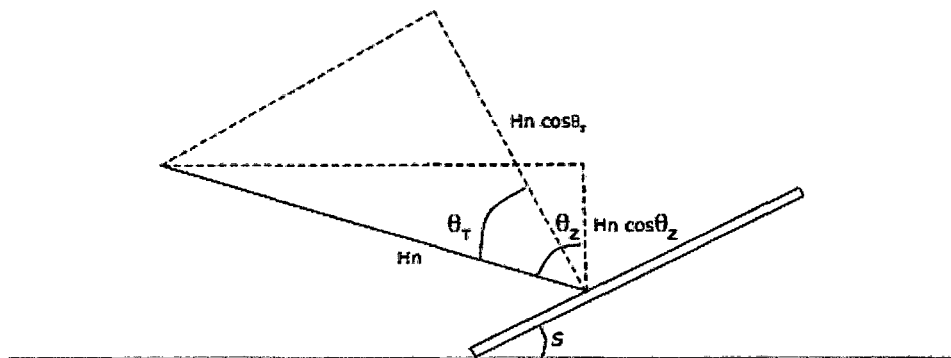


Fig. 30: Ángulos respecto a la inclinación del colector

Al mediodía solar ( $W = 0$ ) y

$$\cos \theta_r = \text{sen} \delta \text{ sen}(\phi - S) + \text{cos} \delta \text{ cos}(\phi - S) = \text{cos}(\phi - S - \delta) \quad \dots\dots\dots \text{Ec. ( 18 )}$$

ó  $\theta_r = \phi - S - \delta$

Y por lo tanto

$$R = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_z} = \frac{\cos(\phi - S - \delta)}{\cos(\theta - \delta)} \dots\dots\dots \text{Ec. ( 19 )}$$

Para el mediodía solar.

## 6.2. Medición y estimación de la radiación solar incidente en la superficie de los colectores

La intensidad de la radiación es la cantidad de energía solar que cae en una unidad de tiempo, sobre una superficie, en forma perpendicular, al flujo de radiación en el espacio cósmico entre la distancia media del sol y la tierra se denomina Constante Solar. La cual tiene un valor medio estándar de:

$$I_s = 1372.3 \text{ W / m}^2 \quad \text{ó} \quad I_s = 4940.28 \text{ kJ / m}^2 \text{ h}$$

Debido a que la distancia entre el sol y la tierra sufre constantes cambios, determinamos el valor de la constante solar para un determinado día del año:

$$I_{s\text{efec}} = I_s \left[ 1 + 0.0033 \cos\left(\frac{360^\circ}{365.25} n\right) \right] \dots\dots\dots \text{Ec. ( 20 )}$$

Al Valor de la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal en ausencia de atmosfera se le conoce como **Radiación Global Extraterrestre** y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H_0 = \frac{241.3600}{\pi} I_{s\text{efec}} \left[ \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{Sen}(\omega_s) + \frac{\pi \omega_s}{180} \text{Sen}(\varphi) \text{Sen}(\delta) \right] \dots\dots \text{Ec. ( 21 )}$$

La radiación incide sobre una superficie inclinada, en un determinado momento está dada por la siguiente ecuación:

$$\overline{H}_T = \overline{H}_D.R_D + \overline{H}_d.R_d + \overline{H}_G.R_\rho \dots\dots\dots \text{Ec. (22)}$$

Donde:

$\overline{H}_T$  : Radiación incidente sobre una superficie inclinada

$\overline{H}_D$  : Radiación directa

$$\overline{H}_D = \overline{H}_G - \overline{H}_d \dots\dots\dots \text{Ec. (23)}$$

$R_D$  : Componente de la radiación directa sobre un plano inclinado

$$R_D = \frac{\cos(\varphi - S)\cos\delta.\cos\omega'_s + \text{Sen}(\varphi - S)\text{Sen}\delta.\omega'_s \frac{\pi}{180}}{\cos\varphi.\cos\delta.\cos\omega + \text{Sen}\varphi.\text{Sen}\delta.\omega_s \frac{\pi}{180}} \dots \text{Ec. (24)}$$

$\overline{H}_d$  : Radiación difusa

$$\overline{H}_d = \overline{H}_G [-0.4316\text{Ln}(K) + 0.0691] \dots\dots\dots \text{Ec. (25)}$$

$$K = \overline{H}_G / \overline{H}_0 \dots\dots\dots \text{Ec. (26)}$$

$R_d$  : Componente de la radiación difusa sobre un plano inclinado

$$R_d = \frac{1 + \cos(S)}{2} \dots\dots\dots \text{Ec. (27)}$$

$\overline{H}_G$  : Radiación global (tomada de Mapas de radiación solar o mediciones directas con instrumentos)

$R_\rho$  : Componente de la radiación global sobre un plano inclinado

$$R_\rho = \frac{1 - \cos(S)}{2} \rho \dots\dots\dots \text{Ec. (28)}$$

### 6.3. Absorción, reflexión y transmisión de la radiación

Para superficies opacas, la suma de la absorbitancia y de la reflectancia debe ser igual a uno. Si la superficie es transparente a la radiación incidente, la suma de la absorbancia, reflectancia y transmitancia debe ser igual a uno.

Fresnel derivó una relación para la reflexión de radiación no polarizada al pasar de un medio con índice refractivo  $n$  a otro con índice  $n$ .

$$\frac{I_p}{I_0} = \frac{1}{2} \left( \frac{\text{sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\text{tan}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{tan}^2(\theta_2 + \theta_1)} \right) \dots\dots\dots \text{Ec. (29)}$$

Donde  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son los ángulos de incidencia y refracción. En esta expresión los dos términos dentro del paréntesis cuadrado representa la reflexión para cada uno de los dos componentes de polarización. Los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  están relacionados con los índices de refracción por la Ley de Snell.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen} \theta_2}{\text{sen} \theta_1} \dots\dots\dots \text{Ec. (30)}$$

De esta forma, conociendo el ángulo de incidencia y los índices de refracción, las ecuaciones Ec. (29) y Ec. (30) nos dan la reflectancia de la interfaz. Un caso especial es cuando la radiación incide en un ángulo de cero grados, entonces Ec. (29) puede escribirse como

$$\rho = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \dots\dots\dots \text{Ec. (31)}$$

Los materiales usados para cubrir colectores solares (vidrio) requieren la transmisión de la radiación a través de ellos, habiendo por lo tanto dos interfaces por cubierta que causan pérdidas de reflexión.

Despreciando absorción de la radiación en la cubierta como se muestra en la Figura 14,  $(1-p)$  de la radiación incidente llega a la segunda interface. De esta,  $(1-p)^2$  pasa a través de la interface y  $p(1-p)$  se refleja a la primera y así sucesivamente. Sumando todos los términos, tenemos que la transmitancia para una sola cubierta despreciando la absorción es



$$\tau_{r,1} = (1-\rho)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho^{2n} = \frac{(1-\rho)^2}{(1-\rho^2)} = \frac{1-\rho}{1+\rho} \dots\dots\dots \text{Ec. (32)}$$

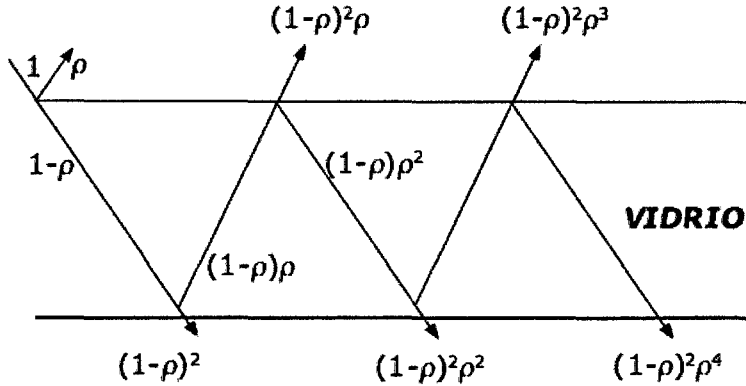


Fig. 31

Para un sistema de  $n$  cubiertas, todas del mismo material, un análisis similar da

$$\tau_{r,1} = \frac{1-\rho}{1+(2n-1)\rho} \dots\dots\dots \text{Ec. (33)}$$

Esta relación es válida para cada uno de los componentes de polarización. La transmitancia para luz no polarizada se encuentra tomando el promedio de las transmitancias de las dos componentes.

La absorción de la radiación en un medio parcialmente transparente está descrita por la Ley de Bouger, que se basa en la suposición de que la radiación absorbida es proporcional a la intensidad local en el medio y a la distancia que la radiación viaja en el medio,  $x$ :

$$dI = -IKdx \dots\dots\dots \text{Ec. (34)}$$

Donde  $K$  es el coeficiente de extinción, suponiéndose que es constante en el espectro solar. Integrando esto entre  $0$  y  $L$ ,

$$\tau_a = \frac{I_L}{I_0} = e^{-KL} \dots\dots\dots \text{Ec. (35)}$$

Para el vidrio, el valor de  $K$  varía desde  $0.04 \text{ cm}$  para uno muy transparente

hasta 0.32 cm para uno de mala calidad. Si se tienen  $N$  cubiertas de grosor  $L$  entonces la expresión Ec. (35) quedará como:

$$\tau_a(\theta_1) = e^{-\frac{NKL}{\cos \theta_2}} \dots \text{Ec. ( 36 )}$$

Para obtener la transmitancia permitiendo tanto reflexión como absorción, es necesario multiplicar las dos transmitancias.

$$\tau = \tau_r \tau_a \dots \text{Ec. ( 37 )}$$

De la radiación que pasa a través de la cubierta y que llega al absorbente, alguna se refleja hacia la cubierta, sin embargo no toda esta radiación se pierde, ya que una parte se refleja de nuevo hacia el absorbente.

En la Fig. 32 se ilustra la anterior situación,  $\tau$  viene siendo la transmitancia de la cubierta a un cierto ángulo deseado según se calcula de Ec. (37) y  $\alpha$  es la absorbitancia angular de la placa absorbente. De la energía incidente, se absorbe por la placa absorbente y  $(1-\alpha)\tau$  se refleja nuevamente al sistema de cubierta. La reflexión de la placa absorbente es difusa, por lo tanto la fracción  $((1-\alpha)\tau$  que llega a la cubierta es radiación difusa y  $(1-\alpha)\tau\rho_d$  se refleja de nuevo a la placa absorbente. La cantidad  $\rho_d$  se refiere a la reflexión por la cubierta de la radiación incidente difusa.

La reflexión múltiple de la radiación difusa continúa y la energía total absorbida por la placa absorbente es

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \dots \text{Ec. ( 38 )}$$

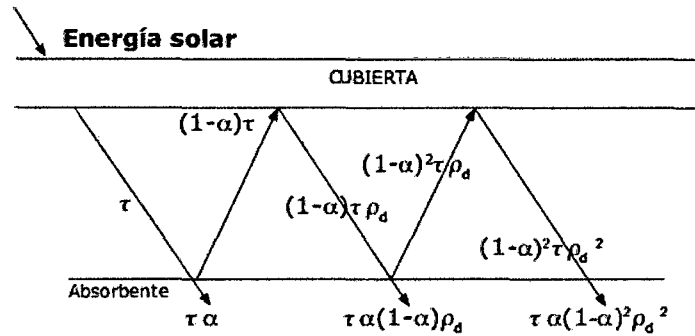


Fig. 32: Absotancia, reflectancia y transmitancia

La reflectancia difusa  $\rho_d$ , se puede estimar usando la reflexión del sistema de cubierta a un ángulo de incidencia de  $60^\circ$ .

#### 6.4. Eficiencia del colector

El parámetro básico que caracteriza al colector solar es su eficiencia, que es la relación entre la energía térmica útil retirada del colector y la energía solar incidente. Esta dependerá del proyecto del colector, tiempo de operación y de factores externos tales como: condiciones meteorológicas y disposición del colector en relación a la tierra (NTP 399.400, 2001), (ASHRAE Standard 93-77,1977).

En función en las normas antes mencionadas se utiliza el **método estacionario** de medición de la eficiencia. Para lograr dichas condiciones no debe haber cambios significativos de radiación incidentes o de las temperaturas principalmente a la salida del tanque, estas condiciones usualmente se consiguen al medio día.

La eficiencia del colector puede ser expresada en las siguientes expresiones:

$$\eta = \frac{Q_u}{H_R \cdot A_c} \dots\dots\dots \text{Ec. (39)}$$

$$\eta = F' \left\{ T_a - \frac{U_L}{A_c \cdot h_p} (T_m - T_a) \right\} \dots\dots\dots \text{Ec. (40)}$$

$$\eta = F_R \left\{ \tau \alpha - \frac{U_L}{h_p} (T_e - T_a) \right\} \dots\dots\dots \text{Ec. (41)}$$

$$Q_u = m C_p (T_s - T_e) \dots\dots\dots \text{Ec. (42)}$$

$$\eta = \frac{m C_p (T_s - T_e)}{h_p A_c} \dots\dots\dots \text{Ec. (43)}$$

Dónde:

- Q :Potencia térmica retirada del colector {W}
- F' FR :Parámetros relacionados a la conductancia de la placa absolvedora y el agua
- $\tau \alpha$  :Constante que contiene las perdidas ópticas y de pérdidas por absorción
- U<sub>L</sub> :Coeficiente Global de pérdidas de calor del colector {W/m<sup>2</sup>C}
- h<sub>p</sub> :Radiación solar incidente para un plano inclinado {W/m<sup>2</sup>}
- A<sub>c</sub> :Área del colector solar {m<sup>2</sup>}
- T<sub>m</sub> :Temperatura media del agua en el colector {°C}
- T<sub>e</sub> :Temperatura del agua en la entrada del colector {°C}
- T<sub>s</sub> :Temperatura del agua a la salida del colector {°C}
- T<sub>a</sub> :Temperatura ambiente {°C}
- m :Flujo másico del agua {L/s}
- C<sub>p</sub> :Calor específico del agua (J/kgK)

Mediante la Ecuación (39) se encuentra la eficiencia para un mínimo de 4 puntos en estado estacionario, los cuales se grafican versus  $(T_e - T_{amb}) / h_p$ , la ecuación de la recta

resultante se conoce como la ecuación característica de la eficiencia instantánea del colector de placa plana, y se puede graficar en forma de una recta en un gráfico  $\eta = f [ (T_e - T_{amb}) / h_p ]$ .

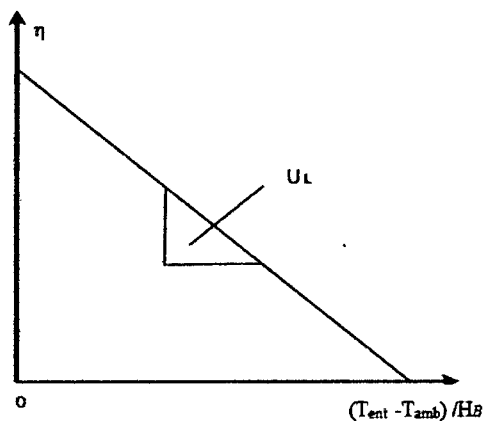


Fig. 33: Curva característica de la eficiencia instantánea de un colector de placa plana en función a las condiciones operativas  $(T_{ent} - T_{amb}) / h_p$ .

### 6.5. Coeficiente de pérdida de calor $U_L$

Consideremos la red térmica para un sistema de una cubierta que se muestra en la Fig. 34 del lado izquierdo.

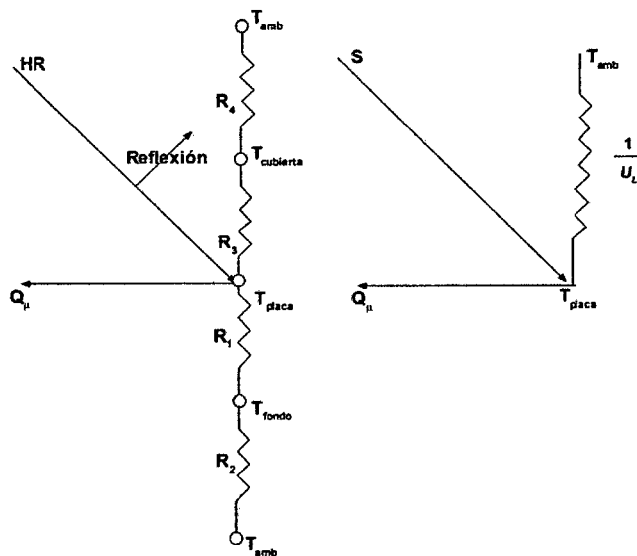


Fig. 34: Representación de las pérdidas de calor en el colector

En un cierto lugar de la placa donde la temperatura es T, una cantidad S de energía solar se absorbe, S es igual a  $[HR(\tau\alpha)]_{directa} + [HR(\tau\alpha)]_{difusa}$ . Esta energía se distribuye en pérdidas por arriba, abajo, los lados ( $U_L=U_a+U_r+U_{lados}$ ) y en una ganancia energética útil. Nuestro propósito aquí es convertir la red de la figura del lado izquierdo en la figura del lado derecho.

La pérdida de energía por abajo está representada por dos resistencias  $R_1$  y  $R_2$  en serie.  $R_1$  representa la resistencia al flujo de calor a través del aislante y  $R_2$  representa la resistencia de radiación y convección hacia el ambiente. De hecho se puede suponer que  $R \approx 0$  y que toda la resistencia se debe al aislante. Por lo tanto el coeficiente de pérdidas por abajo,  $U_a$ , es aproximadamente

$$U_a = \frac{1}{R_1} = \frac{K}{L} \dots\dots\dots \text{Ec. ( 39 )}$$

Donde K y L son la conductividad térmica y el grosor del aislante, respectivamente.

Las pérdidas por los lados siempre son muy pequeñas, por lo tanto no es necesario predecirlas con mucha certeza. El coeficiente de pérdidas de la superficie superior es el resultado de la convección y radiación entre placas paralelas. La transferencia de energía entre la placa a T y la cubierta de vidrio a T es exactamente la misma que entre la cubierta y el ambiente.

$$q_{p\acute{e}rdida, arriba} = h_{p-c} (T_{placa} - T_{cubierta}) + \frac{\sigma(T_{placa}^4 - T_{cubierta}^4)}{\frac{1}{e_{placa}} + \frac{1}{e_{vidrio}} - 1} \dots\dots \text{Ec. ( 40 )}$$

Donde  $h_{p-c}$  es el coeficiente de transferencia de calor entre dos placas paralelas inclinadas. Si el término de radiación se linealiza, el coeficiente de transferencia de calor por radiación se puede usar y la pérdida de calor es

$$q_{\text{pérdida, arriba}} = (h_{p-c} + h_r)(T_{\text{placa}} - T_{\text{cubierta}}) \dots\dots\dots \text{Ec. ( 41 )}$$

$$h_r = \frac{\sigma(T_{\text{placa}} + T_{\text{cubierta}})(T_{\text{placa}}^2 + T_{\text{cubierta}}^2)}{\frac{1}{e_{\text{placa}}} + \frac{1}{e_{\text{vidrio}}} - 1} \dots\dots\dots \text{Ec. ( 42 )}$$

La resistencia, R3, se puede expresar como

$$R_3 = \frac{1}{h_{p-c} + h_r} \dots\dots\dots \text{Ec. ( 43 )}$$

La resistencia de la cubierta al ambiente tiene la misma forma que Ec. (48), pero el coeficiente de transferencia de calor por convección es para el viento que sopla sobre el colector. Valores aproximados están dados por  $h_{\text{viento}} = 5.7 + 3.8V$ . La resistencia de radiación de la cubierta tiene que ver con la temperatura T .

$$h_{ra} = \varepsilon_{\text{vidrio}} \sigma(T_{\text{cubierta}} + T_{\text{ambiente}})(T_{\text{cubierta}}^2 + T_{\text{ambiente}}^2) \dots\dots\dots \text{Ec. ( 44 )}$$

La resistencia de la atmósfera está dada por

$$R_4 = \frac{1}{h_w + h_{ra}} \dots\dots\dots \text{Ec. ( 45 )}$$

$h_w$  es el coeficiente de transferencia de calor por el viento. Para este sistema el coeficiente de pérdidas por arriba de la placa del colector al ambiente es

$$U_t = \frac{1}{R_3 + R_4} \dots\dots\dots \text{Ec. ( 46 )}$$

O sea

$$U_t = \left( \frac{1}{h_{p-c} + h_r} + \frac{1}{h_w + h_{ra}} \right)^{-1} \dots\dots\dots \text{Ec. ( 47 )}$$

La temperatura de la cubierta de vidrio se encuentra teniendo en cuenta que la pérdida de calor de la placa a la cubierta es la misma que de la placa al ambiente. Entonces

$$T_{cubierta} = T_{placa} - \frac{U_t(T_{placa} - T_{ambiente})}{h_{p-c} + h_r} \dots\dots\dots \text{Ec. (48)}$$

El procedimiento es suponer una temperatura mediante la cual  $h_{p-c}$ ,  $h_r$  y  $h_{ra}$  se calculan. Con estos coeficientes de transferencia de calor y  $h_w$ , se calcula el coeficiente de pérdida de calor por arriba. Estos resultados se usan para calcular  $T_{cubierta}$  mediante la ecuación de arriba. Si  $T_{cubierta}$  es aproximada a la que se propone, no hay que hacer más cálculos. De otra manera, la nueva  $T_{cubierta}$  se usa y se requiere otro cálculo.

