



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**“DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE RENDIMIENTO DE UN  
COLECTOR SOLAR TERMICO PLANO”**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER**  
**KAROL MADELEY COLQUE LACUTA**

**DOCENTE ASESOR**  
**Mg. Ing. DENIS PILARES FIGUEROA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

*Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis padres **AUGUSTO PERCY COLQUE CUAYLA** y **NORMA LACUTA CACHA** por el sacrificio y esfuerzo de ambos, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, por haberme enseñado e inculcado con el ejemplo y sobre todo poner a Dios antes que a todo, ustedes siempre serán mi mayor ejemplo a seguir, esa inspiración para poder seguir adelante y cumplir con las metas que trazo a lo largo del camino, aunque hubiéramos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor infinito.*

*A mis hermanas Mychelt, Verenice y Yhamirdaniel Colque Lacuta quienes con sus palabras de aliento y su inmenso cariño no me dejaban decaer y me motivaban para que siguiera adelante y siempre me decían que sea perseverante y cumpla con mis ideales.*

*Porque sin ustedes no hubiera podido lograr cumplir esta meta. Los amo familia.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por su amor y bondad infinita, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.*

*A la universidad Alas Peruanas, mi alma mater, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron participes de este proceso, ya sea directa o indirectamente, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.*

*Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo que me dieron y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.*

*A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xvi
<b>CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>18</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática	18
1.1.1. Caracterización del problema	18
1.1.2. Definición del problema	21
1.2. Formulación del problema	21
1.2.1. Problema general	21
1.2.2. Problemas específicos	21
1.3. Objetivo de la investigación	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos	22
1.4. Justificación de la investigación	22
1.4.1. Justificación teórica	22
1.4.2. Justificación Metodológica	23

1.4.3. Justificación Práctica	24
1.5. Importancia de la investigación	24
1.6. Limitaciones de la Investigación	25
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>26</b>
2.1. Marco referencial	26
2.1.1. Antecedentes de la Investigación	26
2.1.2. Referencias históricas	28
2.2. Marco legal	33
2.2.1. Ley General del Ambiente	33
2.2.2. Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental D.S. N° 008-2015-PCM	35
2.2.3. Decreto Legislativo N° 1013 Aprueba la creación Organización y fun- ciones de Ministerio del Ambiente	35
2.2.4. Norma Técnica Peruana N° 399.400 2001 Colectores solares. Método de ensayo para medir la eficiencia de los colectores solares	35
2.3. Marco conceptual	35
2.4. Marco teórico	39
2.4.1. La energía solar	39
2.4.2. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú	63
<b>CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO</b>	<b>67</b>
3.1. Tipo y nivel de la Investigación	67
3.1.1. Tipo de la investigación	67
3.1.2. Nivel de la investigación	67

3.2.	Método de la Investigación	68
3.3.	Diseño de la investigación	69
3.4.	Hipótesis de la investigación	71
3.4.1.	Hipótesis general	71
3.4.2.	Hipótesis específicas	71
3.5.	VARIABLES	72
3.5.1.	Variable independiente	72
3.5.2.	Variable dependiente	72
3.6.	Cobertura del estudio de investigación	72
3.7.	Técnicas de instrumentos y fuentes de recolección de datos	72
3.7.1.	Técnicas de la investigación	72
3.7.2.	Instrumentos de la investigación	72
3.7.3.	Fuentes de Recolección de Datos	73
3.8.	Procesamiento Estadístico de la Información	75
3.8.1.	Estadísticos	75
3.8.2.	Representación	75
 <b>CAPÍTULO IV: ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		
	<b>RESULTADOS</b>	<b>76</b>
4.1.	Presentación de Resultados	76
4.1.1.	Resultados parciales	76
4.1.2.	Resultados Generales	79
 CONCLUSIONES		 83
RECOMENDACIONES		84

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N° 1</b>	<b>PARÁMETROS REFERENCIALES DE DIFERENTES COLECTORES SOLARES</b>	<b>77</b>
<b>TABLA N° 2</b>	<b>TEMPERATURA DE INGRESO AL COLECTOR</b>	<b>79</b>
<b>TABLA N° 3</b>	<b>RESULTADOS DE LA EFICIENCIA INSTANTÁNEA DEL COLECTOR</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1 IRRADIACIÓN SOLAR ESPECTRAL	40
VARIACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE	
GRÁFICO 2 MEDICIONES DE RENDIMIENTO	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>FLUJOGRAMA DEL PROCESO</b>	<b>90</b>
<b>IMAGEN N° 1 PROCESO DE CIRCULACION DE AGUA CALIENTE</b>	<b>91</b>
<b>IMAGEN N° 2 TANQUE DE AGUA FRÍA</b>	<b>91</b>
<b>IMAGEN N° 3 COLECTOR SOLAR PLACA PLANA</b>	<b>92</b>
<b>IMAGEN N° 4 TANQUE DE AGUA CALIENTE</b>	<b>92</b>
<b>IMAGEN N° 5 COLECTOR SOLAR TÉRMICO PLANO</b>	<b>93</b>

## **RESUMEN**

En este trabajo se ha llevado a cabo un análisis del nivel óptimo de rendimiento de un colector solar plano. Este ha sido uno de los objetivos fundamentales del trabajo y constituye la aportación al conocimiento dentro del campo de la energía solar térmica.

Dicho trabajo pretende aportar conocimiento aplicable para ayudar a satisfacer una necesidad que ya resulta grave: el crecimiento sustentable del país y el mejoramiento del nivel de vida de su población.

El calentamiento solar de agua es un proceso que puede ser más económico que los procedimientos que utilizan combustibles fósiles, además de que sus impactos al medio ambiente son prácticamente nulos. En otras partes del mundo el calentamiento solar es una alternativa aplicada con gran amplitud

La importancia de esta investigación es que pueda ser llevado a cabo en cualquier lugar y por cualquier persona, que además sean necesarios la menor cantidad de recursos posibles.

**Palabras clave:** Captador solar semiesférico, Energía solar térmica, Factor de captación Coeficiente de pérdidas térmicas, Balance energético, Rendimiento óptico, Rendimiento térmico.

## **ABSTRACT**

In this work an analysis of the optimum performance level of a flat solar collector has been carried out. This has been one of the fundamental objectives of the work and constitutes the contribution to knowledge within the field of solar thermal energy.

This work aims to provide applicable knowledge to help meet a need that is already serious: the sustainable growth of the country and the improvement of the standard of living of its population.

Solar water heating is a process that can be cheaper than processes that use fossil fuels, in addition to their impacts on the environment are virtually zero. In other parts of the world, solar heating is an applied alternative with great amplitude

The importance of this research is that it can be carried out in any place and by any person, who also need the least amount of resources possible.

**Keywords:** Hemispherical solar collector, Solar thermal energy, Capture factor Coefficient of thermal losses, Energy balance, Optical performance, Thermal efficiency.

## **INTRODUCCIÓN**

Nuestro país, cuenta con un alto potencial del recurso energético solar que la convierte en una zona altamente potencial para las diferentes aplicaciones de este tipo de energía. En el mercado regional y nacional existen termas solares, las cuales se usan a nivel doméstico e industrial, fabricados por empresas locales en forma artesanal e industrial, pero que actualmente no cuentan con la certificación de calidad correspondiente, ni cumplen normas técnicas en su fabricación y funcionamiento, ello debido fundamentalmente a que ningún organismo estatal haya establecido oficialmente normas de calidad de fabricación y funcionamiento. Para establecer normas de calidad de termas solares en su fabricación y funcionamiento, es necesario establecer las metodologías de evaluación experimental y las especificaciones técnicas de los equipos e instrumentos a utilizar; a efectos de cuantificar los parámetros que la caracterizan: como ser la eficiencia técnica, las curvas de variación térmica, la resistencia a la presión y a

los choques térmicos, a efectos de certificar su calidad y garantizar el uso y difusión sostenible, según referencia de estándares internacionales.

La presente tesis comprende los siguientes capítulos:

En el Capítulo I: Se presenta el marco contextual, que incluye el planteamiento del problema, Objetivos y otros relacionados a la Fundamentación del problema.

En el Capítulo II: Se presenta el Marco Teórico: Antecedentes, Conceptos y Fundamentos teóricos.

En el Capítulo III: La metodología que se emplea o se emplearía en el estudio que se tiene que realizar.

En el Capítulo IV: Se presente el trabajo estadístico que se propone alcanzar a modo de ejemplo o resultado a nivel de ensayo o piloto.

Está en vuestras entendidas manos para que puedan alcanzar las recomendaciones que mejoren el presente trabajo.

**LA AUTORA**

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.**

#### **1.1.1. Caracterización del problema.**

Actualmente la crítica situación energética mundial de nuestros días ha hecho volver los ojos hacia el campo de las energías no convencionales y renovables, como la energía solar por ejemplo. Nos debe interesar el estudio de las energías no convencionales, ya que cada vez, se pone más en evidencia el empleo de estos tipos de energía en muchas localidades ya sea en zonas, rurales -urbanas, así se denota el problema de la disponibilidad de recursos energéticos renovables que en gran medida son desaprovechados. A su vez el desarrollo tecnológico

determina la utilización de ciertos tipos de energía, y por tanto, la disponibilidad de ese recurso.

Es cierto que el rendimiento es un factor para que las aplicaciones energéticas se desarrolle óptimamente, no se llegan a concretar lo cual son los principales problemas que se ha venido sucintando ,ya que en nuestro país, con la diversidad de climas que hay, (cosa que otros países solucionan con la determinación de esquemas adecuados para cada caso) el salir a vender sistemas básicamente todos iguales, sin aclarar exactamente qué pasa frente a ciertos factores climáticos y que en si funcionan igual o semejantes a los demás colectores ya que no existen estudios realizados en diferentes localidades que se ajusten a sus condiciones.

**RENOVA**, (2011)

Por otro lado la deficiencia en saber cuánta agua se desperdicia en condiciones de estancamiento por exceso de calor, que ventajas y desventajas tiene cada sistema (generalmente su desgaste por el tipo de sistema en sí y sus componentes, por accidentes de funcionamiento/climáticos, es una actitud que no se conocen ya se por el debido estudio de su funcionamiento o por elaboraciones empíricas al construirlo. <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erSO/er11.php> (2009).

Uno de los aspectos negativos es que al contar con una producción y venta de colectores solares. Sin una etiqueta que mencione la eficiencia de un equipo nuevo a ser comprado, no garantiza su funcionamiento, debido a que no se

conocen en el Perú normas de performances, fabricación, calidad que deban cumplirse. **NAVTOFT, CHRISTIAN.**

La mejora continua y la competitividad no pueden lograrse si los equipos locales no pueden compararse con los de afuera. Por esto es que los colectores de afuera se difunden más: porque su calidad está certificada de forma indiscutible bajo procedimientos acordados por consenso entre los responsables técnicos de cada instituto involucrado. Estos procedimientos no solo indican el rendimiento térmico y calidad del sistema sino que además le permite identificar al usuario cual es el equipo que más le conviene usar. Es justamente con la curva de rendimiento térmico en colectores y de calor útil en equipos, que el usuario puede saber exactamente cuánto es la cantidad que el necesita para su uso. Los mercados de energía solar de otras partes del mundo, crecieron de forma sustentable porque tenían respaldo técnico y porque igualaron la calidad y tecnología de su producción a la de otros países desarrollados.

Creo que lo que están haciendo es riesgoso, porque con la mejor intención y sin saberlo pueden ponerle un sello a algo cuya calidad es incierta pero que bajo estudios de efectividad, eficiencia o rendimiento andemos más o menos bien. El que pierde cuando esto no es una empresa, la que pierde es la energía solar porque al que no le funciona un sistema de estos no compra uno ni tampoco se promueve el desarrollo. <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erSO/er11.php> (2010).

Las ventajas del calentador solar son las de emplear una fuente de energía limpia que permite diversidad de usos y sin contaminar, la validez de esta

propuesta ha de permitir el desarrollo de una mejor condición de vida a quienes puedan instalarla y emplearla.

### **1.1.2. Definición del problema**

La utilización de la energía solar, para calentamiento de agua, se realiza desde hace muchos años en nuestro país, de tal manera que actualmente se construyen termas solares bajo dos formas: contrata, para pequeñas cantidades y en forma industrial las cuales son ofrecidas por empresas nacionales. La utilización es creciente en diferentes ciudades del interior como Arequipa, Cuzco y Huancayo, en donde se encuentran gran cantidad de termas solares, las cuales usan, fundamentalmente, el llamado colector rejilla. Trabajos anteriores de investigación tanto analítico como experimentales, han encontrado diversos parámetros que gobiernan el comportamiento de los colectores solares, que han sido efectuadas en instituciones como el INAEM (Ayacucho), las facultades de ciencias de la UNÍ y diversas universidades del país especialmente en las Áreas de Física y Energía.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál el nivel óptimo de rendimiento de un colector solar térmico plano?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:**

**PE1** ¿Cuáles son los índices de rendimiento energético del colector solar plano?

**PE2** ¿Cómo influye la incidencia solar en el rendimiento energético del colector solar plano?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el nivel óptimo de rendimiento de un colector solar térmico plano.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

**OE1** Determinar los índices de rendimiento energético del colector solar plano.

**OE2** Explicar la influencia de la incidencia solar en el rendimiento energético del colector solar plano.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Una de las metas de este trabajo es hacer una contribución a satisfacer las necesidades que tiene Perú.

