



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE**  
**AGUA FABRICADO CON TUBOS DE PVC EN SERIE Y ENVASES**  
**PET TRANSLUCIDO EN LA CIUDAD DE PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. WILTON HIPOLITO TEVES FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se la dedico a mi “Dios” quien me supo guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no darme por vencido en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad en el intento.

A mis padres Abdón Hipólito y Lidia Ceferina por su apoyo, consejos, comprensión, amor ayuda en los momentos difíciles, en cada etapa de mi vida para lograr el éxito profesional.

A mi sobrina Diana Pamela por todo su apoyo y comprensión incondicional para lograr mis metas y objetivos profesionales.

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa.

**Wilton Hipolito Teves Flores**



## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a “Dios” por darme la vida, salud y fortaleza en cada paso que he dado en la vida, y por haber estado conmigo en todo momento, por haberme permitido culminar un peldaño más de mis metas y porque tengo la certeza y el gozo de que siempre va estar conmigo.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, a la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por haber contribuido en nuestra formación profesional.

A los miembros del jurado Ing. M.Sc. Julio Alberto Maquera, Gil, Ing. M.Sc. Fernando Bernedo Colca, Ing. M.Sc. Hipólito Cordova Gutierrez, por sus recomendaciones en la realización de la tesis y por sus acertados comentarios; por sus sabias observaciones y correcciones, que hicieron al trabajo final y por el tiempo que dedicaron para revisarlos.

Al director y Asesor de mi tesis, M.Sc. Benito Hugo Fernandez Ochoa por su amable orientación y colaboración en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

**Wilton Hipolito Teves Flores**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	14
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problemas específicos .....	15
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	15
<b>1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	16
1.4.1. Objetivo general .....	16
1.4.2. Objetivos específicos .....	16
<b>1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	17
1.5.1. Hipótesis general .....	17
1.5.2. Hipótesis específicos .....	17
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN LITERARIA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b> .....	18



<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	20
2.2.1. La energía solar .....	20
2.2.2. Aprovechamiento de la energía solar .....	22
2.2.3. Usos de la energía solar.....	26
2.2.4. El sol.....	27
2.2.5. Hora solar pico .....	34
2.2.6. Sistemas solares térmicos.....	35
2.2.7. Calentadores solares.....	39
2.2.8. Partes del calentador solar.....	40
2.2.9. Tipos de colectores solares para calentar agua .....	42
2.2.10. Normas técnicas de edificación EM080 instalaciones con energía solar	45
2.2.11. Dimensionamiento .....	47
2.2.12. El PVC .....	54
2.2.13. Como se produce el PVC .....	59
2.2.14. Procesamiento del PVC.....	61
2.2.15. Principio de funcionamiento del sistema .....	62
2.2.16. Calentamiento de agua para uso hogareño .....	63
2.2.17. Requisitos para uso instalación .....	65

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y METODOS**

<b>3.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	67
<b>3.2. ASPECTOS INICIALES</b> .....	67
<b>3.3. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	67
<b>3.4. CONSUMO DE AGUA CALIENTE EN UNA CASA</b> .....	68
<b>3.5. CÁLCULOS DEL ÁREA DEL COLECTOR SOLAR</b> .....	68
<b>3.6. LOS MATERIALES Y LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL CAPTADOR SOLAR DE PLACA PLANA</b> .....	69



<b>3.7. MATERIALES DE LA METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA.....</b>	<b>72</b>
<b>3.8. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR .....</b>	<b>73</b>
3.8.1. Selección de materiales para la fabricación del colector.....	73
<b>3.9. ENSAMBLADO DEL COLECTOR SOLAR .....</b>	<b>77</b>
<b>3.10. CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE AGUA DEL TERMOTANQUE</b>	<b>84</b>

#### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

<b>4.1. RESULTADO DEL DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR .....</b>	<b>85</b>
<b>4.2. RESULTADO DE LA CONSTRUCCION DEL COLECTOR SOLAR.....</b>	<b>86</b>
<b>4.3. EVALUACIÓN DE LA TERMA SOLAR.....</b>	<b>86</b>
<b>4.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DÍAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>87</b>
<b>4.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>89</b>
<b>4.6. EVALUACIÓN DE COSTO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL COLECTOR SOLAR.....</b>	<b>90</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
<b>VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>98</b>

**Área:** Metalurgia transformativa

**Tema:** Diseño y evaluación de un calentador solar fabricado con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de puno.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 01 de Febrero del 2022.



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Vista del sol desde el límite superior de la atmosfera terrestre. ....	27
<b>Figura 2.</b> Radiación solar que llega a la tierra. ....	28
<b>Figura 3.</b> Sistemas de aprovechamiento de energía. ....	30
<b>Figura 4.</b> Espectro de radiación solar. ....	32
<b>Figura 5.</b> Movimiento del sol (movimiento aparente). ....	33
<b>Figura 6.</b> Determinación de la posición de sol. ....	33
<b>Figura 7.</b> Altura solar $\alpha$ y acimut solar $\Psi$ . ....	34
<b>Figura 8.</b> Hora solar. ....	35
<b>Figura 9.</b> Sistema de circulación forzada. ....	37
<b>Figura 10.</b> Sistema termosifón con circuito abierto. ....	38
<b>Figura 11.</b> Sistema termosifón con circuito cerrado. ....	39
<b>Figura 12.</b> Tanque de almacenamiento. ....	40
<b>Figura 13.</b> El colector. ....	41
<b>Figura 14.</b> Colector de placa plana con cubierta. ....	42
<b>Figura 15.</b> Colector concentradores parabólicos compuestos estacionarios. ....	43
<b>Figura 16.</b> Colector de placa plana sin cubierta. ....	44
<b>Figura 17.</b> Colector de tubos de vacío. ....	44
<b>Figura 18.</b> Esquema de un intercambiador de calor. ....	53
<b>Figura 19.</b> Principio de funcionamiento del calentador solar de agua. ....	63
<b>Figura 20.</b> Esquema de un sistema de calentamiento de agua. ....	65
<b>Figura 21.</b> Dimensiones de las botellas en nuestro diseño de colector solar. ....	73
<b>Figura 22.</b> Termómetro digital. ....	77
<b>Figura 23.</b> Tubo cortado con la segueta. ....	77



<b>Figura 24.</b> Codos, tee y tubos de 1/2"x5cm.....	78
<b>Figura 25.</b> Proceso de corte de botella y cajas de tetra pack. ....	78
<b>Figura 26.</b> Prueba de ensamble.....	79
<b>Figura 27.</b> Verificación de las cajas de tetra pack como reflector.....	80
<b>Figura 28.</b> Tubería y accesorios pintados. ....	80
<b>Figura 29.</b> Pegado de las cajas de tetra pack a las botellas. ....	81
<b>Figura 30.</b> Pegado y ensamble del colector solar. ....	81
<b>Figura 31.</b> Construcción de la caja del colector.....	82
<b>Figura 32.</b> Colocación de la parrilla formada con las botellas. ....	83
<b>Figura 33.</b> Colocación de la cubierta de vidrio.....	83
<b>Figura 34.</b> Diseño del colector solar. ....	85
<b>Figura 35.</b> Construcción del colector solar.....	86
<b>Figura 36.</b> Temperatura de agua en la terma solar durante días soleados. ....	88
<b>Figura 37.</b> Temperatura del agua en la terma solar durante días combinados.....	88
<b>Figura 38.</b> Temperatura del agua en la terma solar días nublados.....	89



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Distribución de energía según longitud de onda.....	31
<b>Tabla 2.</b> Parámetros característicos de los distintos tipos de colectores solares.....	45
<b>Tabla 3.</b> Cantidad de agua caliente usada por diferentes sectores. ....	48
<b>Tabla 4.</b> Coeficiente de transmisión de diferentes materiales.....	52
<b>Tabla 5.</b> Presupuesto del colector solar placa plana.....	93
<b>Tabla 6.</b> Datos experimentales promedio para días soleados.....	99
<b>Tabla 7.</b> Datos experimentales promedios para días combinados. ....	99
<b>Tabla 8.</b> Datos experimentales promedios para días nublados. ....	100



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>ACS</b>	: Agua caliente sanitaria
<b>ANES</b>	: Asociación Nacional de Energía Solar
<b>CENSOLAR</b>	: Centro de estudios de la energía solar
<b>CFE</b>	: Comisión Federal de Electricidad
<b>Cp</b>	: Calor específico
<b>CPV</b>	: Colectores concentradores parabólicos compuesto estacionarios
<b>ITINTEC</b>	: Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas
<b>LPD</b>	: Litros por día
<b>PET</b>	: Polyethylene terephthalate
<b>PVC</b>	: Polyvinyl chloride
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología del Perú
<b>UNAM</b>	: Universidad Nacional Autónoma de México
<b>UV</b>	: Ultra violeta
<b>UL</b>	: Coeficiente global de perdidas



## RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se evaluó la eficiencia térmica de un calentador solar doméstico hecho con botellas plásticas, lo cual se determinó en función a la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento, la temperatura ambiente y la radiación solar. Para realizar esta evaluación se construyó un calentador solar hecho con materiales no convencionales como: botellas de tereftalato de polietileno (PET) de 500 ml, cajas de tetra pack de 1 litro, tubos de PVC, y un tanque de almacenamiento de 200 litros. La evaluación se realizó en tres grupos de días: soleados, combinados y nublados. Los datos se tomaron para cada día desde las 8:00 hasta las 16:00 horas con escala de 30 minutos, en el cual se registró las temperaturas de: entrada del agua al colector solar, colector solar salida del agua del colector solar y tanque de almacenamiento; al mismo tiempo los datos de radiación solar, temperatura ambiente. Se determinó la eficiencia por medio de la energía térmica ganada y energía solar recibida, el cual fue calculada como el área bajo la curva de la radiación solar vs tiempo, mediante el método del área de los rectángulos bajo esa curva, obteniendo la radiación solar por hora y  $m^2$  para cada grupo de días: soleados  $5,15 \text{ kWh}/m^2$ , combinado  $3,79 \text{ kWh}/m^2$  y nublado  $2,33 \text{ kWh}/m^2$ , con esta incidencia de la radiación solar, la temperatura en el tanque de almacenamiento alcanzo para días: soleados  $40^\circ\text{C}$ , combinado  $33^\circ\text{C}$  y nublado  $27^\circ\text{C}$ . Obteniendo al final la eficiencia para los diferentes grupos de días: soleados 41%, combinados 39% y nublados 37 %.

**Palabras clave:** Calentador solar de agua, envases PET, materiales reciclados, radiación solar.



## ABSTRACT

In this research project, the thermal efficiency of a domestic solar heater made with plastic bottles was evaluated, which was determined based on the temperature of the water in the storage tank, the ambient temperature and the solar radiation. To carry out this evaluation, a solar heater was built made with unconventional materials such as: 500 ml polyethylene terephthalate (PET) bottles, 1 liter tetra pack boxes, PVC tubes, and a 200-liter storage tank. The evaluation was carried out in three groups of days: sunny, mixed and cloudy. The data were taken for each day from 8:00 a.m. to 4:00 p.m. with a 30-minute scale, in which the temperatures of: water inlet to the solar collector, solar collector, water outlet from the solar collector and tank were recorded storage; at the same time the data of solar radiation, ambient temperature. Efficiency was determined by means of the thermal energy gained and solar energy received, which was calculated as the area under the curve of solar radiation vs time, using the method of the area of the rectangles under that curve, obtaining the solar radiation by hour and m<sup>2</sup> for each group of days: sunny 5.15 kWh / m<sup>2</sup>, combined 3.79 kWh / m<sup>2</sup> and cloudy 2.33 kWh / m<sup>2</sup>, with this incidence of solar radiation, the temperature in the storage tank reached to days: sunny 40 ° C, combined 33 ° C and cloudy 27 ° C. Obtaining at the end the efficiency for the different groups of days: sunny 41%, combined 39% and cloudy 37%.

**Keywords:** Solar water heater, PET containers, recycled materials solar radiation.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

Es imposible pensar en el desarrollo contemporáneo, y mucho menos en el Desarrollo sostenible, sin tener en cuenta el factor energía. El consumo de energía eléctrica es uno de los principales índices que se mide en todos los países para caracterizar el desarrollo. Mientras más electricidad se consuma, menos desarrollado se puede alcanzar. En el mundo actual hay una fuerte tendencia en el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, dígase energía solar térmica y fotoeléctrica, la eólica, la hidroeléctrica, entre otras.

Los calentadores solares de agua son sistemas que calientan el agua sólo con la energía proveniente del sol y de la claridad, lo interesante es que no consume ninguna clase de combustible, estas unidades son aparatos que utilizan el calor del sol para funcionar, el uso más común y totalmente práctico se lo aplica en ambientes domésticos, en hoteles, industrias o en otros sectores que contribuyan a mejorar la calidad de vida del planeta.

El calentamiento solar de agua realizados con materiales reciclables para consumo doméstico, como alternativa para sustituir los calentadores tradicionales (eléctricos, gas), es una opción desde el punto de vista de ahorro energético donde es la más favorable, ya que, en estos sistemas, la fuente de calor es la radiación solar, la cual sustituye los combustibles fósiles o la electricidad. Al reducir el uso de combustible fósiles y utilizar esta energía orientada a la eficiencia, se logrará crear un futuro mejor, he aquí la importancia de aprovechar la luz del sol como fuente energética gratuita, que puede



liberar a las personas de la dependencia de combustibles u otra alternativa que no contaminan nuestro entorno.

A partir de las cuestiones planteadas puede afirmarse como situación polémica hoy en día, el consumo de energía proveniente de los hidrocarburos y la electricidad ha incrementado sus costos económicos y ambientales, debido al agotamiento de estos recursos naturales no renovables es necesario buscar métodos para el uso de la energía renovable como es la energía solar.

El costo de calentar agua es el mayor gasto de un hogar. El promedio es de aproximadamente 20% de la energía del hogar solo para agua caliente de uso doméstico (cocina, limpieza, baño), en cuanto a un calentador solar de agua aprovechando materiales reciclables podemos sustituir el uso de gas y electricidad.

Es por eso que se declara como problema: la necesidad de evaluar la eficiencia de un calentador solar de agua para consumo doméstico, construido con materiales reciclables para uso doméstico.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El precio de la energía eléctrica ha venido incrementándose en los últimos años de manera significativa, paralelamente la disponibilidad de esta viene disminuyendo, ya que con el tiempo existirá un déficit en la demanda total de energía eléctrica en el país. Las termas solares son una alternativa para disminuir el consumo eléctrico en nuestro país y en el mundo.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Será posible la fabricación de un calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de puno?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Será posible diseñar el calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno?
- ¿Será posible construir el calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno?
- ¿Será eficaz la evaluación de la temperatura del calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La necesidad de utilizar agua caliente para el aseo personal y otros que el consumidor considere. Así también muchos hogares en la ciudad de Puno no tienen acceso a una terma de agua, por dos razones; el primero, por el alto costo de adquisición y mantenimiento, y el segundo por elevado costo de electricidad que este genera; razón por la cual, se considera adecuada la construcción de una terma solar casera.

La energía solar se puede transformar con facilidad en calor lo cual se puede aprovechar para la obtención de agua caliente. Podemos disponer de dicho elemento, no solo para el aseo personal, sino para cubrir todas las necesidades de agua caliente, de esta manera ahorramos dinero. Esta tecnología es ideal para implementarse en los colegios, o



zonas con alta radiación, donde los pobladores puedan obtener agua caliente para sus quehaceres diarios. Se puede construir este calentador del tamaño que desee.

Con la construcción de una terma solar casera, se contribuye de manera importante en la reducción de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, y se mejora de forma significativa la calidad del aire ya que disminuye significativamente el uso de combustibles fósiles. Construir un calentador solar de bajo costo con material reciclado es algo muy simple y útil.

El proyecto de tesis motivará investigaciones en el área de la energía solar por ser una energía inagotable y gratuito, que contribuirá a desarrollar una tecnología solar.

#### **1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Fabricar un calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- **OE1.** Diseñar el calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.
- **OE2.** Construir el calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.
- **OE3.** Evaluar la temperatura del calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.



## **1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Es posible la fabricación de un calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.

### **1.5.2. Hipótesis específicos**

- Es posible diseñar el calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.
- Es posible construir el calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.
- Es eficaz la evaluación de la temperatura del calentador solar de agua con tubos de PVC en serie y envases PET translucido en la ciudad de Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN LITERARIA

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Calle & Fajardo (2010) Agua Caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar. Artículo científico. Revista de Ciencia y Tecnología: Ingenius. Ecuador. En el resumen informan que el agua caliente sanitaria (ACS) de uso doméstico es una necesidad imperante debido a las condiciones de temperatura bajas en la ciudad de Cuenca, para suplir esta necesidad actualmente se utilizan sistemas eléctricos y a base de GLP (gas licuado de petróleo, los mismos que en su producción y uso emanan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el cual se constituye en el primer factor de contaminación. La energía solar utilizada a través de un prototipo de un calentador solar fabricado con materiales reciclados para la obtención de ACS es una tecnología que aporta significativamente a disminuir la utilización de combustibles fósiles, actualmente en el Ecuador se comercializa colectores de este tipo que han sido copiados o importados de países europeos y norteamericanos.

Vivar & Prado (2014) estudio energético de los colectores solares para el calentamiento de agua Chimbote – Perú. Tesis para optar el título de ingeniero en Energía Universidad Nacional del Santa. Facultad de ingeniería en Energía. El objetivo general es realizar el análisis de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores de placa plana, para cubrir las necesidades de agua caliente.

El colector solar de placa plana es una alternativa económica y eficaz para el calentamiento de agua que elimina los altos costos por consumo de energía eléctrica, en los diferentes lugares que requieren el servicio de calentamiento de agua.



Al mismo tiempo se busca incentivar el uso de energía renovables y que no causen impacto en el medio ambiente.

