

# 1. CAPÍTULO I : DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

## 1.1 ANTECEDENTES.

En la actualidad la energía solar está en pleno desarrollo en el mundo y especialmente en el Ecuador. La energía solar no ha sido completamente implementada y puesta a prueba en proyectos de energías renovables.

El uso de energías renovables es hoy un tópico que no se puede pasar por alto. Las energías renovables son limpias, reducen la dependencia de electricidad producida en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas y de los combustibles fósiles, por último se dispone de una fuente energética gratuita, aunque no continua.

Actualmente los estudios de energía solar han sido enfocados al abastecimiento de calor, como calentamiento de agua sanitaria y calefacción de interiores, e inclusive la generación de electricidad.

La generación de calor utilizando energía solar es comúnmente llamada "calentamiento solar". De este modo, una instalación dimensionada correctamente, genera calor y es directamente proporcional a la radiación solar.

La demanda de calentamiento de agua a través de energía solar se está convirtiendo en uno de los focos de consumo energético de la población. Por esta razón será de gran ayuda el estudio de esta aplicación, principalmente en el calentamiento de agua doméstica, y su aplicación en lugares donde la red eléctrica no está al alcance de los usuarios, pero tienen al alcance energías renovables como la solar.

Por ello este proyecto es una buena alternativa para la diversificación de recursos energéticos, para reducir la dependencia con las compañías eléctricas o de combustibles fósiles, quienes son las principales fuentes de energía del país.

La Universidad de las Américas está impulsando el estudio y aprovechamiento de las energías renovables y para el caso, la energía solar en el calentamiento de agua.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Hoy en día la obtención y uso extensivo de los combustibles fósiles, ha provocado importantes impactos ambientales, de graves consecuencias a escala mundial.

Las causas y efectos mencionados con anterioridad han sido el punto de partida para el desarrollo de nuevas tecnologías, para aprovechar los recursos energéticos renovables tales como energía solar.

Existen zonas rurales en el país que no cuentan con los servicios básicos como agua potable, energía eléctrica, teléfono, entre otros. Además, dichas zonas son de difícil acceso; pero en muchos casos tienen cercanía a las fuentes de energías renovables.

La meta de mi investigación es la de diseñar y construir un sistema de calentamiento de agua con el aprovechamiento de la energía solar y su aplicación en el campo, de forma que sea sencilla y de bajo costo para el servicio y beneficio de la comunidad.

Este proyecto va encaminado a satisfacer las necesidades de comodidad de las personas, a través del calentamiento de agua con un concentrador solar cilíndrico y parabólico, aprovechando la excelente radiación solar que existe en el Ecuador y minimizando el consumo de energía eléctrica por parte de las personas.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un concentrador solar cilíndrico y parabólico para el calentamiento de agua.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua.
- Diseñar y construir un concentrador solar cilíndrico y parabólico.
- Analizar y comprobar el correcto funcionamiento del concentrador solar cilíndrico y parabólico.
- Realizar un análisis costo/beneficio del equipo diseñado.

## **1.4 ALCANCE**

El alcance que tiene el proyecto es:

Aplicación de calentamiento de agua con la energía solar con un concentrador solar cilíndrico y parabólico .

Diseño de un modelo experimental seleccionando los materiales y fluidos de trabajo más adecuados.

Obtención de la eficiencia energética deseada, que se traduzca en un bajo costo de operación y mantenimiento del sistema.

Utilización del mínimo de consumo de energías no renovables, para la puesta en funcionamiento del sistema de calentamiento.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

En el Ecuador el estudio, la explotación y el desarrollo de las Energías no Convencionales ha sido mínimo o casi nulo.

Uno de los tipos de energía con que nuestro país cuenta, es la energía solar, por eso se hace necesario e indispensable su estudio y aprovechamiento.

Este proyecto va encaminado a satisfacer las necesidades de comodidad de las personas, a través del calentamiento de agua con un concentrador solar cilíndrico y parabólico, aprovechando la excelente radiación solar que existe en el Ecuador y minimizando el consumo de energía eléctrica por parte de las personas.

Por esto la aplicación de concentradores solares es una alternativa muy interesante, para desistir del consumo de energía eléctrica en especial en lugares donde el servicio es de difícil acceso.

Por ello este proyecto es una buena alternativa para la diversificación de recursos energéticos, para reducir la dependencia con las compañías eléctricas o de combustibles fósiles quienes son las principales fuentes de energía y estas son una de las fuentes mas grandes de contaminación ambiental en el país.

Aprovechando la disponibilidad de una fuente energética inagotable, gratuita y respetuosa con el medioambiente como es el sol, la Universidad de las Américas está impulsando el estudio y aprovechamiento de las energías renovables y para el caso, la energía solar en el calentamiento de agua.

## **1.6 ASPECTOS METODOLOGICOS.**

En la actualidad, las energías no convencionales en el Ecuador no han sido explotadas a su máxima capacidad, son muy pocos los trabajos realizados en este campo, razón por la cual los proyectos con los que se disponen no son totalmente eficientes.

Se realizará un estudio exploratorio, ya que se va a investigar el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua a través de un concentrador cilíndrico y parabólico , analizando cada uno de los elementos que lo componen para llegar a obtener la eficiencia de este concentrador.

