

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“DESARROLLO Y ESTUDIO FUNCIONAL DE UN PROTOTIPO DE  
COLECTOR SOLAR PLANO PARA A.C.S. CON CAPTADOR DE  
ASFALTO”**

**IXI ZUMILÍN ISABELLA ESPINOSA  
4-752-345**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2016**

**DESARROLLO Y ESTUDIO FUNCIONAL DE UN PROTOTIPO DE  
COLECTOR SOLAR PLANO PARA A.C.S. CON CAPTADOR DE  
ASFALTO**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O  
PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**PROF. ING. JOSÉ R. CASTILLO**

\_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

**PROF. ING AMILCAR BEITIA**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**PROF. ING. JOSÉ PINEDA**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPÚBLICA DE PANAMÁ  
2016**

## AGRADECIMIENTO

A **Dios** nuestro padre celestial por todas las bendiciones y permitir el desarrollo de esta investigación.

A mi **Madre Elidia** por su apoyo incondicional. Gracias porque este triunfo es de las dos.

A los Profesores orientadores, especialmente al **Ingeniero José Ricardo Castillo**, Director, por su dedicación y esfuerzo en todas las fases de este proyecto de grado, igualmente al **Ingeniero Amilcar Beitia** y al **Ingeniero José Pineda** por la orientación brindada en la elaboración de este trabajo. Además un agradecimiento muy especial al **Doctor José Ramón Binns**, quien colaboró significativamente en el desarrollo estadístico.

A mis compañeros y amigos que colaboraron para llevar a feliz término este Trabajo de Grado.

Al Señor Roberto Guerra y Familia por su colaboración en la fase inicial de este Trabajo de Grado.

*Jaxi Zumilin Espinosa*

## DEDICATORIA

A **Dios** por su infinito amor, quien me ha dado la sabiduría para lograr esta etapa inicial de mi vida profesional.

A ti **MAMÁ**, dedico este trabajo de grado, ya que ha sido muy significativo todo tu amor, compañía, consejos y apoyo.

A mi linda **ABUELA**, gracias por quererme tanto.

A mi **FAMILIA** ya que es un logro conjunto.

*Faci Zumilin*

# **DESARROLLO Y ESTUDIO FUNCIONAL DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR PLANO PARA A.C.S. CON CAPTADOR DE ASFALTO**

**Espinosa, IZ. 2016.** Desarrollo y estudio funcional de un prototipo de colector solar plano para ACS con captador de asfalto. Tesis Ingeniero en Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí, Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

## **RESUMEN**

Las energías renovables no convencionales son una fuerte alternativa frente a la disminución de recursos para afrontar la demanda energética del mundo y al aumento de emisiones que contribuyen al calentamiento global. En esta investigación se distinguen dos etapas, siendo la primera de ellas, la construcción de un prototipo de colector solar plano con captador de asfalto para la producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria) a un moderado costo, construido a partir de materiales accesibles en el mercado nacional. Se documenta paso a paso el procedimiento de construcción, la metodología empleada, se detalla las dimensiones del colector solar y se cita cada uno de los materiales y herramientas utilizados en la elaboración de dicho prototipo. Además, se instala en un sistema solar térmico (SST) para llevar a cabo la determinación del comportamiento funcional del colector. Seguidamente la determinación del comportamiento funcional del mismo; se instalaron mini termómetros digitales en la entrada y la salida del colector, para obtener los valores de temperatura del agua. Igualmente se midió la radiación solar mediante un actinógrafo digital portátil sobre el plano horizontal para conocer la radiación global, y otro actinógrafo similar en una superficie de 15° grados de inclinación junto al colector, para conocer la radiación recibida por el colector. Se realizan mediciones de 8:10 a.m. y 5:55 p.m., cada 15 minutos durante seis días consecutivos. De este modo se monitorea el comportamiento del colector y observó su respuesta ante diferentes variables climáticas presentados en el periodo de seis días del mes de septiembre. Los resultados demostraron que es posible diseñar un colector económicamente viable. El estudio indicó que las ganancias de temperaturas obtenidas alcanzan los 20°C en promedio, acompañado de un volumen promedio de 75.5 litros de agua caliente al día.

**PALABRAS CAVES:** Energía solar, colector solar, asfalto, agua caliente sanitaria, sistema solar térmico, radiación solar, construcción.

## **DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL RESEARCH OF A FLAT SOLAR COLLECTOR PROTOTYPE FOR SANITARY HOT WATER WITH SENSOR OF PAVEMENT**

**Espinosa, I. Z. 2016.** Development and functional research of a flat solar collector prototype for sanitary hot water with sensor of pavement. Thesis Engineer in Basin and Environment Management. Chiriqui, Panama. Faculty of Agricultural Sciences.

### **ABSTRACT**

The unconventional renewable energy is a strong alternative before the decrease of resources to confront the worldwide energy demand and the emissions increase that contributes to the global warming. In this research are differentiate two phases, being the first of them, the construction of a flat solar collector prototype for sanitary hot water with sensor of pavement for the production of SHW (Sanitary hot water) with a low cost, built with accessible material in the local market. The construction process is recorded step by step, the methodology applied detail the dimensions of the solar collector and are mentioned each one of the materials and tools used in the elaboration of aforesaid prototype. In addition was installed in a solar thermal system (STS) to perform the determination of the functional behaviour of the collector. Immediately the determination of the functional behaviour thereof; in the intake and outlet of the collector was installed mini digital thermometers in order to obtain the values temperatures of water. Equally was measured the solar radiation by an portable digital actinograph on the horizontal drawing to know the global radiation, and other similar actinograph in a surface of 15° degrees of inclination next to the collector, to know the radiation received by the collector. It was performed measures from 8:10 a.m. and 5:55 p.m., every 15 minutes during six consecutive days. Thus the collector behaviour was monitored and observed its response before of different weather variables occurred in the period of six days of the month of September. The results showed that is possible design a collector with low cost. The research pointed out that the average temperatures obtained reached was 20°C with an average volume of 75.5 liters of hot water a day.

**KEYWORDS:** solar energy, solar collector, asphalt, domestic hot water, solar thermal, solar radiation, construction.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>APROBACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema a investigar .....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. General.....	6
1.4.2. Específicos .....	6
1.5. Hipótesis .....	6
1.6. Alcances y limitaciones .....	7
1.6.1. Alcances .....	7
1.6.2. Limitaciones .....	7
<b>2. REVISION DE LITERATURA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Fuentes de energía.....	8
2.1.1. Las energías no renovables.....	9
2.1.2. Las energías renovables.....	10
2.2. Crisis energética .....	12
2.3. Impacto de la producción de Energías en el medio ambiente .....	14
2.4. Situación actual en Panamá .....	15
2.4.1. Las energías alternas en Panamá .....	17

2.4.2. La disponibilidad de recursos en Panamá .....	18
2.5. La energía solar .....	20
2.5.1. El sol.....	20
2.5.2. La radiación solar .....	21
2.5.3. Energía Solar Térmica .....	23
2.5.4. La energía solar fotovoltaica.....	25
2.5.5. El desarrollo de la energía solar en Panamá .....	27
2.6. Transferencia de Calor .....	28
2.6.1. Mecanismos de transferencia de calor .....	29
2.7. Las instalaciones de sistemas solares térmicos (SST) .....	31
2.7.1. Las ventajas de los SST .....	33
2.7.2. Las desventajas de los SST .....	34
2.7.3. Los principales componentes de unos SST .....	35
2.8. Los colectores solares para ACS.....	38
2.8.1. Tipos de colectores.....	38
2.8.2. Principio de funcionamiento.....	44
2.9. Importancia y usos del agua caliente sanitaria (ACS) .....	48
2.9.1. La temperatura de consumo .....	49
2.10. El asfalto como material absorbente de calor .....	50
2.10.1. Propiedades químicas del asfalto.....	50
2.10.2. Propiedades físicas del asfalto.....	51
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
3.1. Sitio de construcción del colector .....	52
3.2. Área de ensayo funcional del colector .....	52
3.3. Materiales .....	53
3.3.1. Materiales para la construcción del colector solar .....	53
3.3.2. Materiales utilizados en el ensayo del colector.....	56
3.3.3. Análisis estadístico .....	56
3.4. Métodos.....	56
3.4.1. Metodología para diseñar el colector.....	56
3.4.2. Metodología para la selección de materiales.....	57

3.4.3. Metodología para construir el colector solar .....	57
3.4.4. Metodología para el ensayo de campo .....	63
3.4.5. Procedimientos Estadísticos.....	65
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
4.1. Etapa I. Diseño y construcción del prototipo de colector solar .....	67
4.1.2. Características del prototipo construido .....	68
4.2. Etapa II. Determinación del comportamiento funcional del colector solar	71
4.2.1. Radiación solar en plano horizontal .....	72
4.2.2. Radiación solar a 15 grados de inclinación .....	72
4.2.3. Temperatura de salida .....	73
4.2.4. Temperatura de entrada .....	74
4.2.5. Promedios de variables por hora para cada día de registro.....	74
4.2.6. Volumen total por día .....	79
4.2.7. Análisis Estadístico.....	80
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>7. REFERENCIA CITADAS .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

No.	TITULO	Pág.
I	Problemas ambientales generados por la producción de energía.	14
II	Clasificación de SST según el rango de temperatura y aplicaciones.	33
III	Lista de materiales necesarios para la construcción del colector solar	54
IV	Valores máximo, mínimo y promedio de radiación plano horizontal en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).	72
V	Valores máximo, mínimo y promedio de radiación en ángulo de 15 grados en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).	73
VI	Valores máximo, mínimo y promedio de temperatura: salida de colector en grados Celsius ( $^{\circ}C$ ).	73
VII	Valores promedio por hora del primer día de registro.	75
VIII	Valores promedio por hora del segundo día de registro.	75
IX	Valores promedio por hora del tercer día de registro.	76
X	Valores promedio por hora del cuarto día de registro.	77
XI	Valores promedio por hora del quinto día de registro.	77
XII	Valores promedio por hora del sexto día de registro.	78
XIII	Volumen total por día en litros (L).	79
XIV	Correlación entre variables de interés.	80
XV	Modelos de regresión simple sometidos a prueba la investigación.	81
XVI	Correlación simple entre variables estudiadas (volumen – radiación y temperatura.	82
XVII	Ecuaciones de regresión con volumen total por día como variable dependiente.	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>No.</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>Pág.</b>
<b>1</b>	Ilustración de los mecanismos de transferencia de calor.	<b>29</b>
<b>2</b>	Esquema de un Sistema Solar térmico (SST) tipo cerrado, asistido por calentamiento convencional	<b>32</b>
<b>3</b>	Esquema de los principales elementos de un colector solar.	<b>41</b>
<b>4</b>	Ilustración de efecto invernadero dentro del colector solar.	<b>46</b>
<b>5</b>	Esquematación del efecto termosifón en un SST.	<b>48</b>
<b>6</b>	Localización geográfica del área de estudio.	<b>53</b>

## INDICE DE ANEXOS

<b>N°</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
1	Matriz de correlación simple de las variables: RPH, R15, TENT, TSAL.	99
2	Análisis de regresión con TSAL como variable dependiente y los tipos de radiación (RPH y R15) como variables independientes.	100
3	Flujograma de procedimiento de construcción del prototipo estudiado.	101
4	Gráfica de Regresión Temperatura de Salida – Radiación Solar en inclinación de 15 grados	102
5	Gráfica de Regresión Temperatura de Salida – Radiación Solar en Plano Horizontal	102
6	Gráfica del día de mayor radiación solar, 23 de septiembre 2016.	103
7	Gráfica del día de menor Radiación solar	103
8	Gráfica de promedios de Radiación solar	104
9	Gráfica de volumen total de agua caliente, producido en Litros por día	104
10	Formulario de recolección de datos	105
11	Marco del colector cubierto con pintura blanca mate	106
12	Esquina del marco remachada	106
13	Colocación de cinta asfáltica en la parte interna del marco	107
14	Parte interna del marco	107
15	Sección de madera atornillada al marco	108
16	Marco con el fondo de madera (aislamiento)	108

<b>N°</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
17	Lamina de zinc cortada y pintada negro mate	109
18	Barrera de calor atornillada a la madera dentro del colector	109
19	Corte de tubo de cobre	110
20	Secciones de tubos de cobre para el armado de la tubería de conducto	110
21	Tubería intercambiadora (serpentín) armado	111
22	Uniones con soldadura de bronce	111
23	Acoplamiento de la tubería intercambiadora a la barrera de calor.	112
24	La tubería intercambiadora atornillada con grapas	112
25	Salida de agua del colector	113
26	Tubería conductora integrada al colector	113
27	Tubería intercambiadora instalada al colector	114
28	Colocación de la mezcla de asfalto sobre el colector	114
29	Distribución de la mezcla de asfalto sobre la barrera de calor	115
30	Compactación de la capa de mezcla de asfalto	115
31	Colocación de la cubierta de vidrio	116
32	Colector instalado en el SST, para ensayo de campo	116
33	Mini Termómetro Digital	117
34	Actinógrafo Digital portátil	117
35	Registro de datos	118
36	Presupuesto estimado del prototipo desarrollado	124
37	Vista longitudinal del colector	124

<b>N°</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
38	Vista Transversal del colector	124
39	Vista Frontal del colector	125
40	Corte transversal del colector	125

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de las fuentes de energía convencionales, ha generado un deterioro significativo del medio ambiente, creando un escenario propicio al agotamiento de estas energías fósiles.

Las energías que provienen del sol, los cursos de agua, la biomasa o el viento, son consideradas energías renovables, pues provienen de fuentes permanentes o inagotables. Es por eso que se debe utilizar la tecnología adecuada para aprovechar estas energías limpias y renovables. La investigación realizada por Soto (2014) señala que, entre todas las alternativas, se podría decir que el sol, es la fuente de energía más abundante. Además, también menciona ventajas de la misma, por ejemplo: proyectar sobre la tierra diariamente 4 mil veces más energía de la que consumirá y emitirla los 365 días del año, sin contaminar. La energía solar es también una de las técnicas más limpias en producción de energía, ya que no emite CO<sub>2</sub> y esto permite conservar una buena calidad de aire suelo y agua, tomando en cuenta que es más económica que otras fuentes energéticas (Conant y Fadem 2011).

Los colectores solares planos para agua caliente sanitaria (ACS) son dispositivos utilizados para absorber radiación solar y transferir energía térmica a un fluido. Esta energía solar es utilizada para calentar agua y otros fluidos para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas; entre otros usos.

El principio de funcionamiento de un colector solar es sencillo, se basa en el aprovechamiento de la energía calórica emitida por la radiación solar y concentrada bajo el principio del efecto invernadero (Placco y Saravia s.f.). Generalmente los colectores industriales poseen en su interior un cuerpo negro que absorbe la radiación, conocido como captador solar, el cual transfiere calor al fluido que circula dentro del colector. Están fabricados de diferentes materiales como acero, cobre, aluminio, plásticos. Sin embargo, el asfalto es un material que se caracteriza por ser absorbente del calor y no solo se mantiene caliente en horas de sol, sino que también, el asfalto guarda calor una vez el sol se ha puesto; sin embargo, este no es un material que se utiliza en los paneles solares térmicos.

En el presente estudio se plantea el desarrollo de un prototipo de colector solar plano para ACS, utilizando el asfalto como material absorbente de calor y a su vez se evaluará el comportamiento funcional del mismo.

### **1.1. Planteamiento del problema a investigar**

El agua caliente constituye un consumo energético importante en una casa teniendo diversos usos; como la higiene personal y la limpieza residencial, también es útil en procesos comerciales e industriales. Para suplir esta necesidad actualmente se utilizan energía eléctrica mediante gas licuado de petróleo, los mismos que en su producción y uso emanan dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>), el cual se constituye en el primer factor de contaminación (Calle *et al.*,2010).

Los colectores solares industriales comercializados en el mercado nacional mantienen elevados costos y en su mayoría son importados.

Estos paneles convencionales poseen captador de calor metálico plano, generalmente de cobre. Sin embargo, estos pierden calor rápidamente en las horas de menos insolación. Este problema se pudiera solucionar utilizando otro material que almacene calor por más tiempo, como lo es el asfalto.

## **1.2. Antecedentes**

La energía solar es el recurso energético más abundante en la tierra. Esta energía que recibe la superficie del planeta en una hora es equivalente al total de energía consumida por todos los humanos en un año (CER: Centro de Energías Renovables, 2012). Resaltando que la misma es una alternativa más limpia, más económica y de fácil manejo, lo que la hace apropiada para su instalación en aquellos sitios donde se carece de una infraestructura eléctrica básica o alejada de la red convencional.

Actualmente, se ha conseguido desarrollar tecnologías capaces de aprovechar la radiación solar, de forma que ésta puede competir con los combustibles convencionales. Para la obtención de energía térmica, sobre todo cuando se trata de producir ACS con temperaturas entre 45 y 100 grados Celsius, la fiabilidad de las instalaciones es un factor muy importante (Viessmann, 2005).

Se desconoce si en Panamá se han realizado investigaciones sobre el rendimiento y comportamiento de colectores solares para ACS mientras que en todos los casos los equipos para el aprovechamiento de la energía solar son importados. En otros países existen laboratorios especializados para la evaluación y certificación de equipos para aprovechamiento de energía solar. Tampoco existe registros de la fabricación de paneles solares para ACS proyectados y adaptados para atender las condiciones locales (Castillo, JR, notas de aula, 2015).

### **1.3. Justificación**

Entre las metas medioambientales del milenio está garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y como parte de esto, la reducción del consumo de combustibles fósiles. Esto implica el desarrollo de nuevas formas de aprovechamiento de las energías renovables y, desde el punto de vista de la eficiencia energética, el desarrollo de tecnologías de ahorro de energía (BID, BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO, 2004). Mitigar la crisis energética es otra de las razones que lleva a implementar este tipo de acciones que ayuden al desarrollo de nuevas formas de obtención de energías renovables, que permita sustituir las energías fósiles que, en un futuro, podrían llegar a agotarse.

Los colectores solares industriales son importados y localmente su costo por metro cuadrado puede ascender al millar de dólares; y la capacidad de obtención de calor está limitada a la cantidad de horas solares, lo que significa que la temperatura de la placa captadora y por ende la del agua desciende a medida que transcurre la noche o durante de condiciones climatológicas adversas.

Un colector solar plano que en lugar de una placa metálica posea una capa base de asfalto, pudiera no presentar tanta eficiencia como el moderno y costoso colector solar de tubos al vacío; pero sí una solución coherente pues el asfalto ha demostrado cierta capacidad de almacenamiento de calor que pudiera estar disponible aun en horas nocturnas. Esta propiedad no la poseen los absorbedores de lámina metálica. De ahí, que el prototipo propuesto pudiera adaptarse a las condiciones climáticas locales y presentar costo accesible; mientras ayuda a mitigar los picos de demanda eléctrica que han provocado recientes situaciones de racionamiento energético en Panamá. Además, también pudiera influir en la diversificación de la matriz energética nacional, mediante la inserción de energías limpias. Es importante destacar que la construcción de este prototipo de colector solar para producción de ACS con materiales y tecnologías locales; bien pudiera incentivar su adopción por el ciudadano común, desde su establecimiento mediante ensayos de campo, hasta su utilidad final.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

Diseñar, construir y determinar el comportamiento funcional de un colector solar plano para A.S.C. con captador térmico de asfalto.

### **1.4.2. Específicos**

1. Diseñar y construir un prototipo de colector solar plano utilizando asfalto como absorbente de calor, mediante métodos sencillos.
2. Documentar detalladamente el proceso de construcción del prototipo colector solar.
3. Determinar el comportamiento funcional del colector solar instalado en un Sistema Solar Térmico (SST), mediante la medición de variables (Volumen, Temperatura del agua y Radiación solar incidente) en función de las condiciones climatológicas del corregimiento de Chiriquí.

## **1.5. Hipótesis**

**Hi:** La construcción y ensayado de un colector solar con captador de asfalto permite la determinación del potencial de producción y comportamiento funcional.

**Ho:** La construcción y ensayado de un prototipo de colector solar con captador de asfalto No permite determinar el potencial de producción ni su comportamiento funcional.

## **1.6. Alcances y limitaciones**

### **1.6.1. Alcances**

Con el desarrollo y ensayado del prototipo de un colector solar con captador de asfalto, se espera documentar el proceso de construcción que sirva de guía para realizar replicas con la intención de que esta tecnología pueda popularizarse e incentivar la investigación continua en este tema, para realizar mejoras en el rendimiento potencial de estas aplicaciones solares térmicas y crear una propuesta de alternativa energética que pueda mitigar situaciones ambientales adversas como aporte al desarrollo energético sostenible.

### **1.6.2. Limitaciones**

La principal limitante para desarrollar esta investigación es la falta de instrumentación, ya que el recurso económico es limitado. Tales instrumentos son indispensables para la toma de variables como: Temperatura y Volumen de Agua; y Radiación Solar.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Fuentes de energía**

A través del tiempo, y a lo largo de la historia evolutiva de la sociedad, el hombre ha utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor, desde su propia fuerza física, así como también la fuerza del agua y del viento, hasta la explotación de combustibles fósiles como lo son el carbón, el gas natural y petróleo. Las energías obtenidas de fuentes diferentes a las clásicas como carbón, petróleo y gas natural, son consideradas fuentes alternas de energía, estas se autogeneran y no dependen de la quema de combustible. Son energías alternativas la solar, eólica, geotérmica, oceánica y de la biomasa, que, además, son energías renovables (Medrino, I. s.f.).

La producción y el alto consumo de energía es una de las causas que llevan a que la contaminación general de la tierra y la atmósfera sea muy elevada, con desfavorables resultados para el medio ambiente puesto que las principales fuentes de energías que se utilizan no son renovables (Roldan Viloría, J. 2008). Algunos de estos resultados se presentan en forma de drenajes ácidos, emisiones de metano y desechos de minería, derrames de petróleo procedente de las instalaciones en tierra y mar, así como de los buques; contaminación

atmosférica producida por el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el dióxido de carbono, al quemar carbón, petróleo y gas. Es por ello que se debe valorar los recursos naturales y darle un sentido ambiental de sustentabilidad en el tiempo y en el espacio, mejorando la eficiencia energética y empleando energías alternativas más limpias y amigables con el medio ambiente. Es posible que en el futuro puedan aparecer otras fuentes de energía, así como también desaparecer alguna de ellas. Sin embargo, la disponibilidad de energía ha sido, y siempre será fundamental para la humanidad (Cabello Quiñones, AM. 2006).