Flores (2014) evaluación técnica y económica de sistemas de calentamiento solar de agua para servicios comerciales en la ciudad de México. Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería de Procesos y uso eficiente de energía en la Universidad Nacional Autónoma de México. El propósito de este trabajo consiste en analizar un sistema de calentamiento solar de agua caliente de un restaurante ubicado en la ciudad de México y compararlo con una propuesta desarrollada con base a la metodología aquí descrita. El trabajo presenta un marco de referencia del uso de las energías renovables en especial la solar, el estado del arte del calentamiento solar de agua a baja temperatura y los programas de promoción que se han llevado a cabo en México. También se brinda una descripción de las tecnologías actuales más comerciales de calentamiento solar de agua. Se describen los métodos de dimensionamiento y el cálculo de la fracción solar con el método de la Carta f. Pese a que el calentamiento solar de agua es una de las aplicaciones de la energía solar más conocidas, probados y rentables tanto para la aplicación residencial y comercial aún no son sistemas de aplicación general en México por lo que es pertinente demostrando las bondades técnicas y económicas de estos proyectos.

Flores (2018) diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno. Tesis para obtener el título de Ingeniero Metalurgista. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y Metalúrgica – Universidad Nacional del Altiplano. Resumen que Puno es uno de los tres departamentos con mayor radiación solar en el Perú. Considerar que las termas solares de tubos de vacío que se venden actualmente en la región sur no han sido diseñadas para las condiciones ambientales de Puno, desarrollan la metodología para diseñar una terma solar fabricado con tubería de PVC para las condiciones ambientales de Puno. En los resultados especifican que para 120 litros de



agua caliente el colector solar de tuberías de PVC es necesario solo 10 tubos, como que la inclinación óptima del colector debe ser aproximadamente de  $15^\circ$  que coincide con la latitud de Puno.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. La energía solar

La energía solar es la energía del sol sin transformar, que energía calorífica y energía luminosa. Necesitamos 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 elevadas 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 mediante 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 a 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 uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica (Duffie & Beckman, 1991).



## **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.
- No se gastará en combustibles, a manera que el uso de la energía solar aumenta, nuestra demanda de combustible fósiles disminuye. Esto ampliaría el tiempo el tiempo antes de que nuestro suministro de combustibles fósiles como: petróleo, gas, natural, entre otros, expire o que se los costos sean tan elevados que solo los ricos puedan permitírselos.
- Entre las principales ventajas de los sistemas que utilizan la energía solar ciertamente se puede citar la fiabilidad y durabilidad, se estima de 15 a 20 años en promedio.

### **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.



- 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.
- Una inconveniente lamentable de esta fuente de energía son los costos asociados con la compra e instalación de un sistema de energía.

Se calcula que, durante un año, el sol arroja sobre la tierra 4,000 veces más energía de la que se va a consumir (Duffie & Beckman, 1991).

### **2.2.2. Aprovechamiento de la energía solar**

Entre los aprovechamientos de la energía solar se encuentra la conversión directa de la radiación solar en calor y en electricidad, llamadas conversión fototérmica y fotovoltaica, respectivamente. La energía solar es la causa indirecta de que pueda aprovecharse la energía que proporcionan las plantas y los animales, mejor conocida como biomasa.

También al sol se deben los movimientos de las diferentes masas de aire que ocasionan los vientos; así, la energía eólica o de los vientos es indirectamente energía solar. Además, el depósito de organismos que alguna vez estuvieron vivos en las capas de la corteza terrestre no es otra cosa que los componentes del petróleo, gas y el carbón.

De esa manera, los combustibles fósiles son también indirectamente producto de la energía solar. Finalmente, la energía hidroeléctrica proviene de una enorme máquina térmica, cuyo combustible es precisamente la energía solar. Cuando los rayos del sol calientan el agua de la Tierra se produce vapor de agua; éste se eleva formando nubes;



ahí, el vapor de agua se condensa y se precipita, lo que aumenta el nivel de agua de, por ejemplo, un embalse hidroeléctrico.

Mediante su radiación, el sol aporta directa o indirectamente toda la energía que mantiene la vida en la tierra, porque todo el alimento y el combustible proceden en última instancia de las plantas que utilizan la energía de la luz del sol. Esta energía radiante es el resultado de reacciones nucleares que dan como subproductos luz y calor (Ortega, 2000).

Los sistemas solares pueden clasificarse como:

- a) Fotovoltaicos
- b) Fototérmico

**Los sistemas fotovoltaicos**, transforman la luz del sol en energía eléctrica; estos sistemas funcionan con baterías para el almacenamiento de la energía producida por los paneles y su aplicación es idónea para zonas donde no hay tendidos eléctricos. También hay sistemas que se conectan a las redes de energía eléctrica, estos no utilizan baterías pues parte de la energía producida es inyectada a la red.

**En los fototérmicos**, la temperatura puede ser baja, intermedia o alta; dependerá de la aplicación que tenga. Para sistemas en viviendas, el rango de temperaturas anda entre los 50°C y 65°C; en sistemas industriales las temperaturas pueden sobrepasar los 100°C, esto dependerá de la tecnología utilizada y no necesariamente será con agua.

Las aplicaciones por calentamiento solar pueden ir desde calentar agua para residencias (agua caliente para baños) pasando por uso terapéutico en hospitales, uso comercial en hoteles, uso industrial para el precalentamiento de calderas hasta aplicaciones para generar energía eléctrica a través de turbinas movidas por vapor.



Las aplicaciones descritas fortalecen la utilización de energía renovable proveniente del sol y contribuyen a disminuir el consumo de derivados del petróleo causantes de contaminación al aire y efecto invernadero (Ortega, 2000).

El calor puede transferirse de un lugar a otro por tres métodos diferentes: conducción en sólidos, convección en fluidos (líquidos o gases) y radiación a través de cualquier medio transparente a ella. El método elegido en cada caso es el que resulta más eficiente. Si hay una diferencia de temperatura el calor siempre viajará del lugar más caliente al más frío (Abella, 2005).

**La conducción:** Tiene lugar cuando dos objetos a diferentes temperaturas entran en contacto. El calor fluye desde el objeto más caliente hasta el más frío, hasta que los dos objetos alcanzan a la misma temperatura. La conducción es el transporte de calor a través de una sustancia y se produce gracias a las colisiones de las moléculas.

En el lugar donde los dos objetos se ponen en contacto, las moléculas del objeto caliente, que se mueven más deprisa, colisionan con las del objeto frío, que se mueven más despacio. A medida que colisionan las moléculas rápidas dan algo de su energía a las más lentas. Estas a su vez colisionan con otras moléculas en el objeto frío. Este proceso continúa hasta que la energía del objeto caliente se extiende por el objeto frío. Algunas sustancias conducen el calor mejor que otras. Los sólidos son mejores conductores que los líquidos y éstos mejor que los gases. Los metales son muy buenos conductores de calor, mientras que el aire es muy mal conductor.

Puede experimentar como el calor se transfiere por conducción siempre que toca algo que está más caliente o más frío que su piel, por ejemplo, cuando se lava las manos en agua caliente o fría.



**La convección:** Es usualmente la forma más eficiente de transferir calor. La convección tiene lugar cuando áreas de fluido caliente ascienden hacia las regiones de fluido frío. Cuando esto ocurre, el fluido frío desciende tomando el lugar del fluido caliente que ascendió. Este ciclo da lugar a una continua circulación en que el calor se transfiere a las regiones frías. Puede ver como tiene lugar la convección cuando hierve agua en una olla. Las burbujas son las regiones calientes de agua que ascienden hacia las regiones más frías de la superficie. Probablemente estemos familiarizado con la expresión: "el aire caliente sube y el frío baja" - que es una descripción del fenómeno de convección en la atmósfera. El calor en este caso se transfiere por la circulación del aire. Tanto la conducción como la convección requieren la presencia de materia para transferir calor.

**La radiación:** Es un método de transferencia de calor que no precisa de contacto entre la fuente y el receptor del calor. Por ejemplo, podemos sentir el calor del Sol, aunque no podemos tocarlo. El calor se puede transferir a través del espacio vacío en forma de radiación térmica. Esta, conocida también como radiación infrarroja, es un tipo de radiación electromagnética (o luz). La radiación es por tanto un tipo de transporte de calor que consiste en la propagación de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz. No se produce ningún intercambio de masa y no se necesita ningún medio.

Los objetos emiten radiación cuando electrones en niveles de energía altos caen a niveles de energía bajos. La energía que se pierde es emitida en forma de luz o radiación electromagnética. La energía absorbida por los átomos hace que sus electrones "salten" a niveles de energía superiores. Todos los objetos absorben y emiten radiación. Cuando la absorción de energía está equilibrada con la emisión, la temperatura del objeto permanece constante. Si la absorción de energía domina, la temperatura del objeto aumenta, si la emisión domina, la temperatura disminuye (Conesa, 2013).



### 2.2.3. Usos de la energía solar

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

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

Las instalaciones solares pueden considerarse clasificadas por tres tipos de aplicación. Los primeros hornos solares más usados en el medio de laboratorio podemos obtener altas temperaturas en diferentes estudios y son propuestos para utilizar en semi industriales. En el segundo lugar estos potenciales que están a disposición solares sencillas como, por ejemplo, bombas de irrigación, refrigerantes y cocinas en regiones no industrializados, en los cuales no son satisfactorios o resulten muy caras. En el tercer grupo la aplicación de energía solar siempre podrá competir en un futuro económico en diferentes fuentes de energía en ciertas zonas de países industrializados, si hoy en adelante técnicos en este campo los cambios varían en el costo de la energía de diferentes fuentes que llegan alterar su costo relativo.

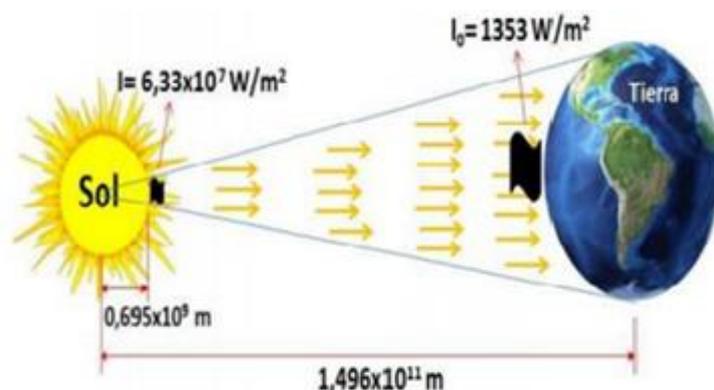
Los problemas con que se tropieza para recoger la energía solar, almacenarla y usar la energía resultante, son los mismos para numerosos usos potenciales de esta fuente de energía y se estudian uno por uno en lo que sigue (Bustamante, 2002).

#### 2.2.4. El sol

Es una masa de materia gaseosa caliente que irradia a una temperatura efectiva de unos  $6000^{\circ}\text{C}$ , en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la denominación radiación solar. La distribución espectral de la radiación de esta fuente de energía medida fuera de la atmosfera terrestre, aproximadamente la mitad está en la región visible del espectro, cerca de la otra región infrarroja y un pequeño porcentaje de la región ultravioleta.

La radiación del sol es de  $63,450,720 \text{ w/m}^2$ , el sol irradia rayos de luz en varias direcciones y se construye una esfera que llegue hasta la atmosfera terrestre, es decir que tenga un radio de distancia de 149.5 millones de km, se podrá determinar cuál es la radiación es ese punto.

Como se dijo anteriormente, el sol está a una distancia de 149,490,000 kilómetros de la tierra, y la constante solar, esto es, la intensidad media de la radiación medida fuera de la atmosfera en un plano normal a la radiación es aproximadamente  $1.94 \text{ cal/min. cm}^3$ , o lo que es lo mismo  $1.353 \text{ w/m}^2$ . variable durante el año un 13% a causa de la elipticidad de la órbita terrestre suficiente, ver figura 1. (Espejo, 2004)

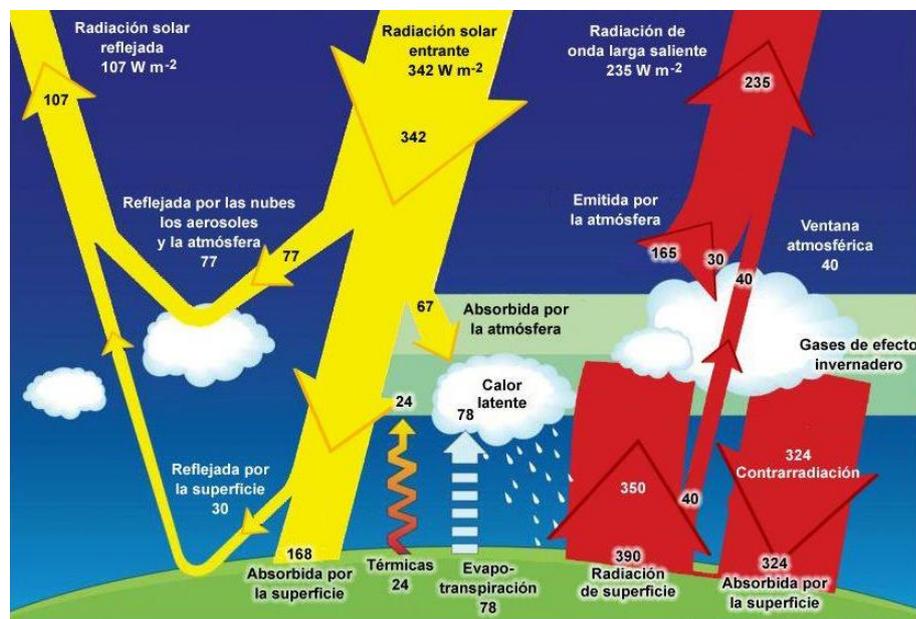


**Figura 1.** Vista del sol desde el límite superior de la atmosfera terrestre.

Fuente: Fernández et al (2004).

### 2.2.4.1. 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 atmosfera 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 de 100% de la energía que proviene del sol suficiente, ver figura 2.



**Figura 2.** Radiación solar que llega a la tierra.

Fuente: MeteoGlosario Visual de AEMET.

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmosfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial.

### 2.2.4.2. Tipos de radiación

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

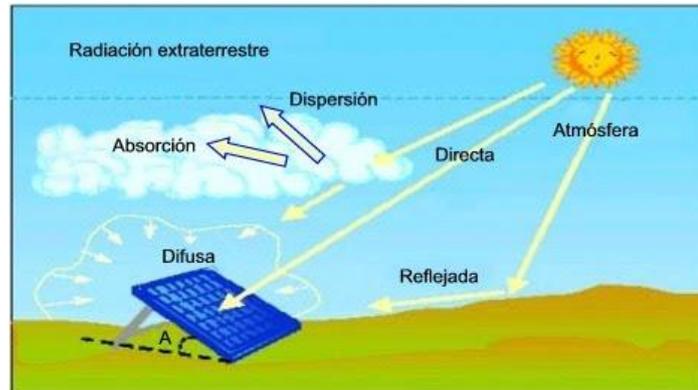


- **Radiación directa:** Es aquella que llega directamente del sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la intercepta.
- **Radiación difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmosfera es reflejada por las nubes o absorbida por estas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, arboles, 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 solo 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.

Es un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, es 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 solo 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, ver figura 3. (Martínez, 2009).



**Figura 3.** Sistemas de aprovechamiento de energía.

Fuente: López (2003).

La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por las partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación.

El total de la energía solar que llega a la Tierra es enorme. Algunos países, por ejemplo, reciben anualmente alrededor de 1500 veces sus demandas de energía total. En un día de sol de verano, la energía que llega al tejado de una casa de tipo medio sería más que suficiente para satisfacer las necesidades de energía de esa casa por 24 horas.

La distribución espectral de la radiación en la superficie de la tierra ha sido extensamente estudiada y se ha propuesto una serie de curvas a modo de patrón, para

diferentes masas de aire,  $m$ , se define como la radiación y el espesor cuando el sol está en el cénit y el observador a nivel del mar.

la distribución de energía transmitida en tres intervalos de longitud de onda, para diversas masas de aire, y se basa en la constante solar de 1.896 cal/min.cm. ver tabla 1.

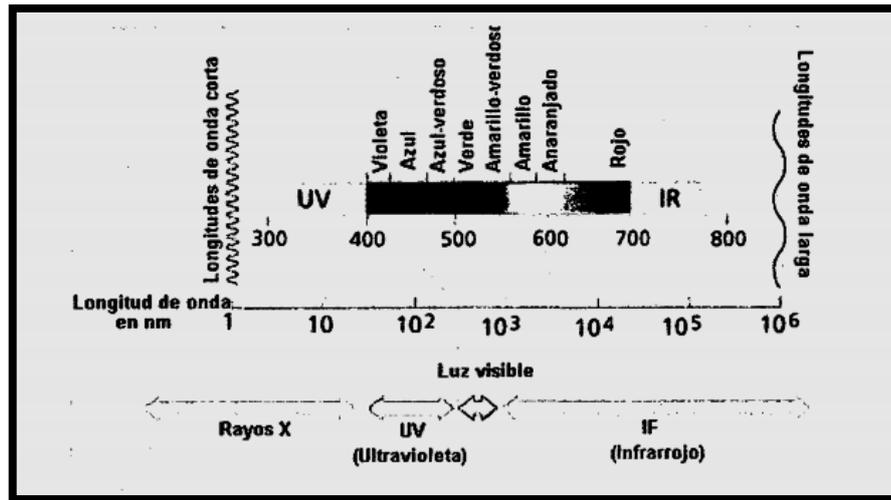
**Tabla 1.** Distribución de energía según longitud de onda.