La primera etapa a seguir es el análisis de la radiación solar en la ciudad de Quito y su aprovechamiento para el calentamiento del agua por medio del concentrador solar y las horas uso que este puede tener durante el día, datos que se pueden obtener en el INAMHI (Método Estadístico).

La segunda etapa es el análisis de la parábola y la longitud del concentrador cilíndrico y parabólico, utilizando los conocimientos teóricos de la geometría analítica, para lo cual definimos los objetivos y parámetros de diseño.

En este caso se va a calentar un volumen de agua de 30 litros desde una temperatura aproximada inicial de 10 °C, a una temperatura final de 40 °C, pero las temperaturas del agua van a depender de las condiciones climáticas y meteorológicas de la ciudad de Quito (Método experimental o empírico).

La tercera etapa es el análisis de calores y las resistencias de los distintos tipos de materiales para determinar la temperatura que alcanzará el agua y la determinación de la eficiencia térmica del concentrador, con la utilización de los conocimientos de Termodinámica y Transferencia de Calor.

La cuarta etapa es la construcción del concentrador solar cilíndrico y parabólico con todos los materiales analizados en el diseño térmico, como son un tubo de cobre, un tubo de vidrio, los aislantes, y la placa reflectora, que puede ser de cualquier material, la cual va hacer forrada de un papel con una reflectividad parecida al aluminio, en lo que corresponde al concentrador solar. También se va utilizar un tanque como reservorio de agua, mangueras, válvulas y acoples. En lo que tiene que ver con normas, se utilizarán las normas para manufactura. Los concentradores solares aun no se encuentran normalizados.

La quinta etapa es la toma de datos para verificar que se cumplan con los objetivos específicos propuestos, teniendo un determinado margen de error. También vamos a comprobar que se cumplan todos los parámetros de diseño, es decir, que el agua alcance una temperatura final de 40 °C y que se calienten un volumen de agua de 30 litros durante las horas de radiación solar.

La sexta etapa es análisis financiero del proyecto y analizar su viabilidad para la utilización en regiones rurales del país, además de la diversificación de recursos energéticos, reducción de la dependencia de combustibles fósiles para el suministro a los equipos de calentamiento.

## **2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

### **2.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.**

#### **2.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO<sup>1</sup>.**

##### **2.1.1.1 INTRODUCCIÓN**

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por una porción de la luz que emite el Sol. Ecuador es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio y durante buena parte del año. La energía solar se divide en:

**LUZ DIRECTA:** como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

**TÉRMICA:** Se denomina "térmica" la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración y secado son aplicaciones térmicas.

**FOTOVOLTAICA:** Se llama "fotovoltaica" la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

---

<sup>1</sup> [www.solartronic.com/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/curso\\_iteso.pdf](http://www.solartronic.com/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/curso_iteso.pdf).

Para los fines del aprovechamiento de su energía, el Sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, con un diámetro de  $1.39 \times 10^9$  m, situado a una distancia media de  $1.5 \times 10^{11}$  m respecto de la Tierra. Esta distancia se llama unidad astronómica (u.a).

Se estima que la temperatura en el interior del Sol debe ser del orden de  $10^7$  °K, pero en la fotosfera, es decir, en la superficie externa del Sol, la temperatura "efectiva de cuerpo negro" es de 5762 °K (i.e., calculada según el modelo radio activo del cuerpo negro).

### **2.1.1.2 ANTECEDENTES**

Por razones económicas, ambientales, políticas y sociales, es necesario buscar otras fuentes alternativas de energía que sean a la vez económicas, abundantes, limpias y que preserven el equilibrio ecológico.

La Energía proveniente del Sol, el Viento y de la Tierra misma (geotérmica), son las mejores opciones, pero la energía del sol tiene una ventaja extra con respecto a las otras dos fuentes. Se pueden construir dispositivos solares de cualquier tamaño. Esto presenta la posibilidad de llevar energía a las casas en zonas remotas, áreas protegidas, donde no pueden instalarse proyectos convencionales.

Además, la energía del sol es un excelente candidato porque:

- El sol emite energía los 365 días al año a nuestro planeta. Todos los lugares reciben esta energía en diferentes proporciones, según la ubicación (latitud),
- La fuente de energía es abundante y gratuita;
- No es contaminante, como el petróleo y el carbón;
- No tiene desechos radioactivos, como la nuclear;
- Ocupa menor área por watio de potencia producida;

- Nadie puede aumentar su precio, más bien se pueden abaratar costos;
- No necesita ningún tipo de cables o tanques para su transportación y/o almacenamiento;
- El sol es responsable de que en nuestro planeta existan las condiciones adecuadas para la supervivencia de la vida humana, animal y vegetal.

### **2.1.1.3 POTENCIA DEL SOL**

La potencia solar que recibe el planeta Tierra (fuera de la atmósfera) es de cerca de  $173 \times 10^{12}$  kW o una energía de  $15 \times 10^{17}$  kW-h por año. Al atravesar la atmósfera, cerca del 53% de esta radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. Por lo tanto, al recorrer esta radiación por una distancia de 150 millones de Km, esta cantidad se reduce y al final el planeta recibe una energía promedio de  $3 \times 10^{17}$  kW-h/año, equivalente a 4000 veces el consumo anual del mundo entero ( $7 \times 10^{13}$  kW-h/año), lo cual nos indica el enorme potencial del Sol.