### **2.1.1. Las energías no renovables**

Las energías no renovables son aquellas que se encuentra en recursos formados en la naturaleza durante miles de años, que, una vez consumidos, no hay forma de obtenerlos de nuevo. Los procesos involucrados en su transformación y la consecutiva utilización de la misma, tienen importantes efectos negativos sobre el medio ambiente, especialmente por la contaminación atmosférica que causa y, por los residuos que genera (CATEDU, Centro Aragonés de Tecnología para la Educación, s.f.). Dentro de las fuentes de energías no renovables, se puede mencionar el carbón, el petróleo y el gas natural.

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza. Sin embargo, los yacimientos ricos ya se han agotado y los que quedan son de baja calidad,

ya que contienen muchas impurezas, lo que le exige procesos de lavado y transformaciones para aumentar su nivel calórico (CATEDU, Centro Aragonés de Tecnología para la Educación s.f.). El petróleo es un combustible natural formado por una mezcla líquida de compuestos orgánicos. Posiblemente uno de los mayores problemas que genera el consumo de petróleo radique en su transporte. Existe una enorme red de oleoductos en el mundo, pero no es suficiente para cubrir la enorme demanda y hay que recurrir al transporte marítimo y terrestre (Correa, N. 2007).

El gas natural es un combustible primordial que proporciona más de la cuarta parte de la energía mundial. El mismo suministra un 17 por ciento de la demanda de energía, pero, contrariamente al petróleo, su uso está concentrado en relativamente pocos países (Borrás Brucart, E.1987).

### **2.1.2. Las energías renovables**

Dentro de las diferentes fuentes de energía se distinguen las energías renovables, que son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables. Estas energías son procedentes de fuentes naturales y forman parte de ciclos naturales, en oposición a aquellas que proceden de reservas. Dentro de las energías renovables se encuentra la solar, eólica, hidráulica, oceánica y la procedente de la biomasa (Correa, N. 2007).

- **La energía de la biomasa.** Esta energía se origina en la descomposición de la materia orgánica vegetal o animal. La biomasa también puede ser

convertida en combustibles líquidos, los que se conocen genéricamente como biocombustibles. Los desechos orgánicos, residuos agrícolas y de la silvicultura, se consideran fuentes de biomasa, destinadas a la producción de calor, combustibles y electricidad (De La Torre *et al.*, 2009).

- **La energía eólica.** Esta energía se obtiene de la transformación de la energía cinética contenida en el viento, en energía utilizable (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006). Entre el uno y dos por ciento de la energía proveniente del sol se convierte en energía cinética dando origen al viento. Al chocar el viento con las palas de aero-turbinas se produce un trabajo mecánico de rotación que a su vez mueve un generador y este produce energía eléctrica (Baillarie, P. *et al* 2007).
- **La energía geotérmica.** Esta energía se genera a partir de reacciones químicas naturales que tienen lugar en el interior del planeta tierra y producen grandes cantidades de calor. Este tipo de energía se aprovecha a través de profundas perforaciones en la tierra, extrayendo el calor generado por estas reacciones y transfiriéndolo a un fluido. Las principales aplicaciones de la energía geotérmica, están relacionadas con la generación de electricidad para calentamiento de sitios públicos urbanos, calentamiento de piscinas y centros deportivos, procesos industriales, balnearios con aguas termales, bombas de calor geotérmicas para calefacción y secado agrícola (Correa, N. 2007).

- **La energía hidráulica.** La energía hidráulica es un recurso indirecto de la energía solar, ya que el sol es el motor del ciclo del agua en la naturaleza. La energía cinética que se genera producto del movimiento de las masas de agua se convierte en eléctrica mediante sucesivas transformaciones de energía. (Empresa Provincial de Energía de Córdoba s.f.).
- **La energía Oceánica.** La energía oceánica se fundamenta en la energía contenida en los océanos; el mar presenta grandes masas de agua en movimiento, las que contienen una inmensa cantidad de energía. El aprovechamiento de la energía del océano puede ser de tres tipos: energía de las mareas, energía de las olas y energía térmica oceánica (Jara Tirapegui, W. 2006).

## **2.2. Crisis energética**

Según Correa, (2007) hoy en día la demanda creciente de energía, está consumiendo los combustibles fósiles a un ritmo mil veces más rápido del que se forma. Su utilización abarca casi el 90 por ciento de la producción energética comercial mundial. La Agencia Internacional de la Energía (AIE), en la presentación de su informe anual, mostró que la demanda energética mundial se incrementará en 50 por ciento para 2030, si se mantiene la evolución del consumo actual. La AIE aseguró que la demanda de derivados del petróleo alcanzará los 92 millones de barriles diarios en 2010 y los 115 millones de barriles al día en 2030, con un promedio de crecimiento anual del 1.4 por ciento.

Respecto a la demanda de gas natural, fuente de energía que experimentará un mayor crecimiento, el consumo se incrementará cada año una media de 2.1 por ciento, hasta los 4.8 billones de metros cúbicos para 2030, lo que significa un aumento del 75 por ciento (Correa, N. 2007).

Roldan en el 2008 sostuvo que la producción y el alto consumo de energía están llevando a que la contaminación general de la tierra y la atmósfera sea muy elevada, con desfavorables resultados para el medio ambiente puesto que las principales fuentes de energías que se utilizan no son renovables. Algunos de estos resultados se presentan en forma de drenajes ácidos, emisiones de metano y desechos de minería, derrames de petróleo procedente de las instalaciones en tierra y mar, así como de los buques; contaminación atmosférica producida por el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el dióxido de carbono, al quemar carbón, petróleo y gas (Cabello Quiñones, AM. 2006).

Es preciso mencionar que la necesidad de energía está condicionada hasta el día de hoy, y seguirán estándolo en el futuro, por tres factores principales: El crecimiento poblacional, el desarrollo económico, y el progreso tecnológico. El aumento del ingreso por habitante, el crecimiento demográfico y la tecnología son algunas de las variables que más efecto tienen sobre la demanda de energía de un país (Jara Tirapegui, W. 2006).

### 2.3. Impacto de la producción de Energías en el medio ambiente

Son muchos los procesos presentes en las actividades de producción de y uso de energía y los mismos generan impactos negativos significativos sobre el medio ambiente, tanto cualitativa como cuantitativamente. Estos impactos ambientales pueden ser separados en dos categorías; aquellos de ámbito global y los de ámbito regional. A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los impactos ambientales:

**CUADRO I. PROBLEMAS AMBIENTALES GENERADOS POR LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA**

<b>IMPACTOS AMBIENTALES</b>	
<b>Globales</b>	<b>Regionales</b>
El cambio climático	El agotamiento progresivo de los recursos no renovables
La disminución de la capa de ozono estratosférico	Las emisiones a la atmósfera
La lluvia ácida	La contaminación del agua y de los suelos
Los efectos negativos sobre la biodiversidad	La generación de residuos
	La utilización del suelo
	La generación de ruidos
	Los impactos visuales sobre el paisaje

Fuente: Fundación Gas Natural, 2009.

Es importante señalar que, al estimar los problemas ambientales producidos por la generación de energía en actividades de generación de energía, debe considerarse el ciclo de vida asociado a dichas actividades, desde la extracción y transporte de las materias primas hasta la gestión de los residuos.

En relación a esto, las energías renovables representan en general y por su propia naturaleza, una opción ventajosa en esta situación. Además, la idiosincrasia de las fuentes primarias renovables, en general dispersas e inagotables, hace que presenten menores necesidades de transformación y transporte y ello explica también sus menores consecuencias globales en el medio ambiente (Fundación Gas Natural, 2009).

#### **2.4. Situación actual en Panamá**

La demanda de energía en una sociedad guarda relación con su nivel de bienestar y con el grado de desarrollo económico. A medida que Panamá se moderniza el consumo de energía aumenta, y a un ritmo mayor que el ingreso individual. En los últimos cuarenta años el sistema energético de Panamá ha experimentado cambios dramáticos. A pesar de que los precios de la energía han aumentado significativamente durante todo ese período el consumo de energía ha crecido de forma abrumadora, logrando un mejoramiento general del nivel de vida. Entre 1970 y 2013 el consumo de electricidad se multiplicó por once y el de los derivados del petróleo por cuatro veces y media; debido al aumento de los ingresos disponibles de los ciudadanos, que les permitió elevar

su capacidad de compra. Estas cifras dejan ver que toda la energía que el país consumió durante todo el año 1970, actualmente lo consume en poco más de dos meses. Como consecuencia del aumento del consumo de energía, el país se ha hecho más dependiente de las importaciones de petróleo con los consecuentes efectos negativos para la economía y el medio ambiente local y mundial (Plan Energético Nacional, 2015).

En la actualidad Panamá cuenta con una capacidad instalada de energía eléctrica próxima a 1,600 megavatios, pero cada año el desarrollo económico del país requiere cerca de 40 megavatios de nueva generación (Flores, 2008). Por otra parte, la dependencia energética de petróleo es de 87 por ciento. Tomando en cuenta que el país consume anualmente cerca de 16 millones de barriles de petróleo. La gran parte del suministro eléctrico del país depende de la lluvia, debido a que un 60 por ciento de la energía, se genera mediante centrales hidroeléctricas y el resto es producido en centrales térmicas mediante combustibles fósiles (ETESA).

Por esta razón en épocas de sequía, el país enfrenta problemas para cubrir las necesidades energéticas de la demanda de 3,5 millones de habitantes, y de su sistema productivo. Es preciso mencionar que en los últimos años Panamá ha afrontado una de las mayores sequías registrada en los últimos 20 años. Es por esto que actualmente las autoridades gubernamentales han tenido la obligación de racionalizar el consumo de energía eléctrica en el sector comercial e instituciones públicas y privadas.

### **2.4.1. Las energías alternas en Panamá**

Panamá es un país que cuenta con un clima y geografía adecuado, para implementar proyectos que utilicen energías renovables, que solucionarían a largo plazo el problema energético. Situaciones como la actual crisis energética evidencia la necesidad de incorporar energías como la solar y la eólica, puesto que Panamá presenta un gran potencial de recurso natural para estas energías. La proporción de energía renovable en el ámbito energético se sitúa actualmente en el 13 por ciento, pero todo este porcentaje se corresponde con mini-centrales hidroeléctricas. Para hacer frente a esta situación, es vital establecer políticas que fomenten el uso de energías alternas, que estas sean parte de una gestión energética sostenible y responsable, y así asegurar un abastecimiento más continuo de energía eléctrica en el país (Flores, 2008).

Actualmente se ha puesto en marcha la primera planta de energía solar fotovoltaica en el país, ubicada en el distrito de Parita, con una capacidad de primera fase tendrá una capacidad de 2,4 megavatios, que espera duplicar en su segunda fase. Ha atraído inversiones a este sector lo que ha supuesto un gran crecimiento de generación de energías renovables, ha creado una medida paliativa para minimizar la dependencia de los combustibles fósiles. Para ello, el estado en el 2013 tiene previsto impulsar la generación eléctrica a través de energía solar, como alternativa para una producción más limpia y sostenible (TESTA, 2014).

#### 2.4.2. La disponibilidad de recursos en Panamá

- **Petróleo:** Actualmente se hacen los estudios de prospección y factibilidad de yacimientos de petróleo en el golfo de San Miguel en Darién. Existen evidencias de la existencia de petróleo con gas en nuestro territorio, la cuestión fundamental es saber si con los precios actuales su explotación es rentable (Flores, 2008).
  
- **Energía Hidroeléctrica:** En Panamá hay instaladas ocho hidroeléctricas con potencias superiores a los 840 megavatios, suministrando el 53 por ciento de la generación de energía eléctrica total del país. Se tiene en proyecto la construcción de otras ocho hidroeléctricas, las cuales vendrían a representar un importante apoyo a la generación de energía no contaminante (Flores, 2008).
  
- **Solar:** Debido a la proximidad de Panamá con respecto al Ecuador, el país tiene una buena disponibilidad del recurso energético solar. La energía por unidad de superficie que recibe el país durante un día es del orden de 4.5 kilovatios por metro cuadrado ( $\text{Wh/m}^2$ ). A pesar que la inversión para generar electricidad fotovoltaica es alta, ella es una alternativa en los lugares en donde aún no ha llegado la red de distribución de energía eléctrica. No está de más recordar que cerca del 15 por ciento de las viviendas del país aún no disponen de electricidad (Flores, 2008).

- **Energía de biomasa:** El rendimiento de una hectárea de caña produce aproximadamente 2.300 galones de etanol al año y que el consumo anual de gasolina en Panamá es del orden de 162 millones de galones (Flores, 2008). La caña de azúcar puede ser utilizada para producir etanol (biocombustible), para posteriormente ser empleado como combustible en los automóviles.
  
- **Eólica:** Panamá posee un gran potencial de generación eólica en lugares como Cerro Tute, Boquete, Hornito, La Miel, Coiba, las costas de Los Santos, Bocas del Toro, San Blas, Colón y el norte de Coclé, en donde la rapidez media anual es de 35 kilómetros por hora (km/h). En el supuesto que se tiene la capacidad eólica para reemplazar a toda nuestra actual generación eléctrica por aerogeneradores de 600 kilowatts, se requeriría instalar cerca de 6 mil torres eólicas. Como la energía eólica no es una fuente estable, en realidad la misma no se utiliza como una fuente única, sino como fuente complementaria de energía (Flores, 2008).
  
- **Geotérmico:** Se estima que Panamá tiene un potencial geotérmico del orden de los 50 megavatios (Flores, 2008).
  
- **Mareomotriz:** De los 21 puntos en el mundo, que se destacan como potenciales fuentes para el aprovechamiento de la energía mareomotriz, la costa pacífica de Panamá es uno de ellos. El golfo de Panamá por tener una diferencia de altura entre sus mareas de aproximadamente 4 metros, posee un potencial mareomotriz susceptible de ser aprovechada (Flores, 2008).

## **2.5. La energía solar**

La energía solar se considera como una de las principales fuentes de energía que podría sustituir al petróleo, pues según la Secretaria de Energía del Ministerio de Energía y Minería de Argentina nuestro planeta recibe una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de kilowatts por hora, de los cuales sólo un 40 por ciento es aprovechable, una cifra que representa varios cientos de veces la energía que se consume actualmente en forma mundial; es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable. El aprovechamiento de la energía solar requiere de la utilización de dispositivos que capten la energía proveniente del sol y la transformen en otra forma de energía compatible con la demanda que se pretende satisfacer. Los equipos que se utilizan en el aprovechamiento de la energía solar se clasifican en dos grandes categorías: sistemas térmicos y sistemas fotovoltaicos, que más adelante se explicará más al detalle.

### **2.5.1. El sol**

El sol es la estrella que mejor se conoce por su cercanía a la tierra, unos 149 millones de kilómetros. Se trata de una gran esfera incandescente formada por gases altamente condensados. Entre estos gases el más abundante es el Hidrogeno. Debido a las altas presiones que se dan en su interior, se calcula que su temperatura supera los 80 millones de grados centígrados (JIMÉNEZ, JM s.f.).

El sol ejerce una extraordinaria fuerza de atracción gravitatoria sobre todos los planetas del sistema solar; Esta misma fuerza es la que los hace girar a su alrededor. El sol proporciona energía constante, en forma de luz y calor que es posible aprovechar con instalaciones adecuadas, para su conversión en energía calórica y eléctrica, como lo son los paneles fotovoltaicos, que generan electricidad a partir de la luz y paneles solares para calentar agua a partir del calor (Roldan Vilorio, J. 2008). Es importante detallar que al exterior de la atmósfera llegan 1,367 vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ), esta potencia no es uniforme, ya que, en 24 horas del día, se presentan horas diurnas y horas nocturnas, variaciones del clima, nubosidad y otros factores que interfieren, siendo así, la potencia media que llega es de 342 vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) (Roldan Vilorio, J. 2008).

### **2.5.2. La radiación solar**

La radiación solar es una corriente de energía que el sol irradia uniformemente en todas las direcciones del espacio en forma de ondas electromagnéticas. El Sol emite los rayos solares que se propagan a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas de energía. Este fenómeno físico, más conocido como radiación solar, es el responsable de que nuestro planeta reciba un aporte energético continuo de aproximadamente 1.367 vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ), un valor que recibe el nombre de constante solar y que, al cabo de un año, equivaldría a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles del mundo (López-Cózar, 2006).

Los polos son los que menor radiación reciben, los trópicos son los que están expuestos a una mayor radiación de los rayos solares. Esto se explica, en el grado de inclinación de la Tierra con respecto al Sol, que es de 23.5 grados. La intensidad de radiación no será la misma cuando los rayos solares incidan perpendicularmente en la superficie irradiada que cuando el ángulo de incidencia sea más oblicuo, tal cual como ocurre en los polos. Para establecer con exactitud la cantidad de radiación que puede aprovecharse en un sitio concreto, también habrá que tener en cuenta otros aspectos, como la hora del día, la estación del año y las condiciones atmosféricas. En los días nublados disminuye la intensidad de la radiación y, por ende, el aporte energético que puede recibir una instalación de energía solar térmica. Aunque la relación entre las variaciones en la nubosidad y la radiación solar es compleja, posiblemente este factor es el más importante al momento de calcular la energía que llega a un punto específico de la superficie terrestre. La intensidad de la radiación procedente del sol va a depender de la latitud, fecha y hora del día, ubicación, ya sea del panel solar, condiciones atmosféricas y altura sobre el nivel del mar (López-Cózar, 2006).

La radiación solar se clasifica en cuatro tipos:

- Radiación directa
- Radiación difusa.
- Radiación reflejada
- Radiación global

a) **La radiación directa:** Es aquella recibida directamente desde el sol, sin que sufra desviación ni reflexiones o refracciones intermedias en su camino a través de la atmosfera (Jiménez s.f.).

b) **La radiación difusa:** Es la radiación emitida que sufre cambios en su dirección, principalmente debido a la reflexión y refracción solar en la atmosfera en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres, en este tipo de radiación no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones (Jiménez s.f.).

c) **La radiación reflejada o albedo:** Es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos (Jiménez s.f.).

d) **Radiación Global:** Es la suma de la radiación directa y la radiación difusa.

### **2.5.3. Energía Solar Térmica**

La energía solar térmica es la que aprovecha la radiación del Sol para calentar un fluido que, por lo general, suele ser agua o aire. La capacidad de transformar los rayos solares en calor es, precisamente, el principio elemental en el que se basa esta fuente de energía renovable. Cualquier materia experimenta un aumento de temperatura de modo natural al estar expuesta a la radiación solar. Mientras una superficie negra absorberá toda la radiación visible, una blanca

reflejará toda la radiación que llega hasta su superficie, por lo que su incremento de temperatura será muy poco significativo. (López -Cózar, JM. 2006).

Existen muchas maneras de aprovechar la energía térmica de la radiación, y que, dependiendo del uso y la tecnología utilizada, se puede conseguir resultados muy diversos: desde el calentamiento de agua para fines domésticos, pasando por la producción de calor en procesos industriales, hasta la generación de electricidad en pequeñas centrales, o incluso en grandes plantas de producción eléctrica (López -Cózar, JM. 2006).

#### **2.5.3.1. Las aplicaciones de la energía solar térmica**

La energía solar térmica es una alternativa muy interesante en una gran variedad de aplicaciones, entre las que se encuentra el agua caliente sanitaria, la calefacción, la climatización de piscinas, o la producción de calor en multitud de procesos industriales. También, a nivel industrial, la energía solar térmica se emplea principalmente para procesos como lo es el tintado y lavado de tejidos en la industria textil, procesos de obtención de pastas químicas en la industria papelera, baños líquidos de pintura para la limpieza y desengrasado de automóviles, limpieza y desinfección de botellas y envases, secado de productos agrícolas, tratamiento de alimentos, suelo radiante para granjas o invernaderos, entre otros. De los usos antes mencionados los más utilizados con fines industriales son los secadores solares y el precalentamiento de fluidos. El sector hotelero e industrial, son ampliamente beneficiados por este sistema

de energía, ya que proporciona una imagen de respeto con el medio ambiente y les da un valor añadido frente a los clientes. Los costos de la implementación de la energía solar térmica son variables, esto dependerá de si la instalación es colectiva o individual (Medrino s.f.).

#### **2.5.4. La energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía basada en la aplicación del denominado efecto fotovoltaico que se produce al incidir la luz sobre materiales semiconductores, como el silicio, de tal modo que se genera un flujo de electrones en el interior del material y, en condiciones adecuadas, una diferencia de potencial que puede ser aprovechada, para generar directamente energía eléctrica cuando se expone a la radiación solar (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008). La conversión de la radiación solar en energía eléctrica se da en la célula fotovoltaica, que es el componente base de este proceso de transformación de radiación a electricidad. Varias células fotovoltaicas, embalsadas de manera adecuada constituyen el modulo fotovoltaico que es una estructura sólida y manejable. La cantidad de energía eléctrica producida en un sistema fotovoltaico depende básicamente de la eficiencia de los módulos y la irradiación solar, o radiación solar incidente (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

#### **2.5.4.1. Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica**

Los sistemas fotovoltaicos pueden tener las mismas aplicaciones que cualquier sistema generador de electricidad. Sin embargo, las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento de los equipos instalados, especialmente de los módulos y la batería respectivamente, y por la disponibilidad del recurso solar. Técnicamente, un sistema fotovoltaico puede producir tanta energía como se desee; sin embargo, desde el punto de vista económico, siempre existen limitaciones presupuestarias en cuanto a la capacidad que se puede instalar (Manuales Sobre Energía Renovable: Solar Térmica, 2002).

En América Central los sistemas fotovoltaicos se utilizan principalmente para proveer energía desde artefactos domésticos hasta sistemas profesionales de telecomunicación, naves y satélites espaciales. Dependiendo de su aplicación, de la cantidad y tipo de energía producida, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en las siguientes categorías: como lámparas portátiles, sistemas individuales de corriente directa, sistemas individuales de corriente alterna, los sistemas aislados de la red y los sistemas conectados a la red. Además, de la aplicación de electrificación de las viviendas rurales, se puede aplicar la energía solar fotovoltaica para usos productivos y comerciales, sobre todo en la agricultura, como por ejemplo el bombeo de agua para irrigación y cercas

eléctricas para ganadería, refrigeración de alimentos, comunicación e iluminación (Manuales Sobre Energía Renovable: Solar Térmica, 2002).