<b>Intervalo de longitud de onda, m</b>	<b>Energía transmitida, cal./(min.) (cm<sup>2</sup>)</b>					
Ultravioleta, 0.29 – 0.40	0.136	0.057	0.029	0.014	0.008	0.004
Visible, 0.40 – 0.70	0.774	0.601	0.470	0.371	0.295	0.235
Infrarrojo, por encima de 0.70	0.986	0.672	0.561	0.489	0.427	0.377
Totales calorías por minuto, por cm <sup>2</sup>	1.896	1.330	1.060	0.871	0.730	0.616

Fuente: Méndez & Cuervo (2011).

### 2.2.4.3. 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 esta entre las longitudes de onda 0.15  $\mu\text{m}$  (micrómetros o micras) y 4 micras. Mientras 1 angstrom  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-4}$  micras resulta que el sol transmita un nivel de 1500  $\text{ \AA}$  hasta 40000  $\text{ \AA}$ . La luz notoria se expande 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, ver figura 4.



**Figura 4.** Espectro de radiación solar.

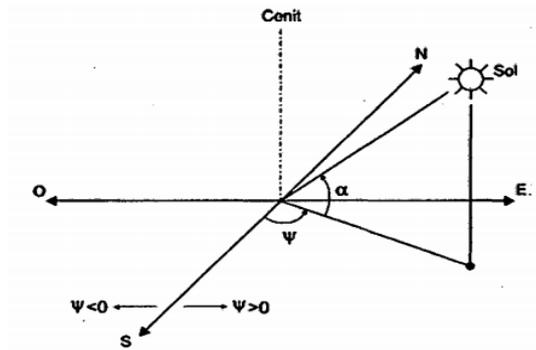
Fuente: Fundación confemetal (2008)

La parte externa de la atmosfera absorbe parte de las radiaciones reflejado el resto directamente al espacio exterior, mientras que otras 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 atmosfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 micras, ello no afecta a la radiación solar, pero si a la energía emitida por la tierra que llega hasta las 40 micras y que es absorbida.

#### 2.2.4.4. Movimiento 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 ver figura 5.





**Figura 7.** Altura solar  $\alpha$  y acimut solar  $\Psi$ .

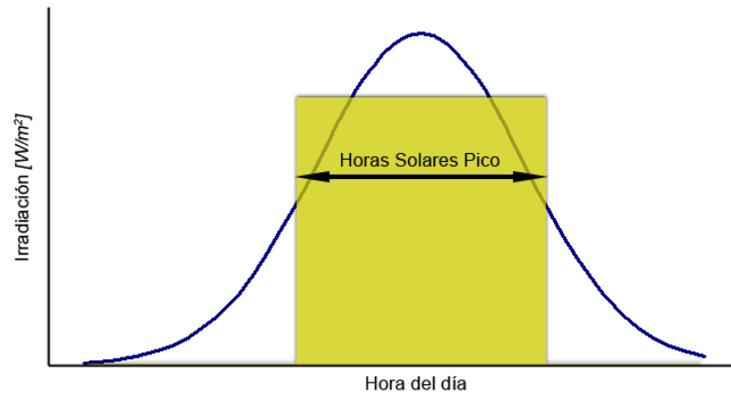
Fuente: Fundación confemetal (2008)

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

### 2.2.5. Hora solar pico

Para casos de los diversos trabajos, proyectos, ejecuciones de instalación de energía solar, los técnicos e ingenieros vienen utilizando bastante esta expresión de Hora Solar Pico dando a entender la Mayor Insolación en un área o ciudad y en un tiempo o periodo de tiempo conocido.

Si consideramos que un panel fotovoltaico horizontal puede recibir una irradiación directa aproximadamente de 1000 W/m<sup>2</sup> en condiciones de buen día claro, a nivel del mar, con un sol radiante en el Cénit del panel, por convección se considera llamar esto un pico de la irradiación al valor de 1,000 W/m<sup>2</sup> ver figura 8.



**Figura 8.** Hora solar.

Fuente: Alarcón (2012)

### 2.2.6. Sistemas solares térmicos

Un sistema solar térmico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que permite captar la energía solar disponible y transformarla en calor de forma que se pueda utilizar en diferentes necesidades.

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 requiera para la utilización del agua no es muy elevada (60°C, por ejemplo).

En otras aplicaciones como por ejemplo su uso en calefacción son más problemáticas, ya que la estacionalidad del sol y la del uso de calefacción son opuestas por lo que en verano se tendría una producción energética que no se podría utilizar. Además, los sistemas convencionales de calefacción por radiadores precisan de unas temperaturas del agua elevadas (90°C) lo que disminuye el rendimiento del sistema solar, en estos casos, la presencia de otro consumo de calor en época de verano puede resolver el problema, como por ejemplo el calentamiento de una piscina. Actualmente se



desarrollan maquinas frigoríficas con ciclos de absorción que permiten, a partir de la energía solar, aire acondicionado.

Es necesario señalar que la característica de estacionalidad del sol implica que, a fin de optimizar la inversión, las instalaciones solares se diseñan de modo que produzcan la energía necesaria en los meses de verano, por lo que, en invierno, que hay menor radiación no se cubren las necesidades y no se debe prescindir del sistema de producción térmica convencional de la instalación.

#### **2.2.6.1. Funcionamiento de un sistema solar térmico**

El principio básico de funcionamiento de los sistemas solares es sencillo; la radiación solar se capta y el calor se transfiere a un fluido (generalmente agua o aire). Para aprovechar la energía solar térmica se usa el captador solar. El fluido calentado se puede usar directamente (para calentar agua en piscinas) o indirectamente mediante un intercambiador de calor (calefacción de habitación).

La energía solar que se capta durante el día tiene que ser almacenada en forma de energía térmica, para muchos sistemas térmicos solares el agua es la sustancia perfecta para almacenar la energía térmica.

#### **2.2.6.2. Tipos de sistemas térmicos**

La energía solar térmica es utilizada principalmente en fluidos, que dependiendo de la temperatura final fue alcanzada por el fluido, los sistemas térmicos se dividen de:

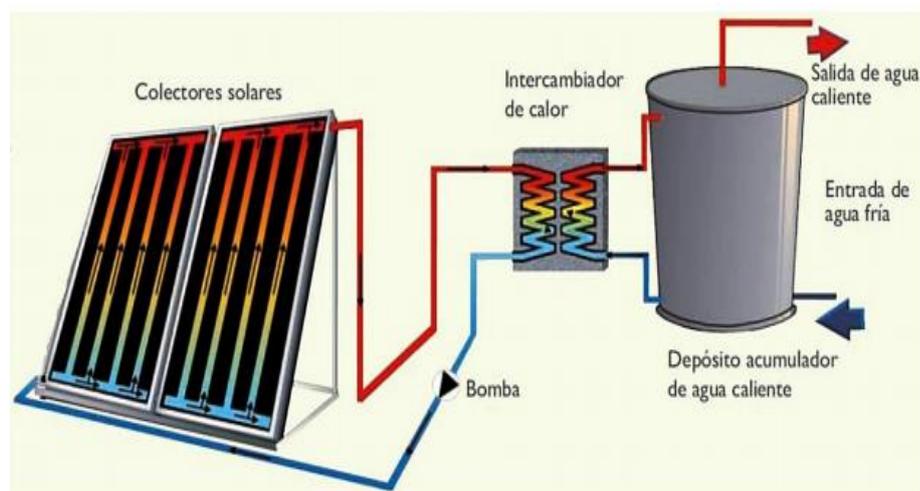
- **Baja temperatura:** Son las más frecuentes y se destinan a aquellas aplicaciones que no exigen temperaturas del agua superiores a los 90 °C, como, por ejemplo, producción de agua caliente sanitaria para viviendas, calefacción de viviendas, calentamiento de agua para piscinas, etc.

- **Media temperatura:** Destinada a aquellas aplicaciones que exigen temperaturas del agua comprendidas entre 80 °C y 250 °C, como, por ejemplo, calentamiento de fluido para procesos industriales y la desalinización de agua de mar.
- **Alta temperatura:** Destinadas a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas del agua superiores a los 250 °C, como es el caso de la generación de vapor para la producción de electricidad.

### 2.2.6.3. Sistema solar térmicos de baja temperatura

Los colectores que se utilizan en estas aplicaciones son colectores planos.

- **Sistemas de circulación forzada:** En este tipo de sistemas para hacer circular el agua entre el colector y el acumulador se utiliza una bomba, por lo que se hace necesario un aporte externo de energía, ver figura 9.



**Figura 9.** Sistema de circulación forzada.

Fuente: Schallenberg *et al.* (n.d.) 2008.

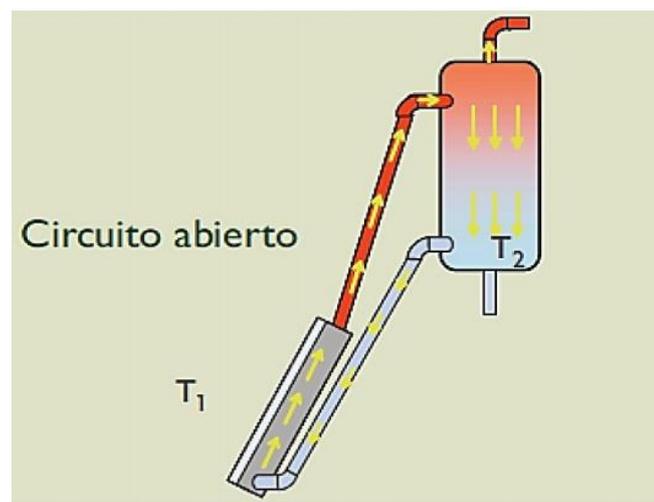
- **Sistemas termosifón:** Según Schallenberg *et al.* (2008) relata que este tipo de sistemas funcionan sin aporte externo de energía, ya que se aprovechan el efecto termosifón, el movimiento del agua que se produce por diferencia de temperaturas

entre el agua fría del depósito de acumulación y la caliente del captador, el agua que está dentro del colector se calienta por el sol.

Al disminuir su peso específico, el agua más caliente se sitúa en la parte superior del captador. Este hecho hace que el agua fría del depósito caiga por el conducto que une la parte inferior del depósito con la parte inferior del captador, provocando así que el agua caliente del captador ascienda hasta el tanque. En este tipo de sistemas el tanque se suele situar por encima del captador, también las temperaturas se igualan y el movimiento cesa.

Los sistemas de termosifón pueden ser:

- a) **Instalación de circuito abierto:** El agua circula por el colector es la primera que se utiliza como agua caliente. El agua entra en el colector, se calienta, pasa al tanque y se usa directamente, ver figura 10.

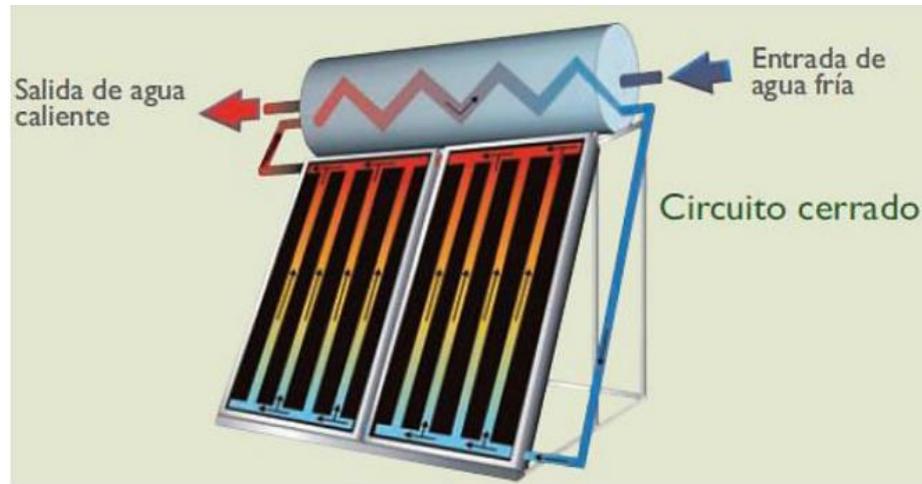


**Figura 10.** Sistema termosifón con circuito abierto.

Fuente: Schallenberg *et al.* (n.d.) 2008.

Instalación de circuito cerrado: En este tipo de instalación Schallenberg *et al.* mencionan que: “por el colector circula un fluido (en circuito cerrado) que se

calienta y cede su calor al agua de abasto a través de un intercambiador de calor, ver figura 11.



**Figura 11.** Sistema termosifón con circuito cerrado.

Fuente: Schallenberg *et al.* (n.d.) 2008.

### 2.2.7. Calentadores solares

El calentador solar o paneles térmicos es un sistema que calienta agua solo con la energía proveniente del sol y sin consumir gas o energía eléctrica. Se encuentran en usos dos tipos básicos de calentadores: el sistema pasivo, por circulación natural y el sistema activo, con circulación forzada. Los sistemas pasivos son relativamente pocos costosos, no requieren mantenimiento y duran bastante porque no has partes movibles que se desgasten; mientras que los sistemas activos son más costosos porque requieren la instalación de equipo especial.

Los colectores solares son el corazón de cualquier sistema de utilización de la energía solar: absorbe la luz solar y la transforma en calor.

Los criterios básicos para seleccionarlo son:

- Productividad energética a la temperatura de trabajo y costo.

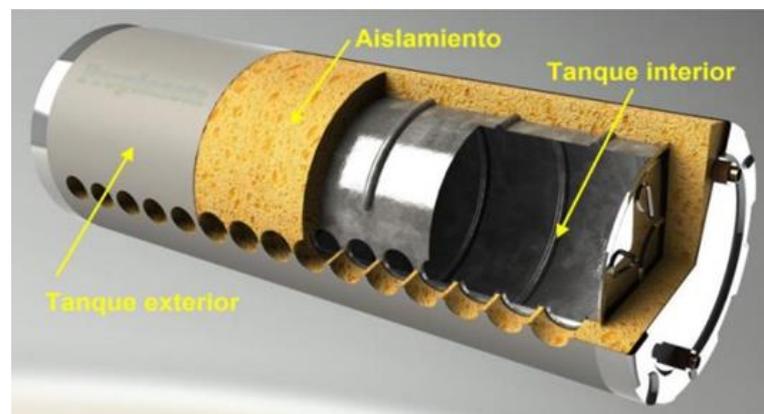
- Durabilidad y calidad
- Fabricación y reciclado no contaminante.

### 2.2.8. Partes del calentador solar

El calentador solar de agua consta de dos partes fundamentales:

- Tanque de almacenamiento
- El colector solar.

Tanque de almacenamiento es componente básico de calentador solar y de cuya configuración depende que el agua calentada en el colector, se mantenga disponible el mayor tiempo posible al estar debidamente aislado para evitar que el agua se enfríe durante la noche. El proceso de calentamiento del agua en el colector solar tiene lugar usualmente entre las 9 y las 15 horas, luego de lo cual la temperatura de agua en el colector es menor que en la parte superior del tanque de almacenamiento interrumpiéndose el proceso de termosifón natural, permaneciendo el agua caliente en el tanque de almacenamiento, cuya temperatura depende explícitamente del aislamiento dispuesto a su alrededor, ver figura 12.



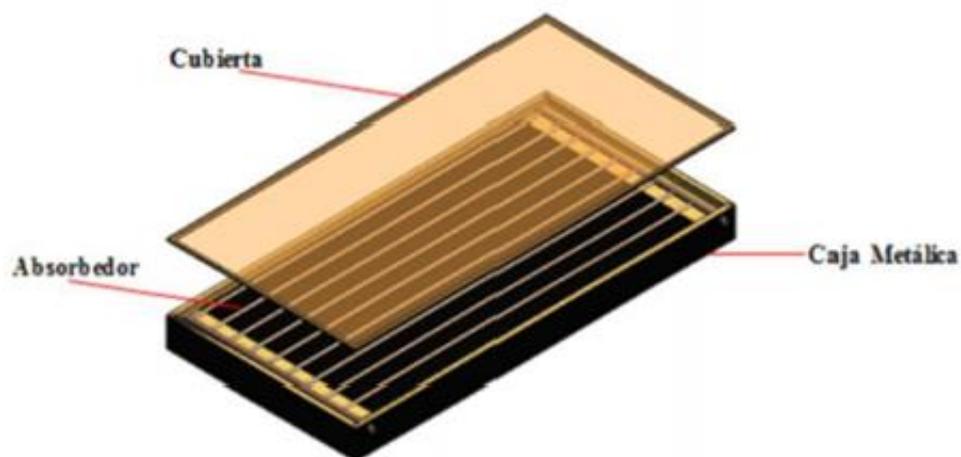
**Figura 12.** Tanque de almacenamiento.

Fuente: Valera (2007).

Colector solar es el elemento que contiene a la parrilla de tubos protegiéndolas a su vez las pérdidas de temperatura y las inclemencias del tiempo, está cubierta con una superficie transparente que permite el paso de la radiación solar con una orientación en forma perpendicular a los rayos del sol, donde se captura la energía del sol y se transfiere el agua, ver figura 13.

El colector a su vez consta de las siguientes partes:

- **Caja:** Elemento metálico que contiene a los demás elementos.
- **Absorbedor:** Elemento encargado de transformar la radiación solar en calor. Se trata de una superficie de color negro de diferentes características según su tipo de colector.
- **Cubierta:** Elemento transparente encargado de provocar el efecto invernadero dentro de la caja para aumentar la temperatura y el aprovechamiento del calor por el absorbedor.