Además de aprovecharla de manera natural (vientos, evaporación de los mares para energía hidroeléctrica, fotosíntesis para la producción de biomasa, gradiente térmico de los mares, etc), la energía solar se puede convertir en energía calorífica y energía eléctrica y, por lo tanto, puede servir para reemplazar a cualquier otra fuente convencional de energía.

Sin embargo, para exponer el concepto explicaremos la utilización de la energía solar para los siguientes casos específicos:

- Calentar agua para baños y duchas, para lavar trastos y utensilios de cocina para temperar piscina etc., (Calentador del Agua);
- Cocinar/ hornear los alimentos y pasteurizar agua, (Horno/Cocina Solar);
- Secar todo tipo de productos agrícolas, marinos etc., incluido excrementos de animales, (Deshidratador / Secador Solar);

- Refrigeración Solar, por medio de la absorción o adsorción de sustancias;
- Destilar un líquido para separar los componentes sólidos y líquidos, (Evaporador /Destilador Solar) y;
- Producir electricidad directamente (Efecto Fotovoltaico) para alumbrar, TV, Radio, bombear agua, ventilación, nevera y cargar baterías, etc.

#### 2.1.1.4 LA CONSTANTE SOLAR

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

La constante solar<sup>2</sup>,  $G_{sc}$  es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. Aclaremos algunos puntos de esta definición:

Primero, es un flujo de energía, es decir, la constante solar se refiere a una cantidad de energía que incide, instantáneamente, sobre una superficie de área unitaria.

Segundo, esta superficie hipotética es perpendicular o normal a la dirección de propagación de la luz, lo cual en lenguaje no técnico equivale a decir que "ve al Sol". Es obvio que una superficie en posición oblicua respecto de la dirección del Sol, recibiría un menor flujo de energía. Tercero, nuestra superficie hipotética se encuentra situada a la distancia media de la Tierra al Sol.

---

<sup>2</sup> Iniciales SC, significan "Solar Constant"

El valor comúnmente aceptado para  $G_{sc}$  ha variado en los últimos años, según las técnicas de medición que se han empleado, lo cual no implica que haya variado en sí la magnitud de la energía que se recibe del Sol. En este proyecto usaremos el valor de:

$$G_{sc} = 1353 \frac{W}{m^2}$$

Que, en otras unidades equivale a:

$$G_{sc} = 1.940 \frac{cal}{cm^2 \times min}$$

$$G_{sc} = 428 \frac{Btu}{ft^2 \times hr}$$

$$G_{sc} = 4871 \frac{MJ}{m^2 \times hr}$$

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

### 2.1.1.5 LA RADIACIÓN NORMAL EXTRATERRESTRE

Como hemos expuesto, la radiación extraterrestre que incide sobre la Tierra está sujeta a las variaciones geométricas y a las condiciones físicas del propio Sol.

Por otro lado, la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es circular, sino casi elíptica. La pequeña excentricidad de la órbita hace que, alrededor del 4 de enero, cuando la Tierra se encuentra en el perihelio (mínima distancia al Sol) la radiación solar extraterrestre sea máxima. Por otro lado, alrededor del 1 de julio, seis meses después la Tierra se encuentra en el afelio (máxima distancia al Sol) y entonces la radiación solar extraterrestre es mínima.

La ecuación que describe el flujo de energía sobre un plano normal a la radiación solar extraterrestre, a lo largo del año es:

$$G_{on} = G_{sc} \left( 1 + 0.033 \times \cos \frac{360 \times n}{365} \right) \quad (2.1)$$

En donde  $G_{on}$  es el flujo de radiación extraterrestre, medida en un plano normal a la radiación, y  $n$  es el número del día del año. La Tabla 2.1 contiene información para calcular el valor de  $n$ .

El subíndice "o" se usa para la radiación extraterrestre, esto es, fuera de la atmósfera. El subíndice "n" se utiliza para la radiación medida en un plano normal a la dirección de propagación de la radiación. De esta forma, el subíndice "on" se utiliza para la radiación extraterrestre observada en un plano normal a la radiación.

Día medio del mes:  $n = 17, 47, 75, 105, 135, 162, 198, 228, 258, 288, 318, 344$ .

**Tabla 2.1: Día del Año**

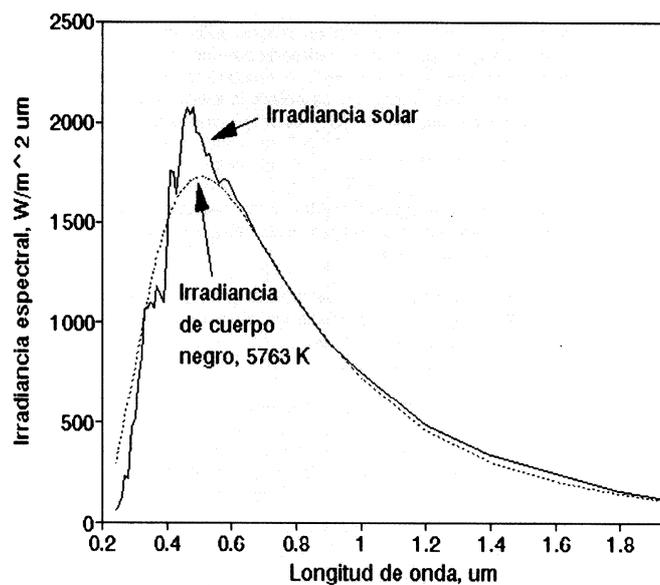
Mes	"n" para el i-ésimo día del mes
Enero	$i$
Febrero	$31 + i$
Marzo	$59 + i$
Abril	$90 + i$
Mayo	$120 + i$
Junio	$151 + i$
Julio	$181 + i$
Agosto	$212 + i$
Septiembre	$243 + i$
Octubre	$273 + i$
Noviembre	$304 + i$
Diciembre	$334 + i$