### **2.5.5. El desarrollo de la energía solar en Panamá**

El continuo crecimiento económico de Panamá, así como los proyectos que se plantean en distintos campos para los próximos años aseguran un significativo aumento de la demanda energética en el país. Sin dejar de mencionar que los periodos de sequía están influyendo negativamente en la producción hidroeléctrica, y esto ha llevado al país a tener que enfrentar diversas crisis energéticas, lo cual se ha visto la necesidad de importar energía. Esto conduce a los expertos a pensar en la necesidad de modificar la balanza energética actual y diversificar la matriz energética con fuentes de energías alternas para mitigar su dependencia de los hidrocarburos (Castro y Guerrero 2012).

Frente a esta situación la energía solar parece ser una propuesta atractiva para el gobierno panameño e inversionistas; puesto que en el país, el recurso solar presenta un potencial óptimo para el desarrollo de esta tecnología. Según datos de la secretaria Nacional de Energía de Panamá, el país recibe una radiación solar promedio de 4.8 kilowatts hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>) por día, señalando las mejores zonas de radiación que se encuentran en el sur de Chiriquí y parte del sur de Veraguas, donde el promedio supera los 5 kilowatts hora por día (kWh/día). Por el contrario, las áreas menos favorecidas son Darién y el norte de Veraguas (Jordán, 2015).

En Panamá se ha incentivado la explotación de parques solares mediante la aprobación de leyes y normas que rigen este tipo de tecnología, según datos de la ASEP solo un proyecto tiene licencia definitiva, pero existen en trámite 9 proyectos. En el 2013 se aprobó la Ley N° 37 del 10 de junio del 2013, que promueve el desarrollo de energía solar y que establece incentivos fiscales, exoneración de aranceles de importación para equipos de energía solar, esfuerzos dirigidos a atraer la inversión en proyectos de energía renovable y promover las licitaciones para la venta de energía por generación solar (Jordán, 2015).

Actualmente Panamá cuenta con una gran planta de energía solar fotovoltaica, recién inaugurada. Se trata de La planta fotovoltaica de Sarigüa, que, según informaciones locales, la central, compuesta por 1,886 paneles solares, aportará 2.4 megavatios de energía. (SNE, Secretaria Nacional de Energía, PA 2015). La energía solar en Panamá también ha sido aplicada primordialmente en áreas remotas para sistemas de comunicaciones, en las boyas del Canal de Panamá, en fincas y viviendas rurales incluyendo proyectos de riego por goteo. (SNE, Secretaria Nacional de Energía, PA 2015).

## **2.6. Transferencia de Calor**

Kahan (2002), define transferencia de calor como el proceso mediante el cual, se da lugar a la transferencia de energía calórica, siempre que exista un gradiente de temperatura en un sistema, o cuando se pone en contacto dos

sistemas con temperaturas diferentes. El calor se define como la energía cinética total de todos los átomos o moléculas de una sustancia. Este se transporta mediante un gradiente de temperatura, es decir, este se transfiere de una región de alta temperatura a una de baja temperatura. La comprensión de este proceso y sus diferentes mecanismos requiere que conecten los principios de la termodinámica, conociendo, que es la rama de la ciencia que estudia la relación entre el calor y otras formas de energía, incluyendo el trabajo mecánico; y del flujo de fluidos con los de la transferencia de calor (Holman, JP. 1999).

### 2.6.1. Mecanismos de transferencia de calor

En la transferencia de calor de un sistema a otro, se contemplan en general tres maneras distintas de transmisión de calor; se da por conducción, por radiación y por convección.

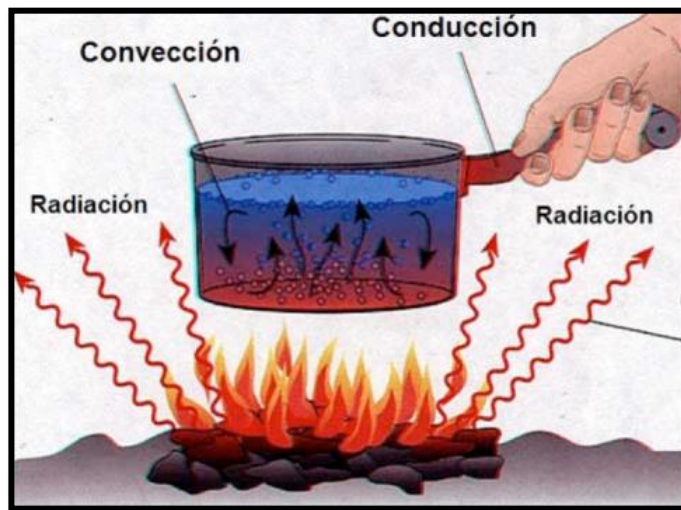


Figura N°1. Ilustración de los mecanismos de transferencia de calor

### **2.6.1.1. La conducción**

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor. Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se denominan aislantes (Holman, JP. 1999).

### **2.6.1.2. La convección**

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo, el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio. En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección (Holman, JP. 1999).

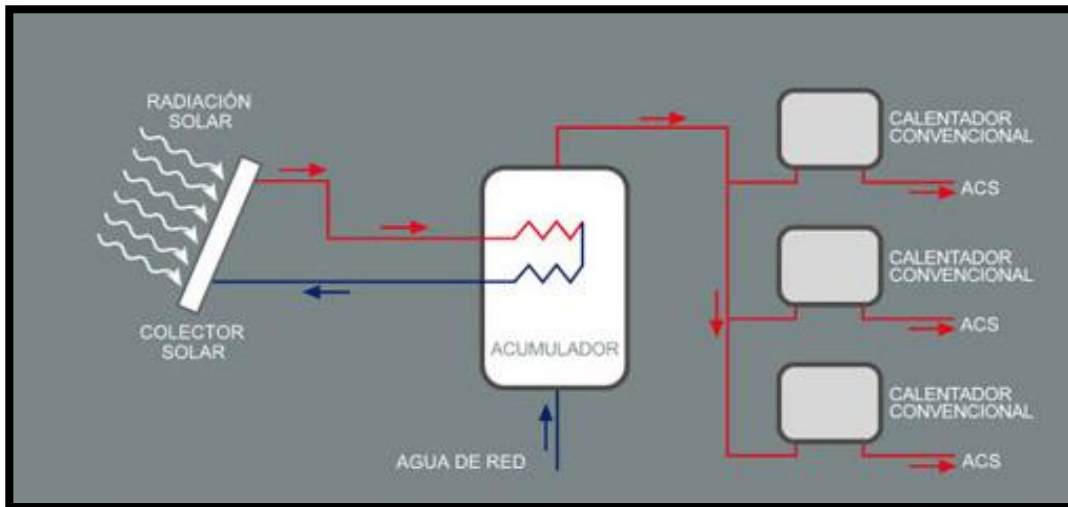
### **2.6.1.3. La radiación**

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una determinada temperatura, se produce desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos y transportados por ondas electromagnéticas o fotones; por lo que recibe el nombre de radiación electromagnética. La masa en reposo de un fotón, que significa luz, es idénticamente nula. Por lo tanto, atendiendo a relatividad especial, un fotón viaja a la velocidad de la luz y no se puede mantener en reposo (Holman, JP. 1999).

### **2.7. Las instalaciones de sistemas solares térmicos (SST)**

Un SST es un conjunto de equipos y componentes que conforman una instalación solar térmica, que permite el aprovechamiento de la energía solar para la producción de ACS (agua caliente sanitaria) para el consumo doméstico. Para los usuarios que, si cuentan con un medio de producción de ACS, generalmente calefón a gas, la incorporación de un SST puede proveer un significativo ahorro económico anual en el consumo de energía (Lanata, 2014). Un sistema solar está constituido por el colector solar, el subsistema de almacenamiento, y la configuración de tuberías. En su diseño hay que tener en cuenta que, tan importante como la correcta selección de los elementos integrantes de cada subsistema, es la correcta integración de todos ellos en el

sistema y la selección de las estrategias de regulación control y operación (Rubio *et al.* 2005).



**Figura Nº 2. Esquema de un Sistema Solar térmico (SST) tipo cerrado, asistido por calentamiento convencional**

### 2.7.1. Tipos de sistema solar térmico

En función del rango de aprovechamiento térmico, se distinguen tres tipos de energía solar térmica: de baja, media y alta temperatura. La energía solar térmica de baja temperatura se aplica cuando las temperaturas no son superiores a 80 grados Celsius, tal es el caso de la obtención de agua caliente sanitaria y la de agua o aire caliente para calefacción de viviendas. La energía solar térmica de media temperatura, con temperaturas entre 80 y 250 grados Celsius, es la empleada en la producción de vapor para procesos industriales,

producción de energía eléctrica a pequeña escala, decodificación solar (descontaminación de gases y aguas residuales), desalación de agua de mar y refrigeración por absorción. Y finalmente la energía solar térmica de alta temperatura es la que se utiliza cuando se requieren temperaturas superiores a 250 grados Celsius, y se aplica, fundamentalmente, para la producción de electricidad a gran escala. (Lopez-Cózar, 2006)

**CUADRO II. CLASIFICACIÓN DE SST SEGÚN EL RANGO DE TEMPERATURA Y APLICACIONES**

<b>SST</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Aplicaciones</b>
SST de Baja temperatura	< 80 °C	Producción de agua caliente sanitaria, la calefacción de edificios, la climatización de piscinas, etc.
SST de Media temperatura	80°C-250 °C	la producción de vapor para procesos industriales, la generación de energía eléctrica en pequeñas centrales, o la desalinización o la refrigeración
SST de alta temperatura	>250 °C	Central de torres

Fuente: Lopez-Cózar, 2006

### **2.7.1. Las ventajas de los SST**

Son sistemas sencillos y fáciles de instalar y de elevada versatilidad. Se pueden adaptar a gran variedad de requerimientos. Su tecnología es de larga vida útil (superior a 25 años), con un mantenimiento de menor entidad que en el caso de

sistemas convencionales. El principal objetivo de una instalación solar es conseguir el máximo ahorro de energía convencional y así se consigue por tanto un ahorro económico. Los costes de operación y mantenimiento son muy reducidos, por tanto, aunque la inversión pueda ser importante, éste es el único gasto significativo. (López-Cózar, 2006)

### **2.7.2. Las desventajas de los SST**

Imposibilidad de hacer coincidir la captación de radiación solar con las horas de necesidad térmica para la que se ha diseñado el sistema. Por ello, es necesario disponer de un sistema complementario de acumulación de ese calor capturado. La inversión inicial de un sistema solar térmico es mayor frente al sistema convencional (coste de colectores solares y sistema de almacenamiento). Sin embargo, su coste de funcionamiento durante más de 25 años de vida será irrelevante comparado con el de compra de combustible o energía eléctrica, reparaciones, mantenimiento, etc asociado al sistema convencional. Resulta problemático su montaje en edificios existentes como consecuencia de su falta de previsión a nivel de proyecto, y si se monta existe la posibilidad de una imagen estética negativa por parte de usuarios y ciudadanos. (López-Cózar, 2006).

### **2.7.3. Los principales componentes de unos SST**

#### **2.7.3.1. El captador o colector solar**

Los colectores solares térmicos se han diseñado en distintas y avanzadas versiones con el objetivo de incrementar la cantidad de energía absorbida y disminuir las pérdidas. Aunque los más comunes son los colectores planos, que utilizan como fluido el agua, en la actualidad también se comercializan otros tipos de captadores que cuentan con gran aceptación en el mercado. Entre ellos cabe destacar el captador solar de vacío, que consigue temperaturas más elevadas de funcionamiento, y los colectores solares de aire, que se utilizan fundamentalmente en los climas fríos para calentar el espacio (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006).

#### **2.7.3.2. El sistema de circuito de distribución**

El sistema de distribución es el que se encarga de transportar el fluido caliente contenido en el colector hasta el punto de consumo. Existen diferentes circuitos de distribución, dependiendo de las necesidades que pretendamos satisfacer o las condiciones climáticas del lugar donde vamos a realizar la captación (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía ,2006). Existen diferentes tipos de sistemas de circulación que tienen como principal cometido impedir que se pierda la energía térmica obtenida en los captadores solares:

- **Instalaciones de circuito abierto:** Estos sistemas transfieren directamente el agua caliente producida en el captador solar hacia el depósito de acumulación. El funcionamiento de estos equipos es muy simple: cuando el captador es calentado por el Sol, el agua aumenta de temperatura desplazándose hacia arriba. Una vez en el depósito de almacenamiento, éste se vacía con una cantidad equivalente de agua más fría que se dirige al captador (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006).

- **Instalaciones de circuito cerrado:** En este caso existen dos circuitos: el circuito primario del sistema captador y el circuito secundario donde se encuentra el sistema de almacenamiento. En el circuito primario se introduce un líquido especial que circula por dentro del captador y transmite calor al agua del tanque de almacenamiento por medio de un intercambiador de calor (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006).

- **Circulación forzada de agua:** Los sistemas de circulación forzada están basados en una bomba de impulsión movida por un aporte exterior de energía eléctrica. La bomba de circulación colocada en el sistema de captación tiene como principal función transferir el fluido circulante más rápidamente, impidiendo así que se pueda perder parte de las calorías ganadas en el proceso de distribución (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006).

- **Circulación natural o con termosifón:** Estos sistemas tienen la ventaja de no contar con bombas de impulsión, aprovechando la circulación natural del agua

caliente, que por naturaleza tiende a ascender. Los sistemas con termosifón son muy utilizados en áreas geográficas con climas más cálidos. Estos sistemas de circulación sólo se utilizan para instalaciones solares pequeñas (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006).

### **2.7.3.3. El almacenamiento o reservorio**

Es necesario acumular la energía en los momentos de mayor radiación, para utilizarla posteriormente cuando se produzca la demanda. Lo habitual es almacenar la energía en forma de calor en depósitos especialmente diseñados para este fin; siendo los materiales de construcción más adecuados el acero, el acero inoxidable, el aluminio y la fibra de vidrio reforzado. La adecuada elección del material de construcción es importante ya que uno de los problemas de las instalaciones solares es la calidad del agua, que puede producir corrosiones en el tanque de almacenamiento (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006).

Según las características específicas del tanque de almacenamiento, se puede conseguir guardar las calorías ganadas, hasta dos días como máximo. Esto se debe al fenómeno de estratificación por el que el agua caliente disminuye su densidad y tiende a ascender por encima del agua fría, que pesa más (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, 2006).

## **2.8. Los colectores solares para ACS**

Los colectores solares son dispositivos que captan la radiación solar y la convierten en energía térmica, de manera que se calienta el fluido de trabajo que ellos contienen. Esta energía puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas. Los colectores generalmente disponen de un conjunto de elementos que son: un circuito de conducción del agua, una placa de absorción de calor, una cubierta transparente, un material aislante y una caja de protección. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la generación de forma artificial del efecto invernadero en el interior del colector. De este modo, la radiación solar que penetra a través de la cubierta transparente, recae directamente sobre la placa de absorción que se encuentra soldada al sistema de conducción del fluido la cuál al aumentar su temperatura, transmite el calor absorbido por conducción al agua. El tamaño de los colectores más utilizados se encuentra en el rango de uno y dos metros cuadrados, aunque se fabrican colectores de diferentes tamaños. El peso aproximado de un colector plano con una cubierta de cristal, que es el más utilizado en instalaciones de ACS, varía entre 15 y 25 Kilogramos por metro cuadrado (Martínez, *et al* 2013).

### **2.8.1. Tipos de colectores**

Desde su primera invención, hace 120 años, se han desarrollado diversas formas y tipos de colectores solares térmicos, que van de los colectores planos

a los colectores parabólicos y heliostatos (Placo *et al*). Los tipos de colectores más utilizados actualmente son:

- Colector solar de placa plana con cubierta
- Colectores Concentradores Parabólicos Estacionarios
- Colectores de placa plana sin cubierta
- Colectores de tubos de vacío

#### **2.8.1.1. Colector solar de placa plana con cubierta**

Los colectores de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico y de una placa de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector.

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 grados Celsius (Placo *et al*).

#### **2.8.1.2. Colectores concentradores parabólicos estacionarios**

Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales. Sin embargo, estos colectores poseen un sistema

de concentración de radiación solar tipo concentradores parabólicos compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50 por ciento (Placo *et al*).

#### **2.8.1.3. Colectores de placa plana sin cubierta**

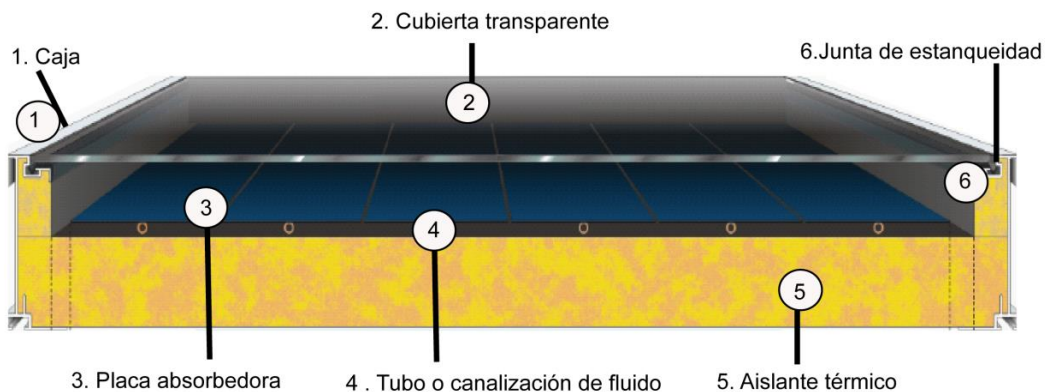
Este tipo de colectores consiste en poseer un captador de calor, pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 grados Celsius sobre la del aire del ambiente. Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar autos, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos (Placo *et al*).

#### **2.8.1.4. Colectores de tubos de vacío**

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío, cada uno de los cuales contienen un captador, el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador. Por causa de las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 a 177 grados Celsius. De esta manera, este tipo de colector resulta

apropiado para aplicaciones de alta temperatura. Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera efectiva (Placo *et al*).

### 2.8.2. Elementos básicos de un colector solar



**Figura N° 3. Esquema de los principales elementos de un colector solar**

#### 2.8.2.1. La Carcasa y/o Marco

Es la caja que contiene al resto de los componentes, los protege del exterior y da rigidez al conjunto, le proporciona la firmeza necesaria como para mantenerse en su lugar. Esta estructura debe tener una elevada resistencia mecánica, un buen comportamiento frente a la corrosión y a las variaciones de temperatura. Generalmente los materiales que se emplean son aluminio, acero inoxidable, acero galvanizado y lacado o material plástico reforzado con fibra de vidrio. La carcasa está constituida por dos piezas separadas, el marco y una

lámina plana en el fondo; aunque también se utilizan las carcasas realizadas con una única placa, normalmente de aluminio, a la que se forma por embutición (Martínez, *et al* 2013).

### **2.8.2.2. El aislamiento térmico**

El aislamiento térmico es el material que permite reducir las pérdidas térmicas por conducción. La aislación debe ir ubicada en la parte posterior y en los laterales de la carcasa. Normalmente se utiliza lana de vidrio, Poliuretano, madera. El material debe soportar la temperatura de estancamiento para asegurar el correcto funcionamiento de la aislación del colector, también es necesario evitar que se pueda deteriorar por la entrada de agua en el interior del colector, produciendo la pérdida de sus propiedades aislantes. Por otro lado, el incremento de su volumen debido al agua puede provocar la deformación del colector (Martínez, *et al* 2013).

### **2.8.2.3. La placa captadora**

La placa captadora es el componente que transforma la radiación solar en energía térmica y consiste en una superficie metálica plana que tiene adosadas, generalmente mediante soldadura, unas cañerías metálicas por las que circula el fluido de trabajo para evacuar el calor. El material que habitualmente se usa para la placa captadora, como lámina entera o en bandas, es el cobre. Pero también se puede utilizar el aluminio o el acero. Un buen contacto térmico entre

la placa captadora y las tuberías, es imprescindible para facilitar la transferencia de calor por conducción (Martínez, *et al* 2013).

El rendimiento del colector solar depende, del tratamiento superficial que se le aplique a la capa absorbadora. Básicamente, esto determina la capacidad de absorber radiación, representado por un factor de absorción, y su capacidad de emitir radiación cuando se calienta; por un factor de emisividad. Se pueden distinguir los tratamientos con pintura negra y los tratamientos selectivos. La pintura negra proporciona una elevada absorción, pero también una elevada emisividad, lo que produce muy buen rendimiento a temperaturas bajas (Martínez, *et al* 2013).

#### **2.8.2.4. Sistema de tuberías**

La conducción del agua dentro del colector se produce a través de un sistema de tuberías en circuito abierto, que son las vías que permiten transportar el calor solar a agua mientras fluye, siendo elemento conductor cuya calidad y eficacia decide en gran parte el buen resultado de la instalación. El diseño del circuito hidráulico del colector debe asegurar una alta transferencia de calor al mismo. Para lograr esto es necesario que tenga una superficie lo más grande posible, que pueda abarcar la placa captadora de calor (Martínez, *et al* 2013).

Los colectores más comercializados son los que tienen un circuito de tubos de cobre en forma de parrilla o de serpentín.

En los circuitos de tipo parrilla es muy importante el diseño de los conductos interiores del colector, ya que la distribución del caudal de circulación a través de éste depende de la relación entre las pérdidas de carga de las cañerías paralelas y de los conductos distribuidores (Martínez, *et al* 2013).

#### **2.8.2.5. Cubierta transparente**

La cubierta es un elemento plano de material transparente que además de reducir las pérdidas por radiación y convección, asegura la estanqueidad del colector, protegiendo a los componentes interiores frente a agentes externos tales como lluvia, humedad u otro, y así evitar su deterioro. La cubierta puede ser de vidrio o plástico, sin embargo, se utilizan más cubiertas de vidrio en lugar de cubiertas plásticas, ya que estas últimas suelen degradarse por efectos de la radiación solar ultravioleta y las altas temperaturas. Además, por su mayor dilatación térmica, requieren de especial cuidado para asegurar la estanqueidad. Las cubiertas de vidrio deben tener un espesor mínimo, normalmente entre 3 y 4 milímetros, que evite su rotura y garantice la resistencia mecánica del conjunto (Martínez, *et al* 2013).

#### **2.8.3. Principio de funcionamiento**

El funcionamiento del colector solar plano está basado en el denominado “efecto invernadero”, y corresponde con las propiedades de transmisión de la cubierta. De la radiación solar incidente, de longitud de onda corta, una parte es reflejada, otro pequeño porcentaje es absorbido por la cubierta y una gran parte la

atraviesa e incide sobre el absorbedor que la transforma en calor aumentando su temperatura. El absorbedor, al calentarse, emite radiación en una longitud de onda larga que no puede salir al exterior debido a que la cubierta es opaca frente a esa radiación (Martínez, *et al* 2013).