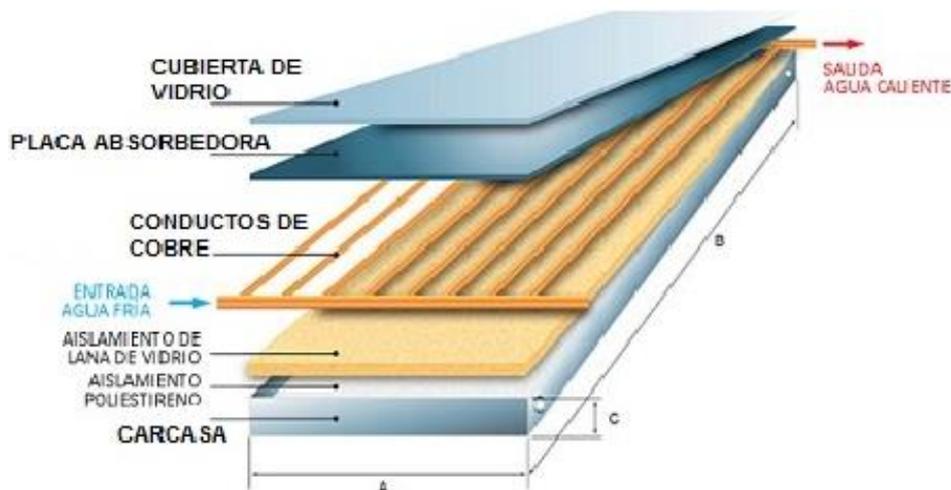
**Figura 13.** El colector.

Fuente: Burbano et al (2006).

## 2.2.9. Tipos de colectores solares para calentar agua

### 2.2.9.1. Colector de placa plana con cubierta

El colector de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento, una cubierta de vidrio o de plástico y una placa absorbidora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa, que es de un material que transfiere rápidamente de calor a un fluido que circula a través de la parrilla de tubos colocada sobre esta placa del colector. Tienen la ventaja que pueden utilizar la radiación solar difusa (reflejada a través de nubes), aparte de la radiación directa. Un colector plano puede dar temperaturas entre 65-90°C con una eficiencia promedio 40 – 60%, ver figura 14. (Cora, 2009)



**Figura 14.** Colector de placa plana con cubierta.

Fuente: Placeo et al (2006)

### 2.2.9.2. Colectores Concentradores parabólicos compuestos (CPV) estacionarios

Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales. Poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo concentradores parabólicos compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un

mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menos al área de colección logrando minimizar las pérdidas de calor y alcanzar un rendimiento cercano a 50%, ver figura 15. (Cora, 2009)

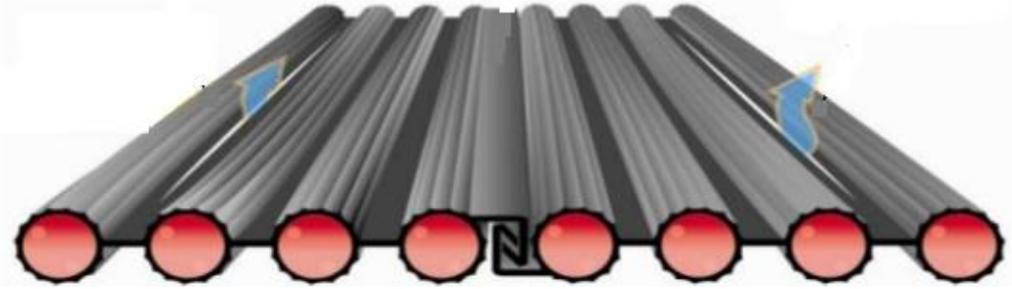


**Figura 15.** Colector concentradores parabólicos compuestos estacionarios.

Fuente: Placeo et al (2006)

### **2.2.9.3. Colector de placa sin cubierta**

Este tipo de colector, es sencillo y muy barato, que consiste en un absorbedor, pero padecen de una cubierta transparente. No tiene ningún aislamiento adicional, de manera que la temperatura queda limitada a unos 20°C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están constituidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua, ver Figura 16. (Cabirol, 1978)



**Figura 16.** Colector de placa plana sin cubierta.

Fuente: Cabirol (1978).

#### 2.2.9.4. Colector de tubos de vacío

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos al vacío (o evacuados), cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calor – portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de  $77^{\circ}\text{C}$  a  $177^{\circ}\text{C}$ . De esta manera los colectores resultan particularmente apropiadas para aplicaciones de alta temperatura, ver figura 17.



**Figura 17.** Colector de tubos de vacío.

Fuente: Servidor solar (2008).

Según Mendoza et al. (2015) se muestran valores típicos de los parámetros característicos eficiencia óptica, coeficiente global de pérdidas (UL) y rango normal de temperaturas de trabajo para distintos tipos de colectores. Tabla 2

**Tabla 2.** Parámetros característicos de los distintos tipos de colectores solares.

<b>Tipo de colector</b>	<b>Factor conversión (<math>\eta_0</math>)</b>	<b>Factor de pérdidas térmicas: UL</b> $\frac{w}{m^2} \text{ } ^\circ\text{C}$	<b>Rango de temperatura</b> <b>(<math>^\circ\text{C}</math>)</b>
<b>Sin cubierta</b>	0.9	15 - 35	10 - 40
<b>Cubierta simple</b>	0.8	7	10 - 60
<b>Cubierta doble</b>	0.65	5	10 - 80
<b>Superficie selectiva</b>	0.8	5	10 - 80
<b>Tubos de vacío</b>	0.7	2	10 - 130

Fuente: CENSOLAR (Centro de estudios de la energía solar).

## 2.2.10. Normas técnicas de edificación EM080 instalaciones con energía solar

### 2.2.10.1. Generalidades

En el aprovechamiento de la energía solar está contemplada la adopción de nuevas tecnologías para optimizar su uso.

La transformación para obtener el calentamiento de agua o de ambientes, así como suministro eléctrico son formas de economizar energía y contribuir a disminuir la contaminación ambiental.



### **2.2.10.2. Campo de aplicaciones**

La presente norma de aplicación obligatoria a nivel nacional describe la especificación técnica y los procedimientos constructivos básicos que deben cumplir las viviendas que incluyan sistemas solares fotovoltaicos y foto térmicos para el calentamiento de agua.

### **2.2.10.3. Objetivo**

El presente proyecto de actualización establece las mínimas condiciones técnicas que se deben incluir en el diseño y construcción de una vivienda en las que se incluya el aprovechamiento de energía solar.

Se recomienda a aquellos que realicen acuerdos basándose en ella, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas en las referencias normativas.

### **2.2.10.4. Referencias normativas**

- Norma técnica de Edificación IS.010 Instalaciones sanitarias para edificaciones.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.482 20097: Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Procedimiento para su instalación eficiente.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.404 2006: Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Fundamentos para su dimensionamiento eficiente.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.403 2006: Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones Técnicas y Método para la Calificación Energética.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.400 2001: Colectores Solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores solares.



- Resolución Ministerial R.M. N° 037-2006-MEM/DM Código Nacional de Electricidad.
- Resolución Directoral N° 003-2007-EM/DGE: Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural.
- Resolución Ministerial R.M. N° 091-2002-EM/VME Norma DGE Terminología en Electricidad y Símbolos Gráficos en Electricidad.

### **2.2.11. Dimensionamiento**

#### **2.2.11.1. Determinación del consumo de agua caliente y el 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 es 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.

Sin ningún de estos métodos es factible, la demanda será calcula mediante reglas básicas, utilizando la siguiente tabla 3 para demanda de agua caliente.



**Tabla 3.** Cantidad de agua caliente usada por diferentes sectores.

<b>Criterio de demanda</b>	<b>Litros ACS/día</b>	
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
Fabrica y talleres	15	Por persona
Administración	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 instalación térmicos de los edificios.

Del cual el consumo diario de ACS se calcula:

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

Donde:

LPD: Consumo diario de ACS de cada consumidor

N°c: Numero de consumidores

### 2.2.11.2. Determinación de la demanda energética

La demanda energía de ACS es la energía necesaria para llevar el agua desde la temperatura de la red hasta la temperatura deseada, siendo una temperatura optima 32 °C utilizada normalmente en procesos quirúrgicos.

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

Donde:

E: Energía calorífica requerida (MJ/mes)

M: Masa de agua a calentar (Kg/día)

$C_p$ : Calor específica del agua (4.18 kg°C)

$T_{ACS}$ : Temperatura de agua caliente sanitaria

$T_{H2O}$ : Temperatura inicial del agua (°C)

n: Número de días del mes que se considera.

### 2.2.11.3. Determinación del recurso solar

El Perú cuenta con un gran potencial de energía solar, 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.

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

#### 2.2.11.4. 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 ( $H_p$ ) y la eficiencia del sistema ( $\eta$ ). Área de captación requerida ( $A_{Cap}$ ) se determinará mediante la siguientes formula:

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

La radiación global varía durante el día, durante el año y también según la altitud y latitud.

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%.

El número de colectores estará determinado por la siguiente relación:

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

Donde:

$N_C$ : Numero de colectores

$A_{Cap}$ : Área de captación



$A_C$ : Área del colector

#### 2.2.11.5. 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 proporcionara agua caliente a temperatura más alta. Si un tanque es demasiado pequeño, se presentarán pérdidas de calor debido a la alta temperatura de 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.

#### 2.2.11.6. Sistema de intercambio de calor

El intercambio 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, ver tabla 4.

Lógicamente también influye el coeficiente de transmisión (K) 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:

$$Q = K \frac{S(T_e - T_f)}{T_e} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:



Q: Potencia del intercambiador

K: Coeficiente de transmisión

S: Superficie de intercambio

T<sub>e</sub>: Temperatura cara más caliente

T<sub>f</sub>: Temperatura cara más fría

**Tabla 4.** Coeficiente de transmisión de diferentes materiales.

Material	Coeficiente (W/m°C)
Cobre	372
Acero	46
Aluminio	209.3
Ladrillo	0.46
Corcho	0.0046

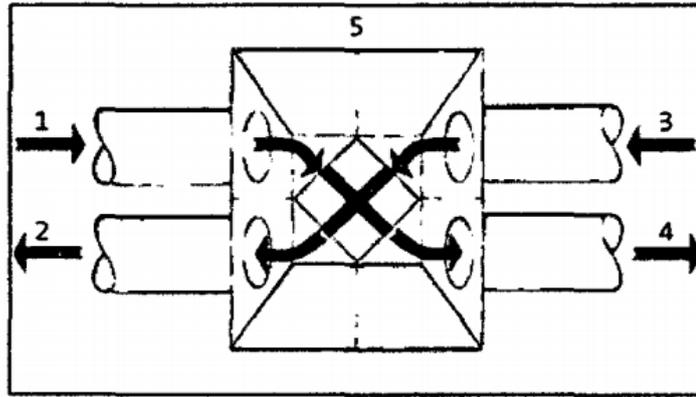
Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.11.7. Efectividad de un Intercambiador de calor

La efectividad de un intercambiador de calor él se define como la relación entre la cantidad de calor real transmitida (Q) y la máxima transmisión de calor posible. ver figura 18.

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

En un intercambiador de calor, se tiene dos circuitos por donde circulan los fluidos, uno que cede calor y otro que lo recibe:



**Figura 18.** 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:

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

Donde:

$C_1$ : Caudal circuito primario

$C_2$ : Caudal circuito secundaria

$C_{e1}$ : Caudal específico del fluido del circuito primario

$C_{e2}$ : Calor específico del fluido del circuito secundario



En función del caudal masivo (m) y del calor específico y los circuitos primarios y secundarios, 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:

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

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 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.

### **2.2.12. El PVC**

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además se ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles. A partir de procesos de polimerización, se obtienen compuestos en forma de polvo o pellet, plastisoles, soluciones y emulsiones. Además de su gran versatilidad, el PVC es la resina sintética más compleja y difícil de formular y procesar, pues requiere de un número importante de ingredientes y un balance adecuado de estos para poder transformarlo al producto final deseado.

#### **2.2.12.1. Forma y tamaño de la partícula**

Su forma esférica y en algunos casos tiene similitud a la de una bola de algodón. El tamaño varía según se trate de resina de suspensión o de pasta. En el caso de la resina de suspensión, el diámetro de la partícula va de 40 micrones (resina de mezcla) a 80 –



120 micrones (resina de uso general). En el caso de resina de pasta, el diámetro de la partícula es de 0.8 a 10 micrones.

#### **2.2.12.2. Peso molecular**

Su promedio se mide indirectamente evaluando la viscosidad específica en soluciones al 0.4% de nitrobenzeno o la viscosidad inherente en soluciones al 0.5% de ciclo – hexanona. En el primer caso, nos da valores de 0.30 a 0.71 y en el segundo de 0.650 a 1.348, con valor K de 50 a 75. Conforme disminuye el peso molecular, las temperaturas de procesamiento de las resinas serán más bajas serán más fácilmente procesables, las propiedades físicas en el producto terminado, tales como la tensión y la resistencia al rasgado, serán más pobres; y brillo y la capacidad de aceptar más carga será mejor y la fragilidad a baja temperatura será menor.

#### **2.2.12.3. Gravedad específica**

Los valores típicos para una resina de suspensión de tipo homopolímero son de 1.40 g/cc y para copolímeros cloruro – acetato de vinilo son de 1.36 a 1.40 g/cc. El plastificante reduce el peso específico; por cada 10 partes que se reduce aproximadamente 0.02 gramos, mientras que la carga lo aumenta en función del tipo de carga de que se trate.

#### **2.2.12.4. Estabilidad térmica**

A mayor peso molecular, se tiene mayor estabilidad térmica. Durante su procesamiento, la resina se degrada al recibir calor y trabajo. La degradación se presenta en forma de amarillamiento y empobrecimiento de las propiedades mecánicas del producto. Es para evitar esto que se adicionan los estabilizadores.



### **2.2.12.5. Características de procesabilidad**

La temperatura de fusión en la resina de la suspensión homopolímero es de 140°C la de copolímero de 130°C. Al ser formuladas, las temperaturas de fusión de las resinas aumentan hasta 160°C y 180°C. Las cargas y los plastificantes también sirven para aumentar dicha temperatura, aunque unos lo hacen con mayor efectividad que otros.

### **2.2.12.6. Propiedades mecánicas**

Como resultado de la formulación de resina de pasta se obtiene el plastisol. Las principales propiedades del plastisol son la viscosidad, la dilatancia y el esfuerzo mínimo de deformación. La viscosidad, en las resinas de pasta es una característica básica, pues mediante la apropiada viscosidad se controlan los espesores y velocidades de aplicación y las características del producto terminado. Las características de flujo observadas se consideran como no newtonianos; es decir, que la relación entre el esfuerzo cortante contra la velocidad de corte no es igual para todas las velocidades. Así, tenemos que la velocidad del recubrimiento (cm/seg) contra el espesor del recubrimiento (cm) nos da la relación de corte.

El esfuerzo mínimo de deformación (valor yield) es la fuerza inicial mínima para comenzar el movimiento de un plastisol debe controlarse para cada tipo de formulación, para que no gotee y no traspase la tela.

Dilatancia es una viscosidad aparente que aumenta al aumentar la fuerza cortante; a menor cantidad de plastificante, mayor dilatación. A altas velocidad de corte, se usa el reómetro Servers, que da valores en gr de plastisol por 100 seg.

También es importante considerar que al aplicar calor a una dispersión de PVC en plastificante (plastisol), la viscosidad se eleva gradualmente y el material se transforma



en sólido. Existe una temperatura óptima de fusión ( $175^{\circ}\text{C}$ ) a la cual se logran las propiedades óptimas de elongación y tensión.

Resina de suspensión como resultados de la formulación de resinas de suspensión, se obtienen compuestos en forma de polvo seco, cuando se procesan gradualmente se transforman en un líquido viscoso de características no-newtonianas, aquí también existe una temperatura óptima de fusión a la cual el líquido obtiene sus propiedades de flujo más adecuadas para realizar la operación de transformación ( $160^{\circ}\text{C}$ - $180^{\circ}\text{C}$ ).

#### **2.2.12.7. Propiedades químicas**

EL PVC es soluble en ciclohexano y tetra hidrofurano. Puede co-polimerizarse con acetato de vinilo y cloruro de vinilideno, reduciéndose la temperatura de fusión. Elevando su temperatura de distorsión. El PVC rígido resiste a humos y líquidos corrosivos; soluciones básicas y ácidas; soluciones salinas y otros solventes y productos químicos. Tiene buena estabilidad dimensional. Solo arde en presencia de fuego; de otra forma, no lo sostiene y tiene buena resistencia a los efectos del medio ambiente, principalmente al ozono.

#### **2.2.12.8. Propiedades eléctricas**

Tiene gran poder de aislamiento eléctrico. Para medirlo se usa el método de resistividad volumétrica, el que también permite controlarla. Por ejemplo, tenemos que la resina 102 EP tiene una resistividad volumétrica de  $2.0 \text{ ohms cm} \times 10^{12}$ , a  $95^{\circ}\text{C}$ , mientras que el compuesto Geon 11015 la tiene de  $0.6 \text{ ohms-cm} \times 10^{12}$  a  $95^{\circ}\text{C}$ .

#### **2.2.12.9. Estabilizadores**

Se pueden clasificar como el único ingrediente indispensable en la formulación de un compuesto de PVC. Es importante mencionar que es el único ingrediente con el



cual el PVC reacciona durante la fabricación de compuesto y su procesado; que seguirá en cierta forma reaccionando durante la vida útil del producto, retardando la degradación que el calor y la luz producen en el producto. Los estudios de rastreo por radio carbón han confirmado esta teoría. Los estabilizadores pueden ser: sales órgano metálicas de Ba, Cd y Zn en forma de líquidos o polvos mercaptanos y carboxílicos de compuestos de órgano estanosos en forma líquidos o polvos, jabones y sales de plomo, líquidos o polvos, combinaciones de estearatos de Ca y Zn atóxicos; estabilizadores, epoxis y alguno más que contienen nitrógeno.

En forma general, para la producción de materiales flexibles, calandreados, extruidos, moldeados y plastisoles se usan comúnmente estabilizadores de bario-cadmio (zinc). Los compuestos rígidos generalmente son estabilizados con compuestos órgano estanosos y jabones y sales de plomo. Los compuestos eléctricos, aunque son flexibles, deben estabilizarse con plomo por la baja conductividad de estos. Es importante mencionar que el zinc, a pesar de ser estabilizadores, en circunstancias especiales tiene efectos perjudiciales. Algunas resinas con más sensitivas que otras al zinc, así como que este no es tan efectivo con presencia de fosfatos y plastificantes derivados de hidrocarburos cloratos.