#### **1.4.1. Justificación teórica**

Pretende aportar conocimiento aplicable para ayudar a satisfacer una necesidad que ya resulta grave: el crecimiento sustentable del país y el mejoramiento del nivel de vida de su población. El punto de partida es la fe en la propia capacidad para desarrollar ciencia aplicada, enfocada principalmente a la atención de problemas nacionales. Dejar de únicamente importar bienes e intentar también hacer las cosas por nuestra cuenta tiene diversos beneficios sinérgicos, como el que resulta del aprendizaje logrado durante los procesos de una investigación o de un avance tecnológico, en otras palabras, con el desarrollo de tecnología propia, al mismo tiempo que resolvemos una cuestión práctica, también generamos un mecanismo de enseñanza en el que se estimula la creatividad y se amplía nuestro criterio para contribuir a soluciones. Así mismo, al abordar nuestros problemas concretos dentro de un marco de investigación nacional, aseguramos que nuestras respuestas serán óptimas y específicas, en el

contexto de nuestra situación, un punto de importancia pues sobran ejemplos donde las ideas copiadas del extranjero no sólo resultan ineficaces en nuestro entorno local, sino incluso contraproducentes. Los recursos naturales aportan todo lo que el hombre necesita; la energía solar forma parte de ellos y es prácticamente inagotable; el Perú es un país con grandes posibilidades para su explotación.

En el sector de los servicios las necesidades son similares, pero en volúmenes significativamente mayores por instalación, además del calentamiento de agua utilizada en entretenimiento, como en el caso de las albercas. En actividades industriales el agua y el aire calientes se emplea en la producción, tratamiento y/o manejo de bebidas y alimentos, entre otros usos. Finalmente, en el sector agroindustrial se aplican, para fines de higiene y confort, en los procesos de crianza y engorda de aves y animales. En este sentido, el calentamiento de agua es un proceso relativamente simple que se obtiene, predominantemente, con la quema de combustibles fósiles, en el sector residencial, y con gas LP, gas natural y leña, en zonas rurales o periurbanas, mientras que en los sectores productivos, se logra con gas LP, gas natural, combustóleo y/o diésel.

#### **1.4.2. Justificación metodológica**

El calentamiento solar de agua es un proceso que puede ser más económico que los procedimientos que utilizan combustibles fósiles, además de que sus impactos al medio ambiente son prácticamente nulos. En otras partes del mundo el calentamiento solar es una alternativa aplicada con gran amplitud. Atendiendo a lo anterior se propone un colector solar de agua para diferentes usos construido

a partir de materiales fáciles de conseguir. Los costos del colector a diseñar por sus elementos que lo componen se esperan que sean menores a los ya existentes económicos y durables. La importancia a de este estudio es relevante por el resultado que se espera, su proyección tendrá carácter nacional por su aplicación y competitividad. [www.cicataqro.ipn.mx](http://www.cicataqro.ipn.mx)

### **1.4.3. Justificación práctica**

Nuestro trabajo de investigación hace que esa riqueza Potencial se transforme en capital real; de ahí que el conocimiento y el avance de las diferentes tecnologías relacionadas con la solar, permita que se utilice este recurso con mayor intensidad y eficiencia en todas sus aplicaciones. Uno de los principales usos finales de la energía es el calentamiento de fluidos, principalmente aire y agua. En el sector residencial se aplica, fundamentalmente, para calentar el agua para la higiene personal y el lavado de ropa y/o utensilios relacionados con la preparación y consumo de alimentos.

## **1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La importancia de alcanzar este proyecto es que pueda ser llevado a cabo en cualquier lugar y por cualquier persona, que además sean necesarios la menor cantidad de recursos posibles, por esto se realizará una descripción detallada de los pasos de construcción como así también todos los materiales necesarios. Como se verá, el Colector Solar que vamos a tratar es de construcción sencilla y rápida, lo que hace posible su instalación en cualquier sitio donde sea necesaria el agua caliente. Además de detallar el modo de construcción y los materiales necesarios se adjuntará un presupuesto estimativo del prototipo.

Las instalaciones de Colectores Solares Térmicos en los hogares forman parte de una de las soluciones más convenientes, ya que presentan una sencillez constructiva tal que permite ser fabricados por los mismos propietarios. El calentamiento de agua mediante energía solar, se ha convertido en una solución para aquellos que no cuentan con suministro eléctrico o de gas, siendo además una opción económicamente atractiva y competitiva, es decir, permite un ahorro de dinero importante, para quien posea este tipo de calentadores. Más allá de las ventajas económicas antes mencionadas permite contribuir además a la disminución de la contaminación ambiental.

## **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

- El diseño contaba con la ingeniería básica y algo de la ingeniería de detalle: El diseño de la parte de instrumentación contaba solamente con la ingeniería básica. El diseño del resto de los Componentes del colector (estructura de montaje) contaba con la ingeniería básica y parte de la de detalle.
- Los ensayos de pruebas estaban orientados a pruebas de desempeño térmico de colectores y no a pruebas de calificación (como resistencia de la estructura, resistencia al shock térmico del colector, etc.)
- De acuerdo a la normativa vigente, el colector de ensayo estaba más orientado a pruebas de colectores planos de calentamiento de líquido.
- Los ensayos de prueba no se aplican a colectores donde la unidad térmica de almacenamiento sea parte integral de colector.
- El colector de pruebas estaba ubicado al aire libre, por lo que se consideraran sólo métodos de ensayo en exterior.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. MARCO REFERENCIAL**

##### **2.1.1. Antecedentes de la investigación**

En trabajos publicados referentes la obtención de rendimiento térmico de colectores solares planos se encontró que se han propuesto diferentes metodologías y requerimientos, tales son los casos que se presentan a continuación.

En la tesis **SÁENZ-DIEZ Muro, (2009) “Optimización de energías Eólica, Solar FV y Mini Hidráulica para estrategias de GER y DSM en edificios singulares y de viviendas”**. La investigación doctoral de Sáenz-Díez Muro, profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Rioja,

da un paso más hacia el desarrollo sostenible basado en la utilización de fuentes de energía renovable, integrando en los edificios urbanos técnicas de optimización de energías renovables –mini-eólica, solar foto voltaica (FV) y micro-hidráulica- para su producción allí donde se consume, edificios de servicios y viviendas, desarrolla una aplicación informática a partir de los resultados obtenidos en el trabajo de campo que permite aprovechar y gestionar de manera sencilla y óptima dichas fuentes de energía renovable; y de manera eficiente dependiendo de las características del edificio.

En la tesis de (Luna Valdez y Reyes Barragán, 2008) **“Cálculo y selección de un colector solar y de un módulo fotovoltaico para uso doméstico, conforme a la Norma mexicana nmx-es-normex-2005-energía solar- rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares”**, en las que expresa su esfuerzo por reforzar las razones para el uso de la energía solar fototérmica y fotovoltaica, cuyas conclusiones son las siguientes:

- Conservar las fuentes naturales irremplazables como el petróleo, que se utiliza para la combustión para aprovechar su energía que puede mover automóviles, motores, sistemas de calefacción y generar electricidad, estas fuentes naturales deberían ser utilizadas para lo más elemental de la subsistencia del hombre.
- Reducir la contaminación de la atmósfera que serios problemas nos está ocasionando ya que nuestro planeta está sufriendo cambios climáticos por el calentamiento global.
- Aprender a utilizar las fuentes de energía más abundantes e inextinguibles y así a comenzar a crear una educación de las energías renovables.

### 2.1.2. Referencias históricas

Entre las referencias que tienen relación con el trabajo y resultan un referente técnico apropiado se tiene:

- **HOTTEL. (1976).** Presentó un método para estimar la radiación solar directa transmitida a través de atmósferas despejadas. El método toma en cuenta el ángulo cenital y la altitud para una atmósfera estándar. También presenta factores de corrección para climas del tipo: tropical, verano de latitud media, verano subártico e invierno de latitud media. Con este método la radiación directa transmitida para la atmósfera estándar puede ser determinada para cualquier ángulo cenital y para una altitud de hasta 2.5 km.

En el año 1986, la sociedad americana de ingenieros en calentamiento, refrigeración y aire acondicionado publicó la norma internacional ANSI/ASHRAE 93-1986 para determinar el desempeño térmico de colectores solares. La norma establece los requerimientos, los procedimientos y la instrumentación necesaria que se deben cumplir para normalizar colectores solares planos. La norma está dirigida hacia colectores solares concentradores y no concentradores, que utilizan agua como fluido de trabajo y para colectores solares que utilizan aire. Los procedimientos que proponen las normas son:

- a) Procedimiento para determinar la constante de tiempo en interiores y exteriores,
- b) Procedimiento para determinar la eficiencia térmica en interiores o exteriores.

c) Procedimiento para determinar el ángulo de incidencia modificado en interiores o exteriores.

- **AMANKWAH, YEBOAH. et al. (1990).** Realizaron un estudio al modelo diferencial de Angstrom (1924) para predecir la insolación y comparar la exactitud de los resultados obtenidos por Schulze (1976) y Revfeim (1981).

El modelo de Ångström no requiere información detallada acerca de las propiedades de absorción y dispersión de la radiación solar para el aire o del movimiento del sol. Los autores concluyeron que de acuerdo a la predicción realizada con el modelo y a las mediciones de la insolación, los resultados son aceptables y comparables en exactitud con datos reportados en la literatura.

- **SOLER. (1990).** Realizó la comparación estadística de 7 modelos basados en la duración solar para evaluar la radiación solar global diaria promedio mensual sobre superficies horizontales de datos de 77 estaciones europeas. El autor concluyó que de los 7 modelos analizados, el modelo de Dogniaux y Lemoine (1983) y el modelo de Rietveld (1978) presentan resultados que se aproximan más a los datos medidos.
- **MORIARTY. (1991).** Utilizó datos meteorológicos y de radiación solar para desarrollar un sistema para estimar la radiación solar global, difusa y directa. El principal objetivo de Moriarty fue estudiar los efectos de días nublados, los cuales fueron tratados utilizando técnicas de regresión. El autor

concluyó que el sistema desarrollado para estimar la radiación solar horaria o instantánea, directa o difusa presenta una buena aproximación principalmente para la radiación solar global, pero entre la estimación y la medida de la radiación solar difusa y directa presenta algunas discrepancias.

- **NASHAR (1991).** En sus mediciones realizadas de la radiación solar global y difusa instantáneas, observó que los valores del índice de claridad, fracción difusa, transmitancia atmosférica y coeficiente de extinción dependen de la masa de aire y del mes del año. La transmitancia directa fue estimada teóricamente utilizando el modelo atmosférico para dos capas y correlaciones desarrolladas para el coeficiente de extinción. El autor concluyó que el modelo presenta resultados satisfactorios al compararlos con datos medidos. También estimó teóricamente la transmitancia difusa utilizando el modelo de dispersión de Rayleigh y el modelo del cielo isotrópico. Nashar concluyó que ambos modelos presentan buenas aproximaciones al compararlos con datos registrados.
  
- **QUINTANA, et al. (1993).** Presentaron un trabajo acerca del diseño, construcción y evaluación de un sistema para la normalización de colectores solares. El sistema tiene como finalidad comparar simultáneamente el funcionamiento de dos colectores solares que utilizan un mismo líquido como fluido de transferencia de calor, evaluando la eficiencia térmica individualmente para cada colector solar, En el trabajo se evaluó:
  - a. La constante de tiempo.
  - b. La eficiencia térmica.

- c. La constante del ángulo modificado de incidencia solar.
- 
- **SIMÁ. (1999).** Presentó un estudio de caracterización de un colector solar plano para calentar aire. El colector solar se fabricó con ductos construidos con latas de aluminio y recubiertos superficialmente con pintura negro mate y sus dimensiones fueron de 2.0 m de largo por 1.5 m de ancho. La caracterización térmica se realizó con la metodología de la norma ANSI/ASHRAE 93/1986. Las pruebas se realizaron cumpliendo los requerimientos mediante un banco de pruebas con montura fija:
    - a. Las pruebas desarrolladas fueron:
    - b. constante de tiempo.
    - c. eficiencia térmica.
    - d. constante del ángulo modificado de incidencia solar.