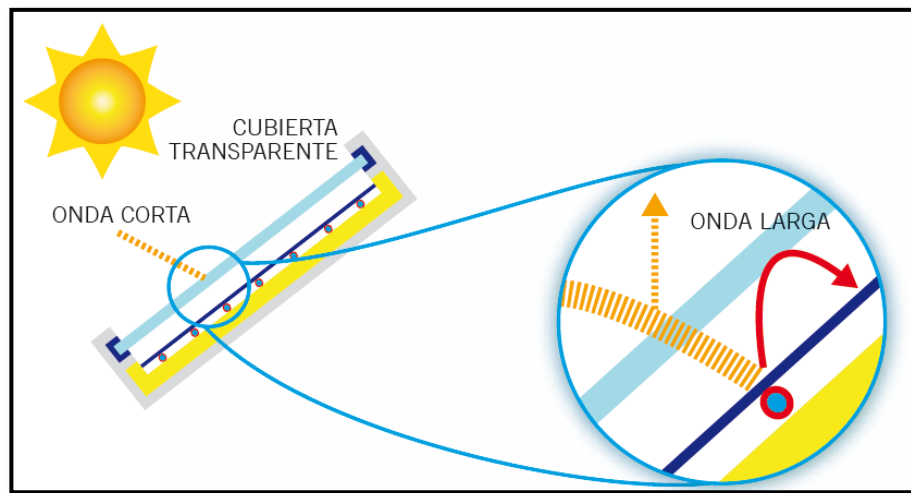
Junto a la placa absorbedora, está el circuito hidráulico por el que circula el fluido que se pretende calentar por la transferencia de calor, por conducción, fenómeno que tiene lugar entre el absorbedor y el circuito del fluido. Debido a que el absorbedor, al calentarse, pierde también calor hacia el ambiente que lo rodea, y dado que el objetivo del colector es que el calor sólo sea extraído por el fluido circulante, se disponen los medios necesarios para reducir todas las pérdidas térmicas por radiación, convección y conducción, con la cubierta, además de reducirse las pérdidas por radiación en el efecto invernadero, también se disminuyen las pérdidas por convección ya que evita el contacto directo del absorbedor con el aire ambiente (Martínez, *et al* 2013).

#### **2.8.3.1. El efecto invernadero**

El efecto invernadero consiste en encerrar la energía que aporta la radiación solar. Esta entra en el colector en forma de radiación luminosa, al incidir la luz sobre superficies oscuras, como por ejemplo el fondo o las paredes del colector, parte de esa energía luminosa se transforma en calor. La placa oscura así calentada emitirá a su vez radiación infra-roja hacia el ambiente, pero esta se quedará atrapada dentro del colector al reflejarse o rebotar en el vidrio. El vidrio

comúnmente deja pasar entre un 80 y 90 por ciento de la luz visible que alcanza perpendicularmente sobre él. Es opaco para la radiación infra-roja, que la absorbe en parte y refleja el resto, absorbiendo casi todo el ultravioleta. Todo cuerpo que por su color superficial absorbe luz solar visible, traspasa bien el vidrio, aumenta su movimiento molecular, su energía, su temperatura y su emisión de calor en forma de radiación infra-roja. La radiación térmica o infra-roja no puede traspasar el vidrio, reflejándose en él, la mayoría de esta (Jiménez s.f.).

Hay que recordar que el calor irradiado no puede atravesar el vidrio transparente en forma de radiación, pero si por convección y conducción. De hecho, el cristal hace de puente térmico entre el interior del colector y el exterior. La cualidad del vidrio de dejar pasar las radiaciones de onda corta es conocida como efecto diatérmico (Jiménez s.f.).

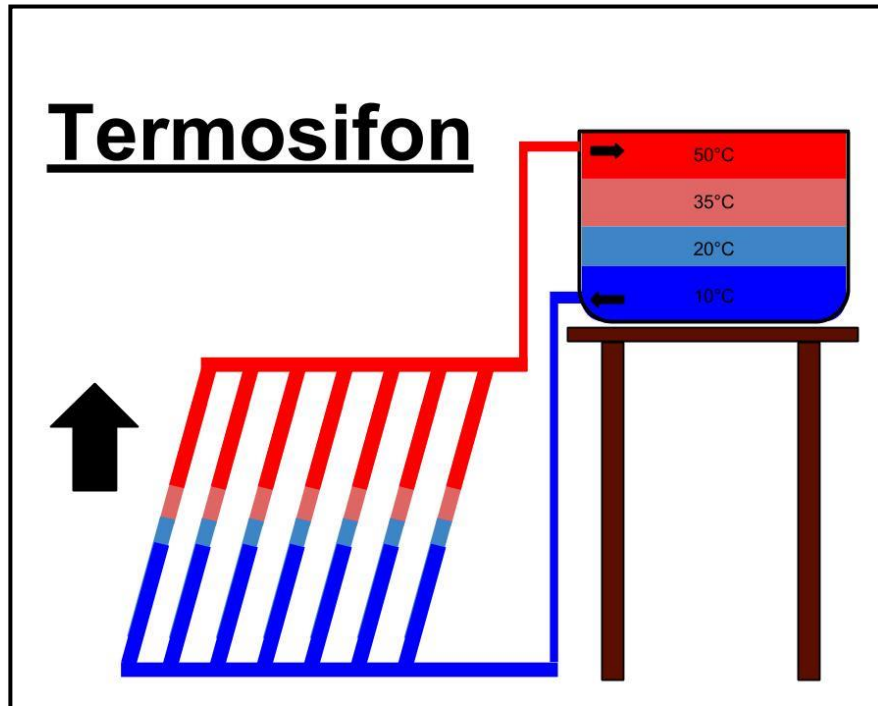


**Figura N°4. Ilustración de efecto invernadero dentro del colector solar**

### **2.8.3.2. El efecto termosifón**

El efecto termosifón consiste en que una vez que se satura el sistema de tuberías, el fluido contenido en el colector, recibe la radiación solar y se calienta, aumentando su temperatura y disminuyendo, por tanto, su densidad. Al pesar menos, dicho fluido asciende hacia la parte alta del circuito, mientras que el fluido frío contenido en el acumulador, con mayor densidad, se desplaza hacia la parte baja de la instalación por la tubería de entrada del colector. El movimiento del fluido de trabajo se produce por variaciones de densidad del fluido, como consecuencia, a su vez, de variaciones en su temperatura (Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria, AR. 2015).

Este principio se repite constantemente, por ello, el sistema está constantemente calentando hasta llegar a su temperatura pico, que dependerá del tiempo y la cantidad de radiación recibida. Con este sistema, se puede conseguir elevar el agua en el interior del tanque acumulador, a temperaturas superiores a los 80° C. Estas Temperaturas son difíciles de conseguir con los sistemas tradicionales planos, ya que, aparte de tener menor coeficiente de pérdidas que las placas planas, con este sistema, la superficie de captación es mayor debido a la forma curva de los tubos (Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria, AR. 2015).



**Figura N° 5. Esquematización del efecto termosifón en un SST**

## **2.9. Importancia y usos del agua caliente sanitaria (ACS)**

El agua es un elemento útil de consumo, barato y fácilmente disponible para el almacenamiento de calor sensible, en forma de agua caliente sanitaria o agua para calefacción. Su calor específico es más alto que otros materiales; el agua puede almacenar casi cinco veces más energía de la que puede almacenar la misma masa de roca o piedra. Sin embargo, debido a su alta presión de vapor, es preferible su uso para almacenamiento de calor a bajas temperaturas dentro del rango de 25-90 grados Celsius. Por lo tanto, representa un medio de almacenamiento de calor idóneo para sistemas de baja temperatura desde un punto de vista termodinámico (Pascual, *et al* .2010).

La producción de agua caliente sanitaria requiere de una alta cantidad de energía, y es un producto de alto consumo en edificaciones residenciales, estimando cantidades que oscilan entre un 20 y 40 por ciento del consumo total. El agua caliente sanitaria (ACS) es una necesidad derivada del nivel de confort de las sociedades actuales. Su disponibilidad en el interior de los hogares es una exigencia mínima de bienestar, pero a la vez, debe considerarse un verdadero privilegio ya que trae asociado el consumo de dos recursos: Agua y Energía (Martínez, *et al* 2013).

### **2.9.1. La temperatura de consumo**

La temperatura de consumo es uno de los factores que influyen en el aporte global del sistema. A efectos de diseño pueden aceptarse temperaturas de suministro de agua caliente sanitaria entre 45 y 50 grados Celsius, pero conviene ajustar estos valores siempre que sea posible (IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía s.f.).

A nivel industrial también es de gran importancia e utilidad el agua caliente sanitaria. En hoteles, balnearios, spas, se necesita obtener agua caliente a temperaturas de entre 29-45 grados Celsius, para piscinas y los 45-60 grados Celsius y para el resto de aplicaciones de forma sencilla. El lavado de ropa de forma industrial requiere para algunos tipos de prendas agua a temperaturas de entre 40 y 60 grados Celsius. También se necesita agua caliente a baja temperatura en el lavado industrial de botellas, de piezas de autos, o en la

limpieza de almacenes. En el proceso de alimentos industriales se emplea agua caliente a partir de los 60 grados Celsius, para elaborar conservas y cocer alimentos. En la acuicultura muchas especies acuáticas requieren temperaturas de agua entre 18° y 30° grados Celsius para poder desarrollar las crías fuera de temporada (IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía).

En la actualidad la energía solar térmica ofrece una solución idónea para la producción de agua caliente sanitaria, al ser una alternativa completamente madura y rentable. Entre las razones que hacen que esta tecnología sea muy apropiada para este tipo de usos, cabe destacar, que los niveles de temperaturas que se alcanzan, normalmente entre 40 y 45 grados Celsius, coinciden con los más adecuados para el buen funcionamiento de los sistemas solares estándar que se comercializan en el mercado (IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía).

## **2.10. El asfalto como material absorbente de calor**

### **2.10.1. Propiedades químicas del asfalto**

Las combinaciones moleculares de carbono e hidrógeno (hidrocarburos), y algunas trazas de oxígeno, nitrógeno, azufre y otros elementos, son los que componen la estructura química de una mezcla asfáltica. Según los experimentos realizados, cuando un cemento asfáltico es disuelto en heptano, pueden dividirse dos partes principales: los maltenos y asfaltenos. Los asfaltenos una vez separados de los maltenos, son de color negro o pardo

oscuro y le dan al asfalto las propiedades de rigidez y elasticidad a distintas temperaturas. Los maltenos son líquidos viscosos constituidos de aceites y resinas estas últimas proporcionan cualidades adhesivas y los aceites actúan como medio de transporte para asfaltenos y resinas. (Asphalt Institute, 1992 citado por Soto, 2014).

### **2.10.2. Propiedades físicas del asfalto**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del mismo, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. (Salamanca, 2007 citado en Soto 2014). La adhesión es la manifestación principal de las fuerzas que actúan entre las moléculas de un ligante y de las superficies del sólido. Por su parte, la cohesión es la manifestación de las fuerzas que mantienen juntas las moléculas del ligante. (Tlaxler, 1962 citado en Soto, 2014).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

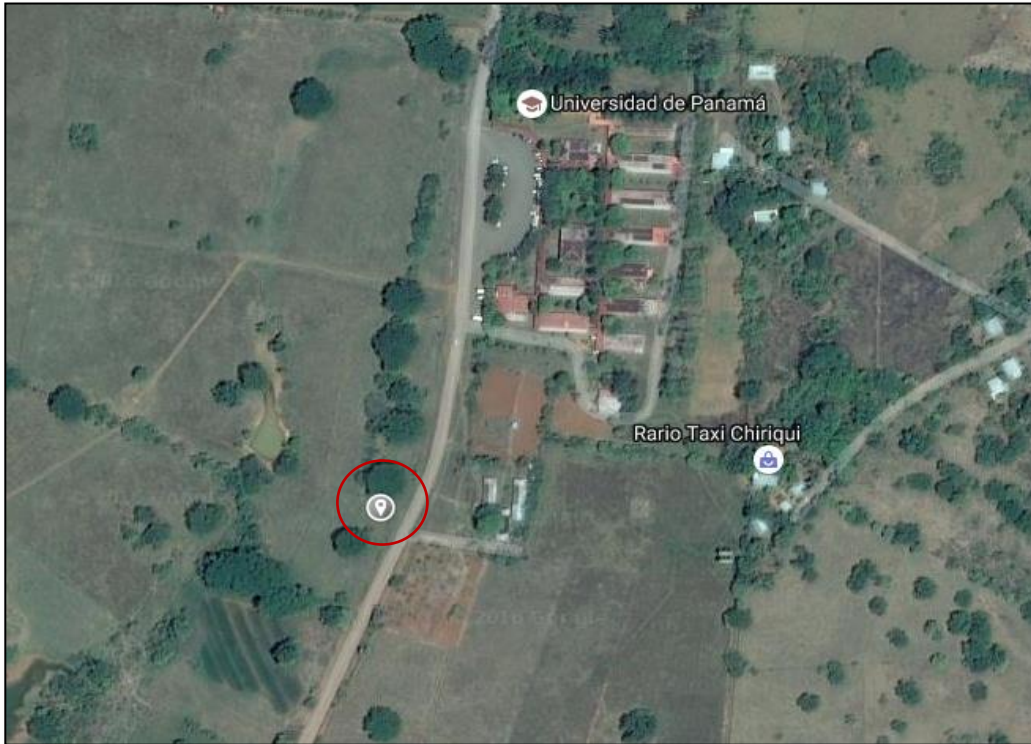
Se distinguen dos etapas para llevar a cabo el estudio: la Construcción del prototipo de colector solar y la determinación del comportamiento funcional del mismo.

#### **3.1. Sitio de construcción del colector**

La construcción del prototipo de colector solar se llevó a cabo en el taller “Fratelo Guerra”, ubicado en la comunidad de Santa Fe del corregimiento de La Concepción, Distrito de Bugaba, provincia de Chiriquí.

#### **3.2. Área de ensayo funcional del colector**

La determinación del comportamiento funcional se llevó a cabo en los terrenos del futuro Centro de Investigación y para la Sostenibilidad (CIDSo) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en el corregimiento de Chiriquí, distrito de David, provincia de Chiriquí. El CIDSo posee un área cubierta de 272 metros cuadrados y área libre de 5000 metros cuadrados. El ensayo se llevó a cabo en el mes de septiembre, siendo este un mes lluvioso y con alta cobertura nubosa.



Fuente: Google maps, 5 de octubre 2015

**Figura N°6. Localización geográfica del área de estudio**

### **3.3. Materiales**

#### **3.3.1. Materiales para la construcción del colector solar**

Los materiales utilizados en la construcción del colector solar se enlistan en el cuadro III.

**CUADRO III. LISTA DE MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR**

<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Principales</b>		
Fascia	1 pieza	Metal galvanizado de 6.09 m de largo x 19.6 cm de ancho x 2.54 cm de alto.
Madera	1 tabla	Pino, 4 m de largo x 30 cm de ancho por 2.5 cm de grosor.
Vidrio	1 pieza	1.21cm x 0.96 cm x 3 mm
Zinc liso	1 pieza	Calibre 20
Tubo de cobre	1 tramo	ASTM 12.7mm de diámetro x 6.1 m
<b>Accesorios</b>		
Remaches	16 unidades	1.9mm x 12.7mm (3/16"x1/2")
Tornillos	13 unidades	4.8mm x 2.54cm (3/16"x1")
Codos de cobre	13 unidades	12.7 mm de diámetro (1/2")
Grapas	8 unidades	12.7 mm de diámetro (1/2")
<b>Pintura y Selladores</b>		
Pintura mate blanca	½ galón	Anticorrosiva
Pintura mate negra	½ galón	Anticorrosiva
Barniz Poliuretano para exteriores	¼ galón	Transparente
Espuma plástica con aerosol	250 ml	Marca Zika boom
Silicona	200 g	Transparente, resistente a altas temperaturas
Adhesivo de uretano para parabrisas	350g	Color negro
Cita Asfáltica	1 rollo	10 cm x 10 m

Fuente: La Autora, 2016

A continuación, se escribe una lista de las herramientas que se emplearon para llevar a cabo la construcción del prototipo colector solar:

- Taladro
- Discos de corte de madera (diente fino)
- Disco de corte de metal 1.57 mm (1/16")
- Escuadra
- Cortatubo
- Lijadora
- Lija para metal y para madera
- Remachadora
- Martillo
- Soldador de estaño
- Soldadura de bronce de 4.8 mm (3/16")
- Segueta
- Pistola de pintar
- Centropunto
- Nivel
- Tiza

**Nota:** El manejo de cada herramienta se llevó a cabo con las debidas medidas de protección personal, como por ejemplo, utilización de guantes, máscaras, calzado adecuado, lentes de protección, tapones de oídos.

### **3.3.2. Materiales utilizados en el ensayo del colector**

- Instalación de un sistema solar térmico (SST)
- Agua de la red
- Manguera con 1.90 centímetros de diámetro
- Dos actinógrafos digitales
- Dos micro-termómetros digitales
- Bolígrafo
- Formulario
- Cinta métrica
- Recipiente plástico de 20 litros
- Reloj
- Nivel digital
- Brújula

### **3.3.3. Análisis estadístico**

- El programa Excel de Microsoft Office
- El programa SAS (Statistical Analysis System).

## **3.4. Métodos**

### **3.4.1. Metodología para diseñar el colector**

Se realizó el diseño del prototipo del colector solar, bajo los criterios descritos por el autor Arnaldo Moura Bezerra.

### **3.4.2. Metodología para la selección de materiales**

Los materiales para construir el colector solar fueron cuidadosamente seleccionados, tomando en cuenta algunos factores como disponibilidad del material en el mercado, calidad al menor costo y su fácil trabajabilidad.

### **3.4.3. Metodología para construir el colector solar**

La construcción del prototipo de colector solar se describe en diferentes pasos:

- Construcción del marco
- Material aislante
- Barrera de calor
- Armado e Instalación de la Tubería intercambiadora
- Cubierta del Colector

#### **3.4.3.1. Construcción Del Marco**

La construcción del colector solar inicia con la elaboración del marco. Para la construcción del marco se utilizó una pieza de fascia de 6.10 metros de largo, cubierto con pintura blanca anticorrosiva.

- a. Se procedió a realizar la limpieza total de la fascia, para retirar el polvo y suciedad de la misma.

- b. Con la cinta métrica se midió desde el extremo de la fascia una distancia longitudinal de 1.24 metros, y se marcó con la tiza.
- c. Se aplicó cinta adhesiva en el límite del área medida. Debe ser en la cara interna de la fascia (Véase Anexo 13).
- d. Se utiliza la escuadra para hacer la marca en las pestañas laterales de la fascia, donde va el corte que facilite el doblado a 90° de la fascia.
- e. Se realizó un rayado perpendicular en ambas esquinas del inicio de las pestañas, interceptando la línea transversal que marca la longitud de 1.24 metros.
- f. Utilizando el centropunto se marcó las intersecciones en ambas líneas, para facilitar el doblado.
- g. Se colocó la fascia de forma oblicua para taladrar con una broca de 0.12 centímetros para realizar el corte transversal.

Nota: Se realiza el mismo procedimiento en dos puntos continuos longitudinalmente en la fascia. Los cuales van a distancias de 1.00 metros y 1.24 metros que representan el ancho y largo del marco.

- h. Luego se procedió a doblar a un ángulo de 90 grados, en cada intersección señalizada, hasta lograr una figura rectangular con la fascia, y de esta forma se obtuvo el marco del colector.

- i. Se pintó la parte externa del marco con pintura anticorrosiva, color blanco mate, utilizando un aspersor.
- j. Se aisló totalmente la parte interna del marco con cinta asfáltica.
- k. Finalmente, en cada esquina del marco se hacen perforaciones con un taladro, para colocar los remaches con la remachadora.

#### **3.4.3.2. Preparación del fondo aislante (Madera)**

Para el fondo aislante del colector, se utilizó una pieza de madera de pino de cuatro metros de largo x 30 cm de ancho por 2.5 cm de grosor, y se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- a) Se retiró el polvo de la tabla de pino, con una toalla limpia y seca.
- b) Con una lija para madera, se procedió a pulir ligeramente la pieza de madera manualmente, sobre la superficie, bordes y esquinas, para obtener un acabado liso.
- c) Luego, se procedió a marcar la medida de los cortes a realizar, utilizando cinta métrica y bolígrafo. Se midió en forma longitudinal distancias de 1.22 metros repetidas veces hasta obtener cuatro secciones.
- d) Se procede a realizar los cortes en la tabla de madera, para obtener las secciones, utilizando una lijadora de madera ordinaria con un disco N° 150.

- e) Se pintaron las cuatro piezas de madera con barniz poliuretano transparente brillante para exteriores, utilizando un aspersor. Se dejó secar durante 15 minutos.
- f) Se atornillaron las cuatro secciones de madera, al marco.

#### **3.4.3.3. Preparación de la barrera de calor**

Se utilizó una lámina de zinc liso, como barrera de calor; se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- a) Se procedió a marcar las dimensiones de la lámina de zinc, utilizando una cinta métrica y un lápiz de carbón.
- b) Luego se procede a cortar la lámina por la línea marcada, con la ayuda de una lijadora con disco de corte para metal N° 150. Hasta obtener la lámina con medidas ajustables al colector.
- c) Seguidamente la lámina de zinc se cubrió con pintura negro mate con una pistola para pintura.
- d) Luego se atornillo la lámina colectora a la madera utilizando un taladro. Se utilizaron 5 tornillos de 19 milímetros de diámetro.

#### **3.4.3.4. Armado e Instalación de la tubería**

Para la tubería intercambiadora, se utilizó, tubo de cobre de 12.7 milímetros de diámetro.

##### **A. Corte de Tubos**

- a) Se limpió la tubería interna y externamente con agua.
  
- b) Luego, se cortaron seis secciones de tubos de 96.7 centímetros de longitud para ser empleados como ramales del circuito de tubería, un tubo de 116.7 centímetros, un tubo de 20 centímetros de longitud que serán empleados como la entrada y salida de agua respectivamente, seis tubos de 10.7 centímetros de longitud, con el corta tubo (Ver anexo N°20).