**6.6. Factor de remoción del colector (FR)**

Se define una cantidad que relaciona la ganancia de energía útil de un colector en función de la temperatura de entrada del fluido al colector

$$F_R = \frac{f_m C_p}{AcU_L} \{1 - \exp\{\frac{-AcU_L FE}{f_m C_p}\}\} \dots\dots\dots \text{Ec. (54)}$$

- $f_m$  :Flujo del fluido
- $C_p$  :Calor específico del agua (J/kgK)
- FE :Factor de eficiencia del colector

El factor de remoción del calor FR también se puede definir como el cociente entre el calor absorbido por el fluido y el transferido cuando se considera la placa a la misma temperatura del fluido a la entrada del colector.

Es decir:

$$F_R = \frac{mC_p(T_s - T_e)}{Ac\{s - U_L(T_e - T_a)\}} \dots\dots\dots \text{Ec. (55)}$$

$$F_R = \frac{mC_p}{Ac} \{1 - e^{-\frac{AcU_L FE}{mC_p}}\} \dots\dots\dots \text{Ec. (56)}$$



**6.7. Factor de eficiencia del colector (FE)**

La ganancia de un colector también incluye la energía colectada encima de la región del tubo y la ganancia por unidad de longitud en dirección del flujo, luego esta será transferida al fluido.

$$FE = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left\{ \frac{1}{U_L(D+(W-D)F)} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D h_d} \right\}} \dots\dots\dots Ec. (57)$$

$C_b$  : Conductividad térmica del soporte del tubo {W/m °C }

$w$  : separación entre tubos (m)

$D$  : Diámetro interno del Tubo {m}

$F$  : Eficiencia de aletas del colector.

$Ha$  : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el fluido y el ducto {W/m<sup>2</sup>°C}

Donde:

$$F = \frac{\tanh \left[ m_2 \cdot \frac{(w - D)}{2} \right]}{\left[ m_2 \cdot \frac{(w - D)}{2} \right]} \dots\dots\dots Ec. (57)$$

$$m_2 = \left[ \frac{UL}{k_p \cdot \delta} \right]^{\frac{1}{2}}$$

En la tabla 7 se muestran valores típicos de los parámetros característicos: eficiencia óptica ( $\eta_0$ ) y coeficiente global de pérdidas ( $U_L$ ) y rango normal de temperaturas de trabajo para distintos tipos de colectores

**Tabla 7:** Parámetros Característicos de los distintos tipos de colectores solares

Tipo de Colector	Factor de Conversión ( $\eta_0$ )	Factor de Pérdidas Térmicas $U(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$	Rango de Temperatura ( $^\circ C$ )
Sin Cubierta	0.9	15-25	10 - 40
Cubierta Simple	0.8	7	10 - 60
Cubierta Doble	0.65	5	10 - 80
Superficie Selectiva	0.8	5	10 - 80
Tubos de Vacío	0.7	2	10 -130

*Fuente: CENSOLAR (Centro de estudios de la Energía Solar)*

---

**CAPITULO III**

**III. DIMENSIONAMIENTO DEL  
SISTEMA SOLAR**

---

Utilizando las ecuaciones mencionadas en el Capítulo II, sección 4 se realizará el dimensionamiento preliminar de las termas solares teniendo en cuenta las necesidades térmicas de ACS de la I.E. y el recurso solar del lugar y evaluar la viabilidad de fabricar o comprar las termas.

### 3.1. Características y necesidades de ACS del lugar

El colegio Particular Cristiano Bereshi, se encuentra ubicado en el distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Ancash a espaldas del mercado “La Perla”.

- **Coordenadas Geográficas del lugar:**

Latitud: 9.17° Sur

Longitud: 78.50° Oeste

Zona horaria: GMT-5:00

Msnm: 4 m

- **Características Climáticas:**

Humedad relativa: 75%

Temperatura mínima: 15°C

Temperatura máxima: 24°C

Clima: Cálido

Velocidad del viento promedio anual: 2.3 m/s

- **Demanda de agua caliente sanitaria:**

Se desea abastecer de ACS a 2 lavaderos cada lavadero abastecerá 2 alúas de aulas de 20 alumnos de inicial cada una, haciendo una demanda total de 40 alumnos para cada lavadero.

El dimensionamiento se realizará en dos sistemas por separado (uno por cada lavadero) ambos de similares características.

Tomando como referencia la Tabla 4, tenemos que para escuelas el consumo diario por alumno LPD es de 3 litros/alumno, utilizando la Ec. (1) calculamos el consumo diario de ACS.

$$\text{Consumo de ACS} = \text{LPD} * N^{\circ}c$$

$$\text{Consumo de ACS} = \frac{3\text{litros}}{\text{alumno} * \text{día}} * 40\text{alumnos}$$

$$\text{Consumo de ACS} = \frac{120\text{litros}}{\text{día}} = \frac{120\text{kg}}{\text{día}}$$

### 3.2. Dimensionamiento de los colectores

#### 3.2.1. Cálculo de la demanda energética

Utilizando la Ec. (2), tomando como referencia las temperaturas del trabajo de la red y del ambiente para Chimbote, del trabajo de investigación Abastecimiento de agua caliente usando colectores solares para un hotel rural en la ciudad de Chimbote de Eduardo Varas, realizamos el cálculo de la demanda energética por mes de acuerdo al número de días de utilización.

$$E = MC_p(T_{ACS} - T_{H_2O})n$$

Donde:

$E$ : Energía calorífica requerida (MJ/mes)

$M$ : Masa de agua a calentar (120kg/día)

$C_p$ : Calor específico del agua (4.18 kJ/kg°C)

$T_{ACS}$ : Temperatura a la salida del tanque (45 °C)

$T_{H_2O}$ : Temperatura inicial del agua (T de la red en °C)

$n$ : Numero de días del mes que se considera

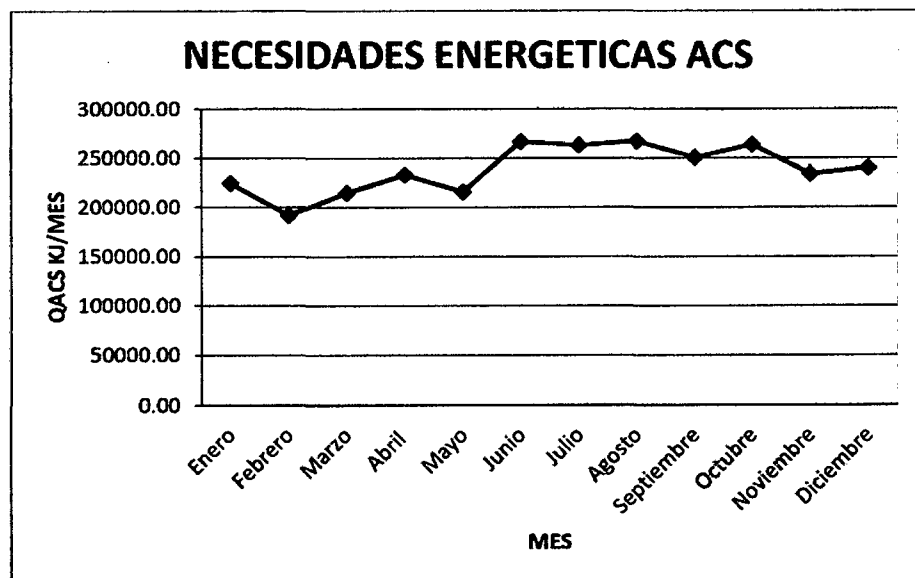
Reemplazando los valores en la ecuación anterior tenemos:

**Tabla 8:** Demanda de ACS mensual

Mes	T <sub>amb</sub> (°C)	T <sub>ACS</sub> (°C)	T <sub>H2O</sub> (°C)	n (Días)	E (KJ)
Enero	23.34	45.00	22.15	23	224395.13
Febrero	23.73	45.00	22.54	20	191795.82
Marzo	22.96	45.00	21.06	21	214655.90
Abril	21.50	45.00	20.20	22	232955.92
Mayo	20.99	45.00	19.75	20	215620.86
Junio	16.50	45.00	15.23	21	266930.09
Julio	18.28	45.00	16.98	22	263202.62
Agosto	17.96	45.00	16.52	22	267523.58
Septiembre	18.75	45.00	17.05	21	250611.22
Octubre	19.82	45.00	18.12	23	263971.17
Noviembre	19.97	45.00	18.92	21	233844.02
Diciembre	20.12	45.00	19.45	22	240000.96
<b>TOTAL</b>					<b>2865507.30</b>
Total (Promedio anual)	20.33	45.00	19.00	21.50	238792.27

De la Tabla 8 tenemos que la energía calorífica requerida anual para las necesidades de ACS es de 2865507.30MJ.

$$E_{\text{anual}} = 2865507.30\text{MJ}$$

**Gráfico N° 1:** Necesidades Energéticas ACS

### 3.2.2. Cálculo del recurso solar disponible y el ángulo de inclinación óptimo

El cálculo de la radiación solar se realizó extraterrestre utilizando la Ec. (21), en Chimbote para latitud de  $-9.17$  (Sur) tenemos los siguientes valores medios de Radiación Extraterrestre para cada mes:

**Tabla 9:** Promedios mensuales de radiación solar Extraterrestre en Chimbote

MESES	Ho (MJ/m <sup>2</sup> * día)
Enero	38,9
Febrero	38,9
Marzo	37,4
Abril	34,6
Mayo	31,4
Junio	29,5
Julio	30,2
Agosto	33,9
Septiembre	36,0
Octubre	38,2
Noviembre	38,9
Diciembre	38,9
<b>PROMEDIO ANUAL</b>	<b>35,6</b>

La radiación global se obtiene del Atlas Solar del Perú<sup>10</sup>

Tomando como base los valores de radiación global mínima Tabla 5 y los valores de la Tabla 9 y las ecuaciones de la Ec. (22) a la Ec. (28), se determinó la radiación total sobre el plano inclinado a diferentes ángulos de inclinación teniendo en cuenta la latitud de  $9.17^\circ$ , albedo del lugar 0.2.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Ministerio de Energía y Minas, Atlas de energía Solar del Perú, (Perú, MINEM, 2003).

<sup>11</sup> Antenor Mariños, H. Benítez, H. Calderón, R. Guevara, Diseño, construcción y evaluación del funcionamiento de una term solar de placa plana de una term solar a ser instalada en un domicilio de la Urb. El Carmen. (Perú, UNS, 2005).

**Tabla 10:** Radiación total incidente sobre la superficie inclinada para distintos valores de inclinación

$H_T$ MJ/m <sup>2</sup>	Inclinación S(°)										
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Mes más bajo	14,4	15,07	15,65	16,15	16,55	<b>16,86</b>	17,08	17,19	17,21	17,23	16,95
Anual	217,8	218,8	218,7	217,4	215	211,4	206,8	201,1	194,5	186,8	178,4
Periodo frío (Mayo-Octubre)	99	101,5	103,4	104,8	105,6	<b>105,8</b>	105,4	104,4	102,9	100,8	98,1
Periodo Cálido (Noviembre-Abril)	118,8	117,3	115,3	112,6	109,4	105,6	101,1	96,7	91,6	86	80,3

De la Tabla 10 se observa que para el periodo más frío, el ángulo óptimo de inclinación es 25° ya que con este se obtiene una mejor radiación respecto a los demás ángulos de inclinación, para este ángulo le corresponde el valor de 16.86 MJ/m<sup>2</sup> en el mes más frío correspondiente a Junio. A continuación se detallan los parámetros geométricos calculados para encontrar la radiación total a S=25°.

**Tabla 11:** Parámetros geométricos de posición

Mes	n (N° día)	S (°)	φ(°)	δ(°)	ws(°)	w's(°)	Min ws	R <sub>D</sub>	R <sub>d</sub>	ρ	R <sub>ρ</sub>
Enero	15	-25	-9,17	-21,27	93,60	83,66	83,66	0,74	0,95	0,20	0,009
Febrero	47	-25	-9,17	-12,95	92,13	86,26	86,26	0,83	0,95	0,20	0,009
Marzo	75	-25	-9,17	-2,42	90,39	89,31	89,31	0,95	0,95	0,20	0,009
Abril	105	-25	-9,17	9,41	88,47	92,69	88,47	1,09	0,95	0,20	0,009
Mayo	135	-25	-9,17	18,79	86,85	95,54	86,85	1,22	0,95	0,20	0,009
Junio	166	-25	-9,17	23,31	86,01	97,02	86,01	1,29	0,95	0,20	0,009
Julio	198	-25	-9,17	21,18	86,41	96,31	86,41	1,25	0,95	0,20	0,009
Agosto	228	-25	-9,17	13,45	87,79	93,89	87,79	1,14	0,95	0,20	0,009
Septiembre	261	-25	-9,17	1,01	89,84	90,29	89,84	0,99	0,95	0,20	0,009
Octubre	288	-25	-9,17	-9,60	91,56	87,25	87,25	0,86	0,95	0,20	0,009
Noviembre	319	-25	-9,17	-19,15	93,21	84,35	84,35	0,76	0,95	0,20	0,009
Diciembre	349	-25	-9,17	-23,24	93,99	82,97	82,97	0,71	0,95	0,20	0,009



**Tabla 12:** Componentes de la Radiación incidente sobre el plano inclinado a 25°

Mes	H <sub>G</sub>	H <sub>o</sub>	K	HD	Hd	HT
Enero	19,800	38,900	0,509	12,660	7,139	16,325
Febrero	18,000	38,900	0,463	10,270	7,231	15,976
Marzo	18,000	37,400	0,481	11,100	6,930	17,250
Abril	19,800	34,600	0,572	13,700	6,140	20,930
Mayo	18,000	31,400	0,573	12,400	5,570	20,630
Junio	14,400	29,500	0,488	8,950	5,450	16,860
Julio	14,400	30,200	0,477	8,800	5,600	16,520
Agosto	16,200	33,900	0,478	9,920	6,280	17,480
Septiembre	19,800	36,000	0,550	13,300	6,480	19,500
Octubre	16,200	38,200	0,424	9,083	7,117	14,790
Noviembre	19,800	38,900	0,509	12,660	7,139	16,618
Diciembre	23,400	38,900	0,602	16,650	6,750	18,552

### 3.2.3. Calculo del área de captación:

**Consideraciones:** Para mayor seguridad en los cálculos, estos se realizarán para el mes crítico (Mes en el que el recurso solar o la radiación disponible es menor), de la Tabla 5 identificamos que el mes crítico es Junio, además para realizar esta estimación del área de colectores es necesario asumir una eficiencia de los colectores por lo tanto teniendo en cuenta la recomendación de que la eficiencia de los colectores se debe de asumir entre 30 y 50%. Asumiremos un a eficiencia de 40% por tratarse de un sistema con tubos de cobre y aletas de aluminio.

#### Limitaciones:

- Se cuenta con un espacio de una longitud de 2.5m respecto a la orientación del sol para colocar los colectores y el tanque de almacenamiento considerando que el tanque utilizará un área aproximada de 0.90x0.90m<sup>2</sup>, el colector podrá tener una longitud máxima de 1.64m

incluido el espesor del aislamiento por lo que el colector escogido será de área efectiva  $1.54 \times 0.75 \text{ m}^2$  ( $1.2 \text{ m}^2$ )

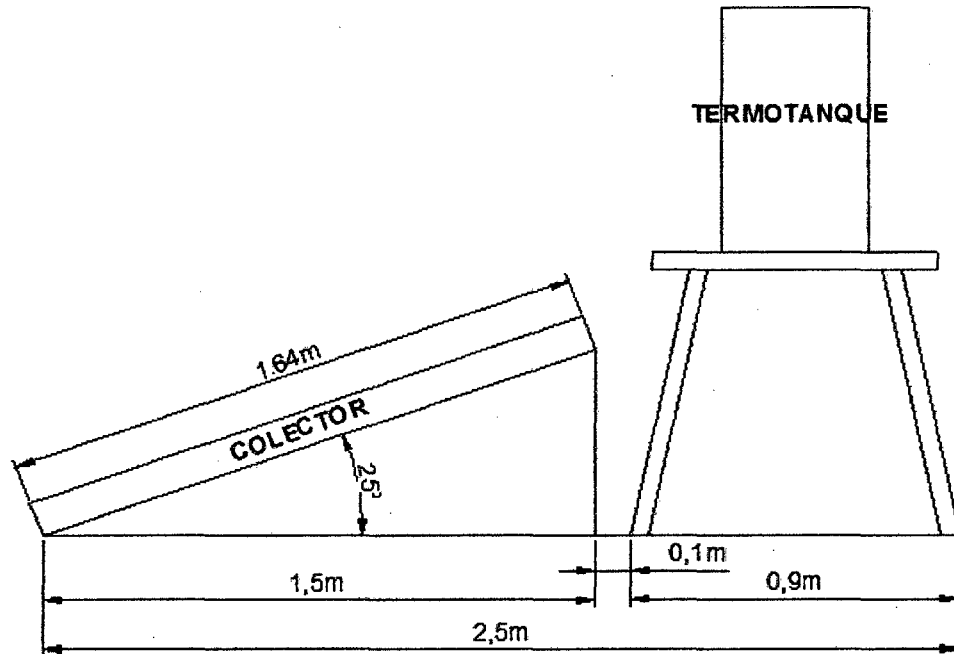


Fig. 35: Limitaciones de espacio para el cálculo del área de captación

- El presupuesto para el abastecimiento de ACS no debe de superar los S/. 3000 (1500 por cada sistema de calentamiento de 40 alumnos)

Utilizando la Ec. (3) se calculó el área de captación requerida.

$$A_{cap} = \frac{E}{H * \eta}$$

Donde E para un día en el mes crítico JUNIO con  $T_{H2O}=15.23^{\circ}\text{C}$  y  $H=10.39$  MJ/m<sup>2</sup>.día

$$E = MC_p(T_{ACS} - T_{H2O})$$

$$E = \frac{120kg}{día} * \frac{4.18kJ}{kg^{o}C} (45 - 15.23)$$

$$E = 14932.63kJ$$

Entonces:

$$A_{cap} = \frac{14932.63kJ}{\frac{16860KJ}{m^2} * 40\%}$$

$$A_{cap} = 1.968 m^2$$

Utilizando la Ec. (4) determinó el número de colectores:

$$N_c = \frac{A_{cap}}{A_c} = \frac{1.968m^2}{1.2m^2} = 1.6 \text{ colectores}$$

Teniendo en cuenta las limitaciones de espacio y que los usuarios requieren el agua una temperatura inferior (28°C) se optó por redondear al inferior, es decir para 1 colector con un tanque de almacenamiento de 100litros y se verificó cuanto se puede abastecer y cuantos días de autonomía nos brindaría el sistema.

### 3.3. Número de días de autonomía

Por cuanto el usuario final requiere agua a 28°, con un colector ( $A_{cap} = 1.2m^2$ ), se determinó el número de días de autonomía brindados por el tanque de 100litros.

$$E = M_{Red} \cdot C_p \cdot (T_{usuario} - T_{red}) = M_{tanque} \cdot C_p \cdot (T_{sal,tanque} - T_{red})$$

E es la cantidad de energía que se tiene disponible para abastecer al sistema hasta 29°C combinando el agua de salida de la terma a 45°C con la de la red para llevarla a de 15.23°C a 29°C.

$$\frac{M_{Red}}{M_{tanque}} = \frac{V_{Red}}{V_{tanque}} = \frac{(T_{usuario} - T_{red})}{(T_{sal.tanque} - T_{usuario})} = \frac{(29 - 15.23)}{(45 - 29)} = 0.86$$

Del cual se obtiene un volumen diario disponible de 100litros del tanque más 86 litros de la red equivalente a 186 litros diarios donde los días de autonomía están dados por  $(186/120)-1=0.6$  teniendo en cuenta que el agua demora 6 horas en calentarse hasta la temperatura de 45°C entonces podemos decir que se dispone de 1 día de autonomía por cada sistema instalado.

#### 3.4. Precios de mercado de las termas requeridas

Se solicitará cotizaciones a distintos fabricantes de la ciudad de Arequipa para una terma solar de 1.15m<sup>2</sup> de área efectiva teniendo en cuenta las limitaciones de espacio mencionadas anteriormente.

Tabla 13: Precios de mercado de termas solares

FABRICANTE	DESCRIPCIÓN	P. Unitario (S/.)	Cant	P. Total (S/.)
ACUATHERM	Terma solar de alta presión (40 psi)	2600	2	5200
	Envío a Chimbote	140	2	280
	Viáticos del instalador	350	1	250
TOTAL		<b>3090</b>		<b>5730</b>
ACUATHERM	Terma solar de tubos al vacío	2450	2	4900
	Envío a Chimbote	140	2	280
	Viáticos del instalador	350	1	250
TOTAL		<b>2940</b>		<b>5430</b>
TERMA SUPER STAR	terma electro solar eléctrica y automática	2350	2	4700
	Envío a Chimbote	140	2	280
	Viáticos del instalador	350	1	250
TOTAL		<b>2840</b>		<b>5230</b>
TERMOINOX	Terma Solar Modular Head Pipe	2800	2	5600
	Envío a Chimbote	140	2	280
	Viáticos del instalador	350	1	250
TOTAL		<b>3290</b>		<b>6130</b>
SIPREI S.A.C	Terma Solar con tubos al vacío	2100	2	4200
	Envío a Chimbote	140	2	280
	Viáticos del instalador	350	1	250
	Mano de Obra por instalación	250	2	500
TOTAL		<b>2840</b>		<b>5230</b>

Observamos que el precio de la terma más económica es S/. 2840.00 nuevos soles el cual supera la restricción de la I.E. que es de 1500 nuevos soles por terma.

Nota: las cotizaciones realizadas a los fabricantes se anexan al final del informe.