Los resultados que reporta son el valor de la constante de tiempo del colector solar, la curva de la eficiencia térmica como función de la temperatura del aire de entrada del colector solar, la temperatura ambiente y la radiación solar incidente. En su trabajo también reporta la curva de eficiencia térmica y la curva del ángulo modificado de incidencia solar en el colector.

- **QUIÑONES, et al. (2002).** Presentaron datos de la radiación solar global y temperatura ambiente medidos en Temixco, Morelos. Los datos son presentados en promedios mensuales de la radiación solar global diaria promedio. Los autores compararon las curvas con las obtenidas por Liu y Jordan (1960), y encontraron diferencias muy notables con respecto a la distribución de frecuencias de índices de claridad. Los autores concluyeron

que las curvas obtenidas por Liu y Jordan han sido cuestionadas para climas tropicales.

- **ARCE. (2002).** Presentó el diseño, construcción y caracterización de un colector solar de aire para abastecer un sistema de secado. Reporta que después de haber rediseñado y construido un nuevo colector solar tomando como base el utilizado por Simá (1999), realizó la caracterización térmica aplicando la norma ANSI/ASHRAE 93-1986. Las pruebas desarrolladas fueron: a) constante de tiempo, b) eficiencia térmica, c) constante del ángulo modificado de incidencia solar. Los resultados evidencian una eficiencia del colector solar que es mayor que la reportada por Simá (1999).
- **ÁLVAREZ, et al. (2002).** Evaluaron el desempeño térmico de un colector solar para aire que tiene una placa construida con latas de aluminio reciclado. La evaluación térmica se realizó aplicando los procedimientos de pruebas que se enuncian en la norma ANSI/ASHRAE 93- 1986. Las pruebas a las que se sometió el colector solar son: a) prueba para determinar la constante de tiempo en exteriores, b) prueba para determinar la eficiencia térmica en exteriores y c) prueba para determinar el ángulo de incidencia solar modificado en exteriores. Los resultados son: la curva de la constante de tiempo del colector solar en función de la temperatura de entrada del aire al colector, de la temperatura ambiente y de la radiación solar global, también se reporta la curva del ángulo de incidencia solar modificado. Los autores también presentan un comparativo de los resultados de las curvas de caracterización térmica aplicada al colector solar la utilización de la energía

solar , para calentamiento de agua , se realiza desde hace muchos años en nuestro país ,de tal manera que actualmente se construyen termas solares bajo dos formas : contrata , para pequeñas cantidades y en forma industrial las cuales son ofrecidas por empresas nacionales .La utilización es creciente en diferentes ciudades del interior como Arequipa ,Cuzco y Huancayo ,en donde se encuentran gran cantidad de termas solares , las cuales usan fundamentalmente ,el llamado colector rejilla.

## **2.2. MARCO LEGAL**

### **2.2.1. Ley General del Ambiente**

#### **Art. 4° De la tributación y el ambiente**

El diseño del marco tributario nacional considera los objetivos de la Política Nacional Ambiental, promoviendo particularmente, conductas ambientalmente responsables, modalidades de producción y consumo responsable de bienes y servicios, la conservación, aprovechamiento sostenible y recuperación de los recursos naturales, así como el desarrollo y uso de tecnologías apropiadas y de prácticas de producción limpia en general.

#### **Art. 11° De los lineamientos ambientales básicos de las políticas públicas**

Sin perjuicio del contenido específico de la Política Nacional del Ambiente, el diseño y aplicación de las políticas públicas consideran los siguientes lineamientos:

En particular, la promoción del desarrollo y uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción, comercialización y disposición final más limpias.

**Artículo 6.- Diseño y aplicación de políticas ambientales.-**

**Las radiaciones.**

El Estado, a través de medidas normativas, de difusión, capacitación, control, incentivo y sanción, protege la salud de las personas ante la exposición a radiaciones tomando en consideración el nivel de peligrosidad de las mismas. El uso y la generación de radiaciones ionizantes y no ionizantes están sujetos al estricto control de la autoridad competente, pudiendo aplicar, de acuerdo al caso, el principio precautorio, de conformidad con lo dispuesto en el Título Preliminar de la presente Ley.

**2.2.2. Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. D.S. N° 008 – 2005 – PCM.**

**Artículo 6.- Diseño y aplicación de políticas ambientales.**

La promoción del desarrollo y uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción y comercialización más limpias, incentivando el uso de las mejores tecnologías disponibles desde el punto de vista ambiental.

**2.2.3. Decreto Legislativo N° 1013 Aprueba la creación, organización y funciones del Ministerio del Ambiente.**

**Artículo 7.- Funciones.**

Promover la investigación científica, la innovación tecnológica y la información en materia ambiental, así como el desarrollo y uso de tecnologías, prácticas y procesos de producción, comercialización y consumo limpios.

**2.2.4. Norma Técnica Peruana N° 399.400 2001. Colectores solares. Método de ensayo para medir la eficiencia de los colectores solares.**

**1. Objeto**

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

Esta norma técnica peruana se aplica a colectores solares con o sin concentración y se centra en aquellos en los que un fluido ingresa al colector a través de una sola entrada y sale del colector a través de una salida.

**2.3. MARCO CONCEPTUAL**

**• MASA DE AIRE**

Es la relación entre la masa atmosférica en la trayectoria real tierra-sol y la masa que existiría a nivel del mar si el sol estuviera directamente sobre nuestras cabezas.

- **ÁNGULO DE CAPTACIÓN**

Es la zona angular dentro de la cual la radiación es captada por el receptor de un concentrador. Se dice que la radiación es captada porque la radiación dentro de este ángulo alcanza el absorbente después de atravesar la apertura.

- **ÁNGULO DE INCIDENCIA.** Es el ángulo entre la radiación solar directa y la normal al plano de abertura.

- **TIEMPO SOLAR APARENTE**

Tiempo basado en el movimiento angular aparente del sol en el cielo. Al mediodía solar el sol cruza el meridiano del observador.

- **COLECTOR CON CONCENTRADOR**

Es un colector solar que utiliza reflectores, lentes u otros elementos ópticos para concentrar la energía radiante que atraviesa el área apertura hacia un absorbente cuya área superficial es más pequeña que el área de apertura.

- **COLECTOR PLANO**

Es un colector solar sin concentración en el que la superficie absorbente es esencialmente plana

- **COLECTOR SIN CONCENTRADOR**

Es un colector solar en el que el flujo radiante sobre el absorbente no sea mayor que la radiación solar a través del área de apertura. Esto puede o no puede contener elementos ópticos para dirigir el flujo radiante hacia el absorbente.

- **RADIACIÓN GLOBAL O HEMISFÉRICA**

La energía radiante solar global (o hemisférica) es la cantidad de energía solar incidente por unidad de área superficial y unHidad de tiempo a través de un hemisferio sobre la superficie, expresado en  $W/m^2$  ( $Btu/(h \cdot ft^2)$ ).

- **RADIACIÓN INSTANTÁNEA**

Es la energía solar incidente por unidad de área y unidad de tiempo, medida en  $W/m^2$  ( $Btu/(h \cdot ft^2)$ ).

- **RADIACIÓN INTEGRADA PROMEDIO**

Es la radiación solar incidente por unidad de área durante un periodo de tiempo especificado, dividida por la duración de ese periodo.

- **RADIACIÓN TOTAL**

Es la cantidad de energía solar incidente sobre una superficie en todo el espectro solar.

- **PIRANÓMETRO**

Es un instrumento usado para medir la radiación global total incidente sobre una superficie por unidad de tiempo y unidad de área. Esta energía incluye la radiación directa, la radiación difusa del cielo, y la radiación solar reflejada por el plano frontal al colector.

- **PIRGEÓMETRO**

Es un instrumento usado para medir la radiación atmosférica incidente a longitudes de onda mayores a  $4 \mu m$  sobre una superficie negra a la temperatura del ambiente. La radiación solar de onda corta se excluye de la energía medida.

- **PIRHELIÓMETRO**

Es un instrumento usado para medir la radiación total directa sobre una superficie normal a los rayos del sol.

- **ENERGÍA RENOVABLE**

Energía producida a partir de fuentes indefinidamente renovables, por ejemplo, las fuentes de energía hídrica, solar, geotérmica y eólica, así como la biomasa que es producida de forma sostenible.

- **ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Energía basada en el llamado efecto fotovoltaico que se produce al incidir la luz sobre materiales semiconductores. De esta forma se genera un flujo de electrones en el interior de esos materiales y una diferencia de potencial que puede ser aprovechada.

La unidad base es la célula fotovoltaica. Las células se agrupan en paneles sobre una estructura que suele ser de metales ligeros como el aluminio. Los paneles permiten generar electricidad en emplazamientos aislados donde no llega la red eléctrica. Esa electricidad es acumulada en baterías. También se emplea para telecomunicaciones, señalizaciones, alarmas, etc. que, de este modo, no necesitan conectarse a la red.

Pero hay otras aplicaciones conectadas a red que incluyen grandes centrales y pequeñas instalaciones. En ambos casos, la energía producida es vertida a la red eléctrica. La fotovoltaica es la base energética de los satélites artificiales y de pequeños instrumentos de uso cotidiano que funcionan gracias a la radiación solar, como relojes o calculadoras.

- **ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

La energía del sol, al ser interceptada por una superficie absorbente, se degrada y aparece el efecto térmico. Se puede conseguir de dos maneras: sin mediación de elementos mecánicos, es decir, de forma pasiva; o con mediación de esos elementos, lo que sería de forma activa.

La solar activa puede ser de baja, media y alta temperatura, según el índice de concentración. Los colectores solares térmicos de las viviendas utilizadas para proporcionar agua caliente sanitaria son de baja temperatura. Suelen ser colectores planos vidriados y también se utilizan en el calentamiento de viviendas, en calefacciones o en usos industriales y agropecuarios. La solar de alta temperatura es la que se emplea en las centrales que concentran muchos rayos solares para alcanzar temperaturas por encima de los 700°C. Se utilizan para la producción de electricidad.

## **2.4. MARCO TEÓRICO**

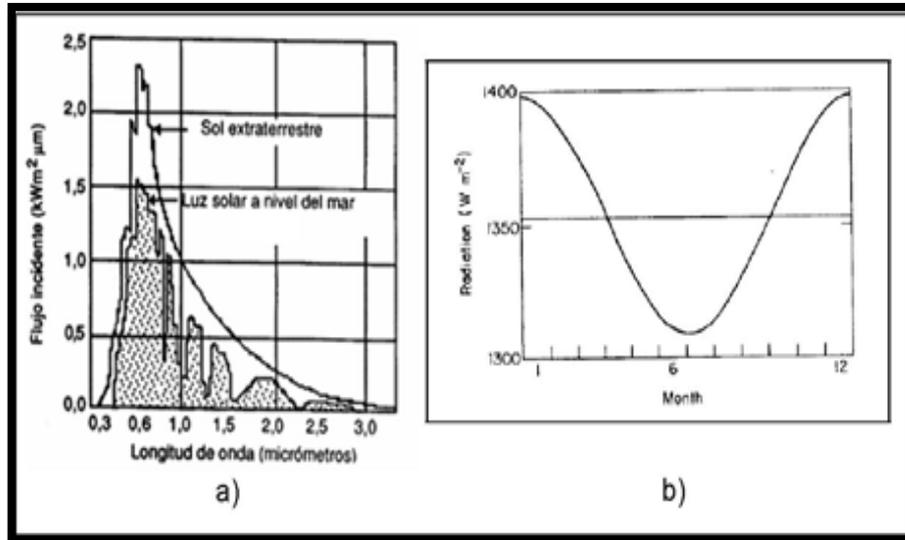
### **2.4.1. La energía solar**

La energía emitida por el Sol viaja en forma de ondas electromagnéticas (O.E.M). Las O.E.M emitidas por la superficie solar están fundamentalmente en la banda visible e infrarroja, comprendiendo longitudes de onda entre 0,2 y 5  $\mu\text{m}$ . La irradiación espectral es la intensidad de la radiación recibida en cada longitud de onda, su unidad de medida es el  $\text{W}/\text{m}^2\mu\text{m}$ . Cabe mencionar también que debido a la variación de la distancia Tierra-Sol, la radiación recibida en la Tierra será diferente para cada día del año.

## GRÁFICO N° 1

### IRRADIACIÓN SOLAR ESPECTRAL

#### VARIACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE



*Fuente: De Juana, M. Energías. Renovables para el Desarrollo, España, 2003*

La radiación solar se mide comúnmente sobre un plano horizontal en algún lugar determinado de la Tierra sobre su superficie. Para ello se distinguen dos componentes de la radiación global o total, la componente llamada directa y difusa. La radiación directa es aquella que proviene directamente del disco solar atenuada en parte por la atmosfera. La radiación difusa es la radiación que llega a un plano horizontal, en todas las direcciones excepto la que corresponde al Angulo solido subtendido.