##### **B. Uniones**

Para unir las secciones de tubos se emplearon codos. Estas secciones se unen ajustando los codos de cobre de 12.7 milímetros (1/2") de diámetro, entre una sección y otra. Luego se soldó cada una de las uniones con soldadura de bronce. El circuito de tubería cuenta con 13 codos, y se aplicó soldadura en cada extremo de los codos, lo que deriva 26 puntos de soldadura de bronce en el circuito. (Ver anexo N° 22)

#### **3.4.3.5. Capa de mezcla de Asfalto**

Se colocó la mezcla fresca de asfalto para carretera sobre la barrera de calor, y la tubería conductora, adhiriéndola a toda la superficie y a la tubería, hasta alcanzar una capa de 1.2 centímetros de espesor. (Véase anexos N°28 y 29)

#### **3.4.3.6. Cubierta del colector**

Una vez secó la mezcla de asfalto se colocó de la cubierta de vidrio de 0.96 metros de ancho por 1.21 metros de largo por 3 milímetros de espesor; de la siguiente forma:

- a) Primeramente, se presentó el vidrio sobre el marco, sin haber aplicado el cordón adhesivo, para ajustarlo al área específica que ocupará el vidrio.
- b) Se procedió a lijar la pestaña del marco con lija de metal, el contorno donde se aplica el pegamento, para que se adhiera mejor al marco.
- c) Se coloca por todo el contorno del marco un cordón de pegamento para parabrisas.
- d) Se coloca el vidrio y se espera el secado, del cordón adhesivo.

### **3.4.4. Metodología para el ensayo de campo**

#### **3.4.4.1. Instalación del sistema solar térmico**

Para realizar el ensayo de campo, fue necesario instalar un sistema solar térmico (SST) que permita realizar las mediciones de datos que se requieren para analizar el funcionamiento del colector. Este sistema consta de un reservorio de agua y un sistema de tuberías. Dicha instalación consta de:

- Un tanque metálico con capacidad de 200 litros como reservorio para almacenar el agua.
- Un sistema de tubería cpvc, para la circulación del agua en la instalación.
- Se construyó un soporte con material de hierro y metal para el reservorio de agua.
- Una plataforma de madera como base de soporte del colector.
- Manguera de 19.0 milímetros de diámetro, para abastecer el sistema.

Se utilizó un nivel digital para posicionar el colector a un ángulo de 15° grados, sobre plano horizontal. También se utilizó una brújula digital para orientar Este-Oeste el colector.

#### 3.4.4.2. Levantamiento de datos

El levantamiento de datos se realizó durante seis días del mes de septiembre, tomando lecturas cada quince minutos de 8:10 am a 5:55 pm.

- a. Se elaboró un formulario para la toma de datos en campo. (Ver Anexos N°10).
- b. Se realizaron las lecturas de los siguientes parámetros con los debidos instrumentos.
  - **Radiación Solar:** Se utilizaron dos actinógrafos digitales portátiles para obtener datos de radiación solar, en unidad de Vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). Uno de los actinógrafos se colocó en una superficie de plano horizontal y el otro actinógrafo en superficie con ángulo de  $15^\circ$  grados, paralelo al colector solar. De esta forma se obtuvieron dos medidas de radiación solar (Véase Anexo 34).
  - **Temperatura del agua:** Se utilizaron dos micro-termómetros digitales para medir las temperaturas de agua de red y agua de salida del colector, en unidad de grados Celsius ( $^\circ C$ ). (Véase Anexo 33)
  - **Volumen de agua producido:** Para medir el volumen del agua caliente producida por día se utilizó y calibró un recipiente plástico con capacidad de 20 litros. El cual se colocó en la salida del colector solar, para acumular el

agua caliente producida durante el día, una vez alcanzaba su capacidad máxima de 20 Litros, se vaciaba el recipiente, y se iniciaba el proceso de llenado, para así obtener valores de volumen total producido por día.

#### **3.4.4.2.1. Parámetros evaluados**

- Temperatura Entrada de Colector (Grados Celsius, °C)
- Temperatura de Salida de Colector (Grados Celsius, °C)
- Radiación solar en plano horizontal (Vatios por metro cuadrado  $W/m^2$ )
- Radiación Solar en ángulo de  $15^\circ$  (Vatios por metro cuadrado/ $m^2$ )
- Volumen de agua caliente producido (Litros, L.)

#### **3.4.5. Procedimientos Estadísticos**

- Se utilizó el software Excel del paquete de programas informáticos Microsoft office, para obtener los valores promedios de las variables estudiadas por hora para cada día.
- Además, para conocer el grado de asociación que existe entre las variables, estimando los valores de relación de la temperatura del agua en la salida del colector (TSAL) en función de radiación solar en plano horizontal (RPH) y radiación solar en ángulo de 15 grados (R15), se utilizó el software SAS (Statistical Analysis System), através del método de análisis de correlación simple de Pearson, así también para conocer el coeficiente de correlación y estimar la relación que existe entre volumen total por día (Vol.) en función a

la temperatura de agua en la salida del colector (TSAL) y la radiación recibida en ángulo de 15 grados (R15).

- Para efectuar predicciones de la temperatura de salida (TSAL) en función de la radiación solar en plano horizontal (RPH) y radiación solar en ángulo de 15° (R15), se realizó análisis de regresión lineal simple entre las variables, con tres tipos de modelos por medio de las ecuaciones arrojadas por el sistema SAS. Así también se obtuvieron las ecuaciones de regresión con Volumen Total por día.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Etapa I. Diseño y construcción del prototipo de colector solar**

Las dimensiones y diseño establecidos para el colector están basadas en los criterios de Arnaldo Moura Bezerra; también se utilizaron modelos de referencia, encontrados en la literatura, siendo un diseño que puede replicarse. La selección de los materiales de construcción del colector se realizó bajo tres criterios: fácil acceso, costo moderado y resistencia a la intemperie. Se utilizaron métodos de construcción común, que en la mayoría de los casos utiliza herramientas de manejo sencillo.

Este colector se compone de una caja rectangular constituida por un marco metálico y fondo de madera, cuyos lados y esquinas se encuentran debidamente sellados con cinta asfáltica, para evitar el escape de calor. Desde el fondo hacia arriba se encuentran diferentes capas organizadas en el siguiente orden: madera (aislante), placa colectora, tubería para intercambio de calor, capa de asfalto como material absorbente de calor y finalmente una cubierta de vidrio, que es la cara expuesta a la radiación solar del colector y susceptible a las variables climatológicas. El colector que se describirá a continuación es de

construcción rápida, métodos sencillos y de fácil instalación en cualquier sitio donde sea necesaria el agua caliente sanitaria (Véase Anexo 30).

#### **4.1.2. Características del prototipo construido**

##### **4.1.2.1. Marco del panel colector**

La construcción del colector solar inicia con la elaboración del marco, elemento fundamental para contener y proteger todos los componentes del colector. El marco de metal, moldeado en una sola pieza de fascia galvanizada de 6.10 metros de largo, calibre 22, cubierto con pintura blanca anticorrosiva, en el cual va acoplado el fondo de madera. La rigidez del marco está asegurada por el acabado con remaches de 1.9mm x 12.7mm en las esquinas que unen las pestañas de la fascia en cada vértice interno del marco, el mismo contiene 16 remaches en su totalidad, cuatro en cada esquina.

La parte interna del marco está cubierto con cinta asfáltica adhesiva que sirve de aislante térmico. El área interna del marco o área de captación es 1.08 metros cuadrado y el área total es 1.24 metro cuadrados, y las dimensiones externas son de 1.24 metros de largo por 1.08 metros de ancho y las dimensiones internas son de 1.16 metros de largo por 0.93 metros de ancho (Ver Anexos N° 11).

#### **4.1.2.2. Fondo Aislante**

Este componente también es fundamental para el soporte, ya que, al estar ubicado en el fondo del colector, brinda asentamiento al resto de los elementos, como lo son: tubería intercambiadora de calor, barrera de calor y la capa de asfalto. Esta estructura se compone de cuatro secciones de tabla de pino, atornillados internamente a la pestaña del marco (ver anexos N° 13 y 14). Los espacios entre cada sección de tabla, fueron sellados y cubiertos con espuma plástica en aerosol marca Zika Boom, material resistente a altas temperaturas, para reducir la pérdida de calórica. Se escogió una tabla madera de pino con dimensiones de 2.54 centímetros por 30.40 centímetros por 3.65 metros (1" x 12" x 12'), ya que es asequible en el mercado, es económica, trabajable procesada, pre-tratada contra insectos y en medidas estandarizadas. Para cubrir y proteger aún más la madera de las variables ambientales y hongos o ataque de insectos xilófagos se escogió el barniz de poliuretano para exteriores de secado rápido.

#### **4.1.2.3. Placa como barrera de calor**

Este elemento cumple la función de transformar la radiación solar en energía térmica y transmitir este calor a la tubería la cual la transmite directamente al fluido. Esta lámina también servirá de apoyo a la tubería conductora. Las esquinas de la lámina se atornillan a la placa de madera. (Ver Anexo N°18).

Para la lámina colectora se escogió zinc liso, por su conductividad térmica y disponibilidad en el mercado. También se utilizó pintura negro mate, ya que el color negro favorece la absorción de calor. Con el fin de mejorar las características de absorción y almacenamiento de calor se seleccionó una capa de mezcla de asfalto para carretera de 1.2 centímetros de espesor, por sus características de alta absorbanza de calor y alta disponibilidad.

#### **4.1.2.4. Intercambiador de calor**

Es una tubería de cobre dispuesta en forma de parrilla que permitir la circulación del fluido también transmite directamente todo el calor al fluido (agua). El diseño de la tubería intercambiadora se fundamenta en los criterios de Arnaldo Moura Bezerra. Está conformado por seis secciones de tubos de 96.7 centímetros, una sección de 116.7 centímetros, una sección de 20 centímetros, seis secciones de tubo de 10.7 centímetros de longitud, y cada una de estas secciones se encuentra unidos con codos de 12.7 milímetros de diámetro. (Ver Anexos N°18).

Se seleccionó tubería de cobre, para el serpentín por ser un material eficiente para el intercambio de calor, ya que es un excelente conductor de calor.

#### **4.1.2.5. Asfalto**

La mezcla de asfalto forma una capa de 12 milímetros de espesor, sobre la barrera de calor y la tubería intercambiadora. La mezcla es heterogénea, pero

trabajable para su colocación y compactación. Esta capa absorbe y almacena el calor de forma tal que aun en momento de poca radiación, el asfalto transfiere calor al tubo de cobre.

#### **4.1.2.6. Cubierta de vidrio**

La construcción del colector solar culmina con la colocación de la cubierta de vidrio con dimensiones de 1.21 metros de largo por 0.97 metros de ancho y 3 milímetros de espesor, montada en la parte frontal del colector, creando un espacio de cinco centímetros entre la capa de asfalto y esta. La cubierta permite el paso de la radiación solar que será absorbida por el asfalto, a su vez el asfalto la conducirá a la tubería transfiriéndole así el calor al fluido. La cubierta también se encarga de inducir el efecto invernadero dentro del colector. Se escogió vidrio como material, para facilitar la transmisibilidad de radiación, y producir el efecto invernadero.

#### **4.2. Etapa II. Determinación del comportamiento funcional del colector solar**

El estudio del comportamiento funcional se realiza en el mes de septiembre, periodo de radiación solar critica debido a la elevada precipitación y alta nubosidad. Las lecturas se realizaron a cada quince minutos a partir de las 8:10 a.m., hasta las 5:55 p.m.; lectura que se suspendía por lluvia o tormentas

eléctricas, según lo indicado por el director de la investigación y debido a normas de seguridad.

#### 4.2.1. Radiación solar en plano horizontal

El Cuadro IV presenta los valores máximo, mínimo y promedio de radiación en plano horizontal en vatios por metro cuadrado ( $W/M^2$ ).

En el cuadro se observan los promedios diarios de la radiación solar registrada en el plano horizontal. El cuarto día presenta valores de radiación más elevada y el día quinto muestra el menor promedio.

**CUADRO IV. VALORES MÁXIMO, MÍNIMO Y PROMEDIO DE RADIACIÓN EN PLANO HORIZONTAL EN VATIOS POR METRO CUADRADO ( $W/M^2$ )**

<b>Máximo, mínimo y promedio de radiación Plano Horizontal (<math>W/M^2</math>)</b>				
<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Prom</b>
1	20-9-2016	1138	021	438
2	21-9-2016	1342	002	545
3	22-9-2016	1165	032	485
4	23-9-2016	1302	023	707
5	25-9-2016	1258	014	417
6	26-9-2016	1233	013	477

#### 4.2.2. Radiación solar a 15 grados de inclinación

El Cuadro V presenta los valores máximo, mínimo y promedio de radiación solar a 15 grados de inclinación, en vatios por metro cuadrado ( $W/M^2$ ).

**CUADRO V. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y PROMEDIOS DE RADIACIÓN SOLAR A 15 GRADOS DE INCLINACION, EN VATIOS POR METRO CUADRADO (W/M<sup>2</sup>)**

<b>Máximo, mínimo y promedio de radiación con ángulo de 15 grados(W/M<sup>2</sup>)</b>				
<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Prom</b>
1	20-9-2016	1238	027	467
2	21-9-2016	1482	012	573
3	22-9-2016	1304	029	446
4	23-9-2016	1454	028	774
5	25-9-2016	1461	018	454
6	26-9-2016	1328	018	527

Nuevamente se puede observar que el cuarto día presenta el valor promedio más elevado de radiación solar y el quinto día el promedio más bajo de radiación.

**4.2.3. Temperatura de salida**

El cuadro muestra los valores de máximos, mínimos y promedios de temperatura del agua en la salida del colector.

**CUADRO VI. VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y PROMEDIOS DE TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA DE COLECTOR, EN GRADOS CELSIUS (°C)**

<b>Máximo, mínimo y promedio de Temperatura: Salida de Colector (°C)</b>				
<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Prom</b>
1	20-9-2016	54.7	30.6	42.83
2	21-9-2016	57.5	30.6	44.66
3	22-9-2016	48.4	31.5	38.2
4	23-9-2016	59.8	29.5	44.0
5	25-9-2016	53.1	29.6	39.2
6	26-9-2016	53.4	30.1	43.0

El mayor promedio de temperatura del agua en la salida del colector fue de 57.5 grados Celsius, al segundo día de registro. Según los datos, la temperatura promedio del agua en la salida del colector oscila entre de 38.2° y 44.6° grados Celsius.

#### **4.2.4. Temperatura de entrada**

La temperatura de entrada es equivalente a la temperatura de la red de abastecimiento. La temperatura de la red se mantuvo entre 28.5 y 29.8 grados Celsius a lo largo del día.

#### **4.2.5. Promedios de variables por hora para cada día de registro**

En los cuadros a continuación se muestra los valores promedio de radiación solar por hora para cada día, en el plano horizontal, radiación solar en ángulo de 15 grados (paralelo al colector), la temperatura del agua en la entrada del colector o la temperatura de la red y la temperatura del agua en la salida del colector. Las lecturas de radiación y temperatura fueron tomadas a cada quince minutos y luego se promediaron a cada hora.

Se puede observar que, en el registro del primer día de lectura, los datos de temperatura del agua de salida del colector están incompletos. Esto se debe a que, en algunas horas del día, el agua dentro del colector no alcanzó el calor suficiente para generar la circulación natural por efecto termosifón, por ende el caudal no alcanzó la salida del colector y no se pudo registrar su temperatura.

**CUADRO VII. VALORES PROMEDIO POR HORA DEL PRIMER DIA DE REGISTRO**

Hora	Radiación PH (W/m <sup>2</sup> )	Radiación 15° (W/m <sup>2</sup> )	°T Agua entrada (°C)	°T Agua Salida de Colector (°C)	Delta T ΔT
8:10 am	381	414	29.1	-	
9:10 am	413	409	29.1	-	
10:10am	675	723	29.1	-	
11:10am	647	695	29.1	39.2	10.1
12:10 M	767	826	29.1	45.1	16
1:10 pm	712	798	29.1	48.1	19
2:10 pm	372	381	29.1	-	
3:10 pm	227	246	29.1	47.4	18.3
4:10 pm	132	165	29.1	32.6	3.5
5:10 pm	50	41	29.1	-	

Esto debido a que la radiación recibida por el colector fue baja debido a la alta nubosidad a lo largo de todo el día, sobre todo en horas de la mañana, y esto impide la elevación de temperatura.

**CUADRO VIII. VALORES PROMEDIO POR HORA DEL SEGUNDO DIA DE REGISTRO**

Hora	Radiación PH (W/m <sup>2</sup> )	Radiación 15° (W/m <sup>2</sup> )	°T Agua entrada (°C)	°T Agua Salida de Colector (°C)	Delta T ΔT
8:10 am	607	543	29.5	36.3	6.8
9:10 am	725	753	29.5	44.4	14.95
10:10 am	807	868	29.5	43.0	13.5
11:10 am	990	1075	29.5	47.3	17.8
12:10 mm	1780	1357	29.5	47.4	17.9
1:10 pm	1078	1190	29.5	53.6	24.1
2:10 pm	33	36	29.5	39.0	9.5
3:10 pm	-	-	-	-	-
4:10 pm	-	-	-	-	-
5:10 pm	-	-	-	-	-

En el segundo día de registro se suspendió la toma de datos por lluvia con viento y descargas eléctricas. Por esta razón se muestra que el último valor de promedio corresponde a las 2:10 pm, ya que la última lectura se realizó a las 2:35 pm.

**CUADRO IX. VALORES PROMEDIO POR HORA DEL TERCER DIA DE REGISTRO**

Hora	Radiación PH (W/m <sup>2</sup> )	Radiación 15° (W/m <sup>2</sup> )	°T Agua entrada (°C)	°T Agua Salida de Colector (°C)	Delta T ΔT
8:10 am	534	725	28.3	-	-
9:10 am	540	621	28.3	-	-
10:10 am	885	1079	28.3	36.6	8.3
11:10 am	943	1036	28.3	44.5	16.2
12:10 mm	533	568	28.3	41.3	13
1:10 pm	397	414	28.3	39.0	10.7
2:10 pm	389	393	28.3	38.4	10.1
3:10 pm	360	341	28.3	36.5	8.2
4:10 pm	196	197	29.2	36.1	6.9
5:10 pm	75	82	29.2	33.1	3.9

En el cuadro numero X, se observa que el primer valor de promedio de temperatura corresponde a la hora de 10:10 am, puesto que en las primeras horas de la mañana se presentó elevada nubosidad, sin embargo, a las 10:00 am empezó a despejarse el cielo, lo que facilita la incidencia de radiación solar sobre el colector solar para que este pueda recibir calor y calentar el agua.

**CUADRO X. VALORES PROMEDIO POR HORA DEL CUARTO DIA DE REGISTRO**

Hora	Radiación PH (W/m <sup>2</sup> )	Radiación 15° (W/m <sup>2</sup> )	°T Agua entrada (°C)	°T Agua Salida de Colector (°C)	Delta T ΔT
8:10 am	492	535	28.5	34.3	5.8
9:10 am	910	978	28.5	46.1	17.6
10:10 am	812	891	28.5	45.9	17.4
11:10 am	1137	1215	28.5	45.4	16.9
12:10 mm	794	893	28.5	54.9	26.4
1:10 pm	1093	1188	28.3	59.8	31.5
2:10 pm	972	1131	28.2	38.9	10.7
3:10 pm	699	735	28.2	34.0	5.8
4:10 pm	67	66	28.1	33.9	5.8
5:10 pm	91	114	28.1	-	-

En cuadro número XI se observa los valores de promedio casi completos a excepción del último valor de temperatura de agua en la salida del colector, ya que el caudal se redujo debido a la disminución de la temperatura del agua. Durante todo el día se presentaron valores de radiación bastante elevadas, lo que favorece la funcionalidad del colector.

**CUADRO XI. VALORES PROMEDIO POR HORA DEL QUINTO DIA DE REGISTRO**

Hora	Radiación PH (W/m <sup>2</sup> )	Radiación 15° (W/m <sup>2</sup> )	°T Agua entrada (°C)	°T Agua Salida de Colector (°C)	Delta T ΔT
8:10 am	194	222	28.6	30.2	1.6
9:10 am	367	383	28.6	32.9	4.3
10:10 am	774	829	28.6	41.0	12.4
11:10 am	958	1044	28.6	47.5	18.9
12:10 mm	761	833	28.6	45.4	16.8
1:10 pm	738	817	28.6	47.9	19.3
2:10 pm	139	154	28.6	45.8	17.2
3:10 pm	29	37	28.3	31.2	2.9
4:10 pm	46	51	28.3	31.9	3.6
5:10 pm	23	27	28.3	30.2	1.9

En el cuadro se contempla los valores promedios completos para todos los parámetros. Sin embargo, se puede notar que la temperatura del agua desciende a partir de las 3:10 pm pero el caudal no cesa. Esto puede deberse a la capacidad del asfalto de almacenar calor absorbido en horas de la mañana y medio día, y seguir calentando el agua, pero en menor intensidad.

**CUADRO XII. VALORES PROMEDIO POR HORA DEL SEXTO DIA DE REGISTRO**

Hora	Radiación PH (W/m <sup>2</sup> )	Radiación 15° (W/m <sup>2</sup> )	°T Agua entrada (°C)	°T Agua Salida de Colector (°C)	Delta T ΔT
8:10 am	491	514	29.3	32.9	3.6
9:10 am	822	892	29.3	43.1	13.8
10:10 am	1009	1104	29.3	49.3	20
11:10 am	459	493	29.3	45.1	15.8
12:10 mm	576	650	29.3	44.1	14.8
1:10 pm	843	977	29.3	48.4	19.1
2:10 pm	462	505	29.2	50.1	20.9
3:10 pm	66	74	29.0	35.9	6.9
4:10 pm	27	30	29.0	31.7	2.7
5:10 pm	26	28	28.9	-	

El cuadro presenta los valores promedios completos, pero al igual que el cuarto día no se tiene valor promedio de temperatura del agua en la salida del colector, ya que se presentó evento de lluvia de las 4:30 en adelante, lo que ocasiona el enfriamiento del colector y reducción del efecto termosifón, lo que disminuye el caudal.

#### 4.2.6. Volumen total por día

En los cuadros a continuación se observa el volumen total de agua caliente producido por día:

**CUADRO XIII. VOLUMEN TOTAL POR DIA EN LITROS (L)**

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen total (L)</b>
<b>1</b>	20-9-2016	27
<b>2</b>	21-9-2016	63.5
<b>3</b>	22-9-2016	122.45
<b>4</b>	23-9-2016	96.1
<b>5</b>	25-9-2016	62.1
<b>6</b>	26-9-2016	83.5

Como se observa en el cuadro anterior, el tercer día se produjo el mayor volumen de agua caliente, con 122.45 litros y el primer día se produjo el más bajo volumen, 27 Litros como se observa. Es importante mencionar que puede existir cierto grado de alteración en los resultados, ya que se presentaron diferentes factores tanto técnicos, como climáticos que influyen de cierta forma en los datos.