### 2.1.1.6 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma, hasta las ondas de radio. Sin embargo, para los fines del aprovechamiento de su energía, sólo es importante la llamada “radiación térmica” que incluye sólo el ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la infrarroja (IR). Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación en virtud de su temperatura. A mayor temperatura ocurren dos cambios en la radiación emitida:

1. La intensidad de la emisión es mayor, refiriéndose a que un mayor número de watts por metro cuadrado abandonan el cuerpo.
2. El color o tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda, esto es, del IR al VIS y al UV, a medida que aumenta la temperatura.

La fotosfera del sol se encuentra a unos 6000 K y, por tanto, emite un cierto flujo de energía correspondiente a esa temperatura. Su distribución espectral es como se indica en la Figura 2.1<sup>6</sup>. Esta figura muestra la radiación espectral (energía por unidad de tiempo, en la unidad de área, por unidad de longitud de onda) en función de la longitud de onda ( $\lambda$  Lambda).



**Fig. 2.1: Irradiancia Espectral**

La línea continua pero irregular corresponde a la irradiancia observada, medida desde la Tierra. La curva punteada representa la irradiancia espectral que tendría un cuerpo negro (radiador ideal), que se encontrara a la temperatura de 5763 °K. Esta temperatura corresponde a la que debería tener dicho radiador ideal, para tener la misma emisión de energía que el Sol.

El espectro se suele dividir en las tres regiones siguientes:

**Tabla 2.2: Espectro Solar**

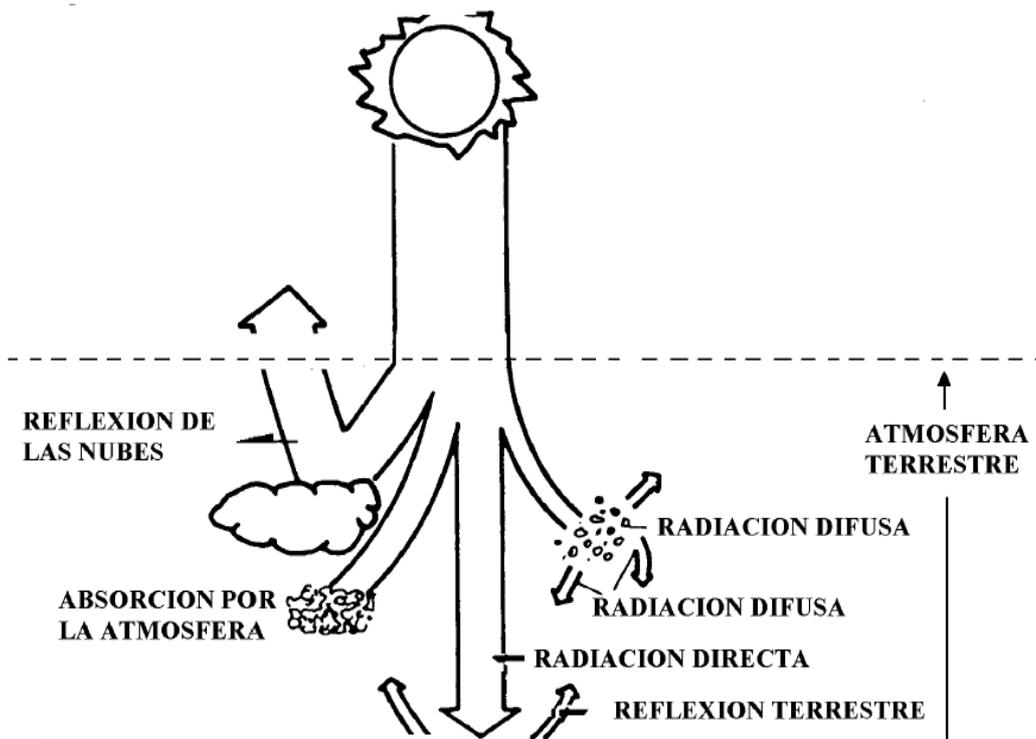
<b>ESPECTRO</b>	<b>COLOR</b>	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )
Visible ( $0.38 \mu\text{m} < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$ ) 47.3 %	violeta	0.42
	azul	0.48
	verde	0.52
	amarillo	0.57
	anaranjado	0.60
	rojo	0.70
Infrarrojo ( $\lambda > 0.78 \mu\text{m}$ ) 45.7 %		
Ultravioleta ( $\lambda < 0.38 \mu\text{m}$ ) 7 %	antes del violeta	

### 2.1.1.7 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ATMÓSFERA.

La atmósfera terrestre<sup>3</sup> es la capa gaseosa de la Tierra que se mantiene alrededor de ella por la acción de la fuerza gravitacional. La Fig. 2.2 muestra esquemáticamente los diferentes procesos que sufre la radiación en su interacción con la atmósfera.