Por el disco solar. La radiación difusa está integrada por la radiación que es desviada por las Moléculas y partículas en suspensión y por la reflejada debida a la interacción de la radiación directa y las nubes. El aparato para medir la radiación total se denomina piranómetro:

## 1) Fuente de energía solar

Para los fines de esta tesis, el Sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, con un diámetro de  $1.39 \times 10^9$  m, situado a la distancia media de  $1.5 \times 10^{11}$  m respecto de la Tierra. Esta distancia se le llama unidad astronómica. Se estima que la temperatura en el interior del Sol debe ser del orden de 15 millones de Grados Celsius, y esta va disminuyendo hasta llegar a la superficie solar, donde la temperatura promedio es de 5770 Grados Celsius. Desde luego nadie ha colocado un termómetro en la superficie del Sol. La temperatura se mide por métodos indirectos, basados en diversos modelos. Debido a esto no coinciden todas las estimaciones de su temperatura. Algunos datos interesantes acerca del Sol son los siguientes: el Sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión, por ejemplo dos átomos de hidrógeno que producen helio, o uno de helio y uno de hidrógeno que producen litio, etc.- que se llevan a cabo en su núcleo. La generación de energía proviene, por tanto, de la pérdida de masa del Sol, que se convierte en energía de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein,  $E = m c^2$ , donde E es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa m; c es la velocidad de la luz.

El núcleo solar es la región comprendida dentro del 23% de su radio, a partir del centro, que corresponde a tan sólo el 15% del volumen, pero en cambio contiene el 40% de la masa y ahí se genera el 90% de la energía. El sol está compuesto de 73.46% de hidrogeno y 24.85% de helio el resto de son elementos más pesados, la densidad es del orden de  $105 \text{ kg./m}^3$ . (La densidad del agua es  $103 \text{ kg/m}^3$ ).

A una distancia del 70% del radio solar, la temperatura es del orden de 105K y la densidad es de unos 70 kg/m<sup>3</sup>. La zona que va del 70% al 100% del radio solar, se conoce como zona conectiva y su temperatura va de 5000 grados kelvin a 6000 Grados Kelvin. La capa externa de esta región recibe el nombre de fotosfera y es considerada como la superficie del Sol, por ser ésta una región opaca, de donde se emite la gran mayoría de la radiación solar hacia el espacio.

La fotosfera es la superficie aparente del Sol cuando se observa con un filtro adecuado. Por ser opaca, la fotosfera impide observar el interior del Sol. Sin embargo, es claro que, como todo el Sol, desde el núcleo hasta su superficie se encuentra en forma gaseosa, no hay una superficie física claramente definida, como la hay en la Tierra. Sobre la fotosfera existen también gases, en condiciones tales que son esencialmente transparentes, que se conocen como la corona solar, observable durante los eclipses totales de Sol.

En la superficie terrestre la insolación diaria queda bastante alejada de los niveles extra-atmosféricos, por efecto de la absorción, la reflexión (efecto “albedo”) y la dispersión de radiación por parte de las nubes y del resto de elementos químicos en suspensión que, además de recortar los niveles de radiación directa que llega a la Tierra la transforman en radiación difusa. Como ejemplo, en días soleados más del 90% de la radiación es directa, superando 1.000 W/m<sup>2</sup> a nivel de la superficie de la

Tierra; en cambio, para días seminublados se reduce hasta  $600 \text{ W/m}^2$ , en días nublados llega a  $300 \text{ W/m}^2$  y en días con niebla se puede llegar hasta  $100 \text{ W/m}^2$ . Con respecto a la posición del sol se tienen los siguientes datos:

**a. Coordenadas horizontales.**

Las coordenadas horizontales del Sol son: Angulo azimutal y altura sobre el horizonte.

**b. El Angulo azimutal**

Es el formado por la proyección sobre el plano horizontal de la línea Sol- Tierra, con la línea norte-sur. En el hemisferio sur se mide desde la dirección norte y es positivo hacia el este.

**c. La altura sola.**

Es el ángulo formado por la dirección Sol-Tierra con el plano horizontal del lugar.

**d. Ángulo de incidencia**

De acuerdo a este sistema, una superficie plana queda orientada de acuerdo a dos ángulos: el de inclinación  $s$  y el azimutal. El ángulo de inclinación es aquel formado por la superficie y el plano horizontal. El ángulo azimutal (para el hemisferio sur) es el que forma, con la dirección norte, la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie, el cual se considera positivo hacia el este. El ángulo de incidencia de la radiación directa,  $i$ , es aquel formado por la dirección desde el centro del Sol a un punto sobre la superficie irradiada, con la normal a esta superficie.

## 2) **La constante solar**

Debido al movimiento de rotación y traslación de la Tierra la radiación solar que recibe cada punto de la tierra varia, dependiendo de la radiación directa y difusa que esta reciba, por esto- un balance global de Radiación es una mera aproximación de la radiación terrestre, aunque se puede tener una idea de que sucede. El 47% de la radiación solar que absorbe nuestra atmósfera llega a la superficie terrestre; 31% directa y 16 % indirecta. El resto de radiación que se desaprovecha se divide en los siguientes porcentajes:

23 % al espacio exterior debido a la reflexión de la capa superior de la atmósfera.

6% se pierde por difusión de aerosoles (pequeñas gotas de líquido que permanecen suspendidas en el aire.

7 % se refleja en el suelo terrestre.

17 % es absorbido por las distintas capas de la atmósfera.

La suma de estas pérdidas es de 53%, por lo tanto en los diferentes sistemas solares para captación se puede aprovechar en promedio 47% de la radiación que llega fuera de la atmósfera.

Los movimientos de la Tierra de rotación y traslación hacen que varié la cantidad de radiación que recibimos, así que para determinar la radiación por unidad de tiempo por unidad de superficie que recibe un lugar está determinado por los siguientes factores. La combinación de tres factores: la distancia de la Tierra al Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol,

determinan un flujo luminoso, un flujo de energía que incide sobre la superficie de la Tierra.

Se llama flujo de "algo" (materia, energía), la cantidad de ese "algo" que pasa a través de una superficie, por unidad de área y por unidad de tiempo. Por tanto, el flujo luminoso, que es un flujo de energía, tiene unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo.

La radiación recibida en la superficie terrestre ha sufrido ya una merma en el recorrido, esta debe de atravesar  $\pm 150$  millones de kilómetros, en este recorrido se queda aproximadamente el 30%, de manera que solo llega el 70% restante. Mucho se ha discutido acerca de si el Sol emite un flujo de energía constante, o se trata de una estrella variable. Algunos estudios parecen indicar que la variación de la emisión de energía, por parte del Sol, es menor al 1% a lo largo de un ciclo solar, que dura 22 años. No se conoce a ciencia cierta la causa de estas. Variaciones. Para los fines de esta tesis, la emisión de energía del Sol se considera constante. La radiación terrestre está más ligada, a las condiciones meteorológicas, que a las solares.

La radiación emitida por el Sol, junto con sus condiciones geométricas respecto de la Tierra, dan por resultado que, sobre la atmósfera terrestre, incide una cantidad de radiación solar casi constante. Esto ha dado lugar a la definición de la llamada constante solar.

La constante solar, GSC, es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. Aclaremos algunos puntos:

- 1°. La constante solar se refiere a una cantidad de energía que incide, instantáneamente, sobre una superficie de área unitaria.
- 2°. Esta superficie supuesta es perpendicular o normal a la dirección de propagación de la luz. Una superficie en posición inclinada respecto de la dirección del Sol, recibiría menor flujo de energía.
- 3°. La superficie supuesta se encuentra situada a la distancia media de la Tierra al Sol. Todos sabemos que la intensidad de la radiación solar es mucho mayor en Mercurio que en la Tierra, y que en nuestro planeta es mucho mayor que en Plutón. Como la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es circular, por lo tanto, la distancia Tierra-Sol no es constante, debe considerarse un valor promedio, para poder hablar de una constante.
- 4°. El valor comúnmente aceptado para la constante solar ha variado en los últimos años, según las técnicas de medición que se han empleado, lo cual no indica que haya variado en si la magnitud de la energía que se recibe del Sol.

$$\mathbf{G_{sc} = 1.940 \text{ cal/cm}^2\text{min} = 428 \text{ Btu/ft}^2\text{hr}}$$

Estos valores fueron aceptados por la NASA (1971) y por la ASTM.

Los valores presentados en este capítulo, son usados solo como referencia, ya que no pueden ser modificados, debido a que están sujetos a

condiciones del sistema solar y están fuera del alcance del hombre para ser modificados. Los valores que pueden ser modificados, son los derivados de los cálculos de sistemas de captación solar, debido a que están sujetos a la aplicación y demanda de los usuarios de sistemas de captación.

### **3) Medición de la energía solar**

La energía solar es medida en cuanto a la radiación que incide sobre una superficie supuesta, esta superficie puede ser plana, curva, etc. la medida y la forma de la superficie del sistema varía de acuerdo a las necesidades de cada sistema. Los métodos para medir la energía solar que inciden en una superficie dada, son diversos, complejos, no se ha estandarizado ningún método, y para los fines de esta tesis no es uno de los objetivos. Sin embargo no es necesario que haya un método oficial para este fin, ya que los diseños y cálculos de los sistemas de calefacción que utilizan energía solar como combustible, se utilizan valores constantes, como se explicó en la Constante Solar.

La energía solar que incide sobre una superficie ha sido medida en base a cálculos complejos, en cada sistema que se diseña no es necesario hacer una medición exacta de cuanta radiación recibe cada lugar, ya que como lo muestran las imágenes siguientes la radiación se ha tomado constante.

### **4) Energía solar térmica**

La energía solar térmica o energía termo solar consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor que puede

aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y a partir de ella, de energía eléctrica

Un colector solar transforma la energía solar incidente en otra forma de energía útil. Difiere de un intercambiador de calor convencional en que en éstos se realizan intercambios térmicos entre fluidos con elevados coeficientes de transferencia térmica, y en los que la radiación es un factor sin apenas importancia; en un colector solar, la transferencia térmica se realiza desde una fuente energética, (el sol), a un fluido, sin concentración de energía solar, por lo que el flujo incidente puede ser del orden de 1 kW/m<sup>2</sup> variable con una serie de parámetros.

La gama de longitudes de onda que se aprovecha está comprendida entre 0,3 mm y 3,0 mm, que es una franja de radiación considerablemente más pequeña que la de la radiación emitida por la mayoría de las superficies que absorben energía. El análisis de los colectores solares implica problemas particulares de flujos de energía, bajos y variables, así como una gran relevancia de los fenómenos de radiación. En los colectores de placa plana, la superficie que absorbe la radiación solar es igual a la superficie que la capta. Se pueden diseñar colectores de placa plana para trabajar con temperaturas de placa absorbente comprendidas entre 40°C y 130°C.

Estos colectores utilizan tanto la radiación solar directa como la difusa, no requieren de sistemas de seguimiento solar y prácticamente no precisan de mantenimiento. Sus aplicaciones van enfocadas a sistemas de calentamiento de agua, calefacción de edificios y aire acondicionado.

El coste de la energía obtenida en un colector de placa plana depende del rendimiento térmico del sistema, de su vida media y de los costes de fabricación. De todas las formas de captación térmica de la energía solar, las que han adquirido un desarrollo comercial han sido los sistemas para su utilización a baja temperatura mediante colectores planos sin seguimiento solar.

El aprovechamiento de la energía solar se puede llevar a cabo de dos formas: el aprovechamiento pasivo y el activo. El aprovechamiento pasivo de la energía solar no requiere ningún dispositivo para captarla. Por ejemplo, se usa en la arquitectura para sistemas de calefacción en climas fríos, a través de grandes ventanas orientadas hacia donde el sol emite sus rayos durante la mayor parte del día. Otras aplicaciones comunes son el secado de productos agrícolas y de ropa. Sin embargo, el uso o aprovechamiento activo ofrece soluciones más interesantes, pues ofrece alternativas para el uso de los recursos naturales que, comparadas con otras fuentes de energía, logran beneficios económicos sin deteriorar tales recursos.

Los sistemas activos se basan en la captación de la radiación solar por medio de un elemento denominado “colector. El aprovechamiento térmico de la energía solar se divide en tres áreas:

- Aprovechamiento de baja temperatura (menos de 90°C): aplicado para calentamiento de agua y preparación de alimentos.
- Aprovechamiento de mediana temperatura (menos de 300°C): para aplicaciones industriales.
- Aprovechamiento de alta temperatura (hasta 4.000°C): aplicado para la generación de electricidad.