#### **2.2.12.10. Lubricantes**

Uno de los aspectos más importantes en la tecnología del PVC es la lubricación, pues está muy unida a la estabilización, pues está muy unida a la estabilización, sobre todo en el procesado de los rígidos, donde la degradación durante la transformación es crítica. Existe lubricación interna, la cual se obtiene con ácido esteárico, estearatos metálicos y esterres de ácido graso y la lubricación externa, la cual se obtiene mediante el uso de aceites parafínicos, ceras parafínicas y polietilenos de peso molecular bajo. Los



lubricantes internos contribuyen a bajar las viscosidades de la función y a reducir la fricción entre las moléculas. Los lubricantes externos funcionan esencialmente emigrando hacia la superficie, donde reducen la fricción del plástico fundido y las paredes metálicas del extrusor, calandria, etc. Esta particularidad también es empleada para impartir propiedades finales al producto. De entre todos los lubricantes, el ácido esteárico es, con mucho, el más empleado.

#### **2.2.12.11. Espumantes**

Los espumantes o esponjaste son productos empleados para formar materiales con baja densidad y con efectos y propiedades celulares; muy usadas en recubrimientos de tela para tapicería. Se emplean principalmente plastisoles, aunque también es posible elaborarlos a partir de calandrados con resina de suspensión. Existen dos tipos de espumas para formulación de PVC; la química y la mecánica. La primera usa un producto químico orgánico que a cierta temperatura desprende dióxido de carbono y forma la célula o burbuja. La espuma mecánica, se produce exclusivamente con plastisoles y consiste en bajar la tensión superficial a tal grado que con agitación energética se forma la espuma o burbuja deseada. Este último proceso es prácticamente nuevo. Para el espumado químico, comúnmente para el espumado mecánico se usan siliconas. Existen también el PVC celular que es rígido y sigue similares principios de formulación, aunque muy diferentes de proceso.

#### **2.2.13. Como se produce el PVC**

Las resinas de PVC se pueden producir mediante cuatro procesos diferentes: Suspensión, emulsión, masa y solución. Con el proceso de suspensión se obtienen homopolímeros y copolímeros y es el más empleado, correspondiéndole cinco octavas



partes del mercado total. El proceso se lleva a cabo en reactores de acero inoxidable por el método de cargas la tendencia es hacia reactores de 15,000 Kilogramos.

En la producción de resinas de este tipo se emplean como agentes de suspensión la gelatina, los derivados celulósicos y el alcohol polivinílico, en un medio acuoso de agua purificada o de aireada. Algunas veces se hace necesaria el agua desmineralizada. Los catalizadores clásicos son los peróxidos orgánicos. Este tipo de resinas tiene buenas propiedades eléctricas. Con el proceso de emulsión se obtienen las resinas de pasta o dispersión, las que se utilizan para la formulación de plastisoles. Las resinas de pasta pueden ser homopolímeros o copolímeros; también se producen látices. En este proceso se emplean verdaderos agentes surfactantes derivados de alcoholes grasos, con objeto de lograr una mejor dispersión y como resultado un tamaño de partícula menor.

Dichos surfactantes tienen influencia determinante en las propiedades de absorción del plastisol. La resina resultante no es tan clara ni tiene tan buena estabilidad como la de suspensión, pero tampoco sus aplicaciones requieren estas características. El mercado de esta resina es de dos octavos del total de la producción mundial.

La producción de resina de masa se caracteriza por ser de “proceso continuo”, donde sólo se emplean catalizador y agua, en ausencia de agentes de suspensión y emulsificantes, lo que da por resultado una resina con buena estabilidad. El control del proceso es muy crítico y por consiguiente la calidad variable. Su mercado va en incremento, contando en la actualidad con un octavo del mercado mundial total.

La polimerización de las resinas tipo solución se lleva a cabo precisamente en solución, de este método se producen resinas de muy alta calidad para ciertas especialidades. Por lo mismo, su volumen de mercado es bajo. Dentro de la producción de resinas, tenemos varios procesos para modificar las propiedades de las mismas. La



copolimerización es uno de ellos, y tiene por objeto obtener temperaturas de fusión menores, lo que es especialmente benéfico para procesos de inyección, soplado y compresión. Los terpolímeros de vinilo-acetato son especialmente adecuados sobre todo si se necesita resistencia al impacto.

Otro proceso de modificación de las propiedades de las resinas es el de poscloración. Este consiste en la adición de cloro a la molécula de PVC, hasta un 66-68% de cloro. Este nivel de cloro adicional permite que se eleve la temperatura de distorsión de la resina, lo cual hace posibles nuevas aplicaciones, principalmente conducir líquidos con temperaturas hasta de 80°C. También existen los “composites” que son ligas que se hacen con objeto de mejorar las propiedades físicas del PVC, mezclándolo con fibra de vidrio o con fibras naturales como la seda, la lana o el algodón.

#### **2.2.14. Procesamiento del PVC**

##### **2.2.14.1. Calandreo**

En este proceso se elaboran principalmente películas y láminas (flexibles y rígidas, transparentes y opacas, espumadas o no, encogibles y orientadas, con y sin carga, con y sin pigmentos, etc.), en grandes volúmenes, empleando principalmente resinas de suspensión, homopolímeros o copolímeros.

El proceso en si consiste en hacer pasar un compuesto PVC por un juego de tres o más rodillos de considerable dimensión, alimentándose el compuesto previamente molido.

##### **2.2.14.2. Extrusión**

El equipo es original de la industria hullera, en cuyo extremo se encuentra un dado que da forma a un sin número de perfiles rígidos y flexibles, tales como cintas, cordones,



mangueras, tubos rígidos, perfiles para ventanas, puertas, cancelería, etc. En este equipo también se obtienen mediante un dado plano películas y láminas similares a las obtenidas por calandreo, aunque en dimensiones y volumen de producción menor. En este proceso se emplean exclusivamente resinas de suspensión homopolímeros y copolímeros.

#### **2.2.14.3. Inyección**

Este proceso también emplea casi exclusivamente las resinas de suspensión, aunque hubo equipo diseñado para emplearse con plastisol.

#### **2.2.14.4. Soplado**

Es un proceso combinado de extrusión y soplado para producir artículos huecos, donde se aprovecha el mismo principio que para la producción de botellas de vidrio. Es un proceso crítico e interesante para compuestos a base de homopolímeros de suspensión.

#### **2.2.14.5. Compresión o prensado**

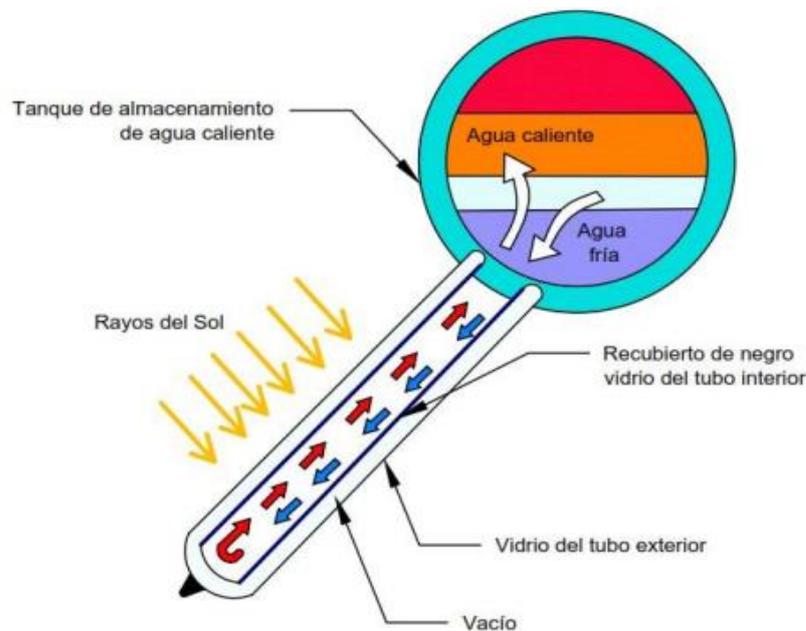
Este es un proceso poco común, empleado principalmente para la fabricación de discos fonográficos; consiste en un molde de dos partes con calefacción propia que acciona por presión, forma el producto deseado. En este proceso se emplea resina de suspensión copolímero.

Por comodidad, consideramos dentro de este apartado al termo formado; proceso mediante el cual se producen formas, empaques, blíster, etc.

#### **2.2.15. Principio de funcionamiento del sistema**

La radiación solar atraviesa la pared de las botellas y cae sobre la superficie de absorción de las mangueras negras, estas se calientan y transmiten el calor al agua, cual se empieza a calentar. Al aumentar la temperatura del agua dentro de los tubos del

colector, disminuye su densidad y entonces la columna de agua fría en la tubería de retorno al colector ya no queda equilibrada por la columna de agua caliente menos densa, por lo que la gravedad origina que baje el agua fría y desplace al agua caliente hacia arriba hasta el tanque de almacenamiento. De esta manera se establece un flujo por convección natural que transmite agua caliente hacia el tanque de almacenamiento y agua fría hacia el colector. Este flujo natural continua mientras exista suficiente calor para aumentar la temperatura del agua y la fuerza de empuje resultante pueda vencer las caídas de presión en el sistema como se muestra en la (figura 19).



**Figura 19.** Principio de funcionamiento del calentador solar de agua.

Fuente: molina (2008).

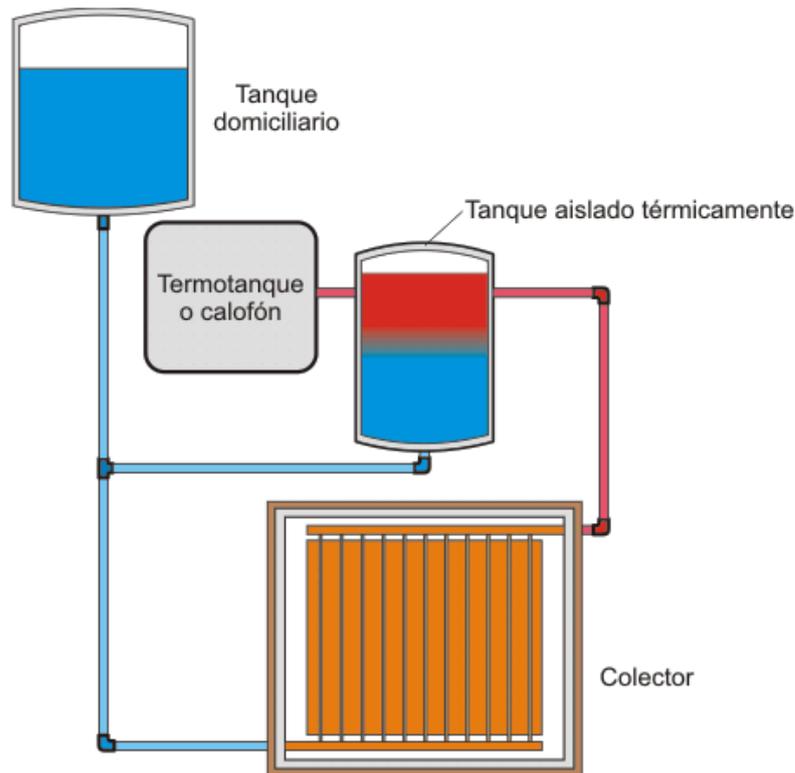
### 2.2.16. Calentamiento de agua para uso hogareño

En el siguiente esquema de instalación de un sistema de calentamiento de agua para uso hogareño, el sistema consta de:

- a) Un tanque domiciliario el cual ocupa el agua fría que abastece a todo el sistema de calor de agua.



- b)** Un colector plano con tubos paralelamente que transportan el fluido y ser calentado el (agua), posteriormente el agua sale a determinada temperatura del colector solar.
- c)** Un tanque aislado térmicamente en el cual concurren el agua caliente y el agua fría, en el tanque aislado térmicamente existen dos entradas de agua: una entrada de agua fría y una caliente, lo que sucede es que el agua caliente tiene menos densidad y tiende a moverse hacia arriba del tanque, en cambio el agua fría tiene más densidad lo cual hace que se quede en el fondo del tanque y ejerce una fuerza sobre el agua caliente y la empuje hacia el termotanque.
- d)** Un termotanque donde el agua debe estar disponible para el uso hogareño, pero la función principal de él es proporcionar agua caliente en días en los que el sol no ha logrado calentar lo suficiente.
- e)** Finalmente están las tuberías, las tuberías azules corresponden a aquellas que transportan el agua fría y las tuberías de color rojo transportan el agua caliente.



**Figura 20.** Esquema de un sistema de calentamiento de agua.

Fuente: Barrientos (2017).

### 2.2.17. Requisitos para uso instalación

En la inmensa mayoría de los hogares se reúnen las condiciones adecuadas para poder colocar un calentador solar. Los requisitos básicos son los siguientes:

- Un lugar en que se pueda colocar los colectores orientados al sur en el hemisferio y al norte en el hemisferio sur, y en los edificios de cubierta plana se simplifica mucho la instalación y el mantenimiento por la sencillez que presenta el acceso a la azotea. La inclinación y la orientación del colector sencillas y no ofrece problemas en este tipo de cubiertas planas.
- En las casas con cubierta inclinada es también perfectamente posible la instalación del calentador solar compensando la inclinación de la cubierta mediante la adaptación de la estructura metálica que soporta los colectores. Algunos



instaladores colocan objetos como ladrillos o similares, bajo la estructura sin modificar, para así corregir la inclinación. Normalmente es la empresa instaladora la encargada de solucionar estos aspectos que no suelen ofrecer problemas.

- Otro aspecto relacionado con la ubicación del calentador solar es el relativo a las sombras.
- Existe otro requisito de gran importancia para asegurar que el sistema funcione correctamente. Es necesario que la parte inferior del tinaco este a mayor altura que la parte superior del tanque de acumulación del calentador solar para que la presión sea dada por la propia gravedad del agua y la circulación del agua se dé con normalidad dentro del equipo. En caso de que la altura no sea suficiente siempre existe la posibilidad de elevar el tinaco lo necesario, que siempre será poco. Es conveniente, no obstante, evitar una gran diferencia de altura entre el tinaco y equipo solar compacto, para que un exceso de presión no dañe los componentes de la instalación, sobre todo en el caso de los equipos de tubo de vacío. Existen válvulas y otros medios para solucionar este problema que un instalador calificado sabrá utilizarlo. Por las mismas razones, en casas con grupos de presión o hidroneumáticos (con bomba) se deberá vigilar que la fuerza con que el agua entra al equipo no sea excesiva.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo explicaremos la metodología de cálculo a emplear y los objetivos que se persiguen con ella realizar el diseño y evaluación de un calentador solar realizado con materiales reciclados, se darán a conocer los instrumentos de medición que intervienen en el proceso, el impacto ambiental y el costo de producción de dicho calentador, el cual abarca una serie de pasos, dando lugar a los métodos necesarios para la mejor calidad deseada.

#### 3.2. ASPECTOS INICIALES

El calentamiento solar de agua para consumo doméstico, como alternativa para sustituir los calentadores tradicionales (eléctricos, a gas, etc.), es una opción atractiva, si se toma en cuenta las bajas temperaturas necesidades ( $40^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ ), además, desde el punto de vista de ahorro energético es la opción más favorable, ya que, en estos sistemas, la fuente de calor es la radiación solar, la cual sustituye los combustibles fósiles o a la electricidad.

#### 3.3. ÁREA DE ESTUDIO

El prototipo del colector solar de tubos verticales de PVC para la adquisición de datos y análisis se localizó en la región Puno está ubicada en la sierra sudeste del país, en la meseta del Collao a:  $13^{\circ}00'66''00''$  y  $17^{\circ}17'30''$  de latitud sur y los  $71^{\circ}06'57''$  y  $68^{\circ}48'46''$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Limita por el Sur, con la región



Tacna. Por el Este, con la República de Bolivia y por el Oeste, con las regiones de Cusco, Arequipa y Moquegua.

### 3.4. CONSUMO DE AGUA CALIENTE EN UNA CASA

Para definir el dimensionamiento de un calentador primero se debe definir cuánta agua caliente se requiere, tanto en forma simultánea como a lo largo del día.

Para el consumo de agua se tiene normado (Sección mexicana de international Solar Energy Society) un promedio de 9 litros/minuto.

### 3.5. CÁLCULOS DEL ÁREA DEL COLECTOR SOLAR

Para este caso se calcula dicha área en base a la cantidad que se desea agua caliente, dichas unidades se presentan en litros para el caso del agua y m<sup>2</sup> para el caso del área del colector, entonces se determina:

- Para el baño de una persona, cada una de esta debe utilizar como mínimo 50 litros (diariamente).
- Se debe determinar la cantidad de energía requerida, en volumen de agua caliente.
- Definir el área del colector

Entonces, se debe definir, en litros, en volumen de agua que se requiere calentar, a partir de la siguiente expresión:

$$L = (M)(C_P)(T_C - T_F)$$

Donde:

$L$  = Cantidad de litro requerida en el agua caliente (kJ/día).

$L$  = Cantidad de agua caliente requerida (lt/día).



$C_p$  = Calor específico del agua (4.2 kJ/kg °C)

$T_c$  = Temperatura del agua caliente requerida (50 °C)

$T_F$  = Temperatura del agua de la red pública (20 °C) en el sitio

Una vez calculada la energía requerida en el agua caliente, se determinará el tamaño del colector solar plano, utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{L}{(\eta_{solar}) (I_{max})}$$

Donde:

$A$  = Área del colector solar requerido ( $m^2$ ).

$L$  = Cantidad de litro que debe contener el agua caliente (kJ/día).

$\eta_{solar}$  = Eficiencia del colector solar (%).

$I_{max}$  = Radiación solar máxima diaria (kWh/ $m^2$ /día).