---

<sup>3</sup> RADIACIÓN SOLAR.  
[http://sky.net.co/energia/H\\_Cap3\\_Radiacion.PDF](http://sky.net.co/energia/H_Cap3_Radiacion.PDF)



**Fig. 2.2: Representación esquemática de la interacción Radiación-Atmósfera.**

Parte de la radiación directa incidente se transforma en difusa (o radiación sin ninguna dirección preferencial), debido al fenómeno de la dispersión el cual se debe a la presencia de vapor de agua en la atmósfera, moléculas que componen el aire y partículas de polvo. Otra parte de la radiación solar es absorbida en la atmósfera. La absorción del ultravioleta se debe predominantemente al ozono, la de infrarrojo al vapor de agua, dióxido de carbono y otros gases del efecto invernadero, y la del visible nuevamente al ozono.

Como resultado de la interacción con la atmósfera. La radiación solar recibida sobre una superficie horizontal terrestre se compone de radiación solar directa y radiación solar difusa (radiación solar global).

Para efectos prácticos en energía solar, se considera solamente la radiación comprendida entre  $0.3 \mu\text{m} < \lambda < 1.9 \mu\text{m}$ .

La dirección de la radiación solar directa sobre una superficie de orientación arbitraria se puede describir mediante diferentes ángulos. Véase figura 2.3

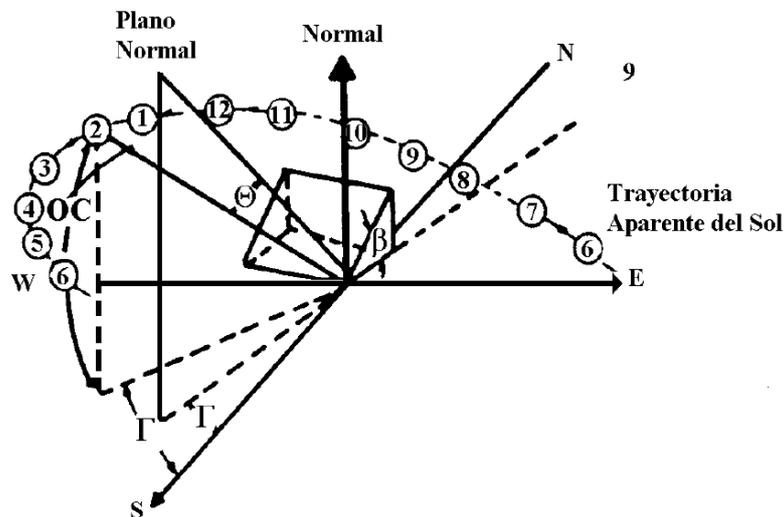


Fig. 2.3: Relaciones entre los ángulos.

#### 2.1.1.8 RELACIONES ANGULARES<sup>4</sup>

Siguiendo la notación introducida por Duffie y Beckman<sup>5</sup> estos ángulos son:

- $\varphi$  (Phi) Simboliza la latitud geográfica, esto es, la posición angular del lugar en donde se encuentre el plano en cuestión, respecto del ecuador terrestre, positivo en el hemisferio norte.

$$90^{\circ} \leq \varphi \leq 90^{\circ}$$

<sup>4</sup> Radiación solar. Español. 14 - 06 - 2004.

[http://www.sky.net.co/energia/FV\\_Anexo4.PDF](http://www.sky.net.co/energia/FV_Anexo4.PDF).

<sup>5</sup> DUFFIE, J. A. y BECKMAN, W. A., Solar Energy Thermal Processes, Primera ed. Nueva York, 1974.

- $\delta$  (Delta) Declinación solar, i.e., la posición angular del Sol al mediodía solar, respecto del plano del ecuador, positivo hacia el norte. La declinación solar es cero el día que comienza la primavera y el día que comienza el otoño (equinoccios). La declinación es máxima en el solsticio de verano ( $23^{\circ} 27'$ ) y mínima en el solsticio de invierno ( $-23^{\circ} 27'$ ). La declinación solar puede calcularse aproximadamente mediante la ecuación:

$$\delta = 23.45^{\circ} \cdot \text{Sen} \left[ \frac{360^{\circ} \cdot (284 + n)}{365} \right] \quad (2.2)$$

$n$  Número de día del año  $1 < n < 365$ .<sup>6</sup>

- $\beta$  (Beta) Pendiente del plano sobre el cual incide la radiación, esto es, su inclinación respecto de la horizontal. En el intervalo  $0^{\circ} \leq \beta \leq 90^{\circ}$ , la superficie "ve" hacia arriba, mientras que en el intervalo  $90^{\circ} \leq \beta \leq 180^{\circ}$ , la superficie "ve" hacia abajo. Una azotea horizontal tendría  $\beta = 0^{\circ}$ , mientras que para una pared vertical,  $\beta = 90^{\circ}$ .
- $\gamma$  (Gamma) Acimut de la superficie, el ángulo que forma la normal a la superficie, respecto del meridiano local.  $\gamma = 0^{\circ}$  corresponde al sur. Hacia el este se consideran valores negativos y hacia el oeste positivo. Por ejemplo, una ventana que "ve" al poniente, tiene  $\gamma = 90^{\circ}$ , mientras que una hacia el norte, tiene  $\gamma = 180^{\circ}$ .