## **5) Colectores solares de agua**

La energía termal del sol puede ser utilizada para calentar agua a temperaturas inferiores a los 100°C o para la calefacción de ambientes. El agua caliente para consumo doméstico ocupa el segundo puesto en el consumo de energía de una vivienda típica. Las tecnologías solares termales de bajas temperaturas, y en especial las tecnologías que no generan electricidad se basan en los principios científicos del efecto invernadero para generar calor. La radiación electromagnética del sol, incluyendo la luz visible e infrarroja, penetra dentro de un colector y es absorbida por alguna superficie ubicada dentro del mismo. Una vez que la radiación es absorbida por las superficies dentro del colector, la temperatura aumenta. Este incremento en la temperatura puede ser utilizado para calentar agua, secar comida y granos, desalinizar agua o cocinar comida.

(<http://www.textoscientificos.com/energia/solar/calentadore>)

## 6) **El colector solar**

La energía solar puede ser convertida en energía química, eléctrica y térmica. Interesa en especial explicar cómo se realiza la transformación de la radiación solar en energía térmica disponible. El colector puede considerarse un intercambiador que transforma en calor la energía que transporta la radiación solar. Los componentes básicos son:

- Las cubiertas (una o más) transparentes a la radiación solar.
- La placa o superficie absorbente de color negro, donde se transfiere la energía al fluido que circula por su interior.
- El aislamiento posterior que reduce las pérdidas de calor.
- La radiación que atraviesa las cubiertas transparentes es absorbida por el absorbedor y de esta pasa por convección al fluido que circula por el interior.

Existen muchos diseños de colectores de placa plana, con una gran variedad de materiales diferentes. Son usados para calentar fluidos como agua, agua con aditivos de anticongelante, aire y otros fluidos. Su principal función es recolectar la máxima energía solar disponible al costo más bajo.

## 7) **Tipos de colectores solares.**

Su principal función es recolectar la máxima energía solar disponible al costo más bajo. Los principales tipos de colectores utilizados comúnmente son:

- **Colectores planos con cubierta de vidrio**

Son los más utilizados por tener la relación coste-producción de calor más favorable. En ellos, el captador se ubica en una caja

rectangular, cuyas dimensiones habituales oscilan entre los 80 y 120 cm de ancho, los 150 y 200 cm de alto, y los 5 y 10 cm de grosor, si bien existen modelos más grandes.

La cara expuesta al sol está cubierta por un vidrio (habitualmente templado), mientras que las cinco caras restantes son opacas y están aisladas térmicamente. Dentro de la caja, expuesta al sol, se sitúa una placa metálica.

Esta placa está unida o soldada a una serie de conductos por los que fluye un calor portador (generalmente agua, glicol, o una mezcla de ambos). A dicha placa se le aplica un tratamiento selectivo para que aumente su absorción de calor, o simplemente se la pinta de negro. Son los más comunes en el uso de sistemas de calentamiento de agua.

- **Colectores planos sin cubierta de vidrio**

Consisten en colectores planos sin la cubierta de vidrio. Son utilizados para aplicaciones donde la temperatura demandada no sea muy alta (unos 30°C). Uno de sus usos típicos corresponde al calentamiento de piscinas.

- **Colector de tubos al vacío**

Los tubos de vacío suponen un concepto distinto: se reduce la superficie captadora a cambio de unas pérdidas caloríficas menores. La lámina captadora se coloca dentro de tubos al vacío, por tanto con unas pérdidas caloríficas despreciables. Los paneles se forman con varios de estos tubos montados en una estructura de peine. Las

ventajas de este sistema son su mayor aislamiento (lo que lo hace especialmente indicado para climas muy fríos o de montaña), y su mayor flexibilidad de colocación, ya que usualmente permite una variación de unos 20° sobre su inclinación ideal sin pérdida de rendimiento. La desventaja es un coste significativamente mayor y una resistencia inferior a los golpes y al granizo.

Consiste en las paralelas de tubos de vidrio. A cada tubo se le elimina el aire en su interior para evitar pérdidas de calor por convección. El absorbedor y los tubos de conducción de ruido van por el interior de los tubos de vidrio. En general son mucho más caros que los colectores planos y pueden alcanzar temperaturas muy grandes (entre 77 y 177°C).

- **Colectores con unidad de almacenamiento integral**

Son aquellos que combinan el estanque de almacenamiento con el absorbedor en una sola unidad. La ventaja de estos sistemas de calentamiento es que no requieren otros componentes.

- **Colectores de calentamiento de aire**

Son aquellos en que se utiliza aire como medio de transferencia de calor en vez de líquido. Pueden ser utilizados para calentamiento de espacios cerrados.

## 8) **Funcionamiento del colector**

La energía se hace desde el sol, hacia agua o aire generalmente, que circula por los tubos o ductos del colector. El flujo de energía radiante que

finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar que es por naturaleza variable con el tiempo. Existen 2 tipos de colectores solares, planos y de concentración, los colectores solares planos son los más comunes. Estos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde se requiere que la energía liberada tenga bajas temperaturas, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente supera los 100 Grados Centígrados. Las ventajas que podemos obtener con este tipo de Colectores con respecto a los colectores de Concentración son:

- Los colectores planos utilizan la energía solar Directa más la difusa.
- No requieren movimiento continuo para dar Seguimiento al sol.
- Prácticamente no necesitan mantenimiento.
- Las principales aplicaciones de estos dispositivos Son:
- Calefacción de agua a nivel doméstico.
- Calefacción de agua para piscinas.
- Calefacción de aire para edificios.

## 9) **Colectores solares planos**

- **Partes de un colector plano**

Las partes más importantes de un colector solar plano se presentan en la Imagen.

La Imagen muestra un corte transversal de uno de estos dispositivos que maneja agua como fluido de trabajo. Se puede observar que la energía solar que incide en la superficie, tiene que

atravesar una cubierta de vidrio (en algunos casos son varias cubiertas) o algún otro material transparente adecuado, Antes de alcanzar la placa de absorción negra o de superficie selectiva que es el elemento más importante del colector solar, la cual está unida a los tubos o ductos. En esta placa, es donde la energía radiante es convertida en calor. Este calor, es transferido por conducción hacia el fluido de trabajo (agua, aire), que es el que remueve la energía térmica del colector y la transfiere al tanque de almacenamiento térmico. El vidrio o su equivalente, además de permitir la entrada de la radiación solar hasta la placa de absorción, sirven también para minimizar las pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente por la parte superior del colector. El aislante térmico (espuma de poliuretano, poliestireno, lana de fibra de vidrio, etc.) es colocado en la parte inferior (de abajo) y a los costados (a los lados) del colector, de esta manera se disminuyen las pérdidas de calor hacia el exterior en estas partes, como se explica a continuación : Las pérdidas son producidas debido a que en la noche la temperatura disminuye y la energía recibida se transmite del cuerpo más caliente al más frío, entonces, en el colector las horas que se recibieron de radiación produjeron que se incrementara la temperatura interior del colector y cuando llega la noche las temperaturas disminuyen entonces se transmite el calor del colector al exterior y se enfriara el colector. Todas las partes mencionadas se encuentran dentro de una "caja" que sirve como parte estructural del colector y que puede ser hecha de diversos materiales como lámina metálica, madera o plástico. Algunos

de los parámetros más importantes que se tienen que tomar en cuenta para su diseño, rendimiento y funcionamiento, son los siguientes:

- **Tipo de tubo o ducto**

Estos pueden ser de cobre, fierro fundido, PVC, se pueden usar otros materiales, pero las tuberías de cobre, fofo, PVC, son los comunes y fáciles de comprar en México, el más conveniente es el de cobre. Sea cual sea el material escogido se afectará la transmisión de calor hacia el agua, el costo del colector y el procedimiento constructivo de la tubería. Un tipo de tubo que es fabricado de una aleación de aluminio y cobre, el terminado es de una fina película de color negro de cobalto anodizado, esta película es considerada como una de las mejores superficies selectivas, de esta manera se absorbe mayor radiación que si se pinta de color negro. Con este tipo de tubo no es necesaria la placa de absorción, ya que está integrada con el tubo o ducto, este material es llamado "tira solar" (sunstrip), y es fabricada en Canadá, por la compañía TERMODINAMICS LTD.

- **Diámetro nominal**

Está directamente relacionado con la velocidad y el gasto de agua, y desde luego el diámetro, ya que a menor diámetro existe mayor velocidad de fluido dentro de la tubería y tendremos mayores pérdidas por fricción. El diámetro y el material óptimo es el tubo de cobre de 3/8" por economía. El tiempo que el sistema necesita para alcanzar la temperatura de trabajo está determinada por diferentes factores como son : La radiación del lugar en un día cualquiera, la velocidad del agua

dentro de la tubería, , el material de la tubería, el área de contacto de fluido con el diámetro interior del tubo, y el gasto.

- **Placa de absorción**

El propósito de esta placa de absorción es convertir la energía radiante en energía calorífica. Cuando la luz del sol radia una superficie pintada de color negro, la mayoría de la luz será absorbida en la superficie y se convertirá en calor, en cambio si la superficie está pintada de colores claros la luz que radie esta superficie será reflejada hacia el exterior, los colores claros o incluso espejos funcionan cuando se necesita enviar la radiación a otro cuerpo. Esta placa puede ser de cobre, aluminio, acero inoxidable, lámina galvanizada, esta es la parte del colector que recoge la energía transmitida a través de la cubierta del colector, debe de estar unida a los tubos de manera que la transmisión de calor sea eficiente, la unión debe de ser uniforme y constante a lo largo del tubo. Normalmente se cubre con una capa de pintura negra o con superficies selectivas como lo es el Cobalto anodizado para incrementar la capacidad de retención y absorción de la energía recibida.

A continuación se presentan los porcentajes de absorción si se pinta de diferentes colores, ya que el color negro como no siempre es el mejor visto en caso de diseños arquitectónicos, pueden cambiar de color teniendo en cuenta la pérdida de absorción que se tendría

pintándolo de otro color. Lista general de porcentajes de absorción de diferentes colores:

Lista general de porcentajes de absorción de diferentes colores:

- Negro 90 a 98 %
- Gris Oscuro 90 %
- Oliva Oscuro 90%
- Azul Oscuro 85 a 90 %
- Café 80 a 88 %
- Verde laca 80 %
- Gris claro 75 %
- Rojo óxido 75 a 80 %
- Ladrillo rojo 70 %
- Concreto normal 65 %
- Ciliar claro 60 %
- Naranja 58 %
- Amarillo 57 %
- Azul 51 %
- Verde 45 a 60 %
- Blanco brillante 30 %

Como podemos ver el negro es el color más absorbente, absorbiendo más del 90% de la energía radiada y además es el que menos refleja esta energía. Aunque estos porcentajes son solo

aproximaciones y tendrán variaciones dependiendo de varios factores como lo son el tipo de pintura, el ángulo de inclinación, etc.

Los valores por arriba del 60% son los recomendados para la captación de "energía solar, aunque definitivamente el sistema tendrá decremento en el rendimiento de absorción. El tamaño de la placa está determinado por el área requerida del colector. Que regularmente varían desde 2 m<sup>2</sup> hasta 4 m<sup>2</sup>, si se utilizan mayores áreas en colectores se presentan problemas de manejo, construcción y transportación.

- **Número y tipo de capas o cubiertas**

Posición e inclinación de la cubierta: La cubierta debe reflejar la menor cantidad posible de la energía que incide sobre el área del colector, esto se logra colocando el colector de manera normal a la radiación recibida, esta colocación tiene la inclinación de la latitud del lugar. Algunos diseñadores recomiendan variar la inclinación en  $\pm 10$  grados del colector dependiendo la temporada del año.

Aunque la mayoría de las compañías que instalan/venden estos sistemas nunca varían su inclinación en invierno ni en verano, sino que tiene una inclinación permanente ya que con la estructura que venden el sistema se presenta la manera de cambiar la inclinación.

Además nunca mencionan cambios de inclinación en sus sistemas. También con esta cubierta se logra el efecto de "invernadero" se deja entrar a la radiación que incide sobre la superficie y no la deja salir.

Los materiales usados para esta parte del colector pueden ser vidrio, acrílico, laminados de fibras de vidrio, placas dobles de policarbonato, etc. el objetivo es permitir el paso de la radiación directa, así que debe de ser un cuerpo transparente o en su defecto translúcido que también funcionarla satisfactoriamente.

Si se colocan dos cubiertas transparentes incrementamos la capacidad del colector para ignorar cambios de temperatura del medio ambiente, esto es más desfavorable en la madrugada que es la parte del día cuando la temperatura es más baja o desfavorable, si colocamos una sola cubierta la temperatura interior del colector se adaptarla con mayor rapidez a la temperatura ambiente, si colocamos dos cubiertas, la primer cubierta servirá de refractario y será la que experimente decrementos en su temperatura y la segunda conservara el calor obtenido durante las horas de sol que hubo en el día, de manera que al día siguiente la temperatura de servicio (50 a 80 Grados Centígrados promedio) se logrará con mayor rapidez que si se colocara una sola cubierta, desde luego que colocar dos cubiertas incrementará el costo del colector, pero en localidades donde la temperatura es muy baja por las noches o inclusive es baja en el día pero los días son soleados, es decir el aire es frio pero tiene radiación utilizable como en las

montañas, en esos casos es muy conveniente hacer uso de este tipo de colector de doble cubierta.