### 3.5. Características de la terma a construir:

✓ **Colector de placa plana:**

- Longitud: 1.60m
- Ancho: 0.81m
- Alto: 0.14m
- Área efectiva: 1.15m<sup>2</sup>
- Espacio entre tubos: 90cm (de centro a centro)
- Aislante: Tecnopor de alta densidad de 1 ½ ”
- Absorbedor: aluminio de 0.2cm
- Tubos: Cobre de 1/2”
- Distribuidor: Tubo de cobre de 1”
- Cubierta: Vidrio semidoble (0.4cm de espesor)

✓ **Termotanque:**

- Diámetro interno: 0.36m
- Alto: 1m
- Material: Acero inoxidable de 0.5mm
- Aislante: Lana de vidrio de 1”
- Cubierta: Fierro galvanizado de 0.4mm

Las conexiones se realizarán con manguera hidráulica de alta temperatura (Temperatura máxima de 180°C y presión máxima 20bar).

### 3.6. Costos de construcción de la terma

**Tabla 14:** Presupuestos de colector placa plana.

Cant.	Descripción	Unidad	P.Unit. (S/.)	Total (S/.)
2	Tubo de cobre 1/2"x6 m	unid	115.00	230.00
2	tubo de cobre de 1" $\Phi$	m	40.00	80.00
1	Tubo de Silicona Transparente	unid	8.00	8.00
1	Vidrio Transparente Doble 1.61x0.825m	unid	24.00	24.00
26,5	Madera tornillo	Pie <sup>3</sup>	4.30	113.95
1	Cola sintética	Kg	5.00	5.00
1	Plancha Tecnopor alta densidad 1 1/2"	unid	29.00	29.00
2	Abrazaderas de 3/4"	unid	1.00	2.00
1	Soldimix de 10min	unid	4.50	4.50
1,5	Placa de Aluminio Offset Reciclado	Kg	6.00	9.00
3	Rollo de alambre galvanizado	unid	1.00	3.00
2	Espray de Pintura Mate Negra En aerosol	unid	8.00	16.00
1	1/4 gln Base Duco Gris	unid	12.00	12.00
1	Pliego de Lija Fe N° 100	unid	2.00	2.00
1	pliego de Lija Agua N° 180	unid	1.50	1.50
1	pliego de Lija Agua N° 360	unid	1.50	1.50
1	Cinta de pintor (masking tape) 3/4"	unid	2.50	2.50
1	trabajos de soldadura en cobre	unid	150.00	150.00
0,25	Clavos de 1 1/2" Sin cabeza	Kg	8.00	2.00
1	viáticos	unid	100.00	100.00
1	Gastos imprevistos	unid	50.00	50.00
<b>COSTO TOTAL POR COLECTOR S/.</b>				<b>845.95</b>

**Tabla 15:** Presupuestos de tanque en inoxidable con intercambiador de calor en cobre.

Cant.	Descripción	Unidad	P.Unit. (S/.)	Total (S/.)
1	Construcción de tanque en inoxidable de 0.5mm, con cubierta externa en plancha galvanizada de 0.4mm	unid	345.00	345.00
1,5	lana de vidrio(aislante térmico)	m	17.20	25.80
1	Rollo de Cobre 1/2" $\Phi$ x15 m	unid	170.00	170.00
1	T Cobre de 1/2" $\Phi$	unid	3.40	3.40
1	válvula check	unid	10.00	10.00
1	válvula de globo	unid	8.00	8.00
2	Abrazaderas de 3/4" $\Phi$	unid	1.00	2.00
2	Manguera de jebe enlonado	m	11.00	22.00
2	uniones de fierro galvanizado 1/2" $\Phi$	unid	1.50	3.00
1	Cinta teflón	unid	1.00	1.00
1	viáticos	unid	50.00	50.00
1	Gastos imprevistos	unid	80.00	80.00
<b>COSTO TOTAL POR COLECTOR S/.</b>				<b>720.20</b>

**Tabla 16:** Presupuestos de accesorios para la instalación de terma solar

Cant.	Descripción	Unidad	P.Unit. (S/.)	Total (S/.)
1	Tubería de pvc 1/2"	Unid	9.00	9.00
1	Tubería alta temperatura pvc 1/2"	Unid	16.00	16.00
2	Llaves de globo 1/2"	Unid	8.00	16.00
1	codos de bronce 1/2"	Unid	3.00	3.00
1	codos de alta temperatura pvc 1/2"	unid	1.00	1.00
1	acoples de alta temperatura pvc 1/2"	unid	1.00	1.00
1	Te de pvc alta temperatura 1/2"	Unid	1.50	1.50
3	Niples de pvc 1/2"	Unid	1.00	3.00
2	cinta teflón	unid	1.00	2.00
1	pegamento de pvc alta temperatura	1/32 gln	9.00	9.00
<b>TOTAL</b>				61.50

**Tabla 17:** Presupuesto una terma

Descripción	Costo (S/.)
Colector Solar De Placa Plana	845.95
Tanque Aislado Hecho de Acero Inoxidable, con intercambiador de calor	720.2
instalación de terma solar	61,50
<b>Total</b>	1627.65

El costo de construir la terma sería de S/.1627.65 nuevos el cual se ajusta más al presupuesto designado de S/. 1500.00 nuevos soles por cada terma, del cual la diferencia de S/. 127.65 por terma, será financiada por los investigadores.

Por lo expuesto anterior, se toma la decisión de realizar la construcción de las termas solares.



---

**CAPITULO IV**

**IV. CONSTRUCCIÓN**

---

#### 4.1. Construcción del colector solar.

Para la construcción del colector con las especificaciones dadas en el capítulo anterior se procedió de la siguiente manera:

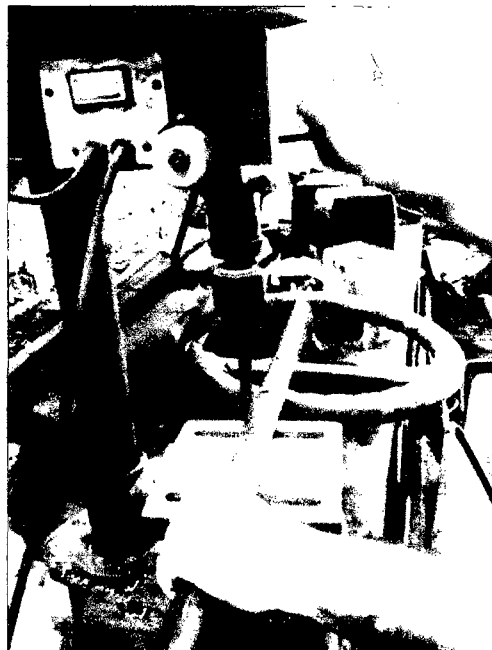
##### 4.1.1. Adquisición de los materiales

Consiste en comprar los materiales a utilizar para la construcción del colector que se encuentra detallado en el presupuesto.

##### 4.1.2. Habilitación de los materiales:

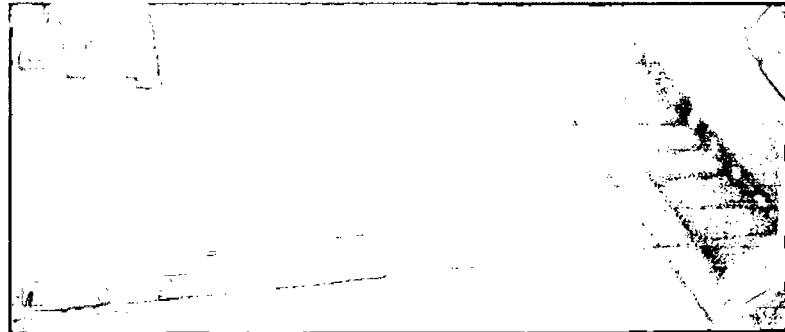
Para la habilitación de los materiales a utilizar en el colector se procede a realizar las siguientes actividades:

- Cortar los tubos de Cu de  $\frac{1}{2}$ " en 8 piezas de 1.5m.
- Cortar el tubo de Cu de 1" en 0.82m.
- Hacer 8 huecos a los tubos de 1" con un espaciamiento de centro a centro de 9cm con broca de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro.



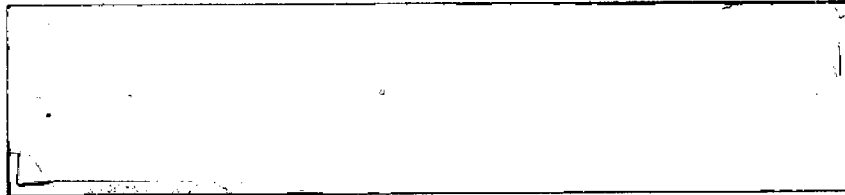
**Fig. 36:** Perforación del distribuidor de cobre con broca de  $\frac{1}{2}$ ".

- Soldar los tubos de cobre como se muestra en la siguiente figura.



**Fig. 37:** Tubos de cobre de  $\frac{1}{2}$ " soldados al Distribuidor.

- Cortar las placas de aluminio en 11.5cm
- Hacer las canaletas en las placas de aluminio en la parte central con un diámetro de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro. Como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 38:** Aleta de aluminio.

- Fijar las canaletas a los tubos de cobre del colector como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 39:** Fijación de las aletas de aluminio a las tuberías de cobre.

- Pintar la cara superior del colector con pintura negra mate.



**Fig. 40:** Área de transferencia del colector pintada con pintura negra mate.

- Habilitar la madera de tornillo en:

9 piezas de 5.5" x 1/2" x 6'

2 piezas de 5.5" x 1/2" x 3.3'

Hacer perforaciones de 3/4" en las maderas laterales del colector a la altura de las salidas de la parrilla del colector como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 41:** Armado del colector.

- Cortar el tecno por con una área de 1.65m x 86.3m para la parte baja del colector. Aislar las paredes laterales del colector.
- Colocar la cubierta de vidrio, sellar las holguras del vidrio con silicona como se muestra en la siguiente figura:



**Fig. 42:** Fijado del Vidrio al colector con silicona.

#### 4.2. Construcción de la base del colector:

La base del colector se construyó de madera tornillo, la cual debe tener en cuenta el ángulo de inclinación el colector y el espacio que se dispone para su instalación en el techo de los baños del colegio.

##### 4.2.1. Habilitar madera en listones de 1"x 2" x 6.3'

La madera debe ser cortada y preparada de tal manera que quede como listones de 1"x 2" x 6.3'

##### 4.2.2. Armar la base con una inclinación de 20° como se muestra en la siguiente figura:

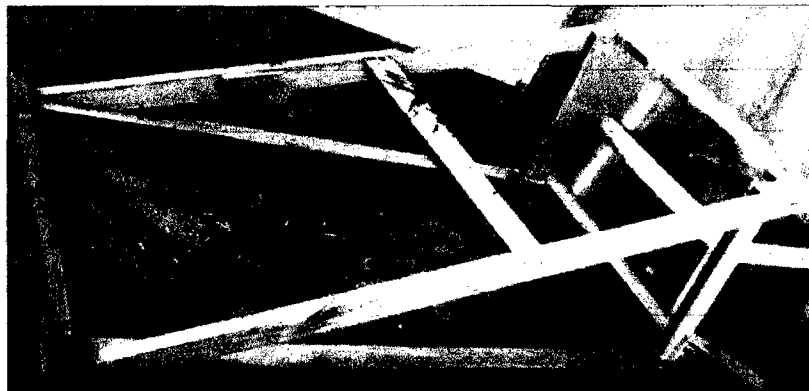


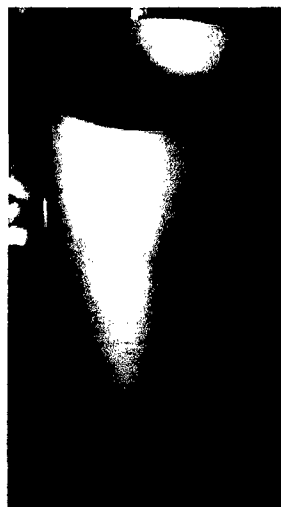
Fig. 43: Base del colector armada

##### 4.2.3. Montar el colector sobre su base.

#### 4.3. Construcción del tanque

##### 4.4.1. Adquirir los materiales y accesorios para el tanque.

##### 4.4.2. Rolar y soldar la plancha de acero inoxidable de 0.5mm de espesor de manera tal que se forme un tanque 36cm de diámetro por 1 m de altura.



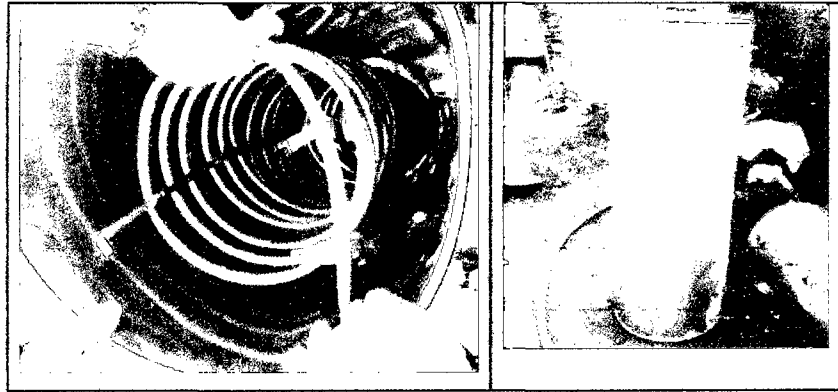
**Fig. 44:** Plancha de acero galvanizado, rolada para construir el  
termotanque

- 4.4.3. Hacer el espiral de 16 espiras de 22cm de diámetro (intercambiador de calor) con la cañería de cobre de ½".



**Fig. 45:** Intercambiadores de calor del termotanque.

- 4.4.4. Introducir el intercambiador de calor en el tanque inoxidable, y luego soldar la entrada y salida del intercambiador.

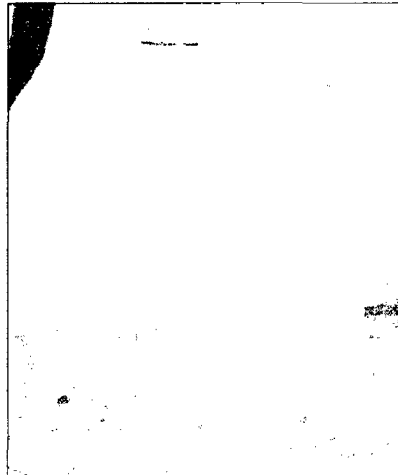


**Fig. 46:** Fijado del intercambiador en el interior del tanque y soldado del mismo

- 4.4.5. Cubrir con lana de vidrio todo el tanque, luego introducir en el su cubierta exterior de lata galvanizada de 0.4 mm de espesor.

#### **4.4. Construcción de la base del tanque**

- 4.4.6. Habilitar listones de madera de 2" x 3" x 3'
- 4.4.7. Habilitar listones de madera de 3/4" x 6" x 2'
- 4.4.8. Armar la base con cola y clavos, como se muestra en la figura:



**Fig. 47:** Base del termotanque

- 4.4.9. Instalar el tanque sobre su base y anivelar las patas.



**4.5. Ensamblaje de la terma solar**

4.4.10. Hacer las conexiones de la salida y entrada del intercambiador de calor con el colector solar in situ, como se muestra en la imagen:



**Fig. 48: Terma solar ensamblada**

---

**CAPITULO V**

**V. EVALUACIÓN DEL  
COLECTOR**

---

### 5.1. Instrumentos a utilizar:

Los instrumentos utilizados para la toma de datos fueron los siguientes:

✓ **RADIÓMETRO: PCE-SPM DATALOGER:**

Instrumento utilizado para medir la radiación:



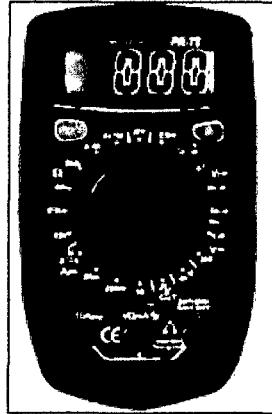
Fig. 49: Radiómetro: PCE-SPM

Tabla 18: Especificaciones Técnicas

Gama De La Medida	0 a 2,000 W/m <sup>2</sup>
Resolución	1 W/m <sup>2</sup>
Precisión	±10 W/m <sup>2</sup> ó ±5% (valor más alto es correcto)
Rango espectral	400 a 1,100nm
Memoria	32,000 lectura
Cota de medición	ajustable
Transmisión de datos	RS-232 port
Visualización	LCD
Condiciones de funcionamiento	0 to 50°C; <80% r.h.
Potencia	4 Litio-ion baterías (aprox. 16 días de uso continuo)
Dimensiones	111 x 64 x 34mm
Peso	165g

✓ **MULTITESTER PRASEK PREMIO MODELO PR-75C**

Instrumento utilizado para medir las temperaturas a través de las termocuplas.



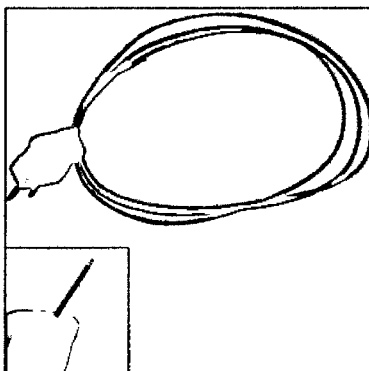
**Fig. 50:** Multitester digital

**Tabla 19:** Especificaciones Técnicas

Corriente DC:200mV-1000V +/- (0,5%+1)	Test Diodo
Corriente DC:200mV-1000V +/- (0,5%+1)	Auto Apagado
Tensión DC 2mA-10A +/- (0,8%+3)	Indicador Sonoro de Continuidad
Tensión AC:2mA-10A +/- (0,8%+1).	Display LCD
Ohmios:200Ω-2MKΩ +/- (0,8%+1)	Baterías: 9V 6F22
Capacidad: 2nF-20μF +/- (4%+3)	Display máx: 1999
Temperatura: -20°C-1000°C +/- (0,75%+1)	Tamaño Display: 27x60
Frecuencia: 20KHz +/- (1,5%+5)	Tamaño del producto: 90x189x31,5mm
Test Transistor	Peso Neto del Producto: 310g
Factor de Amplificación de Corriente DC (Curva HFE)	

✓ **TERMOCUPLA.**

Instrumento sensible a la variación de temperatura la cual es leída con el Multitester.



**Fig. 51:** Termocupla

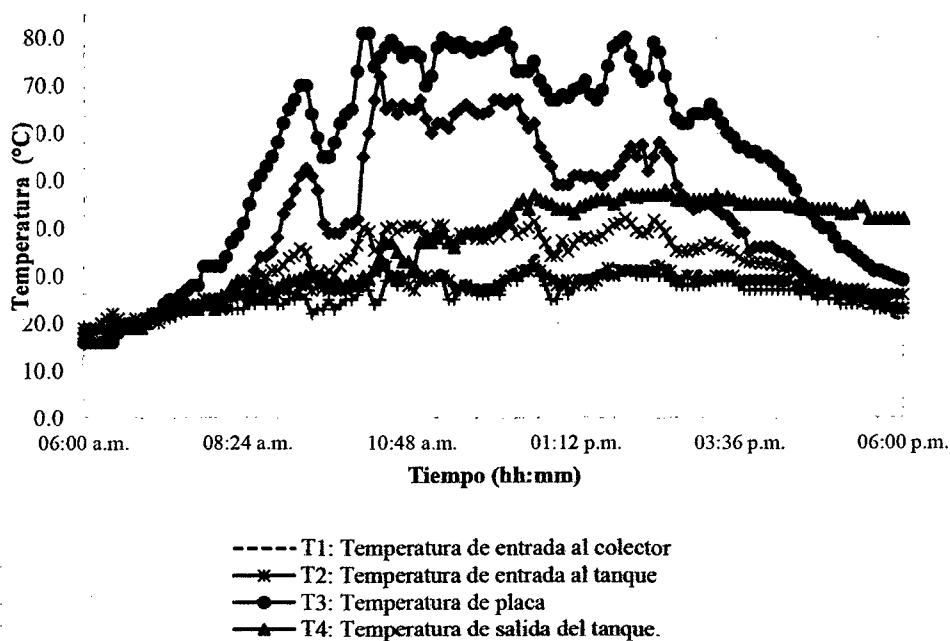
**Tabla 20:** Especificaciones Técnicas

Termocupla tipo	Rango de temperatura, °C	Límite de error	
		Estándar (cualquiera superior)	Especial (cualquiera superior)
K	0-1250	+/- 2,2°C ó +/- 0,75%	+/- 1,1°C ó +/- 0,4%

## 5.2. Resultados de mediciones:

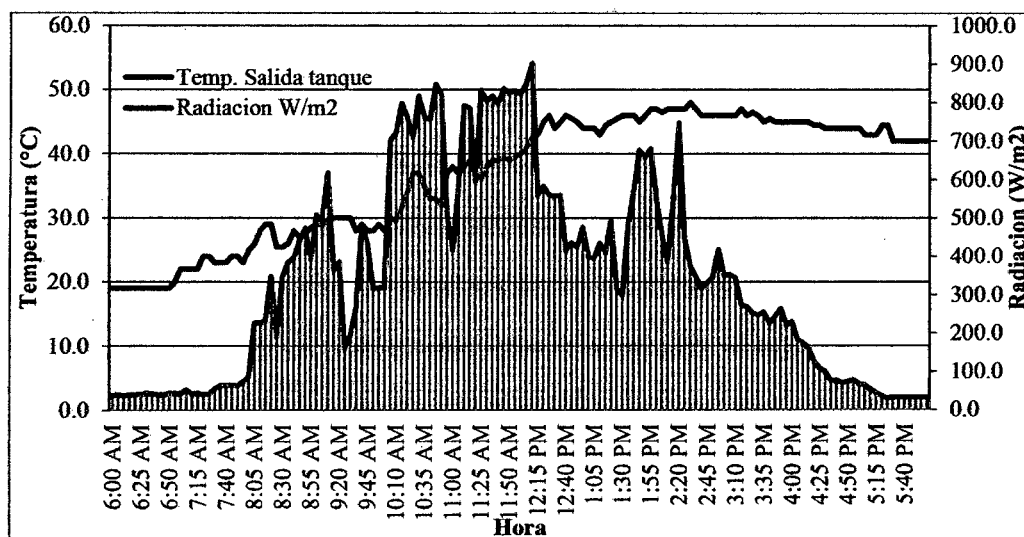
Se realizó la toma de medidas en el colector durante 3 días en un periodo de 12 horas (de 6:00 am a 6:00 pm el 15, 19 y 25 de enero del 2014), las gráficas que se describen continuación corresponden al día 15 de enero del 2014 por ser el día en que se obtuvo una eficiencia media respecto a los otros días, los datos detallados de las mediciones se muestran en el Anexo N°01.