$-180 \leq \gamma \leq 180$	
ESTE	+
OESTE	-
SUR	0

---

<sup>6</sup> Ver Tabla 1

$\theta$  Ángulo de incidencia, esto es, el ángulo de la radiación directa sobre la superficie y la normal a la superficie.

$$\begin{aligned}\cos(\theta) = & \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \cos(\beta) \\ & - \text{sen}(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \text{sen}(\beta) \cdot \cos(\gamma) \\ & + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\beta) \cdot \text{sen}(\gamma) \cdot \text{sen}(\omega)\end{aligned}\quad (2.3)$$

$\theta_z$  Ángulo de cenit o sea el ángulo entre la radiación directa sobre la superficie horizontal y la normal de la superficie o cenit . Se lo calcula  $\beta = 0^\circ$  en la ecuación del ángulo de incidencia:

$$\cos(\theta_z) = \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\Phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\Phi) \cdot \cos(\omega) \quad (2.4)$$

$\omega$  Ángulo horario, esto es, el desplazamiento angular del sol hacia el este o el oeste del meridiano local, debido al movimiento de rotación de la tierra alrededor de su eje,  $\omega < 0$  en la mañana y  $\omega > 0$  en la tarde. Se lo puede calcular:

$$\omega = 15^\circ \cdot (12 - H) \quad (2.5)$$

H Hora a la que se quiere calcular  $\omega$  .

$Y_z$  Ángulo acimutal del Sol, esto es, la desviación de la proyección de la radiación directa del meridiano local. Las convenciones son igual que en el caso de  $Y$  .

$$\text{sen}(Y_s) = \frac{\text{Cos}(\delta) \cdot \text{Sen}(\omega)}{\text{Sen}(\theta_z)} \quad (2.6)$$

(As) Altitud del Sol, o sea el ángulo formado entre la dirección del Sol y la horizontal.

$$As = 90^\circ - \theta_z \quad (2.7)$$

El número de horas de luz solar se la puede determinar con la siguiente expresión:

$$N = \left( \frac{2}{15} \right) \cdot \arccos[-\tan(\Phi) \cdot \tan(\delta)] \quad (2.8)$$

### 2.1.1.9 CÁLCULO DE LA RADIACIÓN DIRECTA SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL.

La ecuación<sup>7</sup> que describe el flujo de energía solar sobre un plano normal a la radiación solar extraterrestre, lo largo del año es:

$$G_{on} = G_{sc} \left( 1 + 0.033 \times \cos \frac{360 \times n}{365} \right) \quad (2.1)$$

n: Número de día del año. Véase Tabla 2.1.

El flujo de energía sobre una superficie determinada depende no sólo de la irradiancia que exista, sino también de la orientación que tenga la superficie en cuestión respecto de la dirección de propagación de la radiación. La irradiancia será máxima sobre un plano que esté en posición normal a la dirección de propagación de la radiación, es decir, que le dé "de frente" o "de cara". En cambio, será mínima si el plano es paralelo a la radiación. La intensidad de radiación sobre la superficie dependerá pues, del ángulo de incidencia  $\theta$  que forme la normal de la superficie, respecto de la dirección de propagación de la radiación.

---

<sup>7</sup> Hermosillo, J et al. Notas sobre el Curso de Energía Solar. Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (División Ingeniería). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. [www.solartronic.com/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/curso\\_iteso.pdf](http://www.solartronic.com/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/curso_iteso.pdf)

Desde la salida hasta la puesta del Sol, se obtiene la irradiación a lo largo de un día,  $H_o$ . Sólo es necesario calcular previamente el ángulo horario a la puesta del Sol,  $\omega_s$ .

$$H_o = \frac{24 \times 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \left[ 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right] \times \left\{ \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \text{sen}(\omega_s) + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360}\right) \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta) \right\} \quad (2.9)$$

La relación entre la irradiación difusa y la irradiación global para valores diarios promedios del mes sobre superficie horizontal terrestre<sup>8</sup> es:

$$\frac{H_d}{H} = 1.39 - 4.03 \times K_T + 5.53 \times K_T^2 - 3.11 \times K_T^3 \quad (2.10)$$

$$0.17 < K_T < 0.75$$

En donde  $K_T$  es el índice de claridad y es la relación entre el promedio durante el mes de la irradiación solar sobre una superficie horizontal y el promedio mensual de la irradiación solar extraterrestre. El índice de claridad nos sirve para resolver la ecuación 2.12.

La relación de la Irradiación diaria global promedio del mes sobre superficie horizontal terrestre y sus componentes directa y difusa.

$$H = H_b + H_d \quad (2.11)$$

Subíndice d (difusa) y b (directa).

---

<sup>8</sup> Formulas de Energía Solar Térmica. Universidad de Navarra.  
<http://www1.ceit.es/asignaturas/tecener1/FormulasSolarTermica.pdf>

### 2.1.2 ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR

En el Ecuador en los años 80, 10 estaciones que han provisto de información sobre niveles de radiación solar, cuyo valor fue de  $3000 \frac{W-hr}{m^2 \text{ día}}$ , aceptable para aplicaciones solares. La radiación promedio fue de  $3500 \frac{W-hr}{m^2 \text{ día}}$ .

Se cuenta además con información de mediciones de heliofanía que proporciona el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI.