Nota: Estas ecuaciones han sido obtenidas de los estudios realizados por la asociación nacional de energía solar (Sección Mexicana de international Solar Energy Society)

### **3.6. LOS MATERIALES Y LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL CAPTADOR SOLAR DE PLACA PLANA**

Teniendo en cuenta lo visto en el fundamento teórico respecto de los principios de funcionamiento y de las tecnologías existentes en la actualidad, las mismas que han sido probadas con éxitos en diferentes latitudes del planeta, decidimos diseñar un prototipo que nos permita construir un modelo que tenga las misma dimensiones que los



captadores solares térmicos comerciales que existen en la región, con la finalidad de tener una base de comparación para realizar una evaluación comparativa entre nuestro modelo y los que existen en el medio.

Como se mencionó anteriormente, existen diferentes tipos de colectores, dentro de esos se encuentran:

- Placa plana
- Concentración
- Tubular

También se puso de manifiesto dos tipos de sistemas que existen para el calentamiento de agua a base de colectores.

- Pasivo o por circulación natural (termosifón)
- Activo o por circulación forzada (bombeo)

Este diseño consiste en el colector tipo placa plana y de sistema activo (bombeo), la descripción del sistema es:

- a) Circulación forzada; que se realizara por medio de una bomba aproximadamente de 1/3 de hp que conllevará un flujo constante de agua, para que ciclo pueda mantener siempre lleno el tanque de almacenamiento.
- b) Válvula check; para evitar en su momento el regreso de agua caliente, a las tuberías suministradoras y así se evite afectar el sistema.



- c) Tuberías de PVC; ya que están diseñadas para el transporte de agua caliente y comparada con el precio del cobre y es más conveniente, accesorios de PVC como codos y derivaciones en T.
- d) Tanque de almacenamiento; el cual consistirá en un barril aislado térmicamente con capacidad de 205 litros de agua.
- e) Dos cajas de madera; que son los captadores en donde la tubería se calentará para lograr así la mayor captación de energía térmica, se pintaran de color negro mate para permitir con más facilidad el proceso anterior.
- f) Una placa de vidrio; esta se encargará de dejar pasar los rayos infrarrojos del sol y no dejarlos salir, esta placa tiene que ser de material resistente.
- g) Fibra de vidrio; que se utilizó como material aislante para las cajas y para el tanque de almacenamiento.

Luego de diseñar la configuración geométrica del colector, procedimos a realizar algunos cálculos para estimar el área que debería tener nuestro colector y la energía necesaria para calentar el agua a una temperatura promedio de 40°C, suponiendo que la temperatura inicial fuera de 17°C y de esta manera corroborar la cantidad de botellas (PET) necesarias y el tamaño del colector a construir.

Para realizar el diseño del colector y los cálculos correspondientes hemos tenido que tener en cuenta algunos datos como las coordenadas geográficas de la región de Puno, que está ubicada en la sierra sudeste del país, en la meseta del collao a: 13°00'66"00" y 17°17'30" de latitud sur y los 71°06'57" y 68°48'46" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, temperatura promedio anual 20°C.



### 3.7. MATERIALES DE LA METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA

Se tiene la siguiente ecuación

$$L = (M)(C_P)(T_C - T_F)$$

Datos para el caso de la construcción de 50 litros de agua (diariamente) para el baño de las personas.

$M = 50 \times 4$  habitantes = 200 litros/ día.

$C_p$  = Calor específico del agua (4.2 kJ/kg °C)

$\Delta T = 30$  °C

$L = (200 \text{ ltrs/día}) (4.2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}) (30 \text{ } ^\circ\text{C})$

$L = 25,200$  KJ/día el dato a ocupar en la ecuación del colector es anual

**Entonces:**

$L = (25,200) (365 \text{ días})$

Se requerirá 9.072 millones de kJ/ año.

La cantidad de energía que se ha calculado en este punto es el total de energía que el agua contenida dentro del tanque térmico ha ganado durante todo el año.

**Para el área del colector**

De la ecuación

$$A = \frac{L}{(\eta_{solar})(I_{max})}$$

$\eta_{\text{solar}} = 74\%$  eficiencia del colector (referencia boiler de gas) típica-usado.

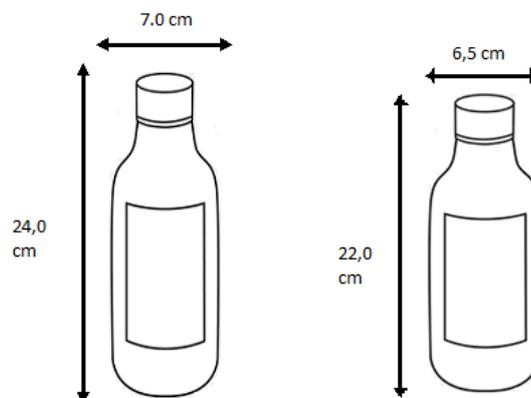
$I_{\text{máx}} = 5.58 \text{ kwh /m}^2 \text{ /día.}$

$$A = \frac{9.07}{74 \times 5.58}$$

$$A = 2.19 \text{ m}^2 = 2.00 \text{ m}^2.$$

El área del colector para poder calentar 200 litros de agua a una temperatura aproximadamente de  $50^\circ\text{C}$  dentro del captador.

Ahora como no se pudo conseguir todas las botellas (PET) del mismo tamaño, entonces el área calculada es de  $1.54 \text{ m}^2$ , porque existió una separación inevitable entre columnas y por lo tanto entre botellas (PET) que estarían alineada en filas, ver figura 21



**Figura 21.** Dimensiones de las botellas en nuestro diseño de colector solar.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR

#### 3.8.1. Selección de materiales para la fabricación del colector

Los materiales a emplear en la fabricación del calentador solar, pueden ser adquiridos con facilidad ya que en nuestro país existen varias entidades donde se pueden adquirir estos elementos a un precio módico, los mismo que se relacionan a continuación.



### 3.8.1.1. Materiales

- Se seleccionó tuberías de PVC para agua caliente de 1/2" x 5m para formar los ramales del colector, esto debido a que son un material de fácil acceso en el mercado, económico, sencillo para trabajarlo y de muy buenas propiedades termoplásticas.
- Se seleccionaron accesorios como codos, T, reductores (hembra y macho), tapón, adaptadores de transición. Todo esto, para la respectiva unión entre piezas.
- Se seleccionaron botellas (PET) de 500ml por su buen tamaño y disponibilidad en lo cotidiano y también se seleccionó cajas de tetra pack de 1L.
- Se utilizó papel de aluminio de aproximadamente 20 $\mu$ m de espesor y medidas de 17,5 x 21 cm, con el propósito de ser empleado como reflector plano en el fondo (piso) del colector.
- Se utilizó silicona de carro para ser empleado como pegante entre el papel aluminio y el fondo del colector, debido a sus propiedades como adherencia al plástico y alta resistencia a la temperatura.
- Se utilizó pegamento para tubos de PVC ya que este satisface las necesidades para la unión de la tubería con los accesorios en bajadas de agua y en el sistema de venteo en la condición de agua potable.
- Se seleccionó pintura de color negro mate a base de aceite por su gran capacidad de adherencia, tiene buenas propiedades conductoras y captación de calor.



- Fue seleccionado como tanque de almacenamiento el ya construido para el colector de placa plana comercial, debido al poco presupuesto con el que se disponía y porque ya se contaba con este dispositivo para instalarlo.
- también se utilizó listones de madera de 2" x 1" x 3m para la construcción del colector solar.
- Se utilizó masilla epoxica debido a sus propiedades mecánicas y gran resistencia a altas temperaturas y al desgaste ambiental.

### **3.8.1.2. Herramientas y accesorios**

Para la construcción del prototipo del colector solar, fue necesario contar con las siguientes herramientas y accesorios que se van a utilizar:

- Taladro eléctrico: 01 unidad
- Brocas para metal de diversas medidas: 01 unidad
- Wincha de longitud de 3 metros: 01 unidad
- Corta tubos para PVC: 01 unidad
- Sierra eléctrica: 01 unidad
- Desarmador estrella estándar: 01 unidad
- Desarmador plano estándar: 01 unidad
- Escuadra metálica: 01 unidad
- Brocha de cerda de 1" y 2": 02 unidades
- Serrucho para madera: 01 unidad



- Martillo

### 3.8.1.3. Componentes para la adquisición de datos de temperatura

Para la evaluación y el registro de temperaturas se empleó los siguientes componentes:

- Termómetro digital de Sonda para líquidos y sólidos: El termómetro digital sonda es una herramienta de medición muy útil que se utiliza para medir temperatura de sólidos y líquidos, ver figura 22.

#### **Especificaciones**

Material: Plástico y acero inoxidable

Color: Negro – rojo – plata

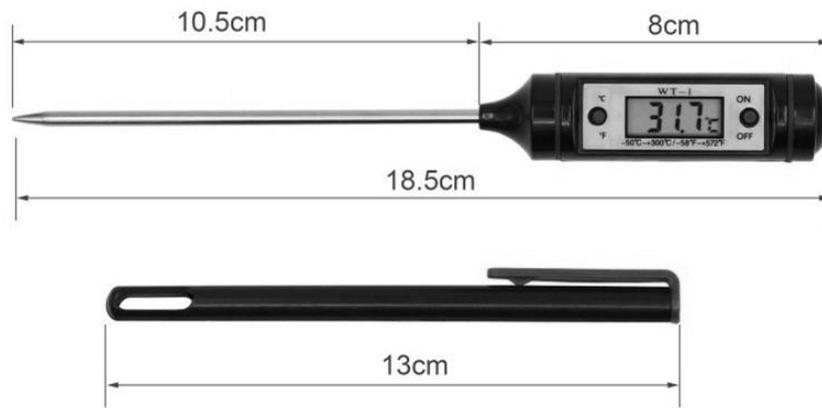
Tipo de batería: Batería botón AG13

Rango de temperatura:  $-50^{\circ}\text{C}$  -  $+300^{\circ}\text{C}$  ( $-58^{\circ}\text{F}$  -  $+572^{\circ}\text{F}$ )

Precisión: =  $1^{\circ}\text{C}$  / $^{\circ}\text{F}$

Longitud: 18.5 x 13 mm

Peso: 40g



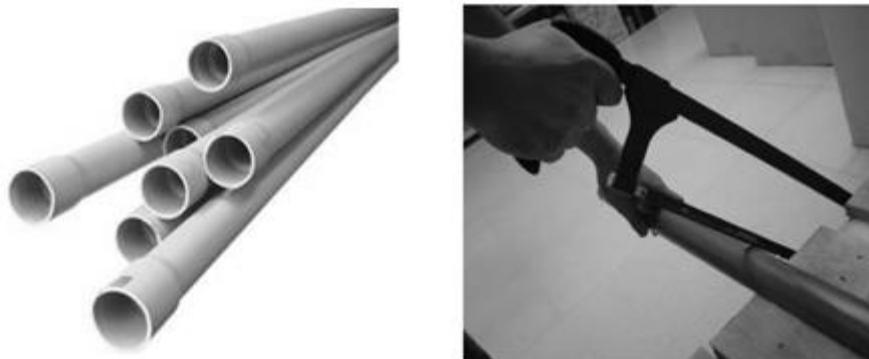
**Figura 22.** Termómetro digital.

Fuente: Elaboración propia

### 3.9. ENSAMBLADO DEL COLECTOR SOLAR

A continuación, se describe el procedimiento que se llevó a cabo para el desarrollo de la construcción del colector solar con botellas (PET) diseñado. Las dimensiones del colector están basadas en los cálculos que se hicieron en el capítulo de diseño y, en una proporción similar al colector de placa plana de bajo costo.

1. Se enderezo la tubería PVC de 1/2" x 5m, ya que al momento de ser adquiridas esta se encontraba en rollos, luego se cortaron 10 tubos de 1.54 m, de longitud para ser empleados como ramales del colector, ver figura 23.



**Figura 23.** Tubo cortado con la segueta.

Fuente: Elaboración propia

2. Una vez listo los 10 ramales, se procedió a cortar 18 trozos de la misma tubería con 5 cm de longitud, que, en conjunto con los ramales, T y codos se puede formar el circuito para el colector, ver figura 24.



**Figura 24.** Codos, tee y tubos de 1/2"x5cm.

Fuente: Elaboración propia.

3. Se seleccionaron 80 botellas de PET de 500ml, y 40 cajas de tetra pack de 1 litro. Para luego retirar las etiquetas y chapas de cada botella y se cortó su base, luego seguidamente las cajas de tetra pack se cortó la tapa y base para luego cortarlo verticalmente y se le dio forma de una botella, ver figura 25.



**Figura 25.** Proceso de corte de botella y cajas de tetra pack.

Fuente: Elaboración propia.

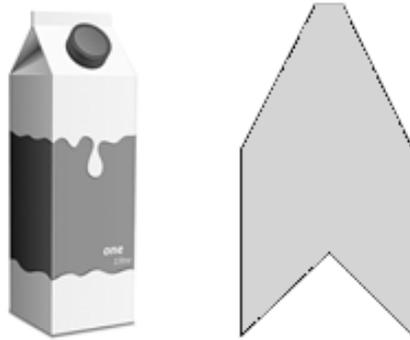
4. Después de tener las 80 botellas cortadas y 40 cajas de tetra pack pintadas de color negro mate se procede a ensayar el ensamble con los ramales sin utilizar pegamento adhesivo de PVC, para que luego de comprobar que tanto la tubería como las botellas y las cajas de tetra pack no presente ningún problema al momento de ensamblar, ver figura 26.



**Figura 26.** Prueba de ensamble.

Fuente: Elaboración propia.

5. Al verificar que la tubería ensamble perfectamente con las botellas y los accesorios, se procede a verificar que la caja de tetra pack que sería empleado como reflector en el interior de las botellas para que este acumule los rayos del sol hacia el foco que en este caso es la tubería de los ramales, ver figura 27.



**Figura 27.** Verificación de las cajas de tetra pack como reflector.

Fuente: Elaboración propia.

6. Después de haber hechos los cortes de cada parte del circuito del colector se procedió a realizar una primera capa de pintura de color negro mate, en total se le hicieron dos pasadas todo esto para lograr mayor atracción y absorción de calor hacia este mismo, figura 28



**Figura 28.** Tubería y accesorios pintados.

Fuente: Elaboración propia.

7. Luego de haber cortado las 40 cajas de tetra pack se procede a pegarlas al interior de cada una de las botellas, donde se utilizó como pegante la silicona de carro por su buena propiedad de adherencia entre plástico y la caja de tetra pack, ver figura 29.



**Figura 29.** Pegado de las cajas de tetra pack a alas botellas.

Fuente: Elaboración propia.

8. Después de haber pegado las 8 botellas entre sí, ya cada una con su caja de tetra pack en el interior, se procede a ensamblar con los 10 tubos de 1/2" (ramales) y se da forma al circuito del colector con botellas PET. En este punto se pegan las uniones entre accesorios y tubos, ver figura 30.



**Figura 30.** Pegado y ensamble del colector solar.

Fuente: Elaboración propia.

9. Por último, se utilizó listones de madera de 2" x 1" x 3m para la construcción del colector solar de acuerdo a las dimensiones de 1.65 m<sup>2</sup> de largo x 80 cm de ancho x 10 cm de alto, este material también fue adecuado a las dimensiones del vidrio para tener una medida que este en concordancia para la construcción del colector solar, ver figura 31.



**Figura 31.** Construcción de la caja del colector.

Fuente: Elaboración propia.

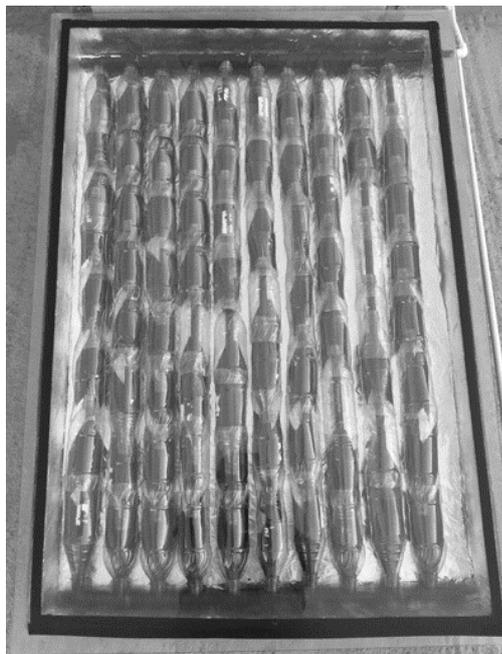
10. Se colocó la parrilla formada con tubos y las botellas PET en el interior del colector al cual se le había practicado agujeros en los lados laterales para la entrada y salida del agua fría y caliente respectivamente, figura 32.



**Figura 32.** Colocación de la parrilla formada con las botellas.

Fuente: Elaboración propia.

11. Se colocó la cubierta de vidrio en la cara superior del colector y se procedió a asegurarlo con silicona y pestañas de aluminio para evitar accidentes, ver figura 33.



**Figura 33.** Colocación de la cubierta de vidrio.

Fuente: Elaboración propia.



### **3.10. CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE AGUA DEL TERMOTANQUE**

A continuación, se describe el procedimiento que se llevó a cabo para el desarrollo de la construcción del tanque de almacenamiento:

1. Primeramente, se obtuvo la plancha de aluminio luego se hicieron uniones de gancho formando un cilindro (debe tener 5cm más de radio que el bidón de almacenamiento).
2. Realizamos 4 agujeros de 1/2” cada uno al bidón de PVC son los siguientes:
  - ✓ Entrada de agua de la red. Está a 70cm de fondo del depósito.
  - ✓ Salida de agua caliente de consumo. Está a 42 cm de fondo del depósito.
  - ✓ Entrada de agua caliente proveniente del colector solar. Está a 3cm de fondo y unido a él está conectado un tubo que lleva el agua caliente a 48cm por encima del fondo (normalmente esta distancia es los 2/3 de nivel de agua alcanzada en el tanque).
  - ✓ Salida de agua fría hacia el colector solar. Está a 3cm de fondo.
3. Luego se colocó alrededor de la cubierta, lana de vidrio en el bidón de PVC.
4. Por último, se colocó en el cilindro, el bidón de PVC con el aislante térmico.