Gráfico N° 2: Temperatura (°C) en función del tiempo (horas del día)



Todas las evaluaciones se realizaron en el periodo en el que las temperaturas se mantuvieron relativamente constantes.

Gráfico N° 3: Temperatura de salida del tanque y radiación incidente vs Tiempo



**Comentario:** Observamos que en el periodo de 10:00am a 12:15pm se contó con la máxima radiación del día, lo que permitió alcanzar una temperatura de 46°C en el agua a la salida del tanque.

### 5.3. Evaluación de la eficiencia del colector

El colector solar está construido con tubos de cobre y lámina de aluminio como absorbente, las especificaciones técnicas del material usado son las siguientes:

**Tabla 21:** Especificaciones del material usado en el colector

1. Longitud del colector	$l= 0.79\text{m}$
2. Ancho del colector	$a= 1.57\text{m}$
3. Altura del colector	$h= 0.1\text{m}$
4. Inclinación del colector	$\theta= 25^\circ$
5. Espesor de la lámina	$\delta= 0.02\text{cm}$
6. Distancia entre los tubos	$W= 8.873\text{cm}$
7. Diámetro de los tubos interior exterior	$D_i= 1.587\text{cm}$
	$D= 0.102\text{cm}$
8. Distancia entre el absorbente y el vidrio	$0.1\text{m}$
9. Grosor del vidrio	$0.4\text{cm}$
10. Índice de refracción del vidrio	$n_2= 1.526$
11. Índice de refracción del aire	$n_1= 1$
12. Coeficiente de extinción del vidrio	$K_{ex}= 0.16\text{cm}$
13. Emitancia del vidrio	$\epsilon_c= 0.88$
14. Emitancia del absorbente	$\epsilon_p= 0.95$
15. Absorbitancia angular de la placa absorbente	$\alpha= 0.95$
16. Flujo del agua a través del tubo	$G=0.014\text{kg/seg}$
17. Conductividad térmica del absorbente	$K_p= 209.3\text{W/m}^\circ\text{K}$
18. Coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y el tubo	$h_{fi}= 1500\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$
19. Calor específico a presión constante del agua	$C_p= 4186\text{Joules/g}^\circ\text{K}$
20. Conductividad térmica del tubo	$372\text{W/m}^\circ\text{K}$
21. Conductividad térmica del aislante	$K 0.03\text{W/m}^\circ\text{K}$
22. Conductividad térmica de la soldadura	$C_b 209.3\text{W/m}^\circ\text{K}$
23. Grosor del aislante	$L 0.0254\text{m}$
24. Velocidad del viento <sup>12</sup>	$V= 2.3\text{m/seg}$
25. Valor de la constante Stefan-Boltzman	$\sigma=5.6697 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$

Nota: las especificaciones de los materiales fueron tomadas de *Jenaro Paz, Colectores solares planos (UACJ: México, 2006), Vol. 1*

La evaluación del colector se realizará en base a datos experimentales tomados durante 3 días de funcionamiento de la terma solar, los días 15, 19 y 25 de enero del 2014, aplicando la metodología explicada en el capítulo 2, sección 5.

<sup>12</sup> Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA, Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Chimbote, (Perú, 2008)



Para determinar la eficiencia del colector es necesario conocer el flujo de agua a través de los tubos, el cual se calcula mediante un balance de masa y energía en el intercambiador del tanque de almacenamiento.

#### 5.4. Cálculo de fluido calefactor:

##### Consideraciones:

El intercambiador de calor esta hecho de cobre flexible tipo L de 1/2" de diámetro, con 16 espiras con una longitud de 13.0 metros. Considerando las excelentes propiedades térmicas del cobre tomaremos una eficacia en la transferencia de calor de 90%, además el fluido calefactor es agua, el agua ingresa al colector en un intervalo de tiempo para calentarse hasta una determinada temperatura, la cual se obtendrá a partir de las mediciones realizadas. Para lo cual haremos un balance energía y masa en el termotanque que contiene 100 litros de agua.

##### Datos:

- ✓ Volumen tanque: 100 litros ( $0.1\text{m}^3$ )
- ✓ Densidad del agua ( $\rho$ ):  $1000\text{kg}/\text{m}^3$ .
- ✓ Masa agua en el Tanque: 100kg
- ✓ Calor específico del agua ( $C_p$ ):  $4.186\text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ .
- ✓  $T_{\text{entrada}}$  fluido calefactor:  $50.9^\circ\text{C}$ .
- ✓  $T_{\text{salida}}$  calefactor:  $30.9^\circ\text{C}$ .
- ✓  $T_{\text{entrada}}$  agua tanque:  $22^\circ\text{C}$ .
- ✓  $T_{\text{salida}}$  agua tanque:  $37.5^\circ\text{C}$ .
- ✓ Tiempo de calefacción: 11:30am a 12:30pm (3600s)
- ✓ Efectividad Intercambiador de calor ( $\epsilon$ ): 0.9

$$\varepsilon = \frac{m_{\text{tanque}} * C_p * (T_{\text{final}} - T_{\text{Inicial}})}{m_{\text{fluido calef.}} * C_p * (T_{\text{Inicial}} - T_{\text{final}})}$$

Haremos la evaluación para un periodo comprendido entre las 7:00 y 12:30 lo que equivale a 19800 segundos radiación permaneció más constante, por lo que despejando la ecuación anterior tendremos:

$$m_{\text{fluido calef.}} = \frac{m_{\text{tanque}} * C_p * (T_{\text{final}} - T_{\text{Inicial}})}{\varepsilon * C_p * (T_{\text{Inicial}} - T_{\text{final}})}$$

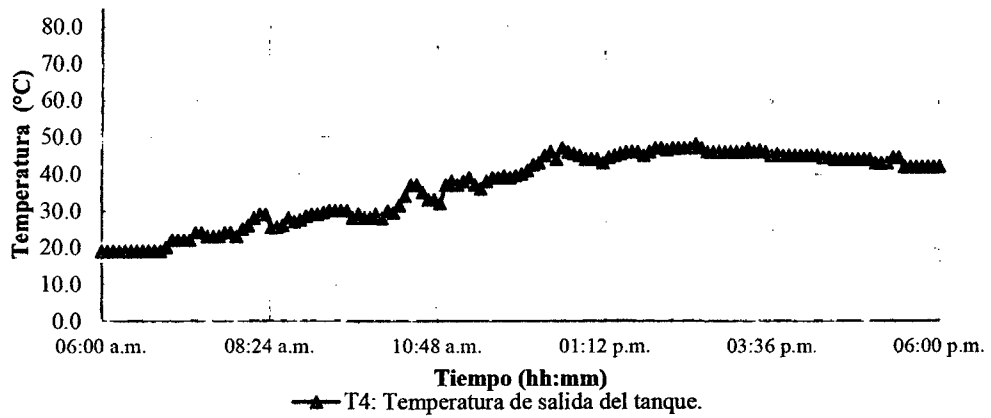
REEMPLAZANDO DATOS RELEVANTES.

$$m_{\text{fluido calef.}} = \frac{100 * 4.186 * (37.5 - 22)}{0.9 * 4.186 * 19800 * (50.9 - 30.9)}$$

$$m_{\text{fluido calef.}} = 10.94 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0.003041 \text{kg/s}$$

Se registró los valores de temperatura de entrada y salida al colector, temperatura de entrada y salida del tanque, temperatura ambiente, temperatura del ambiente y temperatura de placa, radiación solar, velocidad de viento de 6:00 am hasta 6:00 pm en intervalos de 5 min; éstos parámetros nos permiten determinar experimentalmente el coeficiente global de pérdidas térmicas  $U_L$ , y la eficiencia instantánea. Los datos han sido procesados y analizados en Excel, Para el cálculo de la eficiencia y pérdidas de energía en el colector solar se realizó el análisis que se detalla a continuación:

**Gráfico N° 4.** Temperatura (°C) en función del tiempo (horas del día)



En este grafico se observa que el calentamiento se inicia desde las 7:00am hasta aproximadamente a las 12:30 pm en donde el sistema alcanza condiciones casi estacionarias y los valores correspondientes son los siguientes:

T1: Temperatura de entrada al colector	32.0 °C
T2: Temperatura de entrada al tanque	31.0 °C
T3: Temperatura de placa	73.0 °C
T4: Temperatura de salida del tanque.	44.0 °C
T5: Temperatura de salida del colector	61.0 °C
T6: Temperatura de ambiente	31.0 °C
T7: Temperatura de cubierta	40.1 °C
Radiación W/m <sup>2</sup>	556.0 °C

Donde la eficiencia será:

$$n = \frac{mCp(Ts - Te)}{Ac(Hb)}$$

$$n = \frac{0.003 \times 4186 (61.0 - 32.0)}{(0.79 \times 1.57) (556.0)}$$

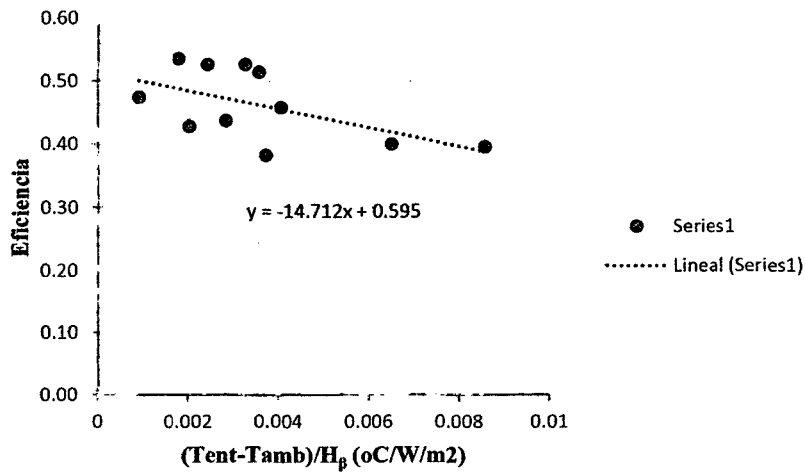
$$n = 52.8\%$$

En el periodo de 12:30 a 3:30 graficamos varios puntos de eficiencia Vs  $(T_{ent}-T_{amb})/H_{\beta}$  ( $^{\circ}C/W/m^2$ ) para encontrar la ecuación lineal de dicha relación:

**Tabla 22:** Resultados de la eficiencia instantánea del colector

$T_{ent}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{amb}$ ( $^{\circ}C$ )	$H_{\beta}$ ( $W/m^2$ )	$(T_{ent}-t_{amb})H_{\beta}$ $^{\circ}C/W/m^2$	$n$
32.0	31.0	556.0	0.00180	0.54
34.0	32.0	559.6	0.00357	0.51
30.0	29.0	409.8	0.00244	0.53
30.0	29.0	491.5	0.00203	0.43
31.5	31.0	551.1	0.00091	0.47
31.5	30.0	458.5	0.00327	0.53
32.0	30.0	537.8	0.00372	0.38
30.0	28.0	330.4	0.00605	0.40
31.0	28.0	350.1	0.00857	0.40
30.0	29.0	352.3	0.00284	0.44
30.0	29.0	246.3	0.00406	0.46

**Gráfico N° 5.** Eficiencia en función de  $(T_e-T_a)/H_{\beta}$  ( $m^2K/W$ )



Según la ecuación (41) de eficiencia tenemos:

$$n = F_R(\tau\alpha - U_L(\frac{T_e - T_a}{H_{\beta}}))$$

$F_R$  es el factor de remoción y representa el cociente entre el calor absorbido por el fluido y el trasferido cuando se considera la placa a la misma temperatura del fluido a la

entrada del colector  $\tau$ =transmitancia de vidrio transparente según (Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991) es 0.88,  $\alpha$  =absorbancia del aluminio según (Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991), es 0.95

Por lo tanto usando los resultados del Grafico N° 05 tenemos:

$$F_R U_L = 14.712 \dots \dots \dots (*)$$

$$F_R \alpha \tau = 0.595 \dots \dots \dots (**)$$

Usando los datos de  $\alpha = 0.95$  y  $\tau = 0.88$  citados anteriormente y reemplazando en (\*\*)  
tenemos:

$$F_R \cdot 0.88 \times 0.95 = 0.595$$

$$F_R = 0.595 / (0.88 \times 0.95)$$

$$F_R = 0.712$$

Reemplazando en (\*) tenemos:

$$0.712 \times U_L = 14,712 \quad U_L = \frac{14.712}{0.712}$$

$$U_L = 20.66 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La eficiencia instantánea del colector solar es de 52.8% y el coeficiente global de pérdidas es de 20.66 W/m<sup>2</sup>°C así mismo en la prueba se obtuvo el factor de remoción de 0,712.

#### 4.2 Pérdidas térmicas del tanque de almacenamiento de agua

Se instalaron dos sensores de temperatura (termocuplas tipo K) en el interior del tanque de almacenamiento de agua de la terma (parte inferior y parte superior)

El calentamiento del agua en el termotanque se produce aproximadamente desde las 7:00 am hasta las 12:30 pm desde 20°C hasta 46°C dando una velocidad de calentamiento de 4.7 °C por hora.

Se monitoreo las temperaturas del interior del tanque y la temperatura ambiente desde las 15:30 horas del 15/01/2014 hasta las 8:40 horas del 15/01/2014.

Resultando que desde las 15:30 hasta las 8:40 del otro día se produjo un descenso de temperatura desde 48°C hasta 38°C por tanto el termotanque presenta una velocidad de descenso de enfriamiento de 0.58°C/hora.

### 5.5. Evaluación económica del colector

#### Tiempo de recuperación del capital invertido.

El consumo de energía térmica mensual aprovechada por el colector para una temperatura de operación real de 45°C, presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 23: Consumo térmico mensual**

Mes	T <sub>Acs</sub> (°C)	T <sub>H2O</sub> (° C)	n (Días)	E (KJ)
Enero	45.00	22.15	23	224395.13
Febrero	45.00	22.54	20	191795.82
Marzo	45.00	21.06	21	214655.90
Abril	45.00	20.20	22	232955.92
Mayo	45.00	19.75	20	215620.86
Junio	45.00	15.23	21	266930.09
Julio	45.00	16.98	22	263202.62
Agosto	45.00	16.52	22	267523.58
Septiembre	45.00	17.05	21	250611.22
Octubre	45.00	18.12	23	263971.17
Noviembre	45.00	18.92	21	233844.02
Diciembre	45.00	19.45	22	240000.96
<b>TOTAL</b>				2865507.30

Calculo del equivalente en combustible o energía eléctrica que se emplearía para generar esta cantidad de energía.

- Determinando el consumo de combustible en caso de tener una terma a gas (GLP)

$$\text{Poder calorífico del GLP}=10,500 \text{ Kcal/Kg} \quad m_{GLP} = \frac{q}{n \cdot P_{cl}} \quad , n = 0.85$$

Considerando que el precio del GLP doméstico de 10Kg es S/. 36.00

Nuevos soles determinamos el consumo de GLP y el costo mensual:

**Tabla 24: Consumo de GLP**

Mes	E (KJ)	Gasto masico (Kg/mes)	Costo (S./mes)
Enero	224395.13	6.01	21.62
Febrero	191795.82	5.13	18.48
Marzo	214655.9	5.75	20.68
Abril	232955.92	6.24	22.45
Mayo	215620.86	5.77	20.78
Junio	266930.09	7.14	25.72
Julio	263202.62	7.05	25.36
Agosto	267523.58	7.16	25.78
Septiembre	250611.22	6.71	24.15
Octubre	263971.17	7.07	25.44
Noviembre	233844.02	6.26	22.53
Diciembre	240000.96	6.42	23.13
<b>TOTAL</b>	<b>2865507.3</b>	<b>76.70</b>	<b>276.12</b>
<b>PAYBACK</b>			<b>5.89</b>

Por lo que el tiempo de recuperación del capital invertido queda determinado por la siguiente ecuación:

$$Pay\ Back = \frac{Inversion}{costo\ combustible\ por\ año}$$

$$Pay\ Back = \frac{1627.65\ soles}{276.12\ soles/año} = 5.89\ años$$

Por lo que la inversión se recuperara en aproximadamente en 5.89 años si se reemplazara el gas licuado de petróleo por la terma solar. Esto se debe a que una vez instaladas las termas solares no incurrirá en gastos de operación son nulos.

- Determinando el costo de producir A.C.S. con energía eléctrica:

Las termas eléctricas son altamente eficientes, se puede considerar la eficiencia de las termas eléctricas como 100%, Por lo que el consumo de electricidad será el equivalente térmico del calor aprovechado por las termas solares.

Dado que la escuela Bereshi está en la tarifa BT5B con una tarifa de S/. 0.4275 /KW-h:

**Tabla 25: Consumo Energía térmica mensual**

Mes	E (KJ)	Energía kW-h	Costo (S./mes)
Enero	224395.13	62.3	26.6
Febrero	191795.82	53.3	22.8
Marzo	214655.90	59.6	25.5
Abril	232955.92	64.7	27.7
Mayo	215620.86	59.9	25.6
Junio	266930.09	74.1	31.7
Julio	263202.62	73.1	31.3
Agosto	267523.58	74.3	31.8
Septiembre	250611.22	69.6	29.8
Octubre	263971.17	73.3	31.3
Noviembre	233844.02	65.0	27.8
Diciembre	240000.96	66.7	28.5
TOTAL	2865507.3	796.0	340.3
PAYBACK			4.8

Por lo que el tiempo de recuperación del capital invertido queda determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Pay Back} = \frac{\text{Inversión}}{\text{costo de energía eléctrica por año}}$$

$$\text{Pay Back} = \frac{1627.65 \text{ soles}}{340.3 \text{ soles/año}} = 4.8 \text{ años}$$

Por lo que la inversión se recuperara en 4.8 años, después de instaladas las termas solares no se incurrirá en gastos de operación y los gastos de mantenimiento son prácticamente nulos.



---

**CAPITULO IV**

**VI. CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

---

## 6.1. CONCLUSIONES

- Se evaluó el recurso solar en la Institución educativa Cristiana Bereshi, el cual cuenta con un buen recurso solar, debido a que se tiene para Chimbote una radiación global promedio para el período de mayo a octubre de  $16.86\text{MJ}/\text{m}^2$  día correspondiente a junio, mes de menor radiación global incidente, para un ángulo óptimo de inclinación de  $25^\circ$ .
- Se concluyó que es factible económicamente el aprovechamiento de la energía solar con colectores solares debido al buen recurso solar con la cuenta la I.E.P.C. Bereshi, recuperándose el capital en 4.8 años reemplazando a una terma eléctrica y en 5.9 años reemplazando a una terma con GLP, a partir de los cuales se obtendrán ahorros hasta el tiempo de vida útil de los colectores (vida útil de un C.A.S. de 15 a 20 años).
- Se determinó la demanda de ACS para la I.E.C. Bereshi. De 240 litros de agua a  $45^\circ\text{C}$  equivalente a 120 litros por cada sistema de 40 con consumo per cápita de 3 litros diarios por alumno.
- Se dimensionó dos sistemas de agua caliente sanitaria de los cuales cada uno consta de un colector de placa plana de  $1.2\text{m}^2$  de área efectiva con un termotanque de 100 litros que le da un día de autonomía al sistema de ACS.
- Se evaluó la posibilidad de comprar o construir las termas solares, con la conclusión de que es viable económicamente construirlo, por la diferencia marcada de los precios. El costo de mercado de la terma solar más cómoda es S/. 2840 nuevos soles, construyéndola cuesta S/. 1627.65 nuevos soles, con una diferencia de S/. 1212.35 nuevos soles por cada terma solar.