El modelo de cálculo de la irradiación solar de mayor aceptación es el de Ångström modificado.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \cdot \frac{n}{N} \quad (2.12)$$

- (H) Promedio durante el mes de la irradiación solar sobre una superficie horizontal.
- (H<sub>0</sub>) Promedio mensual el mes de la irradiación solar extraterrestre.
- (n) Promedio mensual del brillo solar diario (heliofanía).
- (N) Promedio mensual de la duración astronómica del día.

La letras a y b representan constantes empíricas cuyos valores podemos observar en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3: Valores de las constantes a y b**

	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>Sierra</b>	0.25	0.45
<b>Costa</b>	0.28	0.54

### 2.1.3 CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar se la puede concentrar y aprovecharla térmicamente, lo cual se evidencia en el calentamiento de un fluido. Esto se lleva a cabo con los llamados concentradores solares que se aprovechan de las cualidades de absorción de la radiación y transmisión de calor de algunos materiales, y del efecto invernadero que se produce cuando otro material, por ejemplo el vidrio, es transparente a la radiación de onda corta del sol y opaco a la radiación de onda larga que emiten los cuerpos que están calientes.

Dentro de estos concentradores tenemos:

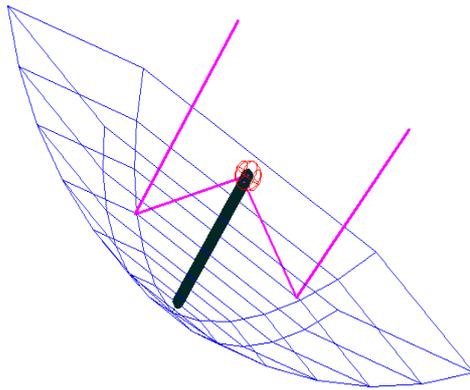
*COLECTOR PLANO: ellos pueden dar temperaturas entre 50°-200°C, con una eficiencia promedio entre 20 al 40%.*

*COLECTORES CONCENTRADORES:*

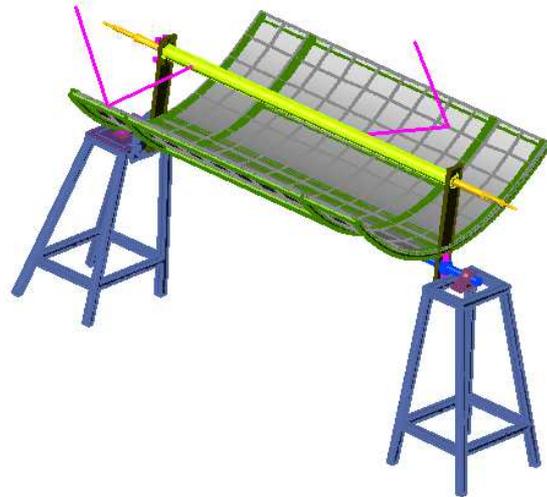
*Son de tipo parabólico capaz de dar temperaturas entre 500-2000 °C o tipo cilíndrico, el cual puede generar temperaturas entre 100 a 400 °C, ambos con una eficiencia de 30- 60%*

Cuando se desea calentar a temperaturas elevadas un líquido, sólido o gas, se emplean los llamados **colectores de concentración**, que aprovechan la radiación solar directa.

Para lograr un aprovechamiento máximo, estos colectores deben tener un mecanismo que les permita seguir el movimiento del Sol a lo largo del día, con el objeto de que sea mayor la intensidad de la radiación. Este tipo de colectores se denomina “de seguimiento” (véase Fig. 2.4).



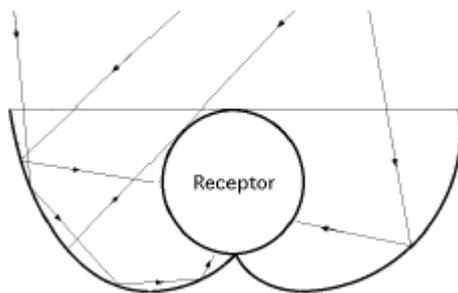
Concentrador Paraboloide de Revolución.



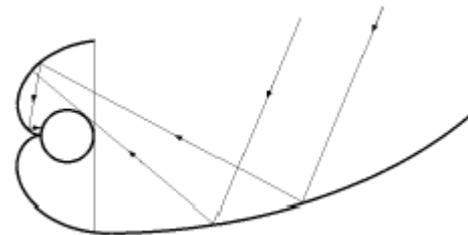
Concentrador Cilíndrico Parabólico.

**Fig. 2.4: Concentradores de seguimiento.**

Existen también los colectores estáticos que, aunque poseen una forma geométrica más adecuada para que permanezcan inmóviles, son menos eficientes (véase Fig. 2.5).



Envolvente de Circulo.