- **Tipo de aislante y espesor**

Para proveer una máxima eficiencia del colector, debe de estar aislado por la parte posterior y los lados, esta parte del colector puede ser de Fibra de vidrio, Espuma de poliuretano, Cartón Corrugado de Empaque, etc. deberá de ser capaz de soportar las temperaturas de trabajo del colector, el espesor está en función del material que se escoja, pero en general los espesores que se colocan en esta parte del colector van desde  $\frac{1}{2}$  hasta  $1 \frac{1}{2}$ .

- **Inclinación y orientación del colector**

La inclinación dependiendo de la altitud de cada lugar esta es una opción para los colectores que tienen partes móviles, o que se puede ajustar la inclinación, las partes móviles incrementan costo y la disminuyen durabilidad del colector, en caso de que la inclinación no se cumpla se deberán colocar colectores para proveer al sistema el área requerida de captación.

- **La intensidad de la radiación solar**

Los sistemas se calculan de acuerdo a la localidad geográfica, Numero de usuarios y aplicación, la intensidad de la radiación está en función de la localidad.

## **10) Tanques de almacenamiento.**

Existen varios tipos de tanques de almacenamiento para agua caliente. Los utilizados más frecuentemente con colectores de placa plana en sistemas nuevos son los sistemas integrados, donde los tanques de almacenamiento son montados junto con los colectores, generalmente sobre el techo. Los tanques son ubicados sobre los colectores para aprovechar el efecto de termosifón. La densidad del agua varía según la temperatura. En general, el agua es más densa a mayores temperaturas de lo que es a menor temperatura. Los sistemas de termosifón hacen uso de este principio para hacer circular agua a través del colector, el agua fría, proveniente de la cañería, atraviesa el colector mientras el agua caliente es extraída del tanque de almacenamiento. Para que el termosifón sea exitoso es esencial que los caños tengan el diámetro adecuado. Las principales ventajas del uso de sistemas con tanques de almacenamiento integrados son que el sistema es más rentable para quienes lo instalen y el agua caliente se suministra a la presión de las cañerías.

Los sistemas de alimentación por gravedad también pueden ser utilizados para almacenar agua de los colectores de placa plana. En esta configuración, el tanque es instalado en una cavidad en el techo, y únicamente el colector es expuesto al sol. La posición de los colectores debe ser la adecuada para permitir que se produzca termosifón en forma natural.

Aunque estos sistemas son generalmente más baratos al momento de su compra, la cañería de la vivienda debe ser adecuada para alimentación por gravedad, esto es caños más anchos. Otros sistemas que se utilizan con colectores de placa plana, aunque menos populares, son los sistemas forzados, en los cuales un tanque a la presión de cañería es ubicado a nivel del suelo y el colector en el techo. En estos sistemas una bomba de agua es activada cuando brilla el sol y el agua fría circula atravesando el colector. Los sistemas forzados son más caros que los sistemas integrados o de gravedad, y necesitan electricidad para accionar la bomba de circulación de agua.

#### **2.4.2. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú**

El interés en el uso técnico de las energías renovables, especialmente de la energía solar, comenzó en el Perú, como en muchos otros países, en los años setenta del siglo pasado, como consecuencia de la llamada crisis de petróleo. Se trabajó en diferentes instituciones del país (mayormente en universidades) en capacitación y desarrollo tecnológico, especialmente en bombeo de agua con molinos de viento, calentadores solares de agua y secadores solares de productos agrícolas. Estas experiencias fueron puntualmente exitosas, p.ej. la tecnología de los calentadores solares de agua, hoy bien asentada en Arequipa, fue originalmente desarrollada por el ex -ITINTEC, y, los secadores solares artesanales de maíz usados hoy en el Valle Sagrada del Urubamba fueron desarrollados y diseminados por un proyecto de la Universidad Nacional de Ingeniería con la cooperación alemana. El presente artículo trata de dar un visión general de la situación actual del uso de la energía solar en el Perú, entrando en

más detalle en el uso de la energía solar fotovoltaica, que tiene particular importancia para el desarrollo de zonas rurales apartadas: Según datos del Ministerio de Energía y Minas del Perú, en los últimos años se ha incrementado a 75 % el porcentaje de la población peruana que cuenta con servicio eléctrico. A pesar del gran esfuerzo de aumentar la electrificación en el Perú, básicamente a través de la extensión de redes eléctricas, esto significa que todavía hay 7 millones de peruanos sin electricidad. Casi toda esta gente vive en áreas rurales y en la medida que aumenta la electrificación, cada vez es más costoso aumentar un punto porcentual más a la electrificación, debido a la baja densidad poblacional y las dificultades geográficas de gran parte del territorio peruano. Para estos millones de peruanos la única posibilidad económicamente viable a corto y mediano plazo es la generación local de electricidad, basada sobre todo en recursos renovables: hidráulica, eólica, solar y biomasa. A pesar de que esta situación es ampliamente reconocida, relativamente poco se ha hecho hasta la fecha en este campo. Esto se explica por varias razones, principalmente porque es más costoso electrificar regiones remotas y aisladas que regiones que están cerca a la red eléctrica interconectada existente.

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m<sup>2</sup> día en la costa y selva y de 5-6 kWh/m<sup>2</sup> día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente

para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable. La energía solar se puede transformar con facilidad en calor: de hecho, cualquier cuerpo, preferentemente de color negro, absorbe la energía solar y la transforma en calor, que puede ser usado para calentar ambientes, calentar agua (termas solares), secar diversos productos, cocinar, etc. Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. La fabricación de los paneles fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo. Presentaremos a continuación algunos ejemplos de aplicaciones de la energía solar en el Perú:

### **1º. Secado solar**

El aprovechamiento tradicional de la energía solar más difundido es el secado solar de productos agrícolas, exponiendo el producto directamente a la radiación solar. Para superar los inconvenientes de este método (bermas, disminución de la calidad, etc.) el CER-UNI realizó, con apoyo de la cooperación técnica alemana entre 1983 y 1990 el proyecto “Desarrollo y difusión de secadores solares para productos agrícolas y alimenticios”, cuyos resultados están incluidos en el libro “Teoría y práctica del secado solar”. Posteriormente, hasta el día de hoy, siguen realizándose trabajos en este tema (p.ej. secadores de orégano, CERT, Tacna) y varios de los modelos de secadores solares estudiados, de construcción simple con

materiales disponibles en el campo, han encontrado una difusión en el campo.

## **2°. Termas solares**

La fabricación local de calentadores solares de agua es la tecnología más antigua y de mayor desarrollo y diseminación en el Perú. Se estima que hoy hay 25000 a 30000 termas solares, mayormente en Arequipa. Existen ahora alrededor de 20 fabricantes que recientemente se ha constituido en una “Asociación de Empresas Peruanas de Energía Solar”, AEPES y que producen mensualmente alrededor de 600 metros cuadrados de colectores solares para termas solares.

## **3°. Energía solar fotovoltaica**

En el Perú, comparada con otros países, existen todavía pocos sistemas fotovoltaicos, SFV: Hasta 2005, en el Perú hay alrededor de 10 000 SFV instalados, con una potencia total de 1,5 MWp. (1) 65 % de esta potencia corresponde a SFV para telecomunicaciones, 29 % para iluminación interna a casas, incluyendo postas de salud, salas comunales, etc., y el resto para otros usos (refrigeración, bombeo de agua, etc. Los principales proyectos de electrificación rural, están descritos a continuación. Hay que anotar que la mayoría de los SFV usados para electrificación rural son del tipo “Sistema Fotovoltaico Domiciliario”, SFD (en inglés: “solar home system”, SHS), con potencias típicas de 50 – 60 Wp, operando junto con una batería de plomo ácido, un regulador de carga, y 2 – 4 lámparas fluorescentes de 9 – 11 W, teniendo un costo del orden de US\$ 600 (incluyendo impuestos e instalación). Un SFD satisface las necesidades usuales de electricidad de una familia en el campo.

## **CAPÍTULO III**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. Tipo de la Investigación.**

La investigación que se propone en este proyecto de tesis es del tipo Aplicada o tecnológica.

##### **3.1.2. Nivel de la Investigación**

La investigación del presente proyecto tiene el nivel experimental se basa en la recolección de datos mediante la ejecución, seguimiento, observación del trabajo de investigación.

### **3.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

Los datos obtenidos, son almacenados en un software propio del equipo, luego son filtrados y tratados estadísticamente para obtener cuadros y graficas del comportamiento de un parámetro específico del clima a lo largo del monitoreo realizado:

#### **A. Temperatura Ambiente**

El equipo posee un sensor integrado de temperatura ideal para la recogida de datos utilizados en cálculos de densidad de energía y control de la temperatura del aire, que se mide cada ciertos minutos en este caso cada 10 minutos, luego son almacenados digitalmente en una memoria y posteriormente procesadas para el análisis de su comportamiento diario.

#### **B. Radiación Solar**

El equipo posee un Piranometro con excelente sensor de Radiación Solar, que está calibrado para el espectro de la luz del día, que se mide cada 10 minutos, luego son almacenados digitalmente en una memoria y posteriormente procesadas para el análisis de su comportamiento diario.

#### **C. Temperatura.**

Termómetro digital con registro de datos. Se introduce el sensor del termómetro calibrado en la muestra de agua proveniente de la red principal de la comunidad y registramos la lectura, cada treinta minutos.

#### **D. Medición del caudal (Volumétrico)**

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La medición va ser en el momento del llenado del termo tanque.

### **3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se ha realizado mediante una descripción previa de la elaboración de un colector solar teniendo en cuenta los componentes principales de su estructura lo cual detallamos.

Los resultados son eficientes para obtener agua caliente sanitaria. Además, nos ofrecen la ventaja de usar una orientación fija y de aprovechar tanto la radiación directa como la difusa.

Estos colectores de placa plana se componen de cuatro elementos principales: la cubierta transparente (vidrio o similar), la placa captadora (superficie negra que va absorber la luz solar), el aislante y la carcasa:

#### **A. Cubierta transparente**

Es la encargada de dejar pasar la radiación solar, evitar que el calor emitido por la placa captadora se vaya del sistema y reducir las pérdidas por convección. Estamos logrando el efecto invernadero con una cubierta de vidrio o plástico y de esta forma aumentando la eficiencia del colector.

#### **B. Placa captadora**

Tiene por misión absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido calo portador (agua, aceite, aire, etc.).

Existen diferentes modelos, siendo los más usuales:

- Dos placas metálicas separadas unos milímetros entre las cuales circula el fluido calo portador.

- Placa metálica sobre la cual están soldados o embutidos los tubos por los que circula el fluido calo portador. En lugar de una placa metálica se puede dotar de unas aletas de aluminio a los tubos de cobre.
- Dos láminas de metal unidas a gran presión excepto en los lugares que forman el circuito del fluido calo portador.
- Placas de plásticos.

### **C. Aislamiento**

La placa captadora está protegida en su parte posterior y lateral por un aislamiento que evita las pérdidas térmicas hacia el exterior. Las características de estos aislantes han de ser:

- Resistir altas temperaturas sin deteriorarse, lo que muchas veces se consigue colocando entre la placa y el aislante, una capa reflectante, que impida que el aislante reciba directamente la radiación.
- Desprender pocos vapores al descomponerse por el calor y en caso de ocurrir que no se adhieran a la cubierta. □ No degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo.
- Soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades. Los materiales más usados son lana de vidrio, espuma rígida de poliuretano y polietileno expandido.

### **D. Carcasa**

Es la encargada de proteger y soportar los elementos que constituyen el colector solar, además de servir de enlace con el edificio por medio de los soportes. Debe cumplir los siguientes requisitos: Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad. Estas cualidades son de suma importancia ya que debe resistir la presión del viento.

- Resistencia de los elementos de fijación: mecánica para los esfuerzos a transmitir, y química para soportar la corrosión.
- Resistencia a la intemperie, a los efectos corrosivos de la atmósfera y a la inestabilidad química debido a las inclemencias del tiempo.
- Aireación del interior del colector para evitar que allí se condense el agua.
- Vacío en el interior del colector cuando éste está frío, para que la carcasa no esté sometida a una presión muy alta cuando el aire en su interior se caliente.
- Practicar unos orificios en la carcasa para permitir la aireación del colector así como la evacuación de la condensación. Los orificios se localizan en la parte posterior para evitar la entrada del agua de lluvia y la pérdida de aire caliente del interior del colector.
- Evitar toda geometría que permita la acumulación de agua hielo o nieve en el exterior del colector.
- Facilitar el desmontaje de la cubierta para poder tener fácil acceso a la placa captadora.