- Se construyó e implementó un colector solar a cada sistema teniendo en cuenta el limitado presupuesto con el que se contó para la construcción de los colectores solares y el área reducida disponible para instalar los colectores (Techo de los baños) los cuales están fabricados con materiales que no brindan buena resistencia a soportar grandes cargas.
- Se realizó la toma de datos en el colector durante tres días en un periodo 12 horas (de 6:00 am a 6:00 pm; el 15, 19 y 25 de enero del 2014) , alcanzando una eficiencia promedio de 52.8%, se identificó que características de operación del colector solar son: un ángulo de inclinación óptimo de 25°, el sistema brindará 100 litros de agua caliente a 45°C los cuales serán combinados con 85 litros de agua de la red para obtener 185 litros diarios de ACS disponible a 29°C.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- EL colector solar debe tener una leve inclinación en la parte superior para el lado de la salida del colector de 1° a 3°, para facilitar el flujo del agua más caliente hacia la salida del colector (efecto termosifón). Esto se debe que por estar está a mayor temperatura su densidad disminuye y tiende a irse a la parte superior, de no ser así, esta tiende a recircular por el colector, teniendo como consecuencia que el agua caliente del circuito del colector - intercambiador de calor (ciclo cerrado) no entregue el calor al agua del tanque, dado que el calor se quedaría atrapado en las placas y tubos del colector originando un sobrecalentamiento.
- Dar márgenes de holgura a las dimensiones del vidrio de la cubierta, para que esta al dilatarse pueda expandirse sin sufrir presión en el marco del colector y así no se rompa en las horas de mayor radiación, los espacios de holgura se pueden rellenar con silicona de tubo.
- Hacer las pruebas de hermeticidad con aire y agua para prevenir las fugas.
- Nivelar la superficie donde se instalará la terma solar procurando facilitar el efecto termosifón.
- Anclar el colector al piso para evitar que sea movido por el personal accidentalmente o por las fuertes corrientes de viento que se pueda darse.
- Hacer un tratamiento anti polillas a las partes u estructuras de madera.
- Calibrar os instrumentos de medición para una correcta recolección de datos y una buena evaluación de los colectores.
- Evitar la exposición prolongada al sol, de los instrumentos de medición, tales como el multitester y el radiómetro.

---

**CAPITULO VII**

**VII. BIBLIOGRAFÍA**

---

### 7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Duffie, J.A.; Beckman, W.A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, Edit. John Wiley & Sons, New York.
2. Carlos Orbegoso, Roberto Arivilca (2010). Manual técnico para termas solares, Edit. Green Energy, Perú.
3. Centro De Estudios De La Energía Solar (2007). Instalaciones de energía solar Tomo IV, 5ta Edición, Edit. Artes Gráficas Gala, España.
4. Javier Méndez, J. Cuervo y F. Bureau (2008). Energía Solar Térmica, Edit. Fundación Confemental, España.
5. Jenaro Paz (2006). Colectores solares planos V011 México.
6. José Enseñat, Cristina Martínez (2008). Energía Solar Térmica y Fotovoltaica, Edit. EnerAgen, España.
7. Antenor Mariños, H. Benítez, H. Calderón, R. Guevara (2005). Diseño, construcción y evaluación del funcionamiento de una terma solar de placa plana de una terma solar a ser instalada en un domicilio de la Urb. El Carmen, Edit. UNS, Perú.
8. Julian Benites, F. Risco y otros (1989). Estimación de la radiación solar en el área de influencia de la Universidad Nacional del Santa, Edit. UNS, Perú.
9. Eduardo Varas Arteaga (2006), Abastecimiento de agua caliente usando colectores solares para un hotel rural en la ciudad de Chimbote, Edit. UNS, Perú.
10. Alberto Rosa Lue, (2010). Propuesta de un sistema solar térmico para la

obtención de agua caliente sanitaria en un complejo deportivo, Edit.  
Universidad De El Salvador, EL salvador.

11. Estela Porquis y N. Benites (2011). Procedimientos en Salud, UNALM, Perú.
12. Antonio Valero Muñoz (2012). Principios de color y holopintura, Edit. Club Universitario, España
13. ANSI/ASHRAE 96:1980(RA 90) Métodos de comprobación para determinar el rendimiento de un colector solar plano. ASHRAE, Inc.,1791 Círculo Tullie NE, Atlanta, GA 30329.
14. Norma Técnica Peruana NTP 399.400 (2001): Colectores Solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores solares, Perú.
15. Norma Técnica De Edificación EM080: Instalaciones Con Energía Solar, Perú.

## 7.2. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Sistema de Regulación y Control (2014). Medidores de radiación solar PCE-SPM1,

*<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/INSTRUMENTO-de-radiacion-pce-spm1.htm>*

*Fecha: 15/01/14*

2. Ferromodel (2014). Características técnicas Multitester.

*[www.ferromodel.cl/articulos/int.multim.pdf](http://www.ferromodel.cl/articulos/int.multim.pdf)*

*Fecha: 15/01/14*

3. Weisz (2014). Características técnicas de termocuplas.

*[www.weisz.com/informacion/tablas%20tecnicas\\_pdf](http://www.weisz.com/informacion/tablas%20tecnicas_pdf)*

*Fecha: 15/01/14*



---

**ANEXOS**

---

## ANEXO N° 1

# COTIZACIONES DE TERMAS SOLARES

---

# AQUATHERM

GAS • AGUA CALIENTE • CALEFACCION • ENERGIA SOLAR

Calle Piedad del Sol 885  
Ref. Ab. Cdra. 69 Av. Gen. Chimel-Tumbaco  
Zona Industrial Ica - Urb. Zorzo - S.T.L.  
Telf. 01-647-9132 - RUC. 4040409813 - RPA. \*517275  
Mail. [administracion@aquatherm.com](mailto:administracion@aquatherm.com)  
Mail. [ventas@aquatherm.com](mailto:ventas@aquatherm.com)  
Web. [www.aquatherm.com](http://www.aquatherm.com)  
LIMA - PERU

## COTIZACION VO1-0354-13- PAT

EMPRESA: UNS CHIMBOTE  
ATENCION: Sr. Pedro Sanchez  
TELF. MOVIL: 943874847  
LUGAR: Chimbote  
FECHA: 08/10/13  
REFERENCIA: SOLICITUD DE COTIZACION DE TERMA SOLAR

Previo cordial saludo y en Atención a su solicitud de cotización, le enviamos nuestra oferta técnica económica del producto solicitado

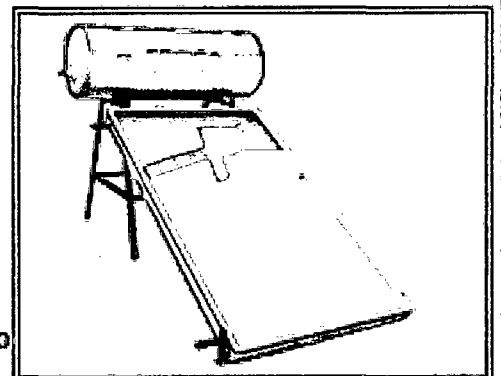
ITEM	Modelo	DETALLE	Precio Lista N. Soles	Cant. Unid.	Precio Total N. Soles
01	TSE-150-HP	TERMA SOLAR DE 150 LITROS DE ALTA PRESION (40 Psi)	2600.00	2	5,200.00

### TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Material del tanque : Acero Inoxidable Calidad 304-2B, plancha de 2.0 mm.  
Aislante Térmico : Poliuretano Expandido  
Acabado de Funda : Aluminio Anodizado  
Funcionamiento : Automático  
Termostato : Analógico  
Eficiencia : 70 %  
Soporte eléctrico : Resistencia de 2,000 watt

### COLECTORES SOLARES

Cantidad : 01 Panel  
Modelo del Colector : Vidrio Plano, con tubos de cobre  
# De tubos interiores : 10 Tubos de cobre de 3/8" diámetro  
Marco del Panel : Aluminio  
Medidas del Panel : 1.00 x 1.50 mts.  
Garantía : 10 Años



# AQUATHERM

GAS - AGUA CALIENTE - CALEFACCION - ENERGIA SOLAR

Calle Portada del Sol 885  
Prof. Ab. Cárlos 09 Av. Con. Chiriquí - Zonas  
Zona Industrial Inapaycan - Urb. Zorzo - S.J.L.  
Tel: 01-647-9192 - R.P.C. 4040403913 - R.P.S.A. 1517807  
Mail: [administracion@aquatherm.com](mailto:administracion@aquatherm.com)  
Mail: [agustambon@aquatherm.com](mailto:agustambon@aquatherm.com)  
Web: [www.aquatherm.com](http://www.aquatherm.com)  
LIMA - PERU

## COTIZACION VO1-0354-13- PAT

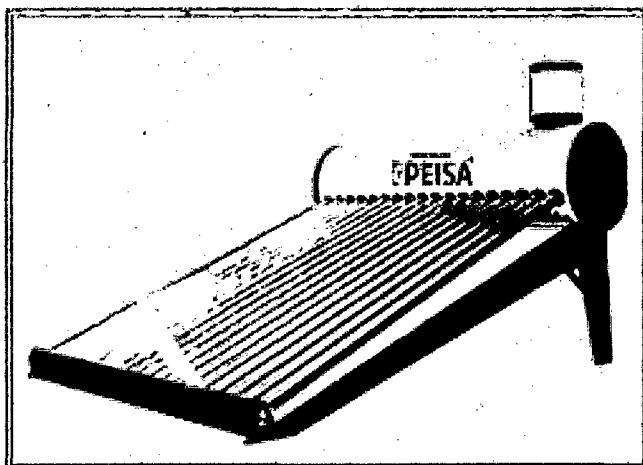
ITEM	Modelo	DETALLE	Precio Lista N. Soles	Cant. Unid.	Precio Total N. Soles
02	TSE-150-TV	TERMA SOLAR DE DE TUBOS AL VACIO DE 150 LITROS TERMAS DE BAJA PRESION (10 psi)	2,450.00	2	4,900.00

### TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Capacidad	: 150 lit.
Material del tanque	: Acero Inoxidable Calidad 304-2B, plancha de 0.5 mm
Aislante Térmico	: Poliuretano Expandido
Acabado de Funda	: Pintura al homo
Funcionamiento	: Automático
Termostato	: No
Eficiencia	: 70 %
Soporte eléctrico	: No

### COLECTORES SOLARES

Modelo del Colector	: Tubos de vidrio al vacio
# De tubos interiores	: 14 Tubos
Garantía	: 01 Años



# AQUATHERM

GAS - AGUA CALIENTE - CALEFACCIÓN - ENERGÍA SOLAR

Calle: Paredón del Sol 335  
Ref. Ab. Cdra. 09 Av. Com. Chirri-Zarate  
Zona Industrial Incaymay - Urb. Zante - S.J.L.  
Telf. 01-647-9132 - RUC: 940409813 - RPSM: \*517807  
Mail: [información@aquatermica.com](mailto:información@aquatermica.com)  
Mail: [aquatermica@yaho.com](mailto:aquatermica@yaho.com)  
Web: [www.aquatermica.com](http://www.aquatermica.com)  
LIMA - PERU

## COTIZACION VO1-0354-13- PAT

La instalación es gratis, si es en provincias, el cliente asume los costos de transporte de los equipos y alimentación y pasaje de los técnicos

### CONDICIONES COMERCIALES:

PRECIO : Los Precios Incluyen IGV., y están en Nuevos Soles  
FORMA DE PAGO : 70 % y saldo contra entrega  
TIEMPO DE ENTREGA : 05 días  
VALIDEZ DE LA PROPUESTA : 15 días.

De ser aprobado el presupuesto La ORDEN DE COMPRA se emitirá a nombre de AQUATERMICA SAC con RUC. N° 20551779026, los pagos se realizan en la cta. Cte. N° 193-2050724-0-82, del Banco de Crédito.

Esperando ser favorecidos con su Orden, nos despedimos de Ud.

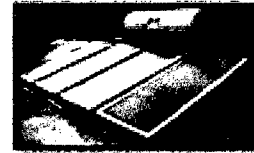
Atentamente

Ing. Javier Atausinchi S.  
AQUATERMICA SAC  
Telf. 01-6479132  
Cel. 940409813

3127



De: Julio Cesar Alvino Avelino  
RUC: 10081578252  
Fabricación - Venta de Termas Eléctricas y  
Termas Solares  
☎ 53-7105/998482913



Lima, 9 Octubre del 2013

Sr.

Pedro Sánchez Domínguez

De mi distinguida consideración por la presente le enviamos la cotización de la terma electro solar eléctrica y automática de 150 litros.

UND.	CAPACIDAD	AREA DE TRABAJO	# DE DEPANELES	PRECIO
002	150 litros	6 m <sup>2</sup>	1 paneles - 10 tubos 1.15m * 1 m	S/ 2350.00

#### PANELES:

- Marco de aluminio.
- Tubos colectores de cobre.
- Plancha colector de acero LAF.
- Aislante térmico de fibra de vidrio.
- Cristal transparente para la radiación solar.

#### BONDADES DE LA TERMA ELECTROSOLAR:

- Está fabricado con plancha acero lac 2.5 de pulgada.
- Lleva 1 resistencias de 2000 wats 220 voltios.
- Lleva 1 termostatos canadiense regulador de temperatura.
- Lleva 1 pilotos indicador de apagado automático.
- Lleva 1 válvula de seguridad de 1/4.
- El interior está cubierto con fibras especiales para prolongar el calor por mayor tiempo.
- Su acabado es en aluminio brillante.

#### GARANTIA:

- 10 años colector solar
- 5 años por el tanque de almacenamiento
- 1 año sistema eléctrico.
- Tiempo de fabricación 10 días hábiles.

- ✓ En estos precios está incluido el I.G.V.
- ✓ El flete corre a cuenta del cliente.
- ✓ El 50% a la firma del contrato.
- ✓ Validez de cotización: 5 días

*Compre al Perú*





## PROFORMA N° 0184-1012

Señor : Pedro Sanchez Dominguez  
Producto : Terma Solar Modular Head Pipe de 150 Lts  
Fecha : 09 de Octubre del 2013

Nos complace presentamos como "SOLUCIONES TERMICAS", empresa dedicada a desarrollar, promover y comercializar productos que favorezcan el uso de la Energía Solar, como son los calentadores solares de la marca TERMOINOX, temperado solar de piscinas, Sistema automatizados Solar-Gas para Hotelería e Industria.

Le proponemos un equipo que cumple con las consideraciones siguientes:

- Atiende requerimientos de volúmenes de agua caliente entre 50°C - 70°C/día.
- Que sea completamente confiable y duradero.
- De fácil y bajo costo de mantenimiento.
- Que cuente con un sistema auxiliar de calentamiento, de tal manera que atienda sin problema cualquier eventualidad y pueda recuperar rápidamente el agua caliente.
- Que soporte las Bajas temperaturas de invierno y guarde agua caliente hasta el día siguiente.
- Que sean eficientes y que armonicen con el medio ambiente.
- Que sea tolerante a aguas duras.

### **1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR HEAD PIPE**

#### **1.1 TANQUE TERMICO**

- El tanque térmico será de modelo horizontal y estarán diseñados para trabajar a una presión máxima de 50 m.c.a.
- El tanque interno es fabricado íntegramente en Acero Inoxidable AISI 304 - 2B, nipples de agua caliente, fría y termosifón son de Acero inoxidable AISI 316 - C10 de 3".
- Una vez confeccionado el tanque interno, es sometido a una prueba Hidrostática de 60 m.c.a, con el fin de verificar su buen estado y resistencia mecánica.

Av. Trinidad Morán H-14, Urb. León XIII Cayma - AREQUIPA Telf. 054-257030 Cel. 959950518  
Email.: [solucionestermicas@yahoo.es](mailto:solucionestermicas@yahoo.es) - [stventas@termoinox.com](mailto:stventas@termoinox.com)  
Web Site: [www.termoinox.com](http://www.termoinox.com)



## 2. PROFORMA TERMA ELECTRO-SOLAR HEAT PIPE de 200 LITROS

Nuestros sistemas de calentamiento solar alcanzan normalmente temperaturas entre 50° C – 80° C y están diseñadas para brindar confort, salud y bienestar a su familia y empresa.

LTS	MODULOS HEAT PIPE	VALOR DE VENTA UNITARIO
150	1 M – 12 Tubos c/u.	S/ 2,800.00

- Incluye Sistema eléctrico auxiliar
- Precios incluye IGV
- Costo de flete aprox. S/ 280
- Costo por pasajes y viáticos del instalador S/ 250

## 5. GARANTIA

- 05 Años por los Colectores Solares y Tanque Térmico
- 01 Año por el Sistema Eléctrico, Tuberías y Accesorios

## 6.0 FORMA DE PAGO

Precio de terma al contado  
Costo de flete a destino  
Costo de pasajes y viáticos en Chimbote.

Por favor sírvase realizar el depósito en nuestra Cuenta de Ahorros en Soles a Nombre de SOLUCIONES TERMICAS EIRL del Banco Interbank N° 315-3017863389

Atentamente,

Eduardo Cohello Arias Soto  
Gerente de Ventas





**COTIZACION - 298013**

**Producto : Termas Solares de Tubos al Vacío**  
**Señores : I. E. CRISTIANA BERESINI**  
**Atención : Sr. Pedro Sánchez Domínguez**  
**Fecha : 09 de Octubre de 2013**  
**Localidad : Chimbote**

**A. COSTOS DE LOS EQUIPOS:**

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
02	Terma Solar de 150 litros, con tubos al vacío fabricados con ingeniería molecular nanométrica; que me brindan agua caliente entre 60°C y 80°C para diferentes usos por día.	S/. 2,100.00	S/. 4,200.00
01	Kit de accesorios de instalación, considerado para la instalación de las 02 termas solares, en un radio no mayor de 2 metros y está compuesto de tuberías, válvulas y elementos necesarios para una correcta instalación y funcionamiento de los tubos al vacío.	Incluidos	Incluidos
01	Mano de Obra por instalación de todos los sistemas solares, incluye entrega de obra en funcionamiento.	S/. 250.00	S/. 500.00
01	Traslado del personal técnico más viáticos de viaje, si incluye el alojamiento por dos días de permanencia más no el despacho de los productos hacia destino.	A cargo de la empresa Contratada	A cargo de la empresa Contratada

⚡ El precio TOTAL de las 02 termas de 150 litros es **S/. 4,700.00**

- ❖ Precios no incluyen traslado de los diferentes equipos hasta la ciudad de destino, si depositamos en la empresa de transportes a elección del cliente. En este caso a través de la empresa Cruz del Sur Cargo y cuyo monto sería aproximadamente S/.250.00 hasta la oficina de la ciudad de Chimbote y que será cancelado pagadero destino, por cuenta de la Empresa Contratante.

**Tiendas: Calle Álvarez Thomas # 433 Av. Daniel A. Carreón-La Pampilla # 196-A AREQUIPA**  
**Fijo: (054) 429877-241355 Cel: 959444024 - 959702958 RPM \*0294801 #0301660**  
**www.aqpsolarenergy.com ventas@aqpsolarenergy.com slprelsolar@hotmail.com**



- ❖ Alojamiento del personal más alimentación, responsabilidad del contratado, por dos días.
- ❖ Los precios incluyen I.G.V., el monto total a facturar es de S/. 4,700.00
- ❖ No cotizamos termas convencionales de colector plano, pues dejamos de fabricarlas al comprobar que las termas de tubos al vacío son mucho más eficientes y no generan en lo absoluto sarro ni óxido como las convencionales (colector de cobre), por lo que el agua calentada es agua completamente sanitaria, ideal para uso y consumo de los niños.