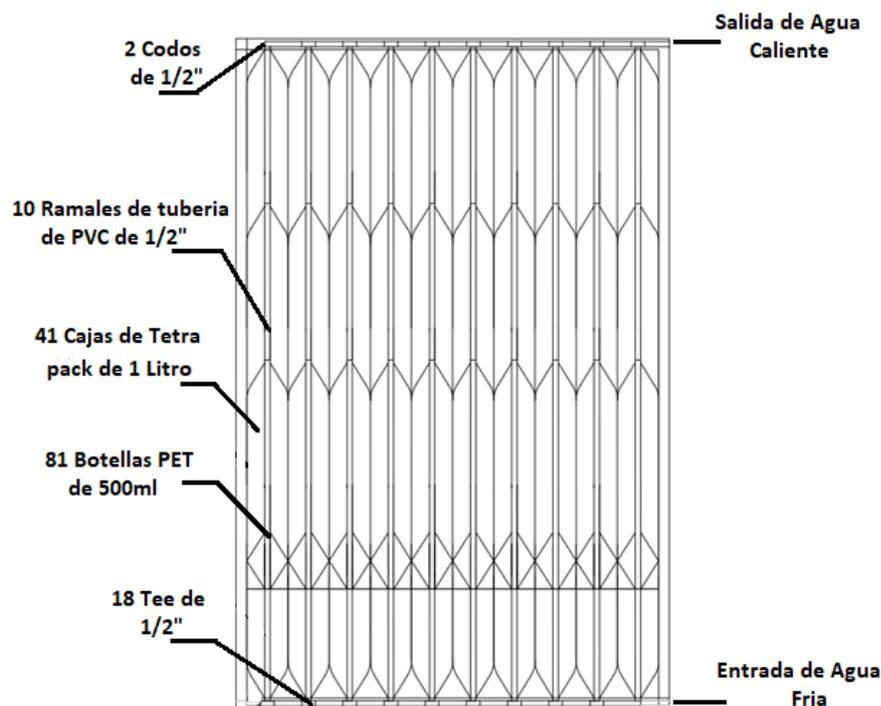
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. RESULTADO DEL DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR

El colector solar se ha diseñado teniendo en cuenta el funcionamiento de los colectores de placa plana y debido a que este sería comparado con otros colectores se optó por darle unas dimensiones considerables y muy parecidas a los colectores comerciales. El diseño del colector también se desarrolló pensando en que fuera posible ser utilizado en una casa ya sea en la ciudad; este diseño artesanal se utilizaron materiales de bajo costo y aparente de buena calidad, agregando que se usaron botellas PET, lo cual indica que es un diseño que cualquier persona puede construirlo sin ningún problema.

En la figura 34, se muestra el plano del colector de botellas reciclados PET que se espera obtener al término de su construcción.



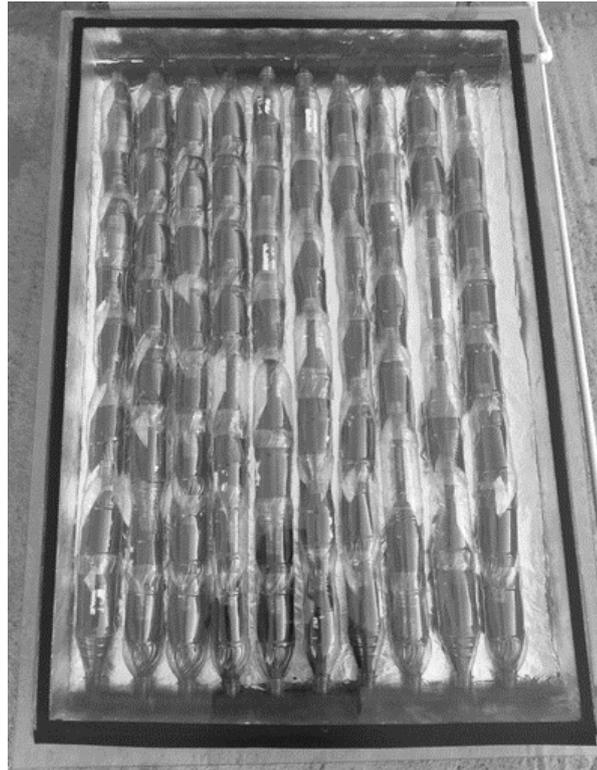
**Figura 34.** Diseño del colector solar.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2. RESULTADO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR

La terma solar construida es una alternativa simple de obtención de agua caliente domestico familiar, son de autoconstrucción, con materiales reciclados de fácil acceso y de resultados térmicos apropiados para uso sanitario.

En la figura 35 se observa el resultado de la construcción del colector solar casera.



**Figura 35.** Construcción del colector solar

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. EVALUACIÓN DE LA TERMA SOLAR

Se llenó con agua el sistema y se procedió a medir la temperatura del agua en la terma solar tanto en la entrada al colector solar y en final en el tanque de almacenamiento. Como la terma solar debe funcionar en cualquier condición climática, se determinó su capacidad en los siguientes tipos de días:

**Soleados**, días con presencia visible del sol.



**Combinados**, días con presencia y ausencia visible del sol.

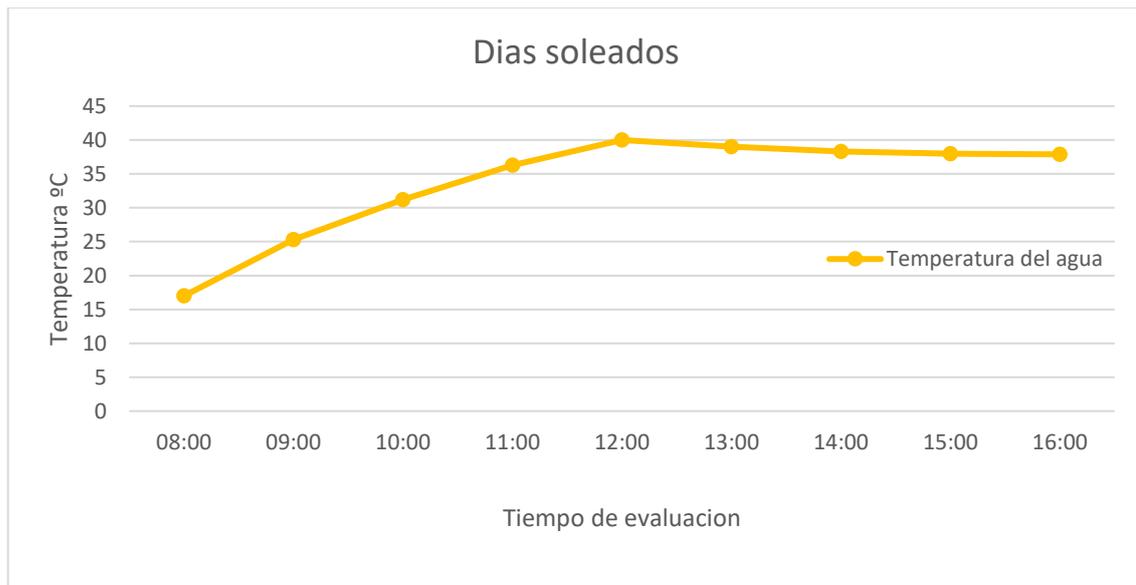
**Nublados**, días con ausencia visible del sol.

Los datos se determinaron en el periodo de 8 semanas, los días sábados y domingos desde las 8:00 horas hasta las 16:00 horas cada 30 minutos, este periodo nos otorgara un número de días suficientes para tener como mínimo 2 datos de cada tipo de día de a evaluar.

La radiación solar directa y difusa produjo el efecto invernadero en el interior del colector solar. El calor generado lo absorbió las cajas de tetra pack y las botellas de plástico pintadas de color negro mate. El calor absorbido por ambos componentes se transfirió al agua contenida, incrementando la temperatura del agua, ocasionando que disminuya su densidad, generando un termosifón natural que hizo que el agua fluya hacia el tanque de almacenamiento. Para cada evaluación se cambiaba completamente el agua del sistema.

#### **4.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DÍAS DE FUNCIONAMIENTO**

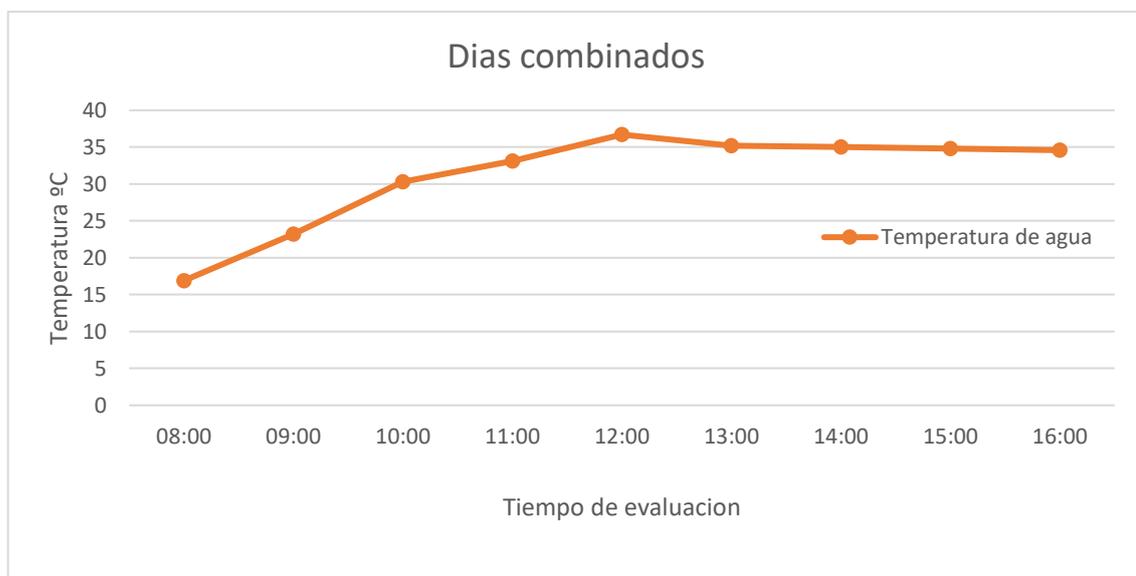
Se obtuvieron los datos por cada tipo de día: soleado, combinado y nublado, con ayuda de un termómetro el promedio de datos fueron los siguientes. La tabla de datos está en el anexo1.



**Figura 36.** Temperatura de agua en la terma solar durante días soleados.

Fuente: Elaboración propia.

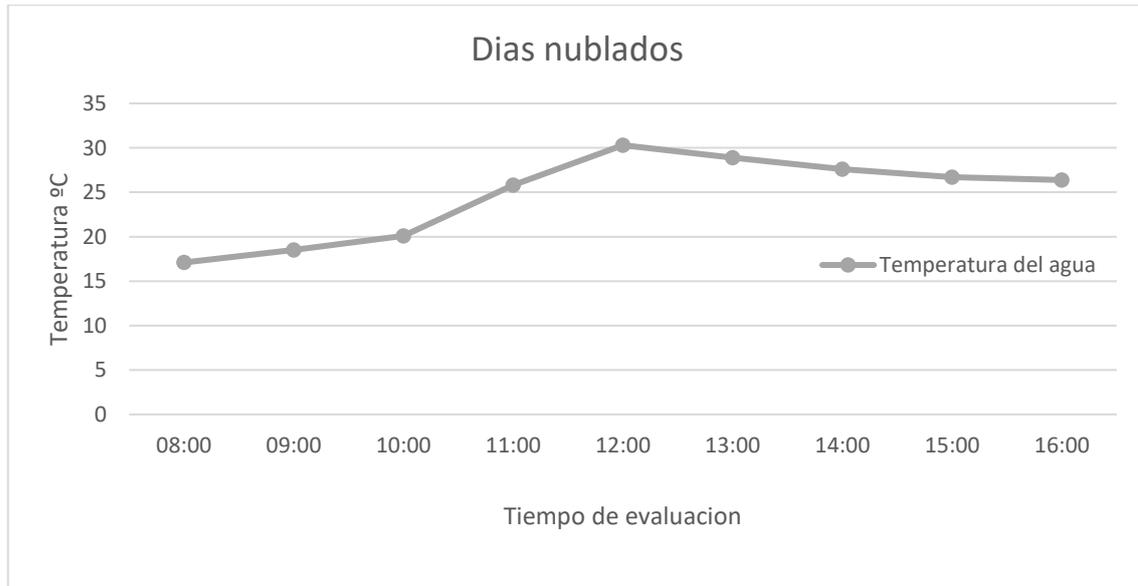
**Interpretación:** Al inicio de cada evaluación, el agua se encontraba en promedio a 17 °C, debido a que siempre se cambiaba toda el agua al sistema. Se observó un incremento constante de la temperatura durante el día, alcanzando una diferencia en su punto máximo de  $40 - 17 = 23$  °C.



**Figura 37.** Temperatura del agua en la terma solar durante días combinados.

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:** Al inicio de cada evaluación, el agua se encontraba en promedio a 17° C, debido a que siempre se cambiaba toda el agua al sistema. Se observó un incremento constante de la temperatura durante el día, alcanzando una diferencia en su punto máximo de  $37 - 17 = 20$  °C.



**Figura 38.** Temperatura del agua en la terma solar días nublados.

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:** Al inicio de cada evaluación, el agua se encontraba en promedio a 16 °C, debido a que siempre se cambiaba toda el agua al sistema. Se observó un incremento constante de la temperatura durante el día, alcanzando una diferencia en su punto máximo de  $32 - 16 = 16$ °C.

#### 4.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la presente investigación se determinó que el agua logra incrementar su temperatura por medio de la terma solar, dicha variación depende del tipo de día en el que nos encontremos, el agua en su punto máximo en los días soleados logra llegar hasta los 40 °C, en los días combinados hasta los 36 °C y en los días nublados hasta los 30 °C. Se observó que estos picos de incremento se dan alrededor del mediodía. Asimismo, se



determinó que el costo para construir la terma solar asciende a aproximadamente S/. 650 lo cual resulta viablemente económico pues se logra ahorrar al no consumir energía eléctrica y combustible alguno.

La energía solar térmica es la solución más barata, disponible, segura y limpia para instalación con un consumo importante de agua caliente, como las viviendas, cuyo empleo permitirá el ahorro de grandes cantidades de petróleo, gas, electricidad y biomasa.

Con el propósito de eliminar de forma gradual y progresiva la utilización de combustibles fósiles como el carbón mineral, el petróleo y sus derivados; y en vez de ellos utilizar las energías limpias y renovables, se debe crear conciencia y lograr el compromiso necesario de la industria, los políticos y los usuarios finales a favor de las tecnologías limpias y el servicio que prestan; en este sentido, se debe promover la utilización e instalación domiciliaria de termas o calentadores solares.

#### **4.6. EVALUACIÓN DE COSTO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR**

La evaluación económica de proyectos tiene por objeto identificar las ventajas y desventajas asociadas a la inversión en un proyecto antes de la implementación del mismo. La evaluación económica es un método de análisis útil para adoptar decisiones racionales ante diferentes alternativas. Es frecuente confundir la evaluación económica con el análisis o evaluación financiera. En este segundo caso se considera únicamente la vertiente monetaria de un proyecto con el objetivo de considerar su rentabilidad en términos de flujos de dinero.

Mientras que la evaluación económica integrada en su análisis tanto los costes monetarios como los beneficios expresados en otras unidades relacionadas con las



mejoras en las condiciones de vida de un grupo. Podemos hablar entonces de rentabilidad o beneficios de tipo social.

La definición mencionada debería ampliar su campo de análisis hacia otros ámbitos de las relaciones sociales, como por ejemplo la calidad de esas relaciones sociales, la equidad en la distribución de los ingresos, la equidad entre sexos, la equidad en el uso de servicios de primera necesidad, la equidad en las posibilidades de educación, salud, higiene, etc. Son enfoques que se añaden a esa definición y que, en consecuencia, se deberían incorporar a ella ante las diferentes situaciones en que nos podamos encontrar: un proyecto de salud, de empoderamiento de las mujeres, de vivienda, deservicios, etc. Todos ellos son susceptibles de ser analizados desde el punto de vista “económico”, pero cada uno de ellos incorporar matices y contenidos que lo diferencian del análisis que habría que realizar en los otros sectores.

Normalmente es fácil cuantificar los costes, porque en todo proyecto hay un gasto de dinero. Por el lado de los beneficios la cuestión se complica si no se trata de beneficios monetarios. Es decir, si hablamos, por ejemplo, de empoderamiento de las mujeres, de participación de las y los jóvenes, de capacidades desarrolladas por una comunidad, etc. Nada de esto se puede traducir a dinero, pero el análisis económico propone una cuantificación numérica de los objetivos mencionados y esto ayuda (solo es una ayuda) a tomar decisiones sobre bases bien fundadas.

En cuanto de plantear los distintos enfoques que existen para abordar un análisis económico vamos a establecer los tipos de costes y de beneficios que se encuentran en los proyectos de desarrollo social.