Algunos de los factores son:

- Lluvia
- Nubosidad

- Arrastre de calor por el viento, sobre la superficie del panel.
- Suspensión o interrupción de la toma de datos por tormenta eléctrica.

#### 4.2.7. Análisis Estadístico

##### 4.2.7.1. Análisis de correlación entre las variables de temperatura de salida del colector, en función a la radiación solar

La matriz de correlaciones simples de Pearson generadas por el programa SAS indica que la temperatura del agua en la salida del colector (Tsal) correlacionó positivamente con la radiación solar a 15° grados de inclinación (R15), así como con la radiación solar en plano horizontal (RPH), lo que revelo una relación directa entre variables.

**CUADRO XIV CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DE INTERÉS**

<b>Variables Correlacionadas</b>	<b>Coefficiente de correlación(r)</b>	<b>Significación</b>
Tsal – R15	0.5373	0.0001 **
Tsal – RPH	0.5342	0.0001 **

\*\* = Indica una correlación altamente significativa

Tsal = Temperatura de salida

R15 = Radiación a 15 grados de inclinación

RPH = Radiación en plano horizontal

Esto indica que a mayor radiación solar, mayor es la temperatura de salida en el colector tal como se esperaba.

#### 4.2.7.2. Modelos de ecuaciones de Regresión simple entre variables.

Los resultados del análisis de regresión con Temperatura de Salida (TSAL) como variable dependiente y los tipos de radiación solar como variables independientes se muestran en el cuadro a continuación.

**CUADRO XV. MODELOS DE REGRESIÓN SOMETIDOS A PRUEBA LA INVESTIGACIÓN**

	<b>Tipo de Modelo</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Coefficiente de determinación</b>
<b>1</b>	Simple con R15 como variable indep..	$T_{sal} = 19.7223 + 0.0240 (R15)$	0.2888
<b>2</b>	Simple con RPH como variable indep.	$T_{sal} = 20.2607 + 0.0247 (RPH)$	0.2854
<b>3</b>	Múltiples con RPH y R15 como var. Indep.	$T_{sa} = 19.7946 + 0.0087 (RPH) + 0.0157 (R15)$	0.2901

El cuadro XVIII confirma que la temperatura de salida ( $T_{sal}$ ) correlaciona positivamente con ambos tipos de radiación, ya que los coeficientes de regresión en todos los modelos ensayados son también positivos. Los valores de coeficiente de determinación ( $r^2$ ) fueron relativamente bajos, indicando poco

ajuste de los modelos. En futuras investigaciones podrían probarse otros modelos de naturaleza logarítmica, exponencial o polinómica.

En términos generales, el modelo de TSAL en función de la R15 nos está indicando (a través de la interpretación del coeficiente de regresión “0.0240”) que cada vez que la radiación solar a 15 grados de inclinación aumenta en un vatio por metro cuadrado ( $W/m^2$ ), la temperatura de salida aumenta en 0.0240 grados Celsius ( $^{\circ}C$ ) aproximadamente.

#### **4.2.7.3. Correlación entre la variable de volumen en función de las variables radiación solar y temperatura de salida**

La matriz de correlaciones simples de Pearson generada a través del programa SAS, indicó que el volumen correlacionó de manera positiva, mas no significativa ( $P > 0.5$ ) con la radiación solar a 15 grados de inclinación (R15). Sin embargo, el volumen correlacionó de manera negativa con la temperatura.

**CUADRO XVI. CORRERLACION SIMPLE ENTRE VARIABLES ESTUDIADAS (VOLUMEN – RADIACION Y TEMPERATURA)**

<b>Variable</b>	<b>Coeficiente de Correlación (r)</b>	<b>Significancia</b>
Vol – R15	0.22541	0.6676 = NS
Vol - Tem	-0.3777	0.4603 = NS

Esto indica que a mayor radiación, mayor volumen, y que a mayor temperatura menos volumen, lo que esto resulta contradictorio.

También es importante destacar que en ambos casos la magnitud del coeficiente no fue muy alta (menor que 0.70) indicando que la correlación no fue muy intensa. Es posible que la N=6, al ser muy baja, haya influido en este resultado, así como en la ausencia de significancia.

**4.2.7.4. Ecuaciones de regresión lineal simple con Volumen (Vol) y temperatura de salida (Tsal) y radiación solar (R15)**

En el cuadro a continuación se muestra las ecuaciones de regresión lineal simples con volumen como variable dependiente y temperatura de salida y Radiación solar a 15 grados de inclinación, como variable independiente.

**CUADRO XVII. ECUACIONES DE REGRESION DE VOLUMEN TOTAL POR DIA COMO VARIABLE DEPENDIENTE**

<b>Regresión Lineal Simple</b>	
<b>Ecuación de regresión</b>	<b>Coefficiente de determinación (<math>r^2</math>)</b>
Vol = 43.7463 + 0.0592 (R15)	0.0508
Vol = 272.0526 – 4.6753 (Temp)	0.1427

Es importante mencionar que, a pesar de ser los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) muy bajos, es mucho mayor el ajuste en el caso del volumen total y la temperatura, lo que sugiere que la temperatura parece ser una variable más influyente en el volumen, que la radiación solar.

La ecuación Vol – Temp, indica que por cada grado Celsius adicional de temperatura, el volumen total por día disminuye aproximadamente en 4.6 litros.

Resaltando que dicho resultado es contradictorio, esto se puede deber a que en determinados momentos del día, la temperatura del agua baja, ya sea por nubosidad o llovizna, pero el efecto termosifón continúa dándose en el sistema (en menor intensidad) por el calor almacenado en el asfalto y se sigue registrando datos de volumen de agua pero a menor temperatura.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de este trabajo de investigación permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- Se diseñó y construyó un prototipo de colector solar con materiales comunes, disponibles en el mercado nacional y accesible al ciudadano común, utilizando metodología sencilla para su elaboración. Su costo aproximado es 165.00 dólares.
- Se pudo determinar el comportamiento funcional, así como también el potencial de producción de agua caliente sanitaria, mediante el análisis estadístico de los parámetros evaluados. La temperatura del agua de salida del colector relacionó positivamente con la radiación a 15 grados de inclinación, así como con la radiación en el plano horizontal, lo que reveló una relación directa entre ambos parámetros, y quiere decir que, a mayor radiación, mayor es la temperatura de salida.
- En cuanto al potencial de producción, el volumen correlacionó de manera positiva con la radiación solar a 15 grados de inclinación, sin embargo, no así con la temperatura del agua en la salida del colector. La ecuación Vol – Temp

(Volumen – Temperatura), de la regresión lineal simple, indica que por cada grado Celsius adicional de temperatura, el volumen total por día se reduce en aproximadamente 4.6 litros; lo que es completamente contradictorio, esto se puede deber a diferentes causas. Una de ellas es, que la  $N = 6$ , al ser muy baja, influye negativamente en los resultados, también puede deberse a factores climáticos, ya que el estudio se llevó a cabo en una época del año que presenta factores climáticos; adversos a la ganancia de radiación.

- Según el análisis de regresión lineal simple de los datos recolectados de las variables de radiación y temperatura; indica que cada vez que la radiación a 15 grados de inclinación aumenta en un vatio por metro cuadrado, la temperatura del agua en la salida del colector aumentará en 0.024 grados Celsius, aproximadamente.
- La mayor temperatura registrada del agua a la salida del colector fue de 59.8 grados Celsius, bajo una intensidad de radiación de 1389 vatios por metro cuadrado; y una inclinación de 15 grados. El mayor rango de temperatura del agua en la salida del colector fluctúa entre 59 y 45 grados Celsius. Sin embargo, la temperatura promedio del agua en la salida del colector oscila entre valores de 44.66 y 38.2 grados Celsius.
- El volumen del agua fue variable durante los días de registro, el mayor valor fue de 122.45 litros y el menor fue de 27 litros por día. Sin embargo, el promedio es de 75.77 litros diarios.

- De los datos analizados se puede concluir que por cada metro cuadrado de panel solar para A.C.S. con colector de asfalto, se podrá calentar un promedio de 75.77 litros de agua por día, a 41.43°C de temperatura aun en periodos de elevada nubosidad y precipitación.
  
- Se percibe que el asfalto como material colector, puede almacenar calor, mas no transferirlo con facilidad.
  
- El aislamiento térmico es un elemento determinante al momento de observar y analizar el comportamiento funcional del prototipo de colector solar, la deficiencia de este elemento afecta de forma significativa, ya que de otro modo podrán ocurrir importantes pérdidas térmicas

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los futuros investigadores interesados en el tema de energías limpias, extender esta investigación a diferentes líneas relacionadas al aprovechamiento agrícola y agroindustrial de la energía solar térmica.
- Realizar una evaluación de aspectos relacionados al ahorro energético y el ahorro económico; así como también un análisis sobre los beneficios medioambientales, al utilizar este prototipo de colector para A.C.S.
- Se recomienda realizar estudios comparativos entre el prototipo desarrollado y otros colectores comerciales, que busquen mejorar las condiciones de instalación y optimizar el rendimiento de este prototipo para alcanzando un buen desempeño funcional.
- Se estima realizar el rediseño de la tubería intercambiadora de calor para reducir el costo final del colector y elevar ligeramente su eficiencia.
- Es recomendable que se investigue la eficiencia del panel acoplado a un sistema solar térmico (SST) activo, esto es mediante bombamiento solar fotovoltaico de agua, ya que el actual panel fue plenamente pasivo.

- Se recomienda realizar este estudio en los meses de mayor radiación (enero, febrero, marzo y abril), para conocer el potencial de producción de este prototipo en época seca, y la capacidad del asfalto para almacenar el calor en horas nocturnas.

## 7. REFERENCIA CITADAS

- Baillarie Rosenmann, P. 2007. Diseño de Aerogeneradores con imanes permanentes para aplicaciones en electrificación rural. Tesis Lic. Santiago, CH, Universidad de Chile. 129 p. (en línea) Consultado 5 agosto 2016. Disponible en: [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/baillarie\\_p/sources/baillarie\\_p.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/baillarie_p/sources/baillarie_p.pdf)
- BID (Banco Interamericano de desarrollo); 2004, Los Objetivos de Desarrollo Del Milenio En América Latina Y El Caribe (en línea) Consultado 3 junio 2015, Disponible en : <http://www.cepal.org/mdg/docs/iadbpublicdoc.pdf>
- Borrás Brucart,E. 1987. Gas Natural Características, distribución y aplicaciones Industriales (en línea) Consultado 15 julio 2016. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=QKM6R6OInP8C&printsec=frontcover&dq=gas+natural&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=gas%20natural&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=QKM6R6OInP8C&printsec=frontcover&dq=gas+natural&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=gas%20natural&f=false)
- Cabello Quiñones, AM. 2006. Energías Alternativas: Solución para el desarrollo sustentable (en línea) Jornadas Medio Ambiente Comunidad y Empresas. Consultado 11 julio 2016. Disponibles en: [http://dspace.otalca.cl/retrieve/10081/cabello\\_quinones\\_am.pdf](http://dspace.otalca.cl/retrieve/10081/cabello_quinones_am.pdf)
- Calle, J.; Fajardo, J.; Sánchez, L.; Agua caliente sanitaria de uso doméstico con Energía Solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca, (en línea), Ingenius: Revista de ciencia y tecnología 57-65 Consultado 28 abril 2015.

Disponible en:  
<http://ingenius.ups.edu.ec/documents/2497096/2497482/Art.6.pdf>

Castillo, J.R.; Alternativas Energéticas, Universidad de Panamá, 2014

Castro, C.; Guerrero, C.; 2012, Nota Sectorial: Energías Renovables en Panamá, (en línea) Consultado 12 Agosto 2016. Disponible en:  
[http://www.aprean.com/internacional/estudios/nota\\_sectorial\\_energias\\_renovables\\_panama.pdf](http://www.aprean.com/internacional/estudios/nota_sectorial_energias_renovables_panama.pdf)

CATEDU (Centro Aragonés de Tecnología para la Educación, ES). Fuentes de energías no renovables, cap. 14, (en línea) Consultado 12 julio 2016. Disponible en:  
[http://www.catedu.es/geografos/images/Documentos/secundario/matPrim\\_energia/04\\_no\\_renovables.pdf](http://www.catedu.es/geografos/images/Documentos/secundario/matPrim_energia/04_no_renovables.pdf)

CER (Centro de Energías Renovables), Energía Solar (en línea). Consultado 15 abril 2015. Disponible en:  
[http://cifes.gob.cl/tecnologias/files/2011/12/libro\\_solar.pdf](http://cifes.gob.cl/tecnologias/files/2011/12/libro_solar.pdf)

Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones, ES. 2007. Energía Solar Fotovoltaica (en línea) Consultado 17 agosto 2016. Disponible en:  
[http://www.coitaoc.org/files/estudios/energia\\_solar\\_fotovoltaica\\_2e5c69a6.pdf](http://www.coitaoc.org/files/estudios/energia_solar_fotovoltaica_2e5c69a6.pdf)

Conant, J.; Fadem, P., 2011, Guia comunitaria para la salud Ambiental, capítulo 23, Energía Limpia (en línea) pag 524 – 543 Consultado 28 mayo 2015. Disponible en:  
[http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es\\_cgheh\\_2011/es\\_cgheh\\_2011\\_frente.pdf](http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgheh_2011/es_cgheh_2011_frente.pdf)

Correa, N. 2007. Fuentes Alternativas de Energías, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Medellín. ( en línea) Consultado 15 julio 2016.

Disponible en:  
[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303014/Modulo Fuentes Alternativas de Energia.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303014/Modulo_Fuentes_Alternativas_de_Energia.pdf)

De Juana, J.; Santos, F.; Crespo, A.; Herrera, MA. ; De Francisco, A.; Fernández, J. 2008. Energías Renovables para el Desarrollo. Paraninfo, Madrid ES. (en línea) Consultado 5 agosto 2016. Disponible en:  
[https://books.google.com.pa/books?id=NyvcConR-xoC&printsec=frontcover&dq=libros+de+energia+eolica+pdf&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=NyvcConR-xoC&printsec=frontcover&dq=libros+de+energia+eolica+pdf&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

De la Torre, A.; Fajnzylber, P.; Nash, J. 2009. Desarrollo con menos carbón: respuestas Latinoamérica al desafío del cambio climático. Estudio del Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe. 98 p. (en línea) Consultado 15 julio 2016. Disponible en:  
<http://siteresources.worldbank.org/INTBOLIVIAINSPANISH/Resources/desarrolloconmenoscarbono.pdf>

Dolezal, A.; Majano, A.; Ochs, A.; Palencia, R. ; 2013 La Ruta hacia el futuro para energías renovables de Centroamérica, Worldwatch Institute, 2013 Washington, D.C. (en línea) Consultado 14 mayo 2015. Disponible en:  
[http://www.worldwatch.org/system/files/CA\\_report\\_highres\\_spanish\\_2013\\_0.pdf](http://www.worldwatch.org/system/files/CA_report_highres_spanish_2013_0.pdf)

EPEC (Empresa Provincial de Energía de Córdoba, AR) La Tecnología Hidroeléctrica (en línea) Consultado 10 agosto 2016. Disponible en:  
<http://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/hidroelectricidad.pdf>

Flores Castro, E. 2008. Futuro Energético de Panamá, Tecnociencia Vol. 10 N° 2 (en línea) Consultado 10 agosto 2016. Disponible en:  
<http://www.sibiup.up.ac.pa/otros->

[enlaces/tecnociencias/Vol.%2010\(2\)/Tecnociencia%20Articulo%2010%2010\(2\)%2008.pdf](#)

Fundación Gas Natural, ES. El Impacto ambiental de las distintas fuentes energéticas de generación eléctrica. Energía y medio ambiente. Ficha A1. Generación de electricidad (en línea) Consultado 5 agosto 2016. Disponible en:

[http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0\\_1150\\_1.pdf](http://www.aytojaen.es/portal/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_1150_1.pdf)

Guía de ahorro y eficiencia energética en balnearios y spas, ES. 2011, 215 p. (en línea) Consultado 12 junio 2015. Disponible en:

<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-ahorro-y-eficiencia-energetica-en-balnearios-y-spas-fenercom-2011.pdf>

Holm, D.; ISES (International Solar Energy Society) Un Futuro Para el Mundo en Desarrollo Basada en las Fuentes Renovables de Energía (en línea) Consultado 28 abril 2015. Disponible en:

[https://www.ises.org/fileadmin/user\\_upload/PDF/ISES\\_WP\\_developing\\_countries\\_Spanish.pdf](https://www.ises.org/fileadmin/user_upload/PDF/ISES_WP_developing_countries_Spanish.pdf)

Holman,JP. 1999. Transferencia de Calor, Trad. R Valenzuela, 10 ed. México, DF. Mc Graw Hill Book Company, Inc. 613 P. (en línea) Consultado 11 Agosto 2016. Disponible en:

<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/10/transferencia-de-calor-holman.pdf>

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, ES). 2006. Energía Eólica, cap. 3, Manuales de Energías Renovables (en línea) Consultado 4 agosto 2016. Disponible en:

[http://dl.idae.es/Publicaciones/10374\\_Energia\\_eolica\\_A2006.pdf](http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_eolica_A2006.pdf)

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía, ES). Energía Solar térmica, cap. 4, Manuales de Energía Renovable (en línea) Consultado 12 Agosto 2016. Disponible en: [http://dl.idae.es/Publicaciones/10374\\_Energia\\_solar\\_termica\\_A2006.pdf](http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_solar_termica_A2006.pdf)

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR) 2015. Paso a paso termotanque solar de agua: construcción de tecnologías apropiadas, 45 p. (en línea) Consultado 20 Agosto 2016. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_paso\\_a\\_paso\\_termotanque\\_solar\\_de\\_agua.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_paso_a_paso_termotanque_solar_de_agua.pdf)

ITC (Instituto Tecnológico de Canarias, ES). 2008. Energías Renovables y eficacia energética. ( en línea) Consultado 10 julio 2016. Disponible en: <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Jara Tirapegui, W. 2006. Introducción a las Energías renovables no convencionales. (en línea). Consultado 2 agosto 2016. Disponible en: <http://www.endesa.cl/ES/NUESTROCOMPROMISO/PUBLICACIONESEINFORMES/Documents/Libro%20ERNRC%20versi%C3%B3n%20de%20impresión.pdf>

Jiménez, JM. Ingenios Solares, Manual práctico para la construcción de Aparatos sencillos relacionados con la energía solar

Jordán, W. 2015. Crece Consumo y demanda de energía. La prensa. David, PA. Jun 19

Jordán, W. 2015. Energía Fotovoltaica se enciende. La Prensa, Panamá, PA. Feb 22 (en línea) Consultado 25 julio 2016. Disponible en: [http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista\\_Kuru/anteriores/anterior9/pdf/NormasIICA-CATIE.pdf](http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior9/pdf/NormasIICA-CATIE.pdf)

Kahan, S. 2002, Transferencia de Calor, (en línea) Consultado 19 agosto 2016.  
Disponible en: <http://www.fing.edu.uy/~skahan/tranferenciacolor.pdf>

Lopez-Cózar, JM. 2006, Energía Solar Térmica, Manuales de Energía Renovable, Madrid España, (en línea) Consultado 12 agosto 2016,  
Disponible en:  
[http://nol.infocentre.es/ictnol/pdf/manual\\_energia\\_solar\\_term.pdf](http://nol.infocentre.es/ictnol/pdf/manual_energia_solar_term.pdf)

Manuales sobre energía Renovable: Solar Térmica, 2002, San José, CR. 45 p.  
(en línea) Consultado 14 agosto 2016. Disponible en: <http://www.bionica.info/biblioteca/BUNCA2002SolarTermico.pdf>

Martínez, JC.; Noceto, P.; Suarez, r.; 2013, Manual Técnico de Energía Solar Térmica, Volumen II: Aspectos térmicos y normativos, Uruguay. ( en línea)  
Consultado 20 Agosto 2016. Disponible en:  
<http://www.eleche.com.uy/media2/design/style000001/00000000030000001437.pdf>

Mauro Bezerra, A. Aplicaciones térmicas de energía solar

Medrino, L.; Energías renovables para todos, (en línea), Haya Comunicación SL,  
Energía Renovables Consultado 6 julio 2016. Disponible en:  
<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos.pdf>

MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo); Manual Sistemas Solares Térmicos (en línea) consultado 12 septiembre 2015. Disponible en:  
[www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)

Moragues, J.; Rapallini, A. 2003. Energía Eólica (en línea) Consultado 4 agosto 2016. Disponible en: [http://www.iae.org.ar/renovables/ren\\_eolica.pdf](http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf)

Otero, A. 2001. Medio Ambiente y Educación: capacitación ambiental para docentes, Ed. Noveduc Libros, 235 p. (en línea) Consultado 28 julio 2016. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=m8i2vWqIWvwC&pg=PA128&dq=energias+alternas&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=energias%20alternas&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=m8i2vWqIWvwC&pg=PA128&dq=energias+alternas&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=energias%20alternas&f=false)

Pascual, P.; Vega, A.; Rodríguez, J.; Castro, D.; Serrano, P.; Cortes de la fuente, C.; García, C.; Álvarez, C.; Álvarez, S.; Potti, JJ. ; Pavimentos Asfálticos Sostenibles (en línea) Consultado 10 mayo 2015. Disponible en: <http://www.proyctofenix.es/File/ViewFile.aspx?FileId=71099>

Placo, C.; Saravia, L.; Cadena, C.; Colectores solares para agua caliente, INENCO, Unas- CONICET. (en línea) Consultado 15 Agosto 2016. Disponible en: [http://www.inti.gob.ar/erenova/pdf/colectores\\_solares\\_aguacaliente.pdf](http://www.inti.gob.ar/erenova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf)

Roldan Viloria, J.; 2008, Fuentes de Energía (en línea), Eds López, J.; De La Fuente, C.; Madrid ESP, Consultado 6 julio 2016. Disponible en: [https://books.google.com.pa/books?id=1VSdl7o\\_t2kC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pa/books?id=1VSdl7o_t2kC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Rubio, M.; Viessman, S. ; Madrid 2005, Guía De Ahorro Energético En Gimnasios, Capítulo 7, La energía solar térmica: agua caliente sanitaria, calefacción y climatización ( en línea ) pag 205 – 231, Consultado 3 junio 2015, Disponible en :<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-ahorro-energetico-gimnasios-fenercom.pdf>