## ANEXO N° 2

# DATOS EXPERIMENTALES

---

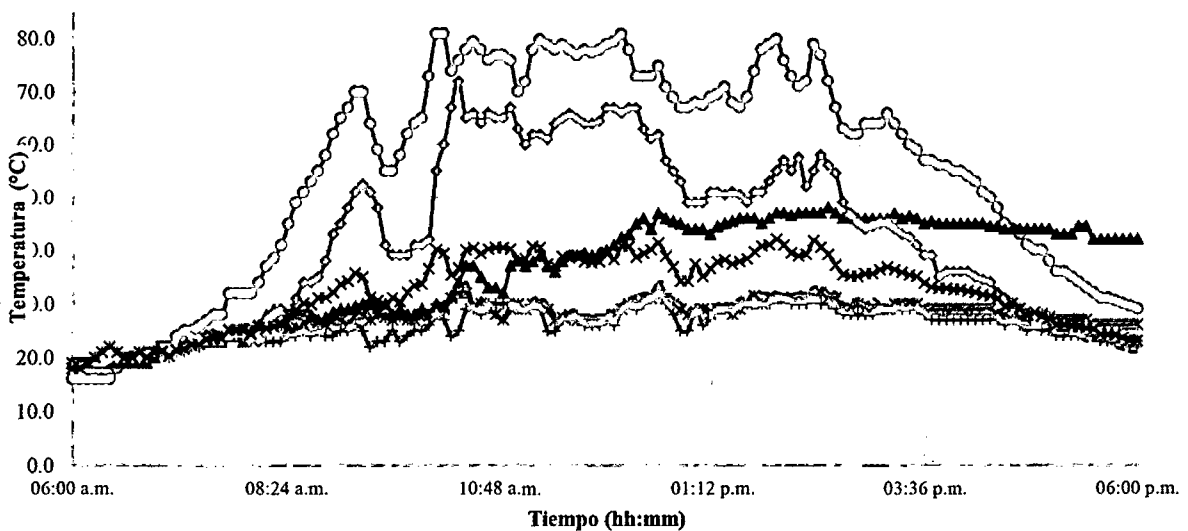
Día: 15/01/2014

hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
06:00 a.m.	18.0	19.0	16.0	19.0	18.0	18.0	18.00	38.9
06:05 a.m.	18.0	19.0	16.0	19.0	18.0	18.0	18.00	39.7
06:10 a.m.	19.0	19.0	16.0	19.0	19.0	19.0	19.00	38.2
06:15 a.m.	19.0	19.0	16.0	19.0	19.0	20.0	20.00	39.8
06:20 a.m.	19.0	19.0	16.0	19.0	19.0	21.0	21.00	39.4
06:25 a.m.	19.0	19.0	16.0	19.0	20.0	22.0	22.00	41.1
06:30 a.m.	20.0	19.0	18.0	19.0	20.0	21.0	21.00	43.5
06:35 a.m.	20.0	19.0	19.0	19.0	20.0	20.0	20.00	42.7
06:40 a.m.	21.0	19.0	20.0	19.0	20.0	20.0	20.00	40.2
06:45 a.m.	20.0	19.0	19.0	19.0	20.0	21.0	21.00	39.7
06:50 a.m.	21.0	19.0	20.0	19.0	21.0	20.0	20.00	44.4
06:55 a.m.	21.0	20.0	21.0	20.0	21.0	21.0	21.00	43.4
07:00 a.m.	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	21.0	21.09	42.5
07:05 a.m.	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	20.0	20.21	53.1
07:10 a.m.	22.0	22.0	24.0	22.0	22.0	21.0	21.35	41.9
07:15 a.m.	22.0	22.0	25.0	22.0	22.0	21.0	21.50	43.8
07:20 a.m.	23.0	23.0	25.0	24.0	23.5	22.0	22.35	40.6
07:25 a.m.	23.5	23.0	26.0	24.0	23.5	22.0	22.50	41.4
07:30 a.m.	25.0	23.5	27.0	23.0	23.0	23.0	23.50	55.2
07:35 a.m.	25.0	24.0	28.0	23.0	23.0	23.0	23.67	63.8
07:40 a.m.	23.0	24.0	28.0	23.0	23.0	23.0	23.67	64.7
07:45 a.m.	24.0	25.0	32.0	24.0	24.0	24.0	25.20	65.0
07:50 a.m.	25.0	25.0	32.0	24.0	25.0	24.0	25.20	63.8
07:55 a.m.	26.0	24.0	32.0	23.0	25.0	24.0	25.20	73.4
08:00 a.m.	26.0	24.0	32.0	25.0	24.0	23.0	24.39	87.2
08:05 a.m.	25.0	26.0	34.0	26.0	23.0	24.0	25.58	225.8
08:10 a.m.	26.0	26.0	37.0	28.0	27.0	23.0	25.40	226.1
08:15 a.m.	27.0	27.0	38.5	29.0	28.0	23.0	25.73	231.1
08:20 a.m.	26.0	26.0	41.0	29.0	29.0	23.0	26.28	347.4
08:25 a.m.	27.0	27.0	45.0	25.5	28.0	24.0	27.95	190.7
08:30 a.m.	28.0	28.0	49.0	25.5	31.0	24.0	28.89	345.7
08:35 a.m.	29.0	28.0	51.0	26.0	34.0	25.0	30.13	383.2
08:40 a.m.	28.0	27.0	53.0	28.0	34.0	24.0	29.86	396.2
08:45 a.m.	27.0	26.5	55.0	27.0	35.0	25.0	31.11	440.6
08:50 a.m.	27.0	26.0	58.0	27.5	38.0	24.0	31.11	473.0
08:55 a.m.	28.0	27.0	62.0	28.5	43.0	24.0	32.14	392.3
09:00 a.m.	28.0	27.0	65.0	29.0	45.0	25.0	33.65	507.8
09:05 a.m.	28.0	26.0	67.0	29.0	48.0	25.0	34.18	492.1
09:10 a.m.	29.0	28.0	70.0	29.5	51.0	26.0	35.70	617.1
09:15 a.m.	29.0	28.0	70.0	30.0	52.5	25.0	34.97	363.4
09:20 a.m.	28.0	27.0	64.0	30.0	51.0	22.0	31.20	385.1
09:25 a.m.	29.0	28.0	59.0	30.0	48.0	23.0	30.63	162.1
09:30 a.m.	28.0	27.5	55.0	30.0	41.0	23.0	29.62	194.9
09:35 a.m.	28.0	27.0	55.0	28.0	39.0	25.0	31.11	265.7
09:40 a.m.	28.0	27.5	58.0	29.0	39.0	23.0	30.37	481.4
09:45 a.m.	28.0	27.0	62.0	28.0	39.0	24.0	32.14	430.3
09:50 a.m.	28.0	27.0	64.0	28.0	41.0	25.0	33.39	316.0
09:55 a.m.	29.0	28.0	65.0	29.0	41.0	25.0	33.65	318.7
10:00 a.m.	28.0	27.7	73.0	28.0	42.0	26.0	36.50	319.3
10:05 a.m.	30.0	29.0	81.0	30.0	55.0	28.0	40.11	701.2
10:10 a.m.	30.0	29.0	81.0	29.5	60.0	27.0	39.40	721.8
10:15 a.m.	31.0	31.0	74.0	31.5	67.0	24.0	35.33	797.5
10:20 a.m.	31.0	32.0	76.0	34.0	72.0	25.0	36.59	760.4
10:25 a.m.	34.0	32.0	78.0	37.0	65.0	29.0	40.02	709.6
10:30 a.m.	29.5	29.5	79.5	37.0	66.0	29.0	40.42	816.1
10:35 a.m.	31.0	30.0	78.0	35.0	64.0	28.0	39.29	760.1

Día: 15/01/2014

hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
10:40 a.m.	29.0	29.0	76.0	33.0	66.0	30.0	40.20	756.4
10:45 a.m.	28.0	28.0	77.0	33.0	65.0	30.0	40.47	846.9
10:50 a.m.	27.0	27.0	77.0	32.0	65.0	30.0	40.47	820.0
10:55 a.m.	30.0	29.0	76.0	37.0	67.0	30.0	40.20	515.6
11:00 a.m.	30.0	30.0	70.0	38.0	63.0	29.0	37.89	417.2
11:05 a.m.	29.0	29.0	72.0	37.0	60.0	29.0	38.41	577.1
11:10 a.m.	31.0	30.0	78.0	38.0	62.0	30.0	40.74	791.8
11:15 a.m.	31.0	30.0	80.0	39.0	62.0	29.0	40.56	785.4
11:20 a.m.	30.0	29.0	79.0	37.0	61.0	25.0	37.41	594.8
11:25 a.m.	28.0	27.0	78.0	36.0	64.0	25.0	37.14	831.4
11:30 a.m.	28.0	27.5	79.0	38.0	65.0	27.0	38.85	803.9
11:35 a.m.	29.0	28.0	78.0	39.0	66.0	27.0	38.57	817.0
11:40 a.m.	28.0	27.0	77.0	39.0	65.0	28.0	39.02	797.5
11:45 a.m.	28.0	27.0	78.0	39.5	64.0	26.0	37.86	835.6
11:50 a.m.	28.0	27.0	77.5	39.0	64.0	26.0	37.72	823.5
11:55 a.m.	28.0	27.0	78.0	39.5	64.5	26.0	37.86	830.1
12:00 p.m.	28.0	27.0	79.0	40.0	67.0	28.0	39.57	822.2
12:05 p.m.	29.0	28.0	79.5	41.0	67.0	26.0	38.27	848.8
12:10 p.m.	30.0	29.0	81.0	42.5	66.0	29.0	40.83	901.4
12:15 p.m.	31.0	30.0	78.0	43.0	67.0	30.0	40.74	558.2
12:20 p.m.	31.5	30.0	73.0	45.0	67.0	29.0	38.68	582.6
12:25 p.m.	32.0	31.0	73.0	46.0	63.0	30.0	39.40	560.0
12:30 p.m.	32.0	31.0	73.0	44.0	61.0	31.0	40.13	556.0
12:35 p.m.	34.0	32.0	75.0	47.0	62.0	32.0	41.39	559.6
12:40 p.m.	32.0	31.0	71.0	46.0	57.0	30.0	38.88	414.2
12:45 p.m.	31.0	30.0	69.0	45.5	55.0	28.0	36.89	435.4
12:50 p.m.	30.0	29.0	67.0	45.0	53.0	25.0	34.18	423.8
12:55 p.m.	29.0	28.0	67.0	44.0	49.0	25.0	34.18	475.2
01:00 p.m.	29.0	28.5	68.0	44.0	49.0	29.0	37.37	397.8
01:05 p.m.	29.5	29.0	67.5	44.0	49.0	26.0	35.04	395.2
01:10 p.m.	29.0	28.0	69.0	43.0	51.0	27.5	36.53	434.2
01:15 p.m.	30.0	29.0	69.5	44.5	51.0	29.0	37.76	409.8
01:20 p.m.	30.0	29.0	71.0	45.0	50.5	29.0	38.15	491.5
01:25 p.m.	30.0	28.0	68.0	45.5	51.0	29.0	37.37	316.9
01:30 p.m.	31.0	29.0	67.0	46.0	50.5	30.0	37.84	297.1
01:35 p.m.	31.0	30.0	69.0	46.0	49.0	30.0	38.36	474.1
01:40 p.m.	32.0	31.5	74.0	46.0	51.0	30.0	39.67	569.2
01:45 p.m.	32.0	30.0	78.0	45.0	51.0	30.0	40.74	676.0
01:50 p.m.	32.0	31.0	79.0	46.0	53.0	30.0	41.01	657.2
01:55 p.m.	32.0	31.0	80.0	47.0	55.0	31.0	42.00	679.8
02:00 p.m.	31.5	31.0	76.0	47.0	57.0	31.0	40.93	551.1
02:05 p.m.	31.5	31.0	73.0	46.5	55.0	30.0	39.40	458.5
02:10 p.m.	32.0	31.0	71.0	47.0	57.5	30.0	38.88	386.3
02:15 p.m.	32.0	31.0	72.0	47.0	52.0	30.0	39.14	537.8
02:20 p.m.	33.0	31.0	79.0	47.0	55.0	31.0	41.73	747.0
02:25 p.m.	33.0	32.0	77.0	47.0	58.0	30.0	40.47	446.9
02:30 p.m.	32.0	31.0	72.0	48.0	56.0	30.0	39.14	375.8
02:35 p.m.	32.0	31.0	67.0	47.0	54.5	29.0	37.11	347.6
02:40 p.m.	30.0	29.0	63.0	46.0	49.0	28.0	35.34	316.9
02:45 p.m.	30.0	29.0	62.0	46.0	47.0	28.0	35.09	330.4
02:50 p.m.	31.0	30.0	62.0	46.0	45.0	28.0	35.09	344.7
02:55 p.m.	30.0	29.0	64.0	46.0	44.0	28.0	35.60	418.4
03:00 p.m.	31.0	29.0	64.0	46.0	44.5	28.0	35.60	350.1
03:05 p.m.	30.0	29.0	64.0	46.0	45.0	29.0	36.34	352.3
03:10 p.m.	29.0	29.0	66.0	46.0	45.0	29.0	36.85	344.5
03:15 p.m.	30.0	30.0	64.0	47.0	44.0	29.0	36.34	275.2

hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
03:20 p.m.	30.0	30.0	62.0	46.0	43.0	29.0	35.83	268.1
03:25 p.m.	30.0	30.0	60.0	46.5	42.5	29.0	35.33	252.6
03:30 p.m.	30.0	30.0	59.0	46.0	41.0	29.0	35.09	246.3
03:35 p.m.	29.0	29.0	57.0	45.0	39.0	28.0	33.84	255.2
03:40 p.m.	29.0	29.0	57.0	45.5	39.0	27.0	33.10	224.3
03:45 p.m.	28.0	29.0	56.0	45.0	35.0	27.0	32.85	243.3
03:50 p.m.	28.0	29.0	56.0	45.0	36.0	27.0	32.85	263.2
03:55 p.m.	29.0	29.0	55.0	45.0	36.0	27.0	32.60	220.6
04:00 p.m.	29.0	29.0	55.0	45.0	36.0	27.0	32.60	229.6
04:05 p.m.	28.0	29.0	54.0	45.0	36.0	27.0	32.36	182.3
04:10 p.m.	28.0	29.0	53.0	45.0	35.0	27.0	32.12	174.1
04:15 p.m.	28.0	29.0	51.0	45.0	34.5	27.0	31.64	163.1
04:20 p.m.	28.0	29.0	50.0	44.5	34.0	27.0	31.41	126.3
04:25 p.m.	28.0	28.0	48.0	44.5	32.0	27.0	30.94	108.5
04:30 p.m.	27.0	28.0	45.0	44.0	31.0	26.0	29.49	100.3
04:35 p.m.	27.0	27.0	44.0	44.0	30.0	27.0	30.04	76.5
04:40 p.m.	27.0	27.5	43.0	44.0	29.0	26.0	29.04	77.1
04:45 p.m.	27.0	27.5	41.0	44.0	28.0	25.0	27.83	70.1
04:50 p.m.	26.0	27.5	40.0	44.0	27.0	26.0	28.40	73.2
04:55 p.m.	27.0	28.0	40.0	44.0	27.0	25.0	27.61	78.1
05:00 p.m.	26.0	27.5	38.0	44.0	27.0	25.0	27.19	66.8
05:05 p.m.	25.0	27.0	36.0	43.0	26.0	24.0	25.98	64.7
05:10 p.m.	25.0	27.0	36.0	43.0	26.0	24.0	25.98	53.7
05:15 p.m.	25.0	27.0	35.0	43.0	25.0	24.0	25.78	44.1
05:20 p.m.	24.0	27.0	34.0	44.5	25.0	24.0	25.58	36.5
05:25 p.m.	23.0	27.0	33.0	44.5	26.0	24.0	25.39	29.5
05:30 p.m.	23.0	26.0	32.0	42.0	26.0	24.0	25.20	32.6
05:35 p.m.	23.0	26.0	31.0	42.0	24.0	23.0	24.20	35.6
05:40 p.m.	23.0	26.0	31.0	42.0	24.0	23.0	24.20	34.0
05:45 p.m.	22.0	26.0	30.5	42.0	24.0	23.0	24.11	32.3
05:50 p.m.	21.5	26.0	30.0	42.0	23.0	22.5	23.61	37.1
05:55 p.m.	21.0	26.0	29.5	42.0	23.0	22.0	23.11	33.6
06:00 p.m.	21.0	26.0	29.0	42.0	23.0	22.0	23.02	32.1



- T1: Temperatura de entrada al colector
- T3: Temperatura de placa
- ◇— T5: Temperatura de salida del colector
- \*— T2: Temperatura de entrada al tanque
- ▲— T4: Temperatura de salida del tanque.
- +— T6: Temperatura de ambiente

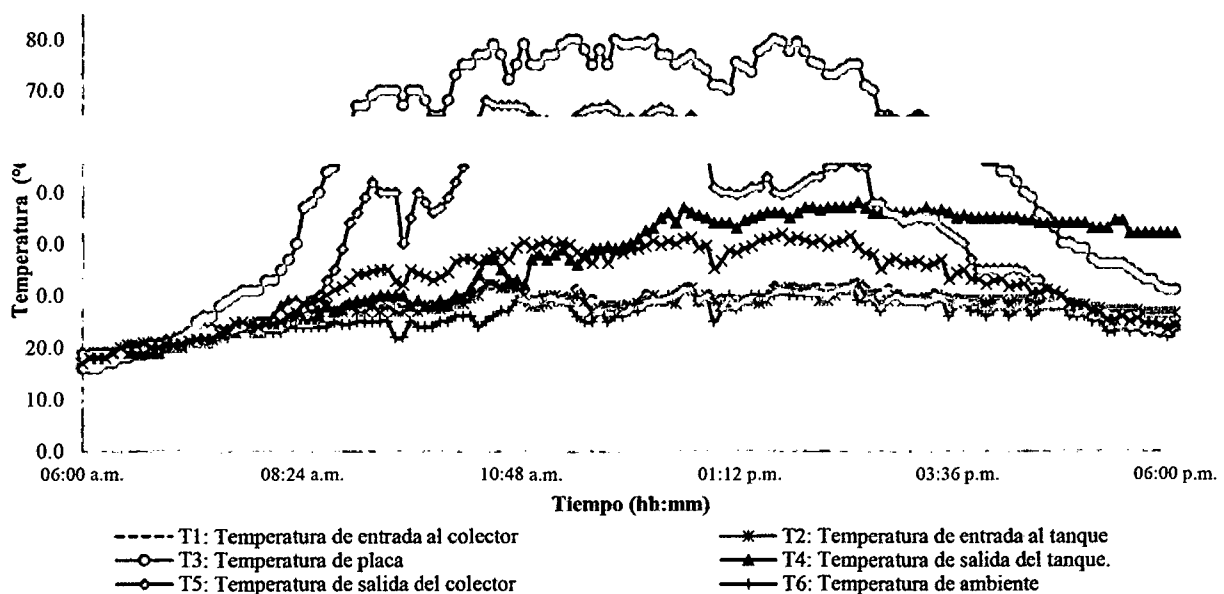
Día: 19/01/2014

hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
06:00 a.m.	17.0	18.5	16.00	19.0	19.0	17.00	17.00	40.2
06:05 a.m.	17.0	18.0	16.00	19.0	18.5	18.00	18.00	35.1
06:10 a.m.	18.0	19.0	16.00	19.0	19.0	18.00	18.00	39.2
06:15 a.m.	18.0	18.0	17.00	19.0	18.5	18.00	18.00	40.1
06:20 a.m.	18.0	18.0	17.00	19.0	19.0	19.00	19.00	40.0
06:25 a.m.	19.0	19.0	18.00	19.0	19.0	20.00	20.00	42.0
06:30 a.m.	19.0	19.0	18.00	19.0	20.5	20.50	20.50	44.0
06:35 a.m.	19.0	19.0	18.50	19.0	20.5	20.50	20.50	42.0
06:40 a.m.	20.0	19.0	18.50	19.0	20.5	21.00	21.00	49.0
06:45 a.m.	20.0	19.0	19.00	19.0	21.0	20.00	20.00	45.0
06:50 a.m.	20.5	19.5	20.00	19.0	21.0	20.00	20.00	42.0
06:55 a.m.	21.0	20.0	21.00	20.0	21.5	20.50	20.54	40.0
07:00 a.m.	21.5	20.0	21.00	22.0	21.5	20.50	20.54	45.0
07:05 a.m.	21.5	20.0	22.00	22.0	22.0	20.50	20.65	49.0
07:10 a.m.	22.0	21.0	23.00	22.0	22.0	21.00	21.21	51.0
07:15 a.m.	22.0	21.5	25.00	22.0	23.0	21.00	21.50	40.0
07:20 a.m.	22.0	21.0	26.00	24.0	23.0	21.00	21.67	44.0
07:25 a.m.	24.0	22.0	26.00	24.0	23.5	21.00	21.67	48.0
07:30 a.m.	24.0	22.5	28.00	23.0	23.5	22.00	22.84	50.0
07:35 a.m.	24.0	23.0	29.00	23.0	23.5	22.00	23.02	65.0
07:40 a.m.	24.0	23.0	30.00	23.0	24.0	24.00	24.84	75.0
07:45 a.m.	25.0	24.0	31.00	24.0	24.0	24.00	25.01	80.0
07:50 a.m.	25.0	24.0	31.00	24.0	24.5	23.00	24.20	88.0
07:55 a.m.	25.0	25.0	31.00	23.0	25.0	23.00	24.20	98.5
08:00 a.m.	25.0	25.0	33.00	25.0	25.0	23.00	24.58	115.0
08:05 a.m.	25.0	25.0	33.00	26.0	24.5	23.00	24.58	189.2
08:10 a.m.	25.0	25.5	35.00	28.0	26.0	23.00	24.99	199.5
08:15 a.m.	26.0	25.0	37.00	29.0	27.0	24.00	26.19	228.5
08:20 a.m.	26.0	26.0	40.00	29.0	28.0	24.00	26.83	277.3
08:25 a.m.	27.0	27.0	47.00	25.5	28.0	24.00	28.42	310.5
08:30 a.m.	27.0	27.0	48.00	25.5	29.0	24.00	28.66	250.3
08:35 a.m.	28.0	27.0	50.00	26.0	30.0	24.00	29.13	410.5
08:40 a.m.	29.0	28.0	54.00	28.0	33.0	24.00	30.11	423.5
08:45 a.m.	27.5	27.0	55.00	27.0	35.0	25.00	31.11	395.2
08:50 a.m.	28.0	27.0	59.00	27.5	39.0	24.50	31.74	425.8
08:55 a.m.	29.0	28.0	63.00	28.5	44.0	24.50	32.77	507.9
09:00 a.m.	28.0	27.0	67.00	29.0	46.0	25.00	34.18	520.3
09:05 a.m.	28.0	27.0	67.00	29.0	49.0	25.00	34.18	490.2
09:10 a.m.	28.0	28.0	69.00	29.5	52.0	25.00	34.71	497.4
09:15 a.m.	28.0	27.0	70.00	30.0	50.0	25.00	34.97	590.5
09:20 a.m.	28.0	28.0	70.00	30.0	50.0	25.00	34.97	516.8
09:25 a.m.	28.5	27.0	70.00	30.0	50.0	22.00	32.80	399.5
09:30 a.m.	28.0	27.0	67.00	30.0	40.0	22.00	32.00	443.2
09:35 a.m.	28.0	28.0	70.00	28.0	45.0	25.00	34.97	685.2
09:40 a.m.	28.5	27.0	70.00	29.0	50.0	24.00	34.25	359.8
09:45 a.m.	28.0	28.0	68.00	28.0	48.0	24.00	33.71	490.5
09:50 a.m.	28.0	27.5	65.00	28.0	46.0	24.00	32.92	485.0
09:55 a.m.	28.5	27.5	65.00	29.0	47.0	25.00	33.65	425.0
10:00 a.m.	29.0	28.0	68.00	28.0	49.0	25.00	34.44	470.2
10:05 a.m.	30.0	28.5	73.00	30.0	52.0	26.00	36.50	520.2
10:10 a.m.	30.0	28.5	75.00	29.5	55.0	26.00	37.04	729.5
10:15 a.m.	30.0	29.5	75.00	31.5	59.0	26.00	37.04	658.9
10:20 a.m.	31.0	30.0	77.00	34.0	64.0	24.00	36.15	690.6
10:25 a.m.	32.0	32.0	77.00	37.0	68.0	25.00	36.86	725.9
10:30 a.m.	32.5	32.0	79.00	37.0	67.0	26.00	38.13	780.5
10:35 a.m.	31.0	31.5	77.00	35.0	67.0	27.00	38.30	799.5

hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
10:40 a.m.	32.0	31.5	72.00	33.0	67.0	27.00	36.96	810.6
10:45 a.m.	30.0	31.5	75.00	33.0	67.0	29.00	39.21	880.6
10:50 a.m.	28.0	30.0	79.00	32.0	66.5	29.00	40.29	850.2
10:55 a.m.	29.0	28.0	75.00	37.0	65.0	29.00	39.21	698.0
11:00 a.m.	29.5	28.0	75.00	38.0	64.0	30.00	39.94	600.0
11:05 a.m.	30.0	28.5	77.00	37.0	64.0	30.00	40.47	610.5
11:10 a.m.	30.5	30.0	77.00	38.0	63.0	29.00	39.75	680.3
11:15 a.m.	30.0	29.0	79.00	39.0	62.0	29.00	40.29	668.9
11:20 a.m.	31.0	29.5	80.00	37.0	62.0	28.00	39.84	602.3
11:25 a.m.	32.0	30.0	80.00	36.0	65.0	26.00	38.40	729.6
11:30 a.m.	30.0	29.0	78.00	38.0	66.0	25.00	37.14	840.9
11:35 a.m.	30.0	27.0	75.00	39.0	66.5	25.00	36.32	869.2
11:40 a.m.	29.0	27.5	78.00	39.0	66.5	27.00	38.57	883.6
11:45 a.m.	28.0	28.0	75.00	39.5	67.0	25.00	36.32	910.6
11:50 a.m.	28.0	28.0	80.00	39.0	66.0	26.00	38.40	879.8
11:55 a.m.	29.0	27.5	79.00	39.5	64.0	26.00	38.13	750.3
12:00 p.m.	28.0	28.0	79.00	40.0	64.5	27.00	38.85	800.2
12:05 p.m.	29.0	28.5	79.50	41.0	63.5	27.00	38.98	425.3
12:10 p.m.	31.0	29.0	79.00	42.5	65.0	28.00	39.57	756.9
12:15 p.m.	29.0	30.0	80.00	43.0	66.0	29.00	40.56	825.9
12:20 p.m.	29.0	29.0	77.00	45.0	66.5	29.00	39.75	810.5
12:25 p.m.	30.0	29.0	77.00	46.0	66.0	30.00	40.47	796.5
12:30 p.m.	31.0	28.5	75.00	44.0	64.0	30.00	39.94	725.9
12:35 p.m.	32.0	31.0	76.00	47.0	63.0	31.00	40.93	810.9
12:40 p.m.	32.0	31.5	77.00	46.0	65.0	31.00	41.19	840.6
12:45 p.m.	28.0	29.0	75.00	45.5	60.0	29.00	39.21	759.9
12:50 p.m.	31.0	30.0	74.00	45.0	58.0	30.00	39.67	720.3
12:55 p.m.	29.5	29.0	71.00	44.0	51.0	25.00	35.24	680.1
01:00 p.m.	30.0	28.0	71.00	44.0	50.0	27.00	36.69	586.9
01:05 p.m.	29.0	28.0	70.00	44.0	50.0	30.00	38.62	680.3
01:10 p.m.	29.0	28.0	75.50	43.0	49.5	27.50	38.26	526.9
01:15 p.m.	29.5	29.0	74.50	44.5	50.0	29.00	39.08	684.3
01:20 p.m.	29.0	29.0	73.50	45.0	51.0	30.00	39.54	790.8
01:25 p.m.	30.0	28.5	77.60	45.5	51.0	30.00	40.63	756.9
01:30 p.m.	30.0	29.0	78.50	46.0	53.0	30.00	40.87	680.9
01:35 p.m.	32.5	31.0	80.10	46.0	50.0	30.00	41.31	691.2
01:40 p.m.	31.0	31.0	79.50	46.0	49.5	31.00	41.87	600.2
01:45 p.m.	32.0	31.5	77.50	45.0	50.0	30.00	40.60	710.2
01:50 p.m.	32.0	31.0	79.50	46.0	51.0	30.00	41.14	625.8
01:55 p.m.	31.0	31.0	77.50	47.0	52.0	30.00	40.60	628.1
02:00 p.m.	32.0	31.0	75.50	47.0	53.0	30.00	40.07	601.2
02:05 p.m.	32.0	29.0	75.00	46.5	53.0	31.00	40.66	520.6
02:10 p.m.	32.0	29.0	73.00	47.0	55.0	30.00	39.40	480.5
02:15 p.m.	32.0	30.0	73.00	47.0	55.0	31.00	40.13	610.2
02:20 p.m.	32.0	31.0	74.00	47.0	56.0	31.00	40.40	715.6
02:25 p.m.	32.5	31.0	75.00	47.0	56.0	32.00	41.39	682.4
02:30 p.m.	33.0	32.0	75.00	48.0	55.0	29.00	39.21	559.5
02:35 p.m.	32.0	30.0	71.00	47.0	55.0	29.00	38.15	486.5
02:40 p.m.	31.0	30.0	70.00	46.0	48.0	29.00	37.89	420.3
02:45 p.m.	31.0	28.0	65.00	46.0	48.0	27.00	35.12	395.8
02:50 p.m.	32.0	29.0	65.00	46.0	46.0	29.00	36.59	381.9
02:55 p.m.	31.0	30.0	64.00	46.0	45.5	30.00	37.08	420.5
03:00 p.m.	30.0	29.0	63.00	46.0	44.0	29.00	36.08	384.2
03:05 p.m.	30.0	29.0	64.00	46.0	44.5	29.00	36.34	360.5
03:10 p.m.	30.0	29.0	65.00	46.0	45.0	29.00	36.59	310.5
03:15 p.m.	30.0	29.5	64.00	47.0	44.5	28.00	35.60	305.5



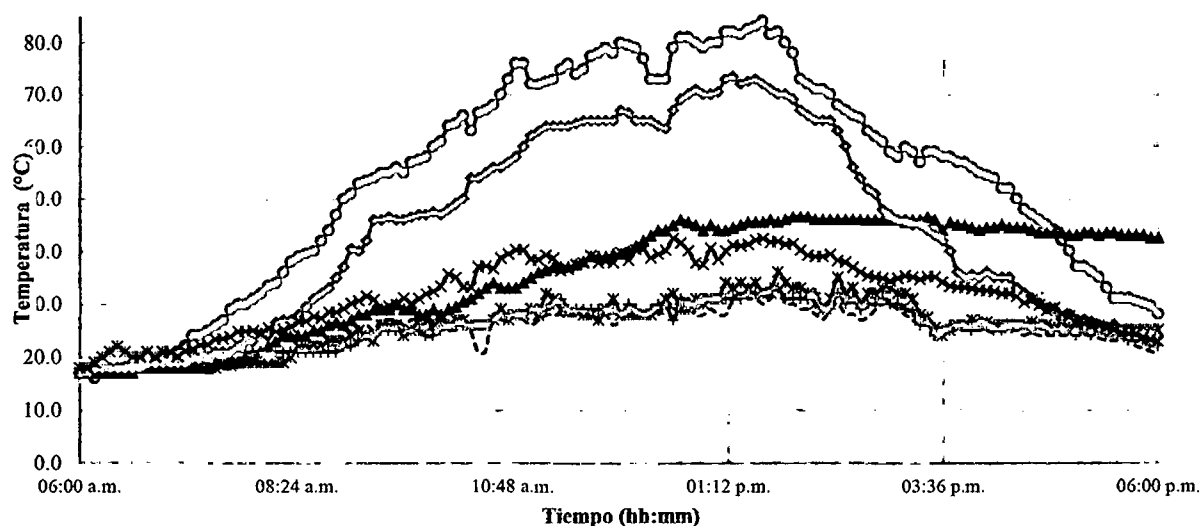
hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
03:20 p.m.	31.0	29.5	63.00	46.0	44.5	29.00	36.08	289.4
03:25 p.m.	30.0	29.5	63.00	46.5	43.0	30.00	36.83	398.2
03:30 p.m.	30.0	29.0	60.00	46.0	42.0	26.00	33.10	310.2
03:35 p.m.	30.0	28.5	59.00	45.0	41.0	28.00	34.34	298.5
03:40 p.m.	29.5	29.0	58.00	45.5	40.0	29.00	34.84	222.1
03:45 p.m.	29.0	29.0	57.00	45.0	37.0	27.00	33.10	249.5
03:50 p.m.	29.0	29.0	57.00	45.0	35.0	27.00	33.10	273.6
03:55 p.m.	28.0	28.5	56.00	45.0	35.0	26.00	32.10	210.5
04:00 p.m.	28.5	29.0	56.00	45.0	35.0	27.00	32.85	215.6
04:05 p.m.	28.0	29.0	54.00	45.0	35.0	28.00	33.12	190.2
04:10 p.m.	28.0	28.5	54.00	45.0	35.0	26.00	31.61	196.5
04:15 p.m.	29.0	29.0	52.00	45.0	35.0	27.00	31.88	140.0
04:20 p.m.	28.0	29.0	50.00	44.5	34.5	28.00	32.17	150.2
04:25 p.m.	29.0	29.0	49.00	44.5	33.0	26.00	30.41	90.2
04:30 p.m.	28.0	28.5	46.00	44.0	33.0	27.00	30.49	106.5
04:35 p.m.	28.0	29.0	45.00	44.0	31.0	28.00	31.04	96.3
04:40 p.m.	27.0	28.0	43.00	44.0	30.0	28.00	30.60	90.2
04:45 p.m.	27.5	28.0	40.00	44.0	29.0	28.00	29.98	60.1
04:50 p.m.	27.0	28.0	40.00	44.0	28.5	26.00	28.40	80.8
04:55 p.m.	27.0	27.0	39.00	44.0	28.0	26.00	28.19	70.1
05:00 p.m.	27.0	28.0	39.00	44.0	27.5	26.00	28.19	65.9
05:05 p.m.	26.0	27.5	37.00	43.0	27.0	25.00	26.98	60.3
05:10 p.m.	26.0	27.5	36.00	43.0	27.0	25.00	26.78	66.2
05:15 p.m.	25.0	27.0	36.00	43.0	26.0	23.00	25.19	44.2
05:20 p.m.	25.0	27.0	36.00	44.5	25.0	23.00	25.19	40.2
05:25 p.m.	25.0	27.0	36.00	44.5	26.0	24.00	25.98	20.3
05:30 p.m.	24.0	27.0	35.00	42.0	25.0	23.00	24.99	50.0
05:35 p.m.	24.0	27.0	34.00	42.0	24.0	24.00	25.58	30.6
05:40 p.m.	23.0	26.5	33.00	42.0	23.0	23.00	24.58	31.1
05:45 p.m.	23.0	26.5	33.00	42.0	24.0	23.00	24.58	45.3
05:50 p.m.	22.0	26.5	31.50	42.0	23.0	23.00	24.29	48.3
05:55 p.m.	22.0	26.5	31.00	42.0	23.5	22.00	23.39	33.9
06:00 p.m.	22.0	26.5	31.00	42.0	24.0	23.00	24.20	35.2



hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
06:00 a.m.	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	18.0	18.00	36.9
06:05 a.m.	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	18.0	18.00	37.4
06:10 a.m.	17.0	17.0	16.0	17.0	18.0	19.0	19.00	39.1
06:15 a.m.	17.0	17.0	17.0	17.0	18.0	20.0	20.00	38.4
06:20 a.m.	18.0	17.0	17.0	17.0	18.0	21.0	21.00	39.7
06:25 a.m.	17.0	17.0	17.0	17.0	18.0	22.0	22.00	40.0
06:30 a.m.	18.0	17.5	18.0	17.0	18.0	21.0	21.00	42.4
06:35 a.m.	18.0	18.0	18.0	17.0	18.0	20.0	20.00	39.7
06:40 a.m.	18.0	18.0	19.0	18.0	18.0	20.0	20.00	39.9
06:45 a.m.	18.0	18.0	19.0	18.0	19.0	21.0	21.00	39.7
06:50 a.m.	18.0	18.0	19.0	18.0	19.0	20.0	20.00	40.8
06:55 a.m.	18.0	18.0	20.0	18.0	19.0	21.0	21.00	44.7
07:00 a.m.	18.5	18.0	20.0	18.0	19.0	20.0	21.00	40.5
07:05 a.m.	18.0	18.0	21.0	18.0	19.0	20.0	20.09	43.4
07:10 a.m.	19.0	18.0	22.0	18.0	19.0	21.0	21.09	45.7
07:15 a.m.	19.0	18.0	23.0	18.0	20.0	21.0	21.25	41.7
07:20 a.m.	19.0	18.0	24.0	18.0	20.0	21.0	22.21	40.6
07:25 a.m.	19.0	18.0	25.0	18.0	20.0	20.0	22.35	41.4
07:30 a.m.	19.5	18.0	26.0	19.0	21.0	21.0	23.35	55.2
07:35 a.m.	19.5	18.5	27.0	19.0	21.0	20.0	23.50	54.8
07:40 a.m.	20.0	18.5	29.0	19.0	21.0	21.0	23.84	49.8
07:45 a.m.	19.0	19.0	30.0	19.0	22.0	22.0	24.84	56.3
07:50 a.m.	19.0	19.0	30.0	20.0	23.0	21.0	24.84	57.4
07:55 a.m.	19.0	19.0	31.0	20.0	23.0	21.0	25.01	63.3
08:00 a.m.	19.0	19.0	32.0	21.0	24.5	21.0	24.39	71.5
08:05 a.m.	19.0	19.0	33.5	22.0	24.0	20.0	25.48	72.1
08:10 a.m.	19.0	19.0	34.0	23.0	26.5	21.0	24.78	92.0
08:15 a.m.	19.0	19.0	36.0	24.0	27.0	21.0	25.19	91.4
08:20 a.m.	20.0	20.0	38.0	24.0	27.0	21.0	25.62	97.8
08:25 a.m.	22.0	22.0	39.0	24.0	28.0	21.0	26.61	124.7
08:30 a.m.	22.0	22.0	39.5	24.0	29.5	21.0	26.72	125.4
08:35 a.m.	22.0	22.0	40.0	25.0	31.0	21.0	27.61	140.1
08:40 a.m.	22.0	22.0	42.0	25.0	32.0	21.0	27.27	162.7
08:45 a.m.	23.0	23.0	44.0	26.0	33.0	21.0	28.49	172.5
08:50 a.m.	23.0	23.0	47.0	26.5	35.0	21.0	28.42	177.1
08:55 a.m.	23.0	23.0	50.0	26.0	37.0	22.0	29.13	187.5
09:00 a.m.	24.0	24.0	51.0	27.0	40.5	22.0	30.13	209.2
09:05 a.m.	25.0	25.0	53.0	28.0	40.0	23.0	30.61	212.3
09:10 a.m.	26.0	24.0	53.5	28.0	42.0	24.0	31.49	206.4
09:15 a.m.	25.0	23.0	54.0	29.0	46.0	24.0	30.86	195.5
09:20 a.m.	27.0	26.0	55.0	29.0	46.0	25.0	28.87	204.3
09:25 a.m.	27.0	26.0	55.0	29.0	46.5	25.0	29.62	197.2
09:30 a.m.	27.0	26.0	56.0	30.0	46.0	25.0	29.87	241.5
09:35 a.m.	26.0	24.0	55.0	29.0	46.0	25.0	31.11	209.4
09:40 a.m.	27.0	25.0	57.0	29.0	46.5	25.0	30.12	229.3
09:45 a.m.	27.0	27.0	57.5	28.0	47.0	25.0	30.99	244.5
09:50 a.m.	27.0	27.0	58.0	28.0	47.0	24.0	31.86	251.2
09:55 a.m.	25.0	26.0	60.0	29.0	47.5	24.0	32.36	310.5
10:00 a.m.	26.0	27.0	61.0	28.0	47.0	25.0	33.36	320.3
10:05 a.m.	25.0	26.0	64.0	29.0	48.0	26.0	35.60	322.5
10:10 a.m.	25.0	27.0	64.5	29.5	49.0	26.0	34.99	337.2
10:15 a.m.	26.0	27.0	66.0	30.5	50.0	26.0	33.18	368.2
10:20 a.m.	25.0	26.0	63.0	31.0	54.0	26.0	33.13	420.5
10:25 a.m.	21.0	26.0	66.5	32.0	54.0	26.0	36.98	452.9
10:30 a.m.	21.0	26.0	67.0	33.0	55.0	26.0	37.11	450.2
10:35 a.m.	28.0	27.0	68.0	34.0	56.0	27.0	36.63	510.1

hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
10:40 a.m.	27.0	29.0	70.0	33.0	56.0	28.0	38.62	520.2
10:45 a.m.	27.0	27.0	73.0	33.0	57.0	28.0	39.40	570.2
10:50 a.m.	28.0	28.0	76.0	33.0	58.0	28.0	40.20	604.1
10:55 a.m.	27.0	28.0	76.0	34.0	60.0	28.0	40.20	504.3
11:00 a.m.	26.0	29.0	72.0	35.0	62.0	29.0	38.41	644.3
11:05 a.m.	27.0	28.0	72.0	36.0	63.0	29.0	38.41	584.8
11:10 a.m.	28.0	32.0	72.5	36.5	64.0	29.0	39.27	557.8
11:15 a.m.	28.0	31.0	73.0	37.0	64.0	30.0	38.68	557.6
11:20 a.m.	28.0	29.0	75.0	37.0	64.0	31.0	36.32	606.4
11:25 a.m.	28.0	28.5	76.0	37.0	64.0	29.0	36.59	596.2
11:30 a.m.	28.0	28.5	74.0	37.5	64.5	29.0	37.49	540.9
11:35 a.m.	28.0	28.0	75.0	38.0	65.0	29.0	37.76	565.3
11:40 a.m.	28.0	28.0	77.5	39.0	65.0	29.0	39.16	632.2
11:45 a.m.	27.0	27.0	78.0	39.0	65.0	29.0	37.86	560.8
11:50 a.m.	28.0	29.0	79.0	39.0	65.0	29.0	38.13	685.9
11:55 a.m.	26.0	31.0	78.0	39.5	65.0	29.0	37.86	717.4
12:00 p.m.	27.0	28.0	80.0	39.5	67.0	28.0	39.84	597.1
12:05 p.m.	28.0	28.0	79.5	40.0	66.5	30.0	38.27	720.1
12:10 p.m.	27.5	28.0	79.0	41.0	65.0	29.0	40.29	537.1
12:15 p.m.	28.0	28.0	77.0	42.0	65.0	28.0	40.47	634.6
12:20 p.m.	28.0	28.0	73.0	43.0	65.0	29.0	38.68	627.7
12:25 p.m.	28.0	29.0	73.0	44.0	64.0	30.0	39.40	680.2
12:30 p.m.	30.0	31.0	73.0	44.0	63.5	30.0	40.13	804.2
12:35 p.m.	29.0	32.0	79.0	45.0	67.0	27.0	42.45	864.1
12:40 p.m.	29.0	29.0	81.0	46.0	69.0	31.0	41.55	869.1
12:45 p.m.	31.0	29.0	81.0	45.5	70.0	30.0	40.11	700.2
12:50 p.m.	28.0	31.0	80.0	45.0	71.0	30.0	37.69	815.2
12:55 p.m.	28.0	30.0	79.0	44.0	70.0	31.0	37.41	819.7
01:00 p.m.	29.0	31.0	80.0	45.0	70.0	31.0	40.56	841.9
01:05 p.m.	28.0	31.0	80.0	44.0	70.5	31.0	38.40	846.3
01:10 p.m.	28.0	34.0	82.0	44.0	73.0	31.0	40.03	848.6
01:15 p.m.	31.0	33.0	82.0	44.5	73.5	31.0	41.10	850.0
01:20 p.m.	32.0	34.0	81.5	45.0	72.0	31.0	40.97	841.2
01:25 p.m.	31.0	33.0	82.5	45.5	72.5	32.0	41.24	860.2
01:30 p.m.	31.0	34.0	83.0	45.5	73.0	32.0	42.10	863.4
01:35 p.m.	30.0	32.0	84.0	45.5	72.0	32.0	42.37	888.4
01:40 p.m.	31.0	32.0	81.5	46.0	71.0	33.0	41.69	793.0
01:45 p.m.	33.0	36.0	82.0	45.5	70.0	33.0	41.82	822.3
01:50 p.m.	30.0	34.0	80.0	46.0	70.0	31.0	41.28	595.5
01:55 p.m.	30.0	33.0	78.0	46.5	69.0	31.0	41.46	631.4
02:00 p.m.	29.0	33.0	73.0	46.5	67.0	31.0	40.13	585.0
02:05 p.m.	29.0	32.0	72.0	46.5	66.0	31.0	39.14	499.5
02:10 p.m.	28.0	30.0	71.0	46.0	65.0	32.0	38.88	515.2
02:15 p.m.	27.0	29.0	71.0	46.0	65.0	29.0	38.88	525.3
02:20 p.m.	29.0	31.0	70.0	46.0	65.0	29.0	39.35	462.3
02:25 p.m.	30.0	35.0	68.0	46.0	63.0	32.0	38.10	524.5
02:30 p.m.	28.0	32.0	67.0	46.0	60.0	30.0	37.84	512.4
02:35 p.m.	28.0	33.0	66.0	46.0	56.0	31.0	36.85	527.9
02:40 p.m.	27.0	30.0	65.5	46.0	54.0	29.0	35.98	424.4
02:45 p.m.	27.5	32.0	63.0	46.0	52.0	30.0	35.34	402.2
02:50 p.m.	29.0	32.0	62.0	46.0	51.0	30.0	35.09	349.6
02:55 p.m.	30.0	33.0	61.0	46.0	48.0	31.0	34.84	480.9
03:00 p.m.	30.0	33.0	59.0	46.0	47.0	30.0	34.34	201.3
03:05 p.m.	29.0	32.0	58.0	46.0	46.0	30.0	34.84	516.5
03:10 p.m.	28.0	32.0	60.0	45.5	46.0	29.0	35.33	381.2
03:15 p.m.	27.0	31.0	59.0	46.0	45.0	28.5	35.09	312.8