A grandes rasgos los costes de cualquier proyecto se pueden incluir en los cuatro tipos que se señalan a continuación:



- **Costes directos.** Gastos de inversión en bienes muebles e inmuebles, personal, formación, etc. Se relacionan directamente con alguna o algunas de las actividades y resultados planificados. Por ejemplo, la compra de una prensa motorizada para la producción de aceite de girasol, que antes se producía con una prensa manual, en un gasto que se vincula directamente con el resultado “aumento de la productividad de la fábrica de aceite”.
- **Costes indirectos.** No están relacionados directamente con actividades o resultados, sino con el conjunto de ellos. Se les suele llamar gastos de administración o de funcionamiento y se refieren al pago del alquiler de oficinas, electricidad, compra de ordenadores para la administración, etc. En el ejemplo citado, se necesitaría una persona para llevar la contabilidad del conjunto del proyecto, no solo de los gastos de maquinaria y materia prima, sino también del personal de producción y comercialización, de promoción, etc. El coste de esa persona se puede considerar como indirecto.
- **Costes valorizados.** Se corresponden con alguna actividad o servicio que no tiene una contraprestación monetaria, sino que esa actividad o servicio se presta de manera solidaria. Por ejemplo, la mano de obra no cualificada que aporta una asociación de padres y madres para la construcción de una escuela. Aunque no cobran por ese trabajo, es necesario estimar su coste valorizado haciendo un cálculo de las horas dedicadas, y multiplicándolas por el salario medio de la zona o del país para la mano de obra no cualificada.
- **Coste de oportunidad.** Es el coste en el que se incurre por seleccionar una alternativa (un tipo de proyecto) y rechazar otra u otras. En el caso citado de construcción de una escuela se podrían haber considerado dos alternativas: trabajo



voluntario de padres y madres o contratación de mano de obra no cualificada. Si tomamos la primera alternativa, el coste de oportunidad es lo que dejan de ganar padres y madres por tener que dedicarse a esa actividad.

La determinación de los costos surge como consecuencia lógica y fundamental del propio estudio técnico puesto que este permitirá estimar y distribuir los costos del proyecto en términos totales y unitarios, con lo cual se estará determinando la cantidad de recursos monetarios que exige el proyecto.

**Tabla 5.** Presupuesto del colector solar placa plana.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo S/</b>
Tubos PVC ½" X 5m	3	54.90
Codos ½" (90°)	8	10.70
Tee ½"	18	41.40
Pegamento PVC	1	35.00
Spray negro mate	4	16.00
Cortatubos PVC	1	28.00
Taladro percutor eléctrico	1	160.00
Silicona	1	10.00
Lana de fibra de vidrio	1	70.00
Madera de 1,60 x 1,80 metros	1	40.00
Triplay	1	34.00
Tacho aislado	1	60.00
Vidrio transparente	1	40.00
Gastos Imprevistos	1	50.00
<b>TOTAL</b>		<b>650.00</b>

El coste de diseño y construcción del calentador solar es de S/650,00



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La fabricación de thermas solares se realizan con diferentes materiales en el presente trabajo se presenta una alternativa con PVC y no con cobre por reducir gases en la soldadura de la tubería.

**SEGUNDA:** El diseño de la terma solar y su aplicación sirve para aportar modelos de desarrollo en equipamientos solares como también el uso y fabricación de nuevas tecnologías y métodos para lograr sistemas altamente eficientes.

**TERCERA:** Se logró la construcción, el ensamblado e instalación de un calentador solar con medio reciclable de botellas PET, que consta de un colector con un área captadora de energía solar de un m<sup>2</sup>, y un termo tanque con una capacidad de almacenamiento de agua 25 litros.

**CUARTA:** Se evaluó el funcionamiento del calentador solar, donde se obtuvo que el mismo logra temperaturas de salida del agua entre 40 y 60°C, para una eficiencia acorde a estos tipos de calentadores de alrededor de un 33%, y un numero de colectores igual a la unidad.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** La terma solar debe ser instalada teniendo en cuenta la dirección del sol, de manera que reciba la radiación solar durante todo el día.

**SEGUNDA:** Las tuberías deben ser aisladas para evitar pérdida de temperatura en el agua.

**TERCERA:** Usar el agua caliente de preferencia en horas de la tarde ya que en esas horas es cuando el agua almacenada en el tanque alcanza su máxima temperatura.

**CUARTA:** Revisar y limpiar periódicamente toda la instalación.

**QUINTA:** Realizar una investigación similar a este trabajo de tesis, pero construido con 80 botellas de plástico de 500 ml y 40 cajas de tetra pack con tubería de 1.54 m, que contribuya al planteamiento de estándares que mejoren los resultados, con el propósito de tener una fuente alterna de energía, que se enfocara en la recuperación y reutilización de las botellas plásticas y las cajas de tetra pack.

**SEXTA:** Destacar que este trabajo puede servir para el desarrollo de más proyectos con el fin de seguir mejorando el prototipo aquí fabricado.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, M. A. (2005). *Sistemas fotovoltaicas "SAPT Publicacion tecnicas sl."*
- Bustamante, H. (2002). *Usos de la energia solar en el Peru, VII Simposio Peruano de Energia Solar.*
- Cabirol, T. (1978). *El colector plano de efecto de invernadero y el calentador solar de agua.*
- Calle, J. & Fajardo, J. (2010). *Agua caliente sanitaria de uso domestico con energia solar.*
- Conesa, J. A. (2013). *Mecanismo de transmision de calor conduccion, conveccion, radiacion.*
- Cora, L. S. (2009). *Colectores solares para agua caliente, INENCO, UNSa - Conycet, Salta.*
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A. (1991). *Solar engineering of thermal processes John Wiley & Sons.*
- Espejo, C. (2004). *La energia solar fotovoltaica.*
- Flores, C. (2018). *Diseño de una terma solar de tubos al vacio para las condiciones ambientales.*
- Flores, C. (2014). *Evaluacion tecnica y economica de sistemas de calentamiento solar de agua para servicios comerciales.*
- Martinez, P. R. (2009). *Energia solar termica: Tecnicas para su aprovechamiento.*
- Ortega, M. (2000). *Energia renovables.*



Vivar, E. & Prado, R. (2014). *Estudio energetico de los colectores solares para el calentamiento de agua.*



# ANEXOS



## Anexo 1. Datos experimentales

**Tabla 6.** Datos experimentales promedio para días soleados.

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura del agua en el tanque</b>	<b>Temperatura Ambiental (°C)</b>
08:00	17.0	19.2
09:00	25.3	22.3
10:00	31.2	24.9
11:00	36.3	25.5
12:00	40.0	24.8
13:00	39.0	24.7
14:00	38.3	25.4
15:00	38.0	23.9
16:00	37.9	20.9

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.** Datos experimentales promedios para días combinados.

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura del agua en el tanque</b>	<b>Temperatura Ambiental (°C)</b>
08:00	16.9	17.1
09:00	23.2	19.1
10:00	30.3	23.3
11:00	33.1	25.7
12:00	36.7	24.3
13:00	35.2	21.1
14:00	35.0	25.3
15:00	34.8	20.2
16:00	34.6	19.9

Fuente: Elaboración propia.



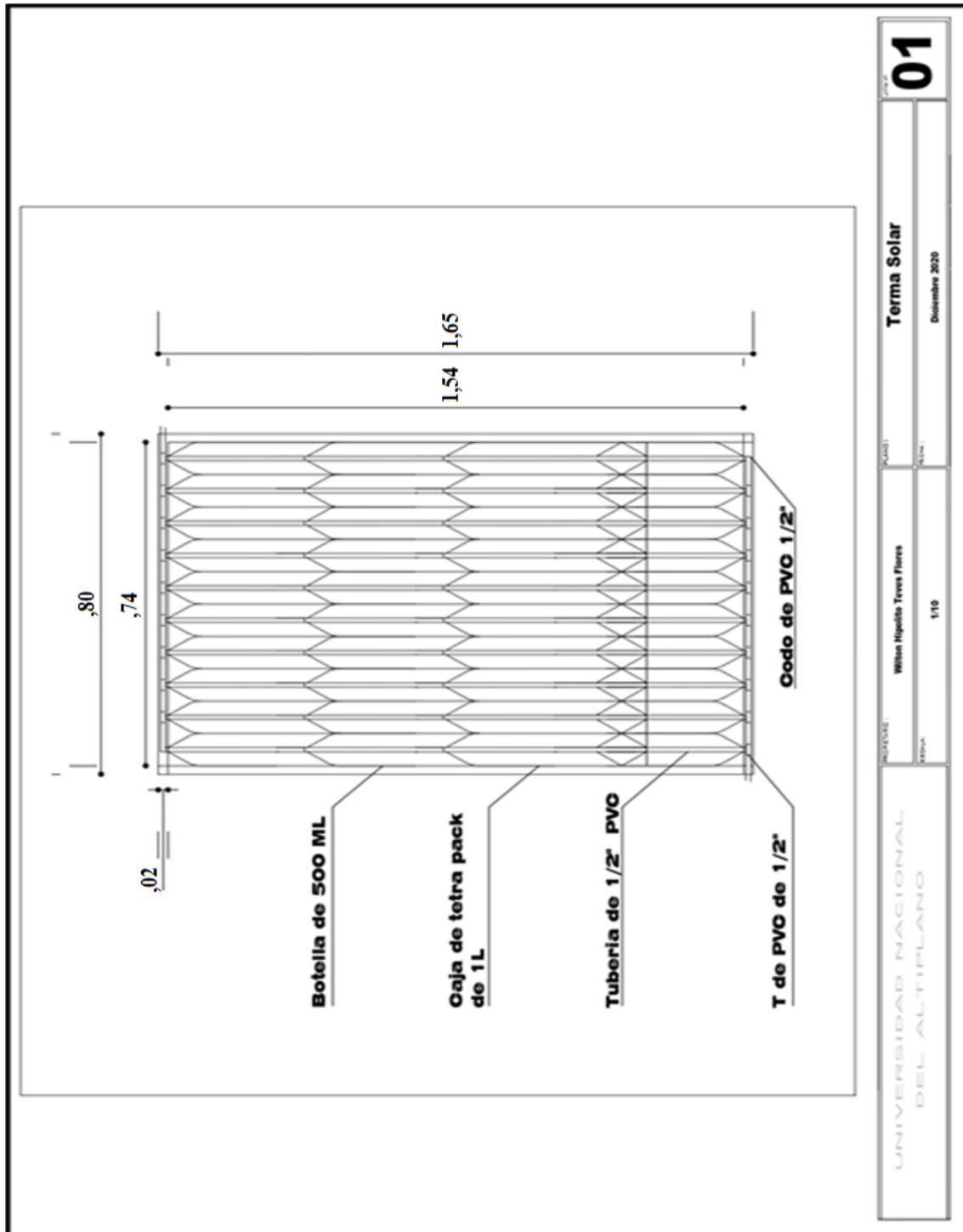
**Tabla 8.** Datos experimentales promedios para días nublados.

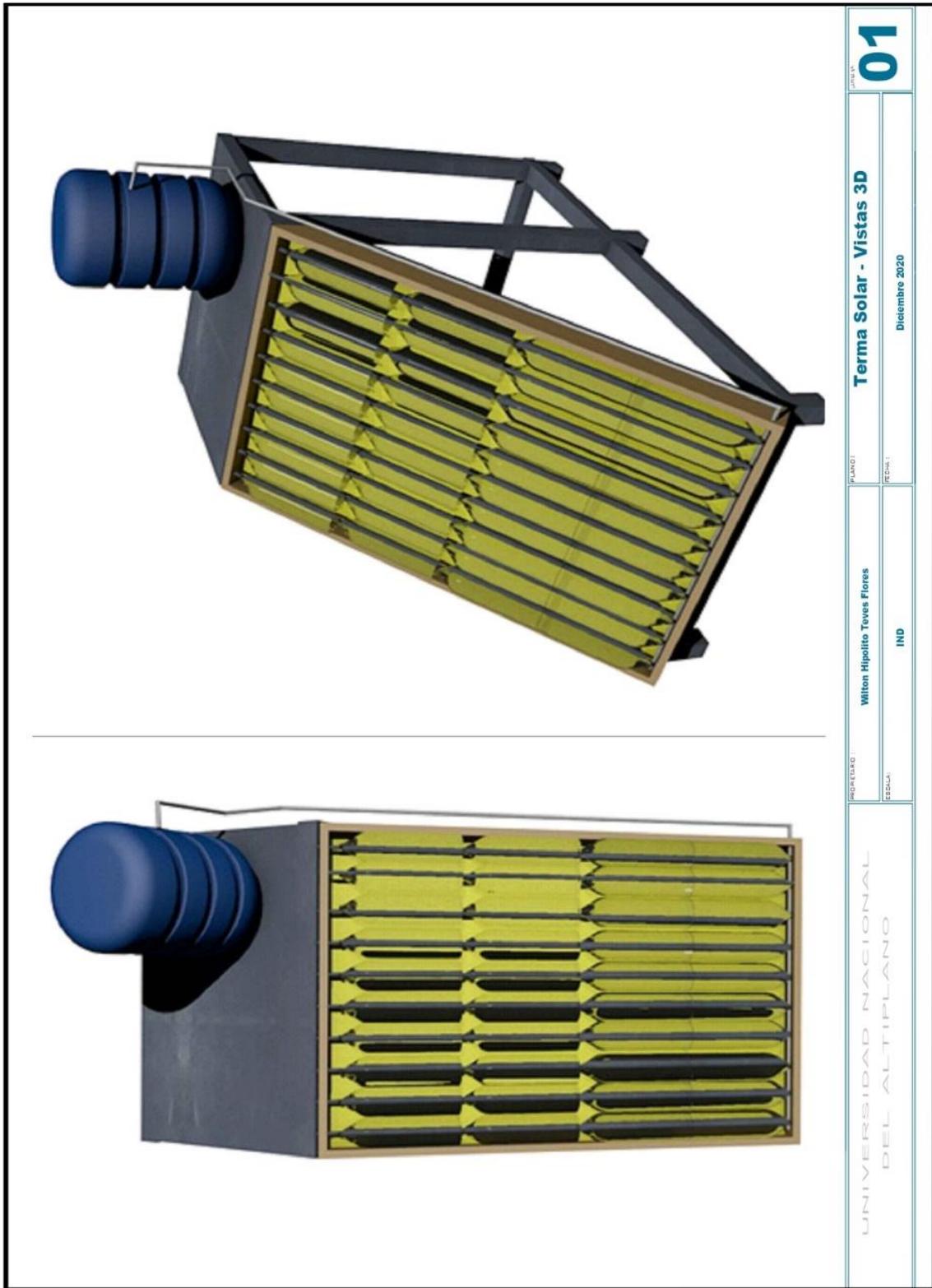
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura del agua en el tanque</b>	<b>Temperatura Ambiental (°C)</b>
08:00	17.1	11.8
09:00	18.5	21.8
10:00	20.1	21.6
11:00	25.8	24.9
12:00	30.3	28.8
13:00	28.9	25.1
14:00	27.6	24.3
15:00	26.7	23.5
16:00	26.4	22.0

Fuente: Elaboración propia.

\* Los datos por cada tipo de día representan el promedio de la toma de 2 datos como mínimo para establecer la tabla promedio de temperaturas.

## Anexo 2. Planos de la terma solar





UNIVERSIDAD NACIONAL  
DEL ALTIPLANO

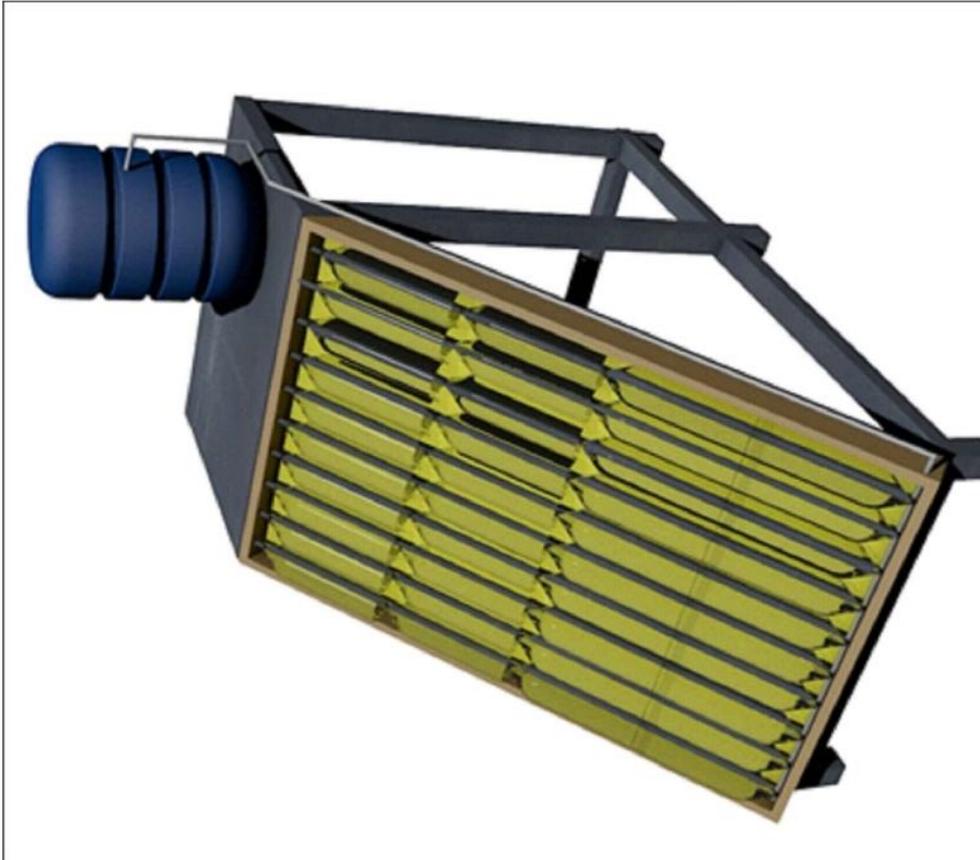
PROFESOR :  
Wilton Hipolito Teves Flores

IND

PLANO :  
Terma Solar - Vistas 3D

FECHA :  
Diciembre 2020

01



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DEL ALTIPLANO

PROFESOR:  
REGULA:

Wilton Hipolito Teves Flores

IND

PLANO:

FECHA:

**Terma Solar - Vistas 3D**

Diciembre 2020

02

### Anexo 3. Fotografías de la terma solar



Estructura Final de la Terma solar



Medición de la temperatura del tanque de almacenamiento.