Secretaria de Energía, ARG. 2008. Energías Renovables 2008 – Energía Solar (en línea) Consultado 10 agosto 2016. Disponible en : [https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_solar.pdf](https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_solar.pdf)

SNE (Secretaría Nacional de Energía, PA) 2015, Plan Energético Nacional 2015-2050: "Panamá el futuro que queremos", (en línea) Consultado 12 Agosto 2016. Disponible en: <http://www.energia.gob.pa/tmp/file/277/plan%20energetico%20nacional%20edicion%20ira%20julio%202016.pdf>

Soria, E. Hidráulica. Energías Renovables para todos. Ed. Haya Comunidad. 20 p. (en línea) Consultado 10 agosto 2016. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-hidraulica.pdf>

Soto, NL. 2014, Análisis de sistemas de captación de energía solar mediante superficies asfáltica, Tesis Ing. Austral CH. Universidad Austral de Chile, 68 P. (en línea) Consultado 10 mayo 2015. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcis718a/doc/bmfcis718a.pdf>

Testa, M. 2014. Sarigua, campo fértil para la energía solar. La estrella de Panamá, Panamá, PA. Nov 13 ( en línea) Consultado 3 Agosto 2016, Disponible en: <http://laestrella.com.pa/economia/sarigua-campo-fertil-para-energia-solar/23820198>

Viessmann, S.L.;2005, Guía de ahorro energético en gimnasios, Capítulo 7, La energía solar térmica: agua caliente sanitaria, calefacción y climatización (en línea) Consultado 12 junio 2015. Disponible en: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM005515.pdf>

## **ANEXOS**

**ANEXO N°1. Matriz de correlación simple de las variables: RPH, R15, TENT, TSAL.**

Correlation Analysis					
4 'VAR' Variables: RPH R15 TENT TSAL					
Simple Statistics					
Variable	N	Mean Sum	Std Dev	Minimum	Maximum
RPH		518.750000	385.285218	0	1780.000000
R15		31125		0	1357.000000
TENT	60	556.433333	398.983385	28.100000	291.100000
TSAL	60	33386		0	59.800000
	60	33.198333	33.862266		
	60	1991.900000			
		33.116667	17.872801		
		1987.000000			
Pearson Correlation Coefficients / Prob >  R  under Ho: Rho=0 / N = 60					
	RPH	R15	TENT	TSAL	
RPH	1.00000	0.98074	0.06698	0.53424	
	0.0	0.0001	0.6111	0.0001	
R15	0.98074	1.00000	0.07988	0.53736	
	0.0001	0.0	0.5440	0.0001	
TENT	0.06698	0.07988	1.00000	0.11059	
	0.6111	0.5440	0.0	0.4003	
TSAL	0.53424	0.53736	0.11059	1.00000	
	0.0001	0.0001	0.4003	0.0	

**ANEXO N°2. Análisis de regresión con TSAL como variable dependiente y los tipos de radiación (RPH y R15) como variables independientes.**

Model: MODEL1						
Dependent Variable: TSAL						
Analysis of Variance						
	Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	
Prob>F	Model	1	5379.07348	5379.07348	23.166	
0.0001	Error	58	13467.70985	232.20189		
	C Total	59	18846.78333			
	Root MSE	15.23817	R-square	0.2854		
	Dep Mean	33.11667	Adj R-sq	0.2731		
	C.V.	46.01361				
Parameter Estimates						
	Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
	INTERCEP	1	20.260737	3.31731216	6.108	0.0001
	RPH	1	0.024783	0.00514902	4.813	0.0001

Model: MODEL1						
Dependent Variable: TSAL						
Analysis of Variance						
	Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	
Prob>F	Model	1	5442.20889	5442.20889	23.548	
0.0001	Error	58	13404.57445	231.11335		
	C Total	59	18846.78333			
	Root MSE	15.20241	R-square	0.2888		
	Dep Mean	33.11667	Adj R-sq	0.2765		
	C.V.	45.90562				
Parameter Estimates						
	Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
	INTERCEP	1	19.722370	3.38684865	5.823	0.0001
	R15	1	0.024072	0.00496057	4.853	0.0001

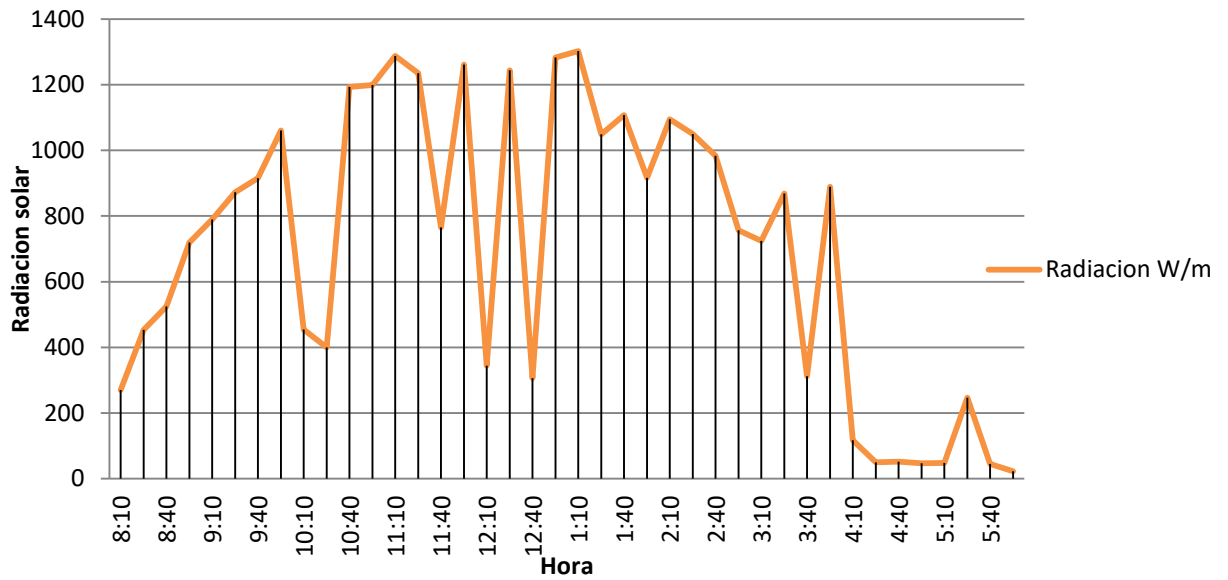
Model: MODEL1						
Dependent Variable: TSAL						
Analysis of Variance						
	Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
	Model	2	5467.99529	2733.99764	11.648	0.0001
	Error	57	13378.78804	234.71558		
	C Total	59	18846.78333			
	Root MSE	15.32043	R-square	0.2901		
	Dep Mean	33.11667	Adj R-sq	0.2652		
	C.V.	46.26199				
Parameter Estimates						
	Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
	INTERCEP	1	19.794654	3.42010109	5.788	0.0001
	RPH	1	0.008784	0.02650237	0.331	0.7415
	R15	1	0.015752	0.02559248	0.616	0.5407

ANEXO N°3. Flujograma de procedimiento de construcción del prototipo estudiado.

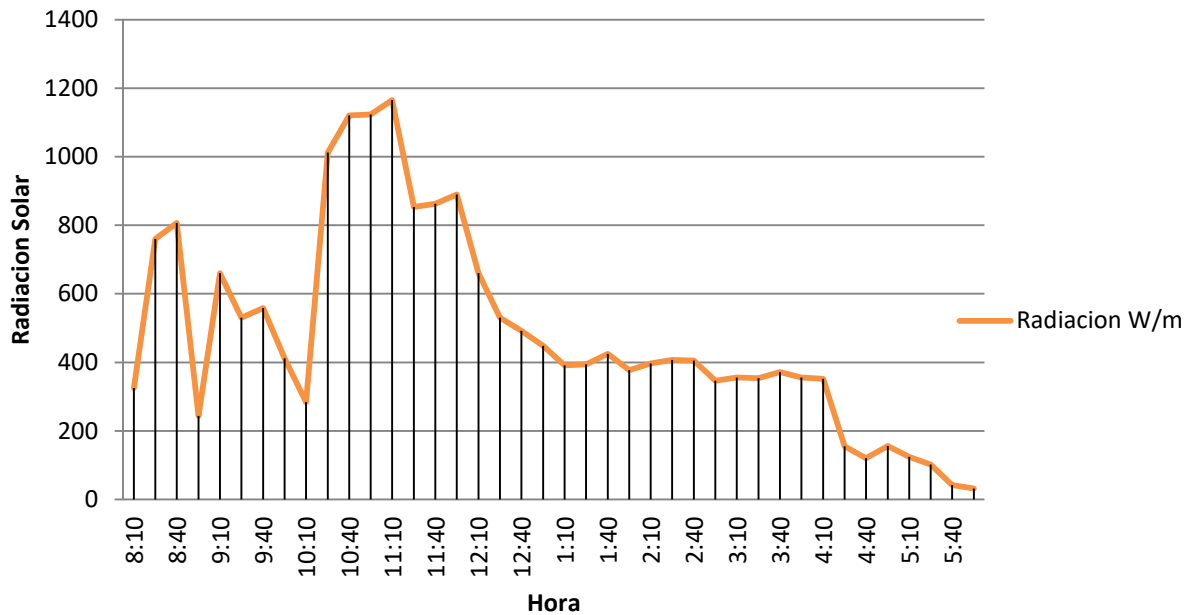




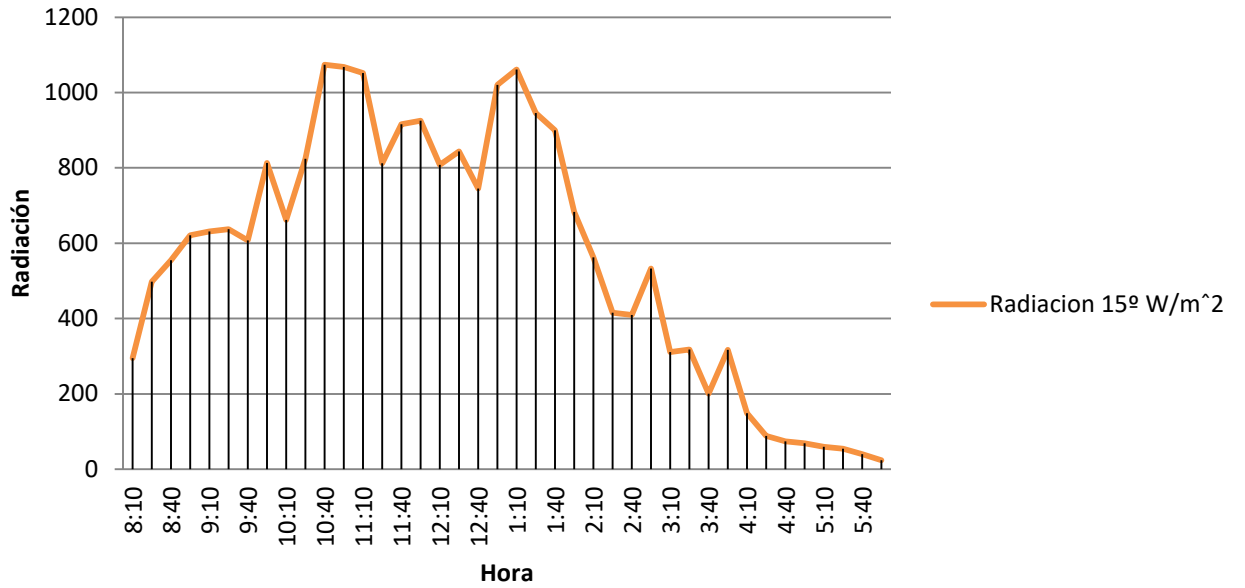
**ANEXO N°6. Gráfica del día de mayor radiación solar, 23 de septiembre 2016.**



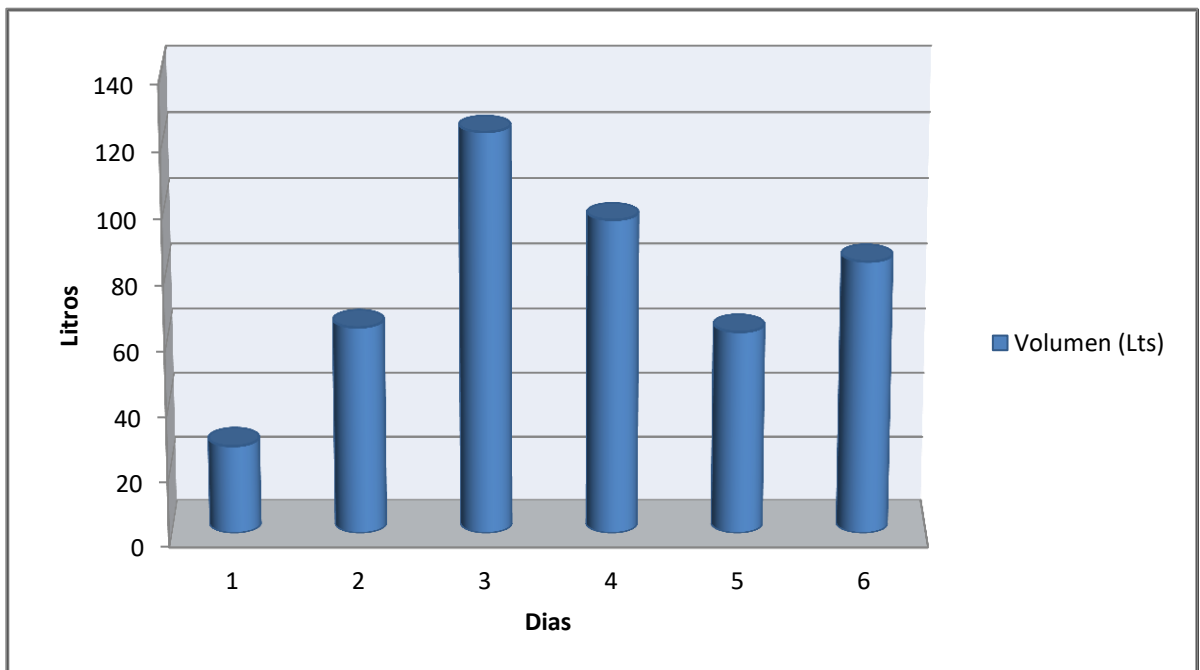
**ANEXO N°7. Gráfica del día de menor Radiación solar**



### ANEXO N°8. Grafica de promedios de Radiación solar



### ANEXO N°9. Grafica de volumen total de agua caliente, producido en Litros por día



**ANEXOS N°10. Formulario de recolección de datos**

**UNIVERSIDAD DE PANAMA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
FORMULARIO MEDICION DE RENDIMIENTO**

**Anotador:** \_\_\_\_\_

**Día N°:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

Nº Lectura	Hora	Radiación W/m <sup>2</sup>	Radiación 15º W/m <sup>2</sup>	Tº Red Cº	Tº Colector-Reservorio	Tº Consumo Cº
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

**Comentario:**

---

---

**ANEXO N° 11. Marco del colector cubierto con pintura blanca mate**



**ANEXO N° 12. Esquina del marco remachada**



**ANEXO N° 13. Colocación de cinta asfáltica en la parte interna del marco**



**ANEXO N° 14. Parte interna del marco**



**ANEXO N° 15. Sección de madera atornillada al marco**



**ANEXO N° 16. Marco con el fondo de madera (aislamiento)**



**ANEXO N° 17. Lamina de zinc cortada y pintada negro mate**



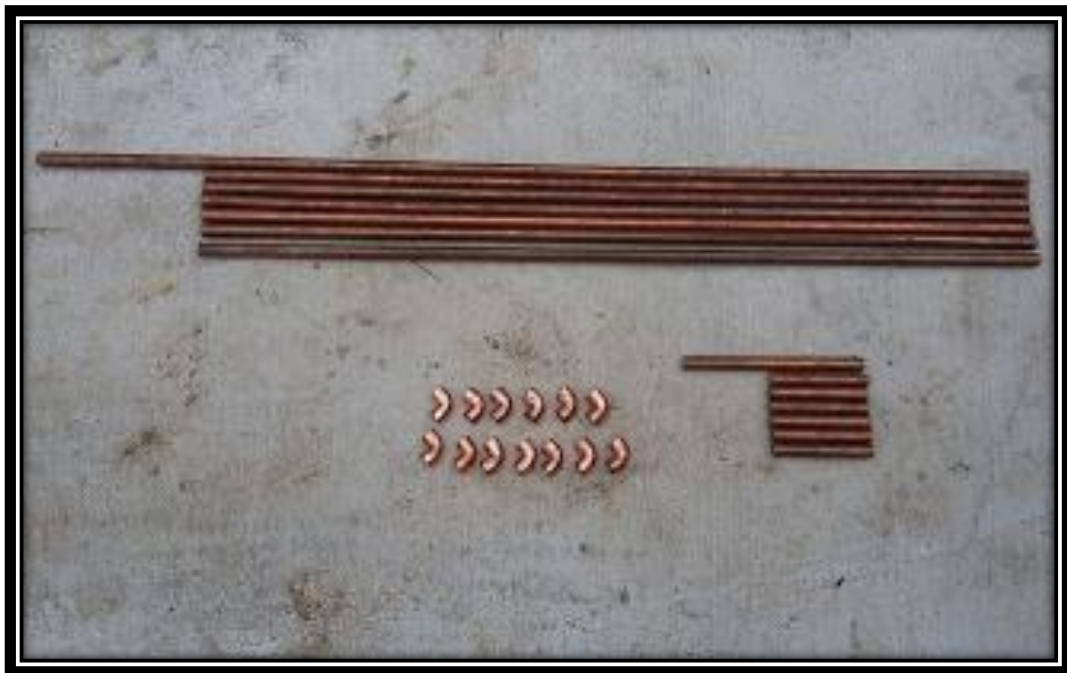
**ANEXO N° 18. Barrera de calor atornillada a la madera dentro del colector**



**ANEXO N° 19. Corte de tubo de cobre**



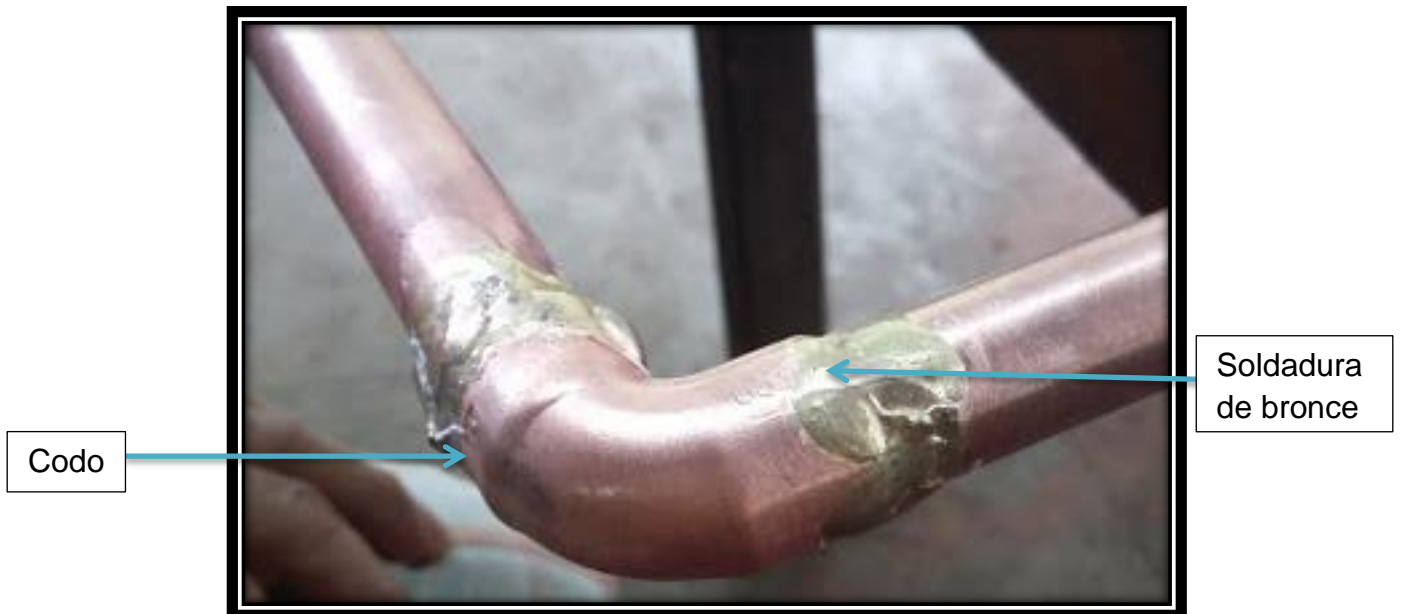
**ANEXO N° 20. Secciones de tubos de cobre para el armado de la tubería de conducto**



**ANEXO N° 21. Tubería intercambiadora (serpentín) armado**



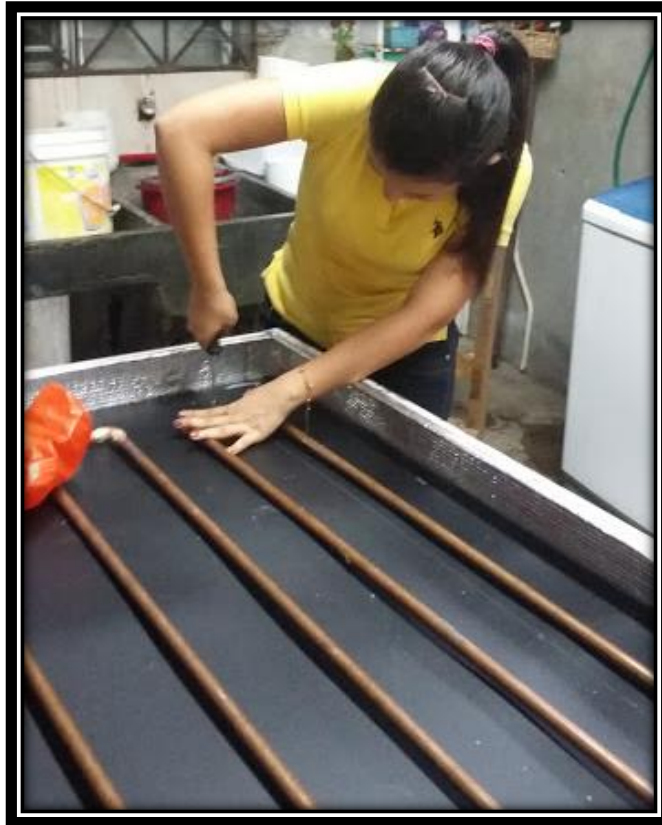
**ANEXO N° 22. Uniones con soldadura de bronce**