hora	T1: Temperatura de entrada al colector	T2: Temperatura de entrada al tanque	T3: Temperatura de placa	T4: Temperatura de salida del tanque.	T5: Temperatura de salida del colector	T6: Temperatura de ambiente	T7: Temperatura de cubierta	Radiacion W/m2
03:20 p.m.	26.0	28.0	57.0	46.0	45.0	26.0	34.59	302.8
03:25 p.m.	26.0	27.5	59.0	46.5	44.0	26.5	35.09	291.5
03:30 p.m.	26.0	25.5	59.0	46.0	43.0	24.0	35.09	287.3
03:35 p.m.	25.0	24.0	58.0	44.0	42.0	25.0	34.09	315.4
03:40 p.m.	25.0	25.0	58.0	45.5	40.0	26.0	33.34	281.2
03:45 p.m.	25.0	26.0	57.0	45.0	36.0	26.0	33.10	253.1
03:50 p.m.	25.0	26.0	57.0	45.0	35.0	26.0	33.10	241.7
03:55 p.m.	25.0	27.0	56.0	44.5	35.5	25.0	32.85	231.5
04:00 p.m.	25.0	26.0	55.0	44.0	35.0	27.0	32.60	202.7
04:05 p.m.	25.0	26.5	54.5	44.5	36.0	26.0	32.48	217.3
04:10 p.m.	24.5	26.0	54.0	44.5	35.0	25.0	32.36	200.5
04:15 p.m.	25.0	26.0	52.0	45.0	35.0	25.0	31.88	192.5
04:20 p.m.	24.5	26.0	52.0	44.5	35.0	26.0	31.88	156.3
04:25 p.m.	25.0	26.0	50.0	44.5	33.0	26.0	31.41	133.4
04:30 p.m.	24.0	26.0	48.0	44.5	32.0	26.0	30.18	101.6
04:35 p.m.	24.5	26.5	47.0	44.0	31.0	25.0	30.71	91.7
04:40 p.m.	24.0	26.0	46.0	43.5	30.0	26.0	29.72	89.4
04:45 p.m.	24.0	26.0	45.0	43.5	29.0	25.0	28.72	69.2
04:50 p.m.	24.0	25.5	44.0	43.5	29.0	25.0	29.27	58.9
04:55 p.m.	24.0	26.0	42.0	43.5	27.5	25.0	28.05	55.7
05:00 p.m.	24.0	25.5	40.0	43.0	28.0	25.0	27.61	52.4
05:05 p.m.	24.0	26.0	37.0	43.0	27.0	24.0	26.19	59.4
05:10 p.m.	24.0	26.0	37.0	43.5	27.0	25.0	26.19	49.8
05:15 p.m.	24.0	25.5	36.0	43.5	26.5	24.0	25.98	40.9
05:20 p.m.	23.5	25.5	35.0	43.0	26.0	25.0	25.78	39.5
05:25 p.m.	23.0	25.0	33.0	43.5	25.5	24.0	25.39	30.1
05:30 p.m.	23.0	25.0	31.0	43.5	26.0	24.0	25.01	29.8
05:35 p.m.	23.0	25.0	31.0	43.0	25.0	24.0	24.20	30.8
05:40 p.m.	23.0	25.0	31.0	43.0	25.0	23.0	24.20	31.6
05:45 p.m.	22.0	25.0	30.5	43.0	24.5	23.0	24.11	29.6
05:50 p.m.	21.5	25.0	30.0	43.0	24.0	23.0	23.61	31.3
05:55 p.m.	21.0	25.0	29.5	42.5	24.0	22.0	23.11	29.9
06:00 p.m.	20.5	25.0	28.0	42.5	23.5	22.0	22.84	30.8

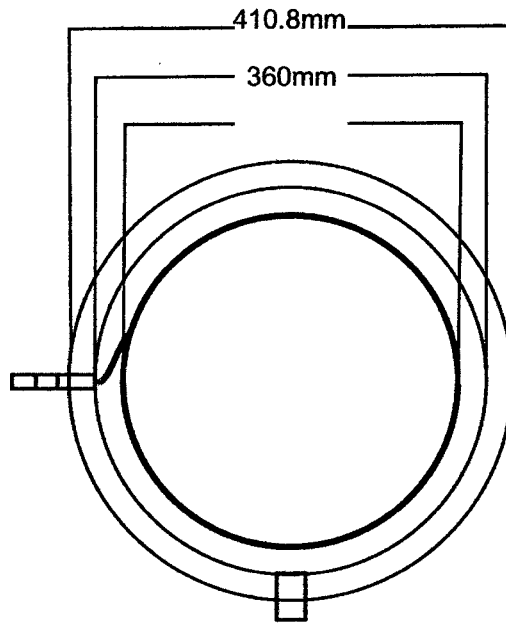


- T1: Temperatura de entrada al colector
- T3: Temperatura de placa
- ◇— T5: Temperatura de salida del colector
- \*— T2: Temperatura de entrada al tanque
- ▲— T4: Temperatura de salida del tanque.
- +— T6: Temperatura de ambiente

# PLANOS CONSTRUCTIVOS

---

# Vista de Planta



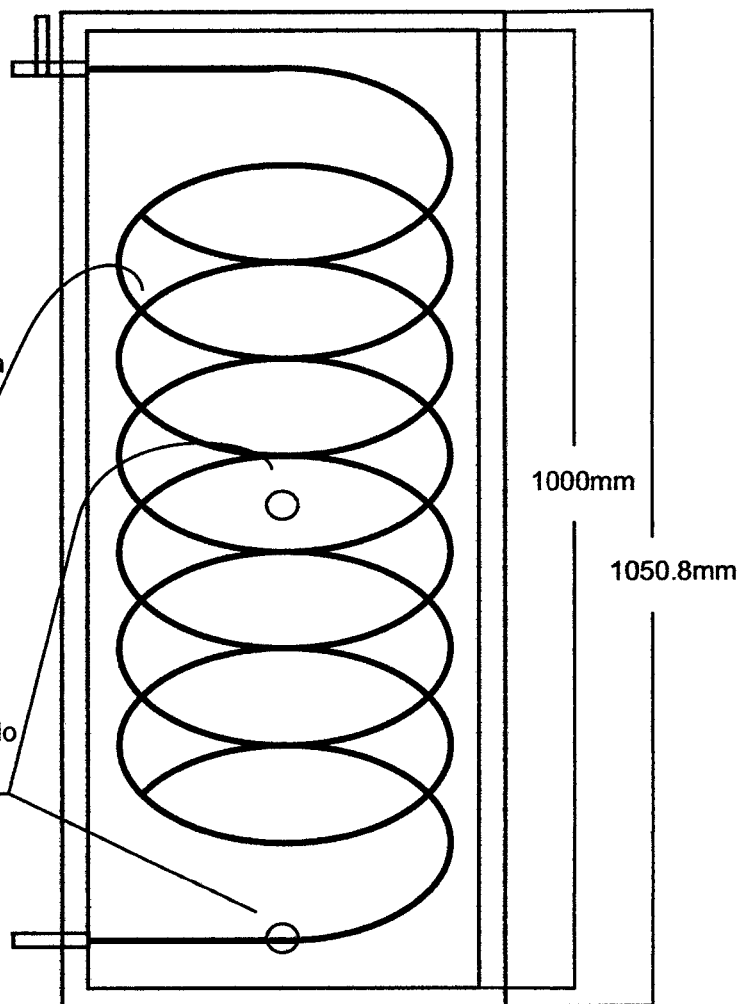
Salida soldada con cañería y T de Cu de 1/2"

16 Espiras de cañería de Cu de 1/2"

# Vista Frontal

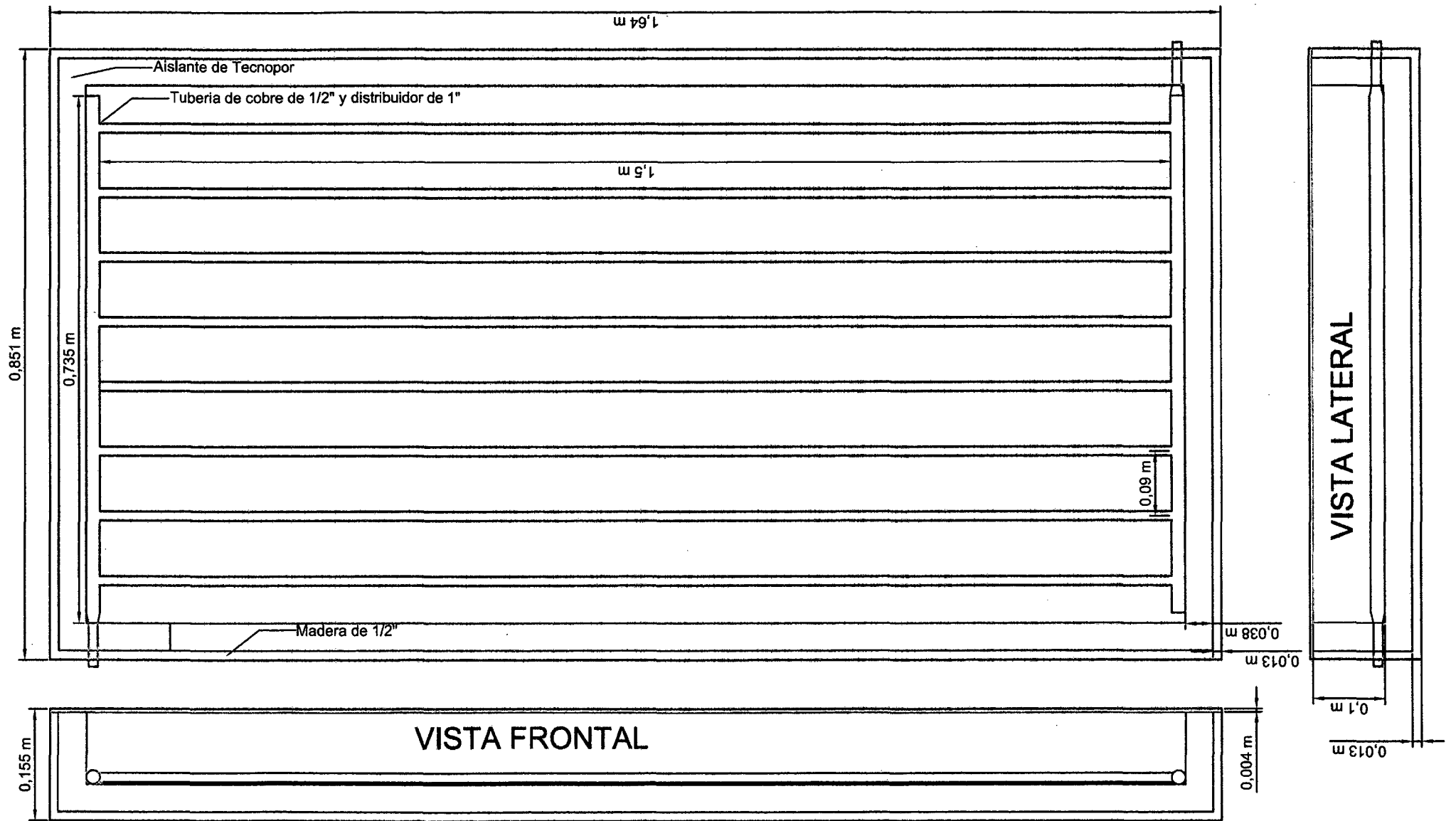
Unión de Fe galvanizado de 1/2"

Salida soldada con cañería Cu de 1/2"



TANQUE TERMA SOLAR

# VISTA DE PLANTA



COLECTOR SOLAR DE 1.15m<sup>2</sup> DE ÁREA EFECTIVA

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACIÓN

### “CATÁLOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN – TIPRO”

Resolución N° 1562 – 2006 - ANR

### REGISTRO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

#### I. DATOS GENERALES:

- **UNIVERSIDAD:** Universidad Nacional Del Santa
- **ESCUELA O CARRERA PROFESIONAL:** Ingeniería En Energía
- **TITULO DEL TRABAJO:** “Diseño, construcción y evaluación de colectores solares para calentamiento de agua sanitaria en la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi de Chimbote”
- **ÁREA DE INVESTIGACIÓN:** Desarrollo energético: Renovable y renovable.
- **AUTOR(ES):**

DNI	Apellidos Y Nombres
- 71259598	Sánchez Domínguez, Pedro Jeherson
- 43177995	Iparraguirre Villavicencio, Luis Miguel
- **TITULO PROFESIONAL A QUE CONDUCE:** Título profesional de Ingeniero En Energía
- **AÑO DE APROBACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN:** 2014



## **II. CONTENIDO DEL RESUMEN**

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

Con la finalidad de aprovechar eficientemente el recurso solar disponible en la zona de estudio, se considera fundamental el conocimiento de los parámetros de operación de los colectores solares, por lo cual se plantea la siguiente interrogante:

*¿Cuáles son los parámetros de operación de los colectores solares de placa plana para el calentamiento de agua sanitaria en la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi en Chimbote?*

- **OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL:**

- Diseñar, construir y evaluar colectores solares para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) en la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi de Chimbote.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Evaluar el Recurso solar del lugar en el que se pretende implementar los colectores solares.
- Determinar la viabilidad o factibilidad de aprovechamiento de energía solar en la zona de estudio.
- Determinar la demanda de agua caliente sanitaria en la institución educativa.
- Realizar el dimensionamiento del equipo necesario para la generación de agua caliente.
- Evaluar la viabilidad económica entre la compra o construcción de los colectores solares para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria.

- Instalar e implementar los colectores solares en la institución educativa.
- Evaluar y determinar los parámetros de operación de los colectores solares.

- **HIPÓTESIS:**

Los parámetros de operación de los colectores solares de placa plana para calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa serán: un área efectiva de captación de 1.5m<sup>2</sup> con ángulo de inclinación  $\beta = 20^\circ$ , para una temperatura final de utilización a 29°C, considerando que los colectores de placa plana tienen una eficiencia entre 30 y 50%, por lo se asumirá que los colectores tendrán una operación óptima con una eficiencia de 40% en promedio.

- **MARCO TEÓRICO:**

**A. Energía solar térmica**

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica.

**B. Calentadores solares**

Un calentador solar de agua es un sistema que calienta agua sólo con la energía proveniente del sol y sin consumir gas o electricidad.

Existen diferentes tipos de calentadores solares que conforman distintos tipos de sistemas, como son los que utilizan tubos de vacío y los más comunes que utilizan los llamados colectores de placa plana (C.P.P.).

Estos últimos sistemas constan de tres elementos principalmente:

- Un colector, que en este caso es de placa plana.
  - Un termotanque u acumulador.
  - Tubería
- **Colector:** Este componente es el encargado de captar la energía solar y transferirla al agua para así elevar su temperatura. Dicho elemento llamado colector de placa plana funciona mediante una tubería interna por la cual circula un líquido llamado fluido portador, el cual en este caso es agua.
  - **Termotanque u acumulador:** Es el componente encargado de almacenar el agua calentada por el colector el cual debe estar aislado para evitar pérdidas de calor.
  - **Tubería:** componente conformado por tubos y accesorios que conectan el colector con el termotanque y del termotanque a la válvula de uso.

En el esquema vemos cómo está constituido el componente colector de energía solar:

- 1.- Marco de aluminio.
- 2.- Cubierta de vidrio templado.
- 3.- Placa absorbedora, (enrejado con aletas de cobre).
- 4.- Cabezales de alimentación y descarga de agua.
- 5.- Aislante.
- 6.- Caja del colector.

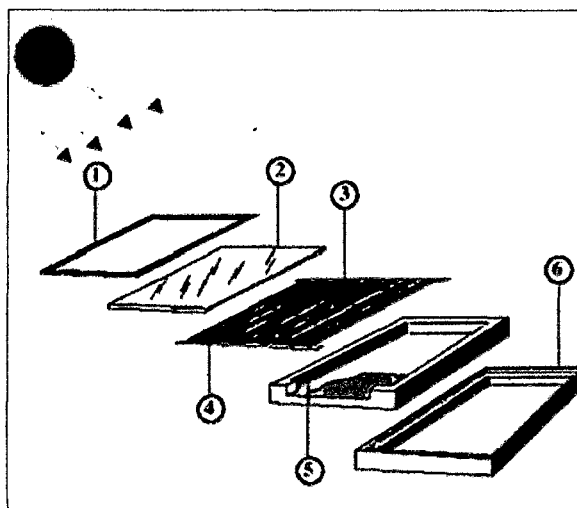


Figura N° 01: Partes del colector (C.P.P.)

- **CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES:**

- **CONCLUSIONES**

- Se evaluó el recurso solar en la Institución educativa Cristiana Bereshi, el cual cuenta con un buen recurso solar, debido a que se tiene para Chimbote una radiación global promedio para el período de mayo a octubre de  $16.86 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$  correspondiente a junio, mes de menor radiación global incidente, para un ángulo óptimo de inclinación de  $25^\circ$ .
- Se concluyó que es factible económicamente el aprovechamiento de la energía solar con colectores solares debido al buen recurso solar con la cuenta la I.E.P.C. Bereshi, recuperándose el capital en 4.8 años reemplazando a una terma eléctrica y en 5.9 años reemplazando a una terma con GLP, a partir de los cuales se obtendrán ahorros hasta el tiempo de vida útil de los colectores (vida útil de un C.A.S. de 15 a 20 años).

- Se determinó la demanda de ACS para la I.E.C. Bereshi. De 240 litros de agua a 45°C equivalente a 120 litros por cada sistema de 40 con consumo per cápita de 3 litros diarios por alumno.
- Se dimensionó dos sistemas de agua caliente sanitaria de los cuales cada uno consta de un colector de placa plana de 1.2m<sup>2</sup> de área efectiva con un termotanque de 100litros que le da un día de autonomía al sistema de ACS.
- Se evaluó la posibilidad de comprar o construir las termas solares, con la conclusión de que es viable económicamente construirlo, por la diferencia marcada de los precios. El costo de mercado de la terma solar más cómoda es S/. 2840 nuevos soles, construyéndola cuesta S/. 1627.65 nuevos soles, con una diferencia de s/. 1212.35 nuevos soles por cada terma solar.
- Se construyó e implementó un colector solar a cada sistema teniendo en cuenta el limitado presupuesto con el que se contó para la construcción de los colectores solares y el área reducida disponible para instalar los colectores (Techo de los baños) los cuales están fabricados con materiales que no brindan buena resistencia a soportar grandes cargas.
- Se realizó la toma de datos en el colector durante tres días en un periodo 12 horas (de 6:00 am a 6:00 pm; el 15, 19 y 25 de enero del 2014) , alcanzando una eficiencia promedio de 52.8%, se identificó que características de operación del colector solar son: un ángulo de inclinación óptimo de 25°, el sistema brindará 100 litros de agua caliente a 45°C los cuales serán combinados con 85 litros de agua de la red para obtener 185 litros diarios de ACS disponible a 29°C.

## **RECOMENDACIONES**

- EL colector solar debe tener una leve inclinación en la parte superior para el lado de la salida del colector de  $1^{\circ}$  a  $3^{\circ}$ , para facilitar el flujo del agua más caliente hacia la salida del colector (efecto termosifón). Esto se debe que por estar está a mayor temperatura su densidad disminuye y tiende a irse a la parte superior, de no ser así, esta tiende a recircular por el colector, teniendo como consecuencia que el agua caliente del circuito del colector - intercambiador de calor (ciclo cerrado) no entregue el calor al agua del tanque, dado que el calor se quedaría atrapado en las placas y tubos del colector originando un sobrecalentamiento.
- Dar márgenes de holgura a las dimensiones del vidrio de la cubierta, para que esta al dilatarse pueda expandirse sin sufrir presión en el marco del colector y así no se rompa en las horas de mayor radiación, los espacios de holgura se pueden rellenar con silicona de tubo.
- Hacer las pruebas de hermeticidad con aire y agua para prevenir las fugas.
- Nivelar la superficie donde se instalará la terma solar procurando facilitar el efecto termosifón.
- Anclar el colector al piso para evitar que sea movido por el personal accidentalmente o por las fuertes corrientes de viento que se pueda darse.
- Hacer un tratamiento anti polillas a las partes u estructuras de madera.
- Calibrar os instrumentos de medición para una correcta recolección de datos y una buena evaluación de los colectores.
- Evitar la exposición prolongada al sol, de los instrumentos de medición, tales como el multímetro y el radiómetro.

- **BIBLIOGRAFÍA:**

- Duffie, J.A.; Beckman, W.A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes Edit. John Wiley & Sons, New York.
- Carlos Orbegoso, Roberto Arivilca (2010). Manual técnico para termas solares, Green Energy, Perú.
- José Enseñat, Cristina Martínez, (2008). Energía Solar Térmica y Fotovoltaica, EnerAgen, España.
- Tu Tienda Energética (2013). Placas solares térmicas,  
[http://www.tutiendaenergetica.es/placas\\_solares\\_termicas.html](http://www.tutiendaenergetica.es/placas_solares_termicas.html)

*Fecha: 25/09/13*