### **3.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La obtención de la curva de rendimiento mejorara la competitividad en el mercado de un colector solar térmico.

#### **3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:**

**HE1** Los índices de rendimiento energético del colector solar plano son normales.

**HE2** La incidencia solar es determinante para el rendimiento energético del colector solar plano

### **3.5. VARIABLES**

#### **3.5.1. Variable Independiente**

Colector solar térmico plano

#### **3.5.2. Variable Dependiente**

Curva del rendimiento

### **3.6. COBERTURA DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

Por ser el caso de la medición de la energía solar solo se establece como referencia la energía solar radiante.

### **3.7. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.7.1. Técnicas de la Investigación**

- Observación.
- Medición.
- Calibración.

#### **3.7.2. Instrumentos de la Investigación**

- Ficha de registro.
- Piranometro kipp zone para medir la radiación global incidente en el plano del colector con una precisión de  $\pm 0.5 \text{ W/m}^2$
- Anemómetro entre 0 – 40 m/s con integrador 1 .100 minutos, medidor de dirección de viento 0 – 360°
- Termistores NTC de 10k $\Omega$  para medir la temperatura ambiente, temperatura de salida, entrada y tanque del colector de placa plana, en unidades relativas °C, precisión 0.2°C

- Dataloger Graphtec midi logger GI800 para registrar las medidas de temperaturas, flujo, radiación solar; velocidad de viento, sistema de control de temperatura del tanque calefactor, control de intercambiador de calor
- Flujómetro tipo turbina con sensor óptico, señal de frecuencia, de rango 0.01 – 0.07 L/s

### **3.7.3. Fuentes de Recolección de Datos**

El banco de pruebas de acuerdo a NTP; está constituido de:

- Bomba de agua 1/2Hp. 220 AC.
- Intercambiador de calor tipo aletas de 12VDC.
- Mangueras para agua caliente de ½”.
- Tanque de calentamiento de agua de 42L con sistema de calefacción.
- Tanque para la caída del agua de 78L de altura constante.
- Estructura metálica.
- Un colector de placa plana.

#### **Tablero eléctrico**

- 02 contactores de 220v AC
- 03 relés de 220v AC
- 01 transformador de 220v AC a 12v AC
- 01 rectificador de corriente 12v AC a 12v Dc
- 01 interface para la tarjeta de adquisición de datos.

#### **Datos de colector solar**

- Área del panel colector: 1.80 m<sup>2</sup>

- Largo de colector: 1.70 m
- Ancho de colector: 1.06 m
- Material de la lámina del colector: Aluminio
- Espesor de lámina de colector: 0.30 mm
- Tipo de doblado de lámina: omega.
- Material de conductos de colector: Cobre (tipo "M")
- Diámetro de conductos de colector: 3/8" pulgadas.
- Espesor de conductos de colector: 0.80 mm.
- Cantidad de conductos en colector: 9
- Distancia entre conductos: 110.00 mm.
- Tipo de aislamiento de colector: Espuma de poliuretano.
- Espesor de aislante de colector: 20.00 mm.
- Espesor de vidrio: 3.00 mm.
- Distancia entre lámina y vidrio: 25 mm.
- Material de tapa posterior: Fibra de vidrio.

#### **Datos de tanque de almacenamiento**

- Volumen de tanque interno: 120.00 litros.
- Ancho de tanque 1.04 m.
- Material de tanque: Resina poliéster reforzado con fibra de vidrio.
- Material de aislamiento: Poliuretano expandido
- Espesor de aislamiento 50 mm.
- Material de protector externo: Acero inoxidable y fibra de vidrio.

### **3.8. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.8.1. Estadísticos**

Frecuencia simple.

Porcentaje simple.

#### **3.8.2. Representación.**

Tabla de doble entrada.

Barras y Polígonos de frecuencia.

## **CAPÍTULO IV**

### **ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Se muestran a continuación los resultados que se han podido visualizar del trabajo de investigación a nivel de Tesis el mismo que requiere de los siguientes datos:

- Índices de calor.
- Incidencia solar.
- Rendimiento térmico.

#### **4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

##### **4.1.1. Resultados parciales**

**TABLA N° 1**

**PARÁMETROS REFERENCIALES DE DIFERENTES COLECTORES SOLARES**

<b>Factores</b> <b>Tipos</b>	<b>Factor de conversión</b>	<b>Factor de pérdidas térmicas</b>	<b>Rango de temperatura</b>
Sin Cubierta	0.90	15-25	10 - 40
Cubierta Simple	0.80	7	10 - 60
Cubierta Doble	0.65	5	10 - 80
Superficie Selectiva	0.80	5	10 - 80
Tubos de Vacío	0.70	2	10 -130

Los de mejor rendimiento son los de tubos al vacío, los de menor rendimiento son los que no cuentan con cubierta.

**A) Proceso de monitoreo**

Para determinar la curva de eficiencia instantánea y el coeficiente global de pérdidas del colector se ha realizado una evaluación en laboratorio tal como se detalla a continuación:

- 1°. Se ha realizado cinco pruebas, en tres días de ensayo. Cada día aproximadamente a las 11:00 am se iniciaron las pruebas con el colector solar tapado con un cobertor opaco externo.
- 2°. Manteniendo todos los sensores conectados según la norma técnica y el colector solar con un ángulo de inclinación de 26° en dirección al norte

según las recomendaciones de la latitud del lugar, que nos indica que el ángulo de incidencia debe ser de  $16^{\circ} \pm 10^{\circ}$

- 3°. Se inyecta agua caliente a temperatura constante al colector (las temperaturas en cada ensayo fueron:  $27,9^{\circ}\text{C}$ ;  $30,4^{\circ}\text{C}$ ;  $33,8^{\circ}\text{C}$ ;  $37,4^{\circ}\text{C}$ ;  $44,6^{\circ}\text{C}$ ).
- 4°. Se esperó a que el sistema alcance el equilibrio térmico, esto toma aproximadamente entre 30 y 90 minutos.
- 5°. Pasado este tiempo se reguló el flujo a  $0.02\text{L/s}$  y se espera 15 min. para que las temperaturas en el sistema se estabilicen.
- 6°. Luego se procedió a retirar el cobertor externo para que la radiación solar incida sobre el colector de manera que esta contribuye en el aumento de temperatura del agua del colector.
- 7°. Se mantuvo el estado anterior hasta que la temperatura de la salida del agua del colector sea constante.
- 8°. Durante toda la medición se mantuvo constante el flujo del fluido en  $0,02\text{ kg/s}$ .
- 9°. Todas las mediciones se realizaron con el cielo totalmente despejado y en las horas de mayor intensidad de radiación solar
- 10°. En cada una de las pruebas se ha esperado que el colector alcance condiciones casi estacionarias en la temperatura, en esta región se ha realizado el análisis de datos para obtener los resultados de las curvas de eficiencia.

#### 4.1.2. Resultados generales

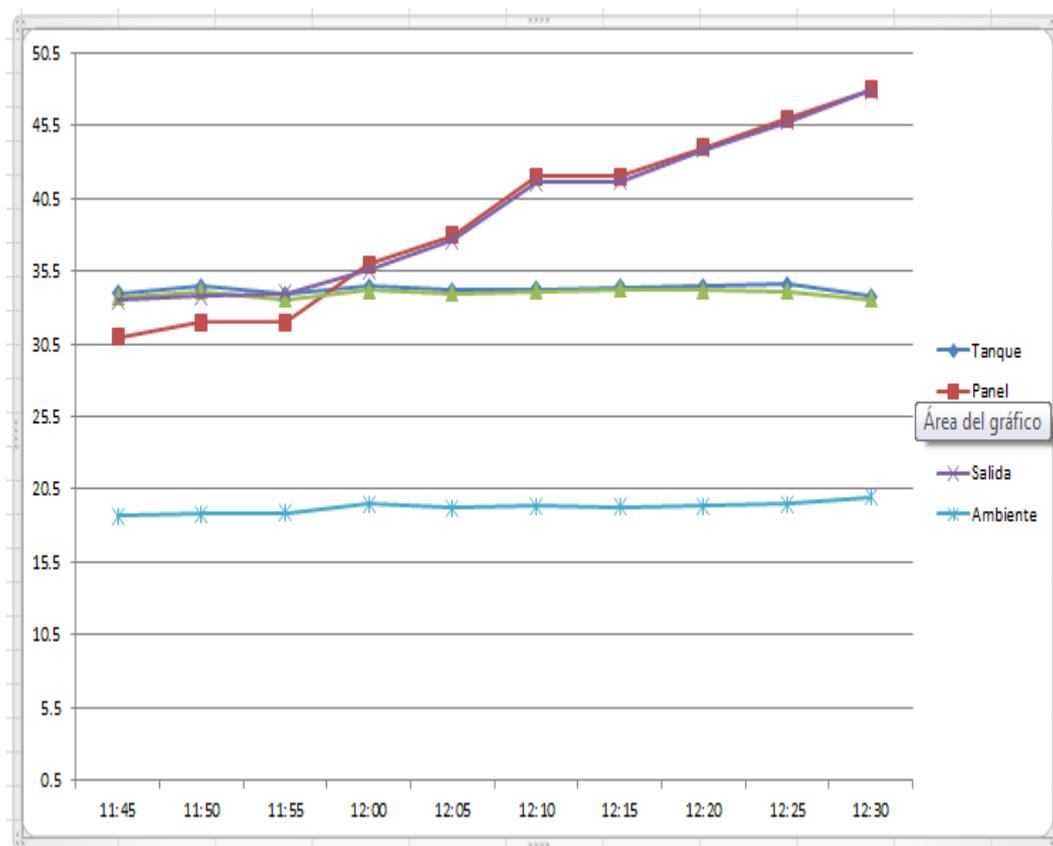
**TABLA N° 2**

**TEMPERATURA DE INGRESO AL COLECTOR**

	<b>Tanque</b>	<b>Panel</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Ambiente</b>
11:45	34.0	31.0	33.7	33.5	18.7
11:50	34.5	32.0	34.1	33.8	18.8
11:55	33.9	32.0	33.6	34.0	18.9
12:00	34.5	36.0	34.2	35.6	19.5
12:05	34.2	38.0	34.0	37.6	19.2
12:10	34.3	42.0	34.1	41.6	19.4
12:15	34.4	42.0	34.3	41.7	19.3
12:20	34.5	44.0	34.2	43.9	19.4
12:25	34.6	46.0	34.1	45.8	19.5
12:30	33.8	48.0	33.6	47.9	20.0
$\Sigma$	34.3	39.1	34.0	39.5	19.3

Fuente: Mediciones propias

**GRÁFICO 2**  
**MEDICIONES DE RENDIMIENTO**



**Interpretación:**

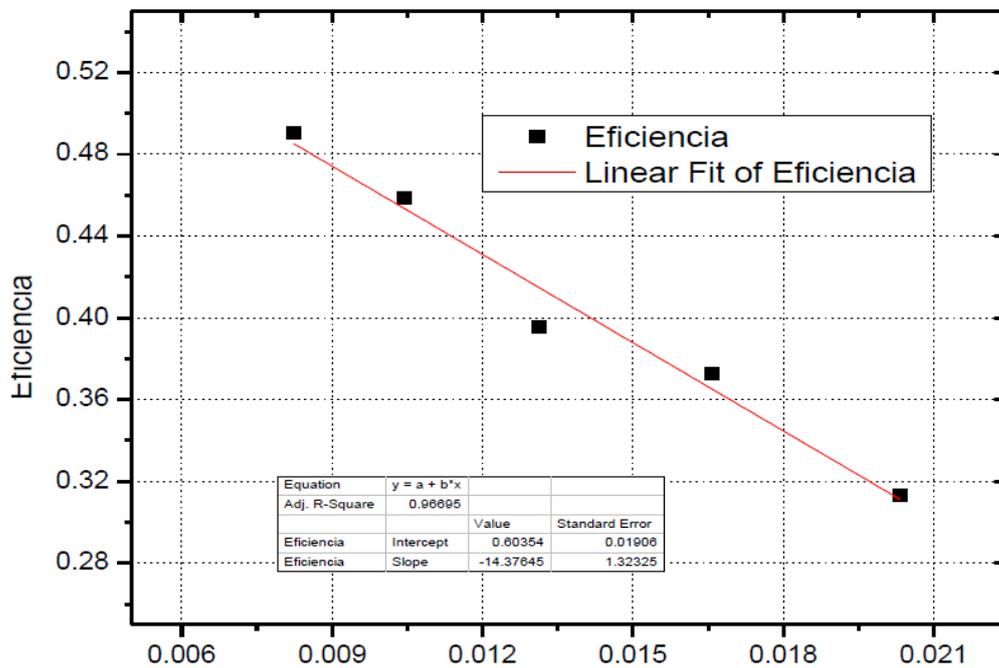
En este grafico se observa que entre las 11:45 a 11:56 am el sistema alcanza condiciones casi estacionarias donde la temperatura de entrada (Te) es 33.7°C y la temperatura de salida (Ts) es de 33.6°C. La temperatura ambiente promedio Ta=19.3°C. Vemos que la diferencia de temperatura de entrada y salida es de 5.5°C en promedio para el procesamiento se considera el promedio de los datos en este rango. La radiación solar es de 1111.5 W/c

**TABLA N° 3**

**RESULTADOS DE LA EFICIENCIA INSTANTÁNEA DEL COLECTOR**

Temperatura de entrada	Temperatura ambiente	Radiación solar	(Tent-tamb)/G	Eficiencia instantánea
°C	°C	W/m <sup>2</sup>	°C/W/m <sup>2</sup>	
27.9	18.8	1103.2	0.0082	0.490
30.4	19.1	1086.8	0.0104	0.458
33.8	19.2	1111.5	0.0131	0.395
37.4	19.2	1099.3	0.0166	0.372
44.6	19.4	1242.8	0.0203	0.313

Fuente: Evaluaciones en campo



Según la ecuación de la eficiencia tenemos:

$$\eta = FR \tau \alpha - UL(Te - Ta G)$$

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

$\tau$  = transmitancia de vidrio transparente según (Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991) es 0.88.