Codo

Soldadura  
de bronce

**ANEXO N° 23. Acoplamiento de la tubería intercambiadora a la barrera de calor.**



**ANEXO N° 24. La tubería intercambiadora atornillada con grapas**



Grapa de  
12.7 mm

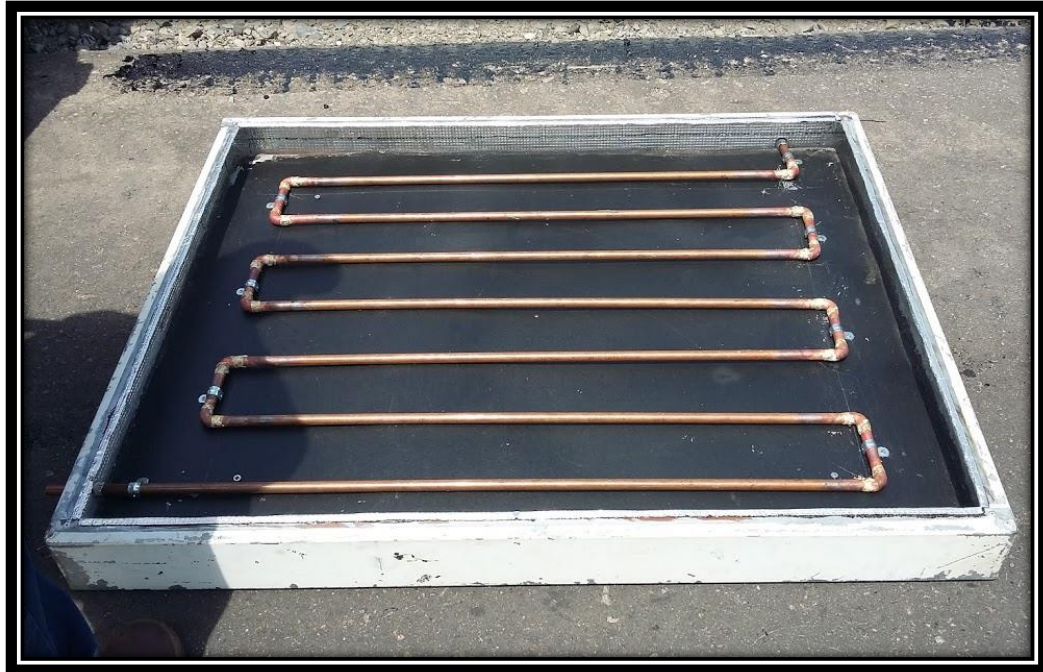
**ANEXO Nº 25. Salida de agua del colector**



**ANEXO Nº 26. Tubería intercambiadora integrada al colector**



**ANEXO N° 27. Tubería intercambiadora instalada al colector**



**ANEXO N° 28. Colocación de la mezcla de asfalto sobre el colector**



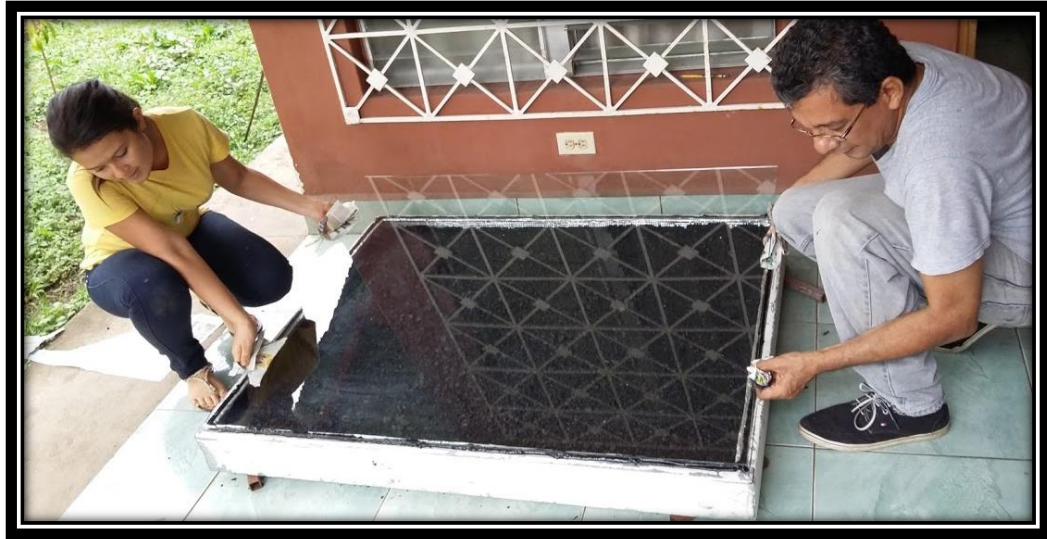
**ANEXO No. 29. Distribución de la mezcla de asfalto sobre la barrera de calor**



**ANEXO N° 30. Compactación de la capa de mezcla de asfalto**



**ANEXO N° 31. Colocación de la cubierta de vidrio**



**ANEXO N° 32. Colector instalado en el SST, para ensayo de campo**



**ANEXO N° 33. Mini Termómetro Digital**



**ANEXO N° 34. Actinógrafo Digital portátil**



## ANEXO Nº 35. Registro de datos

### Datos del día 1, 20 de septiembre del 2016

Lectura	Hora	Radiación PH W/m <sup>2</sup>	Radiación 15º W/m <sup>2</sup>	Tº red	Tº Salida Colector
1	8:10	257	272	29.1	X
2	8:25	467	497	29.1	X
3	8:40	456	521	29.1	X
4	8:55	345	367	29.1	X
5	9:10	267	287	29.1	X
6	9:25	318	277	29.1	X
7	9:40	462	433	29.1	X
8	9:55	603	638	29.1	X
9	10:10	530	480	29.1	X
10	10:25	512	542	29.1	X
11	10:40	814	910	29.1	X
12	10:55	845	959	29.1	X
13	11:10	857	943	29.1	39.2
14	11:25	633	670	29.1	X
15	11:40	517	551	29.1	X
16	11:55	579	615	29.1	X
17	12:10	941	1044	29.1	43.1
18	12:25	599	612	29.1	42.6
19	12:40	669	717	29.1	54.7
20	12:55	857	929	29.1	40.0
21	1:10	1138	1238	29.1	45.1
22	1:25	606	613	29.1	48.8
23	1:40	589	821	29.1	50.8
24	1:55	515	521	29.1	X
25	2:10	438	484	29.1	X
26	2:25	386	382	29.1	X
27	2:40	352	339	29.1	X
28	2:55	310	318	29.1	X
29	3:10	268	296	29.1	X
30	3:25	238	257	29.1	X
31	3:40	197	216	29.1	52.8
32	3:55	206	215	29.1	42.0
33	4:10	197	209	29.1	33.6
34	4:25	144	149	29.1	33.5
35	4:40	106	103	29.1	30.6
36	4:55	79	73	29.1	X
37	5:10	89	56	29.1	X
38	5:25	64	56	29.1	X
39	5:40	24	25	29.1	X
40	5:55	21	27	29.1	X

### Datos del día 2, 21 de septiembre del 2016

Lectura	Hora	Radiación PH W/m <sup>2</sup>	Radiación 15º W/m <sup>2</sup>	Tº Red	Tº Salida del colector
1	8:10	542	385	29.5	30.6
2	8:25	579	537	29.5	37.1
3	8:40	650	615	29.5	37.8
4	8:55	658	633	29.5	39.8
5	9:10	743	770	29.5	41.9
6	9:25	920	947	29.5	44.7
7	9:40	289	285	29.5	45.5
8	9:55	947	1010	29.5	45.5
9	10:10	980	1027	29.5	42.4
10	10:25	1035	1141	20.5	48.7
11	10:40	1100	1184	29.5	38.2
12	10:55	287	280	29.5	42.2
13	11:10	1342	1482	29.5	48.2
14	11:25	370	401	29.5	47.2
15	11:40	1280	1430	29.5	40.8
16	11:55	966	987	29.5	52.9
17	12:10	1280	1243	29.5	51.6
18	12:25	1280	1407	29.5	50.1
19	12:40	1229	1328	29.5	42.1
20	12:55	1330	1449	29.5	45.8
21	1:10	1249	1366	29.5	50.1
22	1:25	1291	1397	29.5	52.1
23	1:40	860	988	29.5	54.5
24	1:55	912	1009	29.5	57.5
25	2:10	87	93	29.9	40.5
26	2:25	11	12	29.9	39.4
27	2:40	2	2	29.1	36.5
28	2:55	0	0	29.1	34.5
29	3:10	0	0	29.1	33.0
30	3:25	0	0	29.1	32.2
31	3:40	0	0	28.5	X
32	3:55	0	0	0	X
33	4:10	0	0	0	X
34	4:25	0	0	0	X
35	4:40	0	0	0	X
36	4:55	0	0	0	X
37	5:10	0	0	0	X
38	5:25	0	0	0	X
39	5:40	0	0	0	X
40	5:55	0	0	0	X

### Datos del día 3, 22 de septiembre del 2016

Lectura	Hora	Radiación PH W/m	Radiación 15º W/m	Tº red	Tº Salida Colector
1	8:10	325	413	28.3	X
2	8:25	760	707	28.3	X
3	8:40	807	873	28.3	X
4	8:55	244	906	28.3	X
5	9:10	660	759	28.3	X
6	9:25	530	590	28.3	X
7	9:40	558	655	28.3	X
8	9:55	412	478	28.3	X
9	10:10	284	849	28.3	X
10	10:25	1012	1037	28.3	35.5
11	10:40	1120	1208	28.3	35.6
12	10:55	1123	1220	28.3	38.7
13	11:10	1165	1304	28.3	38.6
14	11:25	853	909	28.3	42.6
15	11:40	863	942	28.3	48.4
16	11:55	890	990	28.3	48.3
17	12:10	660	714	28.3	39.8
18	12:25	530	573	28.3	40.0
19	12:40	492	527	28.3	41.7
20	12:55	448	456	28.3	43.5
21	1:10	391	410	28.3	37.9
22	1:25	394	415	28.3	38.6
23	1:40	425	449	28.3	38.7
24	1:55	377	383	28.3	40.5
25	2:10	397	416	28.3	40.3
26	2:25	407	436	28.3	37.7
27	2:40	405	422	28.3	36.8
28	2:55	346	299	28.3	38.9
29	3:10	356	302	28.3	37.9
30	3:25	354	381	28.3	34.9
31	3:40	372	376	28.3	36.3
32	3:55	356	306	28.3	36.7
33	4:10	352	343	29.2	36.3
34	4:25	155	154	29.2	38.4
35	4:40	120	122	29.2	35.9
36	4:55	156	167	29.2	33.9
37	5:10	124	135	29.2	33.5
38	5:25	102	116	29.2	33.5
39	5:40	42	49	29.2	33.2
40	5:55	32	29	29.2	31.5

### Datos del día 4, 23 de septiembre del 2016

Lectura	Hora	Radiación PH W/m <sup>2</sup>	Radiación 15º W/m <sup>2</sup>	Tº red	Tº Salida Colector
1	8:10	270	272	28.5	29.5
2	8:25	453	467	28.5	32.5
3	8:40	525	591	28.5	36.2
4	8:55	720	809	28.5	38.8
5	9:10	790	830	28.5	41.9
6	9:25	873	895	28.5	45.5
7	9:40	915	1002	28.5	47.5
8	9:55	1061	1183	28.5	49.3
9	10:10	454	509	28.5	48.5
10	10:25	400	442	28.5	38.9
11	10:40	1193	1316	28.5	45.9
12	10:55	1199	1295	28.5	50.5
13	11:10	1288	1298	28.5	43.0
14	11:25	1235	1394	28.5	40.0
15	11:40	765	794	28.5	47.9
16	11:55	1261	1373	28.5	50.5
17	12:10	344	345	28.5	54.1
18	12:25	1244	1454	28.5	55.5
19	12:40	306	338	28.5	54.5
20	12:55	1283	1433	28.5	55.6
21	1:10	1302	1389	28.5	59.8
22	1:25	1049	1225	28.5	X
23	1:40	1107	1247	28.5	X
24	1:55	916	889	28.2	X
25	2:10	1095	1223	28.2	40.5
26	2:25	1050	1218	28.2	42.3
27	2:40	984	1116	28.2	33.9
28	2:55	757	966	28.2	X
29	3:10	724	754	28.2	X
30	3:25	869	835	28.2	X
31	3:40	312	352	28.2	X
32	3:55	889	999	28.2	34.0
33	4:10	117	122	28.2	33.9
34	4:25	50	51	28.1	33.8
35	4:40	52	50	28.1	X
36	4:55	47	42	28.1	X
37	5:10	48	48	28.1	X
38	5:25	247	313	28.1	X
39	5:40	45	67	28.1	X
40	5:55	23	28	28.1	X

### Datos del día 5, 25 de septiembre del 2016

Lectura	Hora	Radiación PH W/m <sup>2</sup>	Radiación 15º W/m <sup>2</sup>	Tº red	Tº Salida Colector
1	8:10	140	156	28.6	X
2	8:25	126	174	28.6	X
3	8:40	233	270	28.6	X
4	8:55	276	288	28.6	30.2
5	9:10	309	343	28.6	31.2
6	9:25	316	324	28.6	33.9
7	9:40	356	317	28.6	31.9
8	9:55	487	546	28.6	34.5
9	10:10	411	461	28.6	36.6
10	10:25	839	862	28.6	40.1
11	10:40	644	667	28.6	42.3
12	10:55	1200	1326	28.6	45.0
13	11:10	591	655	28.6	46.8
14	11:25	938	828	28.6	48.8
15	11:40	1258	1461	28.6	53.5
16	11:55	1045	1230	28.6	40.8
17	12:10	953	1047	28.6	47.6
18	12:25	444	459	28.6	47.1
19	12:40	523	543	28.6	38.7
20	12:55	1122	1282	28.6	48.1
21	1:10	1130	1238	28.6	49.2
22	1:25	695	752	28.6	50.2
23	1:40	824	945	28.6	52.2
24	1:55	301	331	28.6	39.9
25	2:10	227	250	28.6	50.1
26	2:25	51	57	28.6	41.4
27	2:40	TE	TE	TE	TE
28	2:55	TE	TE	TE	TE
29	3:10	23	36	28.3	30.8
30	3:25	26	28	28.3	32.8
31	3:40	34	35	28.3	30.1
32	3:55	31	48	28.3	X
33	4:10	44	47	28.3	34.1
34	4:25	58	60	28.3	31.0
35	4:40	57	67	28.3	31.7
36	4:55	24	28	28.3	31.0
37	5:10	25	27	28.3	30.5
38	5:25	24	32	28.3	30.5
39	5:40	27	30	28.3	30.2
40	5:55	14	18	28.3	29.6

### Datos del día 6, 26 de septiembre del 2016

Lectura	Hora	Radiación PH W/m <sup>2</sup>	Radiación 15° W/m <sup>2</sup>	T° red	T° Salida Colector
1	8:10	269	270	29.3	30.1
2	8:25	589	604	29.3	35.7
3	8:40	434	457	29.3	31.7
4	8:55	673	723	29.3	34.1
5	9:10	725	799	29.3	37.3
6	9:25	762	790	29.3	41.4
7	9:40	851	954	29.3	45.2
8	9:55	950	1024	29.3	48.5
9	10:10	934	1012	29.3	49.3
10	10:25	865	919	29.3	46.2
11	10:40	1004	1158	29.3	56.5
12	10:55	1233	1328	29.3	45.3
13	11:10	529	635	29.3	48.7
14	11:25	650	667	29.3	50.5
15	11:40	319	315	29.3	43.5
16	11:55	338	353	29.3	37.5
17	12:10	400	454	29.3	40.9
18	12:25	509	556	29.3	42.6
19	12:40	900	1015	29.3	45.5
20	12:55	495	573	29.3	47.3
21	1:10	620	725	29.3	50.1
22	1:25	1083	1273	29.3	44.9
23	1:40	837	948	29.3	49.8
24	1:55	830	963	29.3	48.8
25	2:10	846	912	29.3	53.4
26	2:25	366	389	29.3	52.0
27	2:40	160	170	29.3	51.5
28	2:55	475	549	29.1	43.4
29	3:10	144	166	29.1	38.7
30	3:25	81	90	29.1	36.0
31	3:40	23	25	29.1	34.9
32	3:55	15	16	29.0	33.9
33	4:10	21	24	29.0	32.9
34	4:25	30	33	29.0	30.5
35	4:40	24	26	29.0	x
36	4:55	31	36	29.0	x
37	5:10	32	33	29.0	x
38	5:25	30	33	29.0	x
39	5:40	27	29	28.8	x
40	5:55	13	18	28.8	x

Simbología:

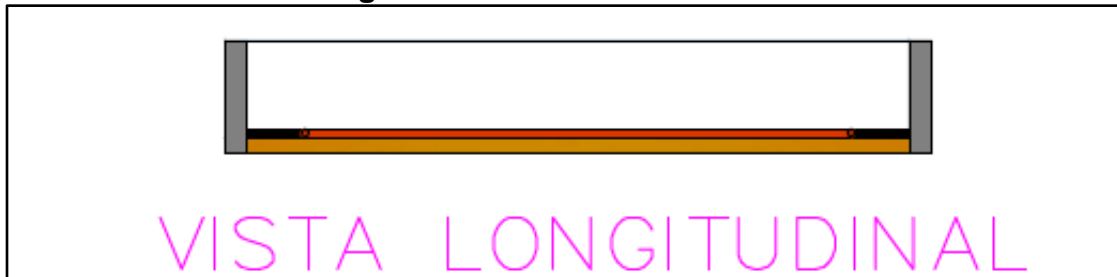
X: El agua no alcanzó un nivel suficiente para llegar la salida del colector para registrar su temperatura.

TE: Suspensión de toma de datos por Tormenta Eléctrica

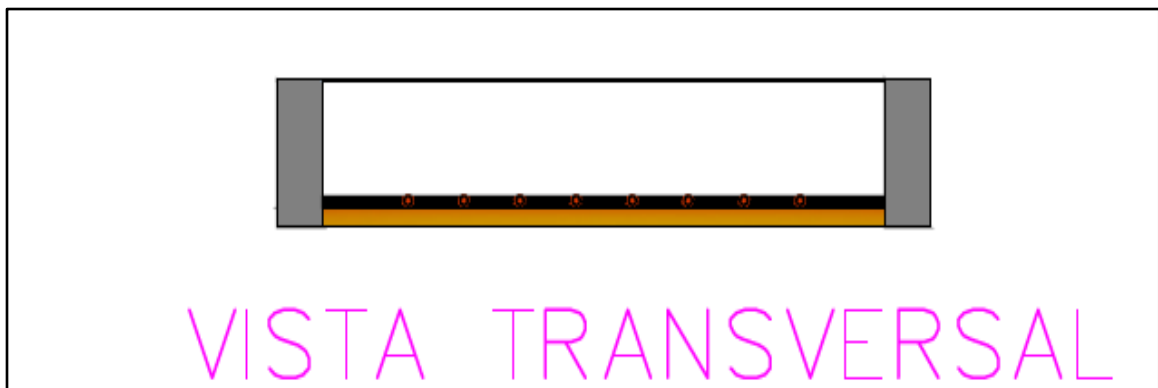
### ANEXOS N°36. Presupuesto estimado del prototipo desarrollado

Material	Precio Total
Fascia	18.00
Madera	17.00
Vidrio	30.00
Zinc liso	9.00
Tubo de cobre	50.00
Pinturas	8.00
Cinta Asfáltica	12.00
Asfalto	12.00
Accesorios	7.00
<b>TOTAL</b>	<b>B/. 163</b>

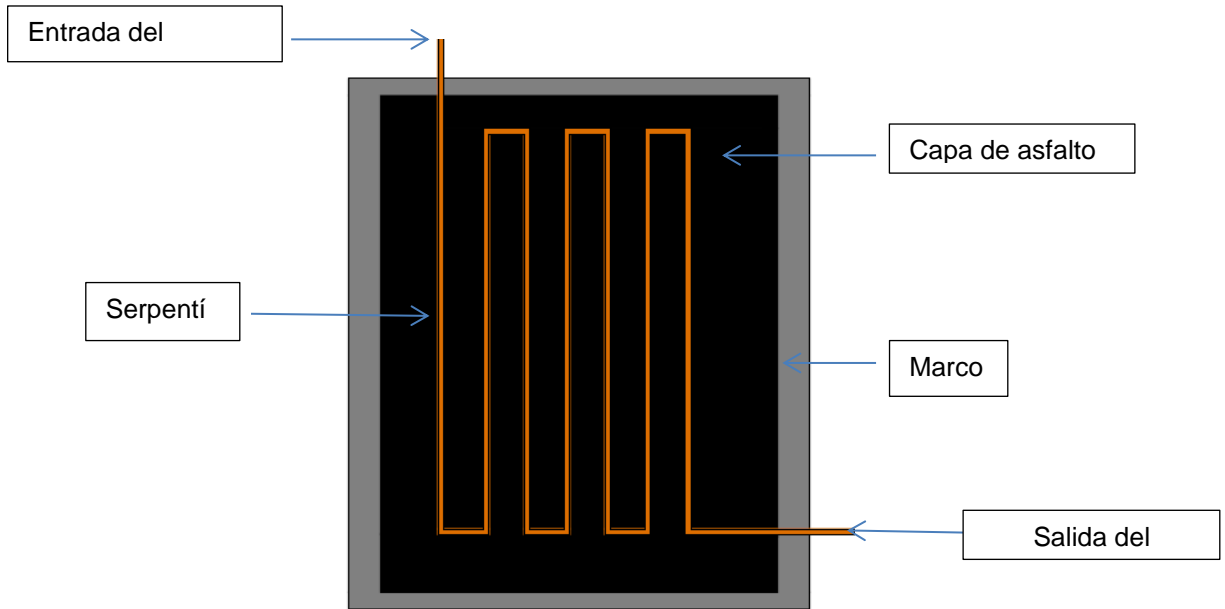
### ANEXO N° 37. Vista longitudinal del colector



### ANEXO N° 38. Vista Transversal del colector



### ANEXO N° 39. Vista Frontal del colector



### ANEXO N° 40. Vista transversal del colector