A = absorbancia del aluminio según (Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991), es 0.95.

Por lo tanto usando los resultados del grafico 3 tenemos

$$FRUL = -14,38 \quad (8)$$

$$FR \tau \alpha = 0.604 \quad (9)$$

Usando los datos de  $\alpha = 0.95$  y  $\tau = 0.88$  citados anteriormente y reemplazando en (9) tenemos:

$$FR \cdot 0.88 \times 0.95 = 0.604$$

$$FR = 0.604 / (0.88 \times 0.95)$$

$$FR = 0,722$$

$$\text{Reemplazando en (8) tenemos: } 0.722 \times UL = -14.38$$

$$UL = -14,38 / 0.722$$

$UL = -19,92 \text{ W/m}^2\text{°C}$  XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES), Lima, 14 -19.11.2011

La eficiencia instantánea máxima del colector solar es de 60.4% y el coeficiente global de perdidas es de  $UL = -19,92 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , así mismo en la prueba se obtuvo el factor de remoción de 0,722

## CONCLUSIONES

Los valores típicos del factor de remoción para el tipo de colectores como el que se evalúa van de 0,82 a 0,85 (Chasseriaux, J.M., 1990); para el caso del colector evaluado se ha obtenido un valor de 0,722; esto es debido a un mal contacto térmico entre la placa que absorbe y los tubos de la rejilla.

La velocidad de enfriamiento del tanque de almacenamiento de agua, la cual está relacionada con la velocidad de enfriamiento del medio ambiente que fue 0,43 °C/hora, de los resultados anteriores se observa que hay una relación de 2 a 1; como la ley de conducción de calor depende de la geometría y de los materiales aislantes, además de la diferencia de temperatura entre el agua del tanque y del medio ambiente, podríamos afirmar que la relación encontrada también sea válida para zonas donde predomine las pérdidas por

conducción, sobre todo en horas de la noche donde la velocidad del viento es muy baja o casi nula.

El proceso de calentamiento del agua en el tanque de almacenamiento ocurre entre las 07:30 horas y las 12:30 horas, luego de lo cual la temperatura del agua en el colector es menor que de la parte superior del tanque, interrumpiéndose el proceso termosifón, permaneciendo el agua caliente captada en el tanque y cuya duración depende explícitamente del aislamiento dispuesto alrededor. La velocidad de calentamiento en este periodo de tiempo fue de  $5,5^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ , básicamente.

La energía térmica útil ganada por la terma de 120 litros durante las 8 horas de calentamiento fue de  $22 \times 10^6 \text{ J}$  ( $6,14 \text{ kWh}$ ), la cual es comparable con una ducha eléctrica de 2 kW de potencia funcionando durante 3,07 horas por su parte la energía solar captada por el colector durante las 8 horas fue de  $11,01 \text{ kWh}$ , Obteniéndose una eficiencia térmica para la terma solar de 55,7%.

## **RECOMENDACIONES**

En el colector se debe mejorar el contacto térmico entre la placa de aluminio y los tubos de cobre, esto se podría hacer con abrazaderas metálicas, de esta manera se mejorara el factor de remoción y por tanto la eficiencia máxima del colector.

Se debe aumentar el espesor del aislante térmico en la parte posterior y laterales del colector, así se disminuirá el coeficiente global de pérdidas UL.

Se debe aumentar el espesor del aislante térmico del tanque de almacenamiento de agua para disminuir las pérdidas.

Se debe mejorar la unión de los tubos de cobre del colector con el tanque de

almacenamiento, para evitar fugas de agua debido a la fatiga de los materiales ocasionada por las constantes expansiones y contracciones térmicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ALVAREZ, G., ARCE, J., LIRA, L., Y HERAS,** (2002) M.R. Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans. *Solar Energy*, 107-113 pp.

**ARCE, J. REDISEÑO,** construcción y caracterización de un colector solar plano de aire para un sistema de secado de grano. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica,

**CENIDET-SEP, CUERNAVACA, MORELOS,** (2002) El-Nashar, A. Solar radiation characteristics in Abu Dhabi. *Solar Energy*, 1991, 47 pp.

**HOTTEL, H.C.** (1976) A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres. *Solar Energy*, 129-134 pp.

**JIMÉNEZ, A. PORTALANZA, M.** (2009). Estandarización de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar en la Ciudad de Riobamba. Tesis Ing. Mecánica. Riobamba. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, , 28-29 pp.

**LÓPEZ CÓZAR J.** (2006) Energía Solar Térmica. Manuales de Energías Renovables; Madrid, España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 13 pp.

**ORTEGA RODRÍGUEZ M.**( 2002) Energías Renovables. 2ed. Madrid, 33-73 pp.

**YEBOAH-AMANKWAH, D., Y AGYEMAN, K.** (1990) Differential Angstrom model for predicting insolation from hours of sunshine. Solar Energy, 371-377 pp.

**MORIARTY, W.W.** (1991) Estimation of solar radiation from Australian meteorological observations. Solar Energy, 209-218 pp.

**SOLER, A.** (1990) Statistical comparison for 77 European stations of 7 sunshine-based models. Solar Energy, 365-370 pp.

**SIMA, E.** (1999). Estudio, caracterización y evaluación de un secador solar de granos de tipo indirecto. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica, CENIDET- SEP, Cuernavaca, Morelos.

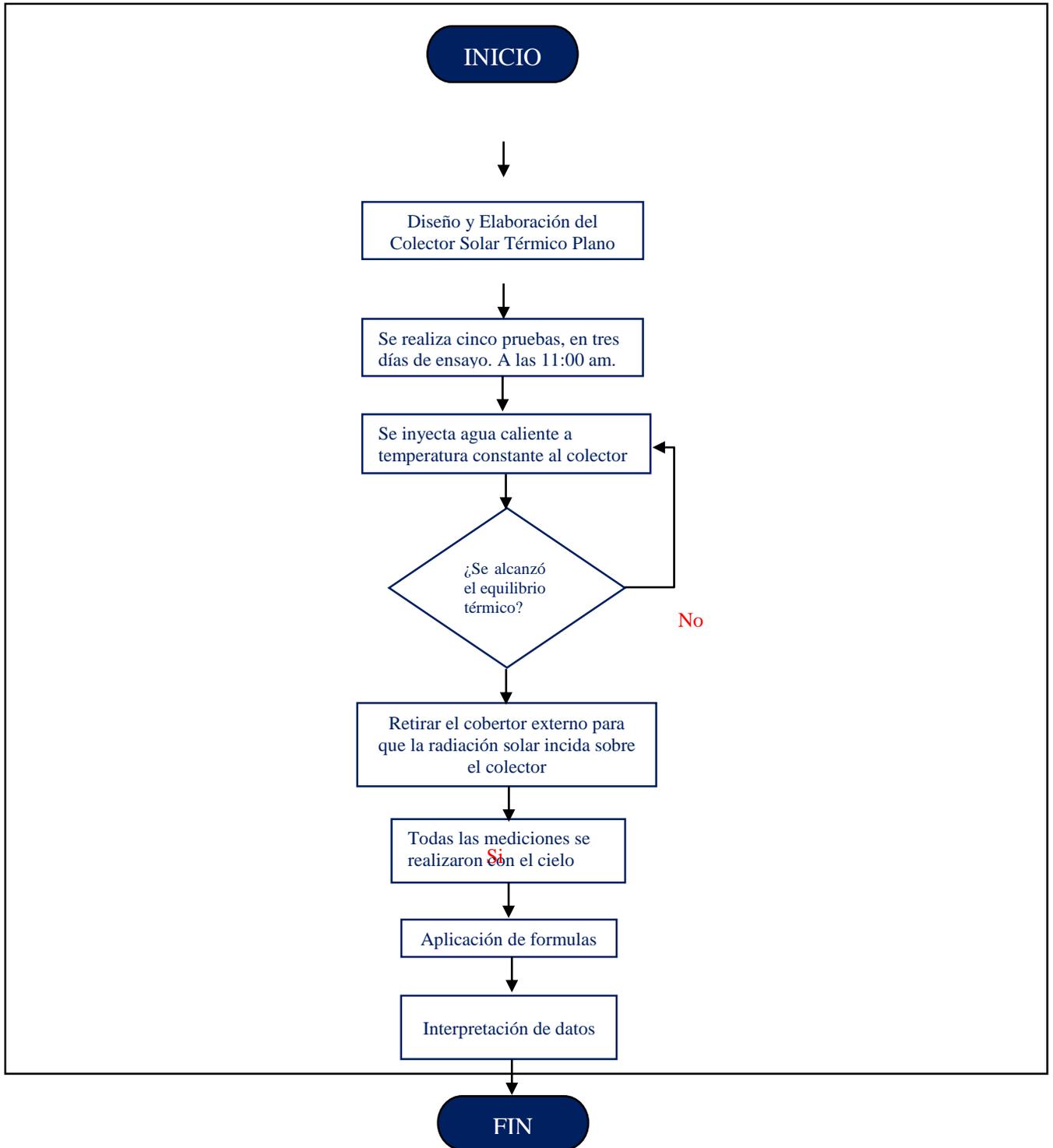
**QUIÑONES, A.J.** (2002). Análisis de Datos de Radiación Solar Global y Temperatura Ambiente en Temixco, Morelos, Asociación Mexicana de Energía Solar, México, 579-582 pp

**QUINTANA, J., PILATOWSKY, I.** (1993). Diseño, construcción y evaluación de un sistema para la normalización de colectores solares. Memoria de la XVII Semana Nacional de Energía Solar, Colima, 70-75 pp.

**FUNDACIÓN TERRA**, (2007). Guía práctica de una instalación de energía solar térmica,  
Barcelona.

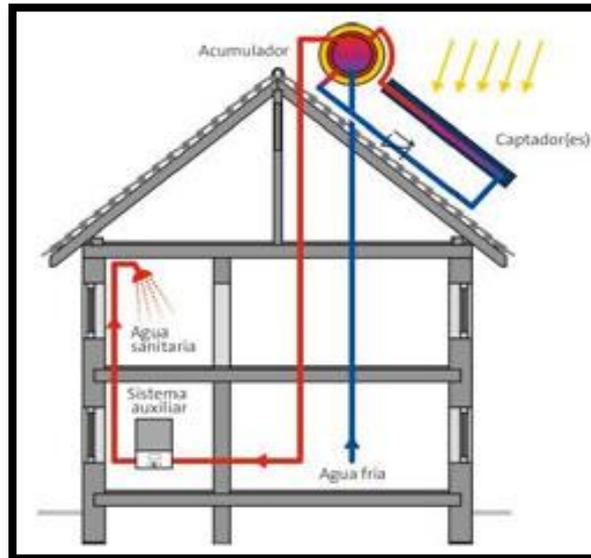
## ANEXOS

### FLUJOGRAMA DEL PROCESO



## IMAGEN N° 1

### PROCESO DE CIRCULACION DE AGUA CALIENTE



*Fuente: Fundación Terra, Guía práctica de una instalación de energía solar térmica*

*<http://www.terra.org/categorias/articulos/guia-practica-de-una-instalacion-de-energia-solar-termica>, 2007*

## IMAGEN N° 2

### TANQUE DE AGUA FRÍA



*Fuente: Propia*

**IMAGEN N° 3**

**COLECTOR SOLAR PLACA PLANA**



*Fuente: Propia*

**IMAGEN N° 4**

**TANQUE DE AGUA CALIENTE**



*Fuente: Propia*

**IMAGEN N° 5**

**COLECTOR SOLAR TÉRMICO PLANO**



*Fuente: Propia*