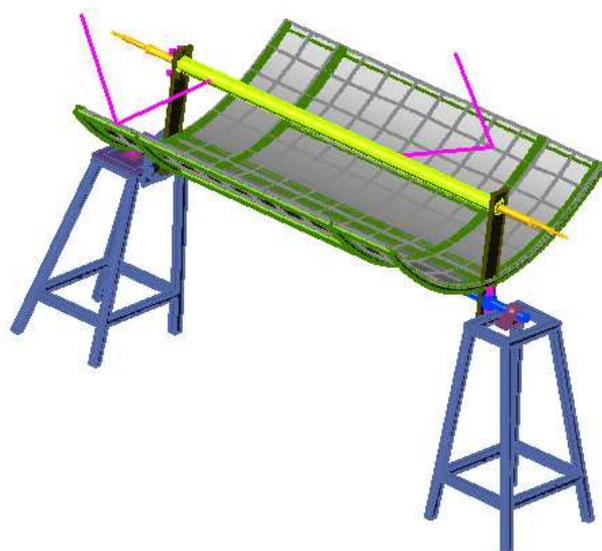
Cilíndrico parabólico acoplado a otro envolvente de círculo.

**Fig. 2.5: Concentradores Estáticos.**

También se puede obtener una clasificación respecto a donde se enfoca la luz reflejada o refractada en el concentrador solar. Los concentradores cilíndricos o

lineales, enfocan sobre una línea (véase Fig. 2.6), mientras que los que son superficies de revolución o circulares, enfocan sobre un punto (véase Fig. 2.7).

Rayos solares



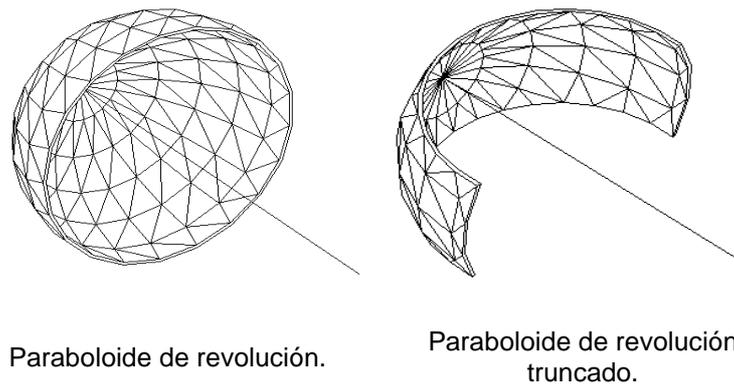
Espejo:

cilíndrico - parabólico.

Los rayos solares se encuentran en una línea (el tubo por el que circula agua o cualquier otro fluido)

**Fig. 2.6: Concentración de la Radiación Solar en una Línea.**

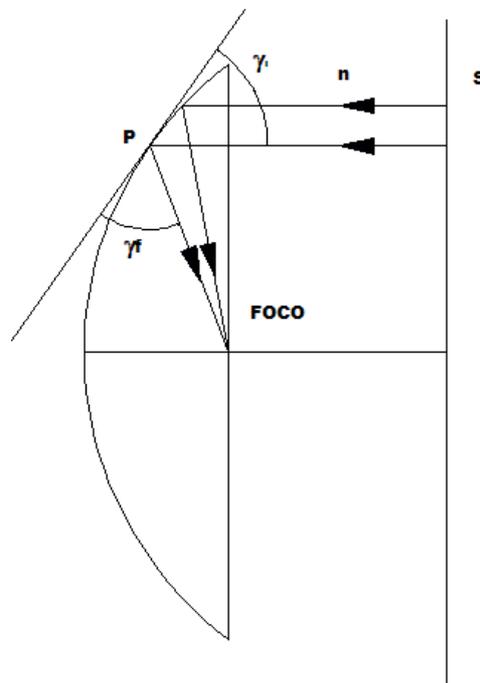
Para concentrar la radiación solar en una línea pueden emplearse varias configuraciones de espejos. La más común es un cilindro parabólico ya que nos permite alcanzar temperaturas superiores a los 300°C. Los concentradores planos también llamados de baja temperatura llegan a obtener temperaturas promedio de 200°C; en cambio, los concentradores cilíndricos parabólicos son de media temperatura y pueden llegar alcanzar hasta 300 °C y los concentradores de paraboloides de revolución son de alta temperatura ya que llegan alcanzar temperaturas superiores a 300°C. ***Para nuestro diseño en el cual necesitamos obtener una temperatura de 400°C utilizaremos el concentrador cilíndrico parabólico que se encuentra en el intervalo de temperatura que necesitamos.***



**Fig. 2.7: Concentración de Radiación Solar en un Punto.**

Para concentrar la radiación solar se necesita de las propiedades de una figura geométrica, “la parábola”.

La parábola como figura geométrica en un plano, o el paraboloide como figura espacial, tienen “naturalmente” las propiedades posteriormente enunciadas para las  $n$  superficies reflectantes. Una propiedad del paraboloide es que: los caminos que parten del foco  $F$  (foco) y se reflejan en el paraboloide, llegan a una superficie  $S$  con recorridos de igual longitud. Véase Fig. 2.8.



**Fig. 2.8: Parábola**

Otra propiedad de la parábola es que la tangente en un punto  $P$  (véase Fig. 2.8) tiene una orientación tal, que el ángulo de incidencia  $\gamma_i$ , es igual al ángulo de reflexión  $\gamma_r$ . Las propiedades enunciadas son útiles para el diseño y construcción de concentradores parabólicos y por lo tanto para la concentración de la radiación solar.

#### 2.1.4 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

La ecuación de la parábola la deduciremos a partir de su definición como el lugar geométrico de un punto que se mueve con una ley especificada.

##### a) Definición de Parábola

Una parábola es el lugar geométrico de un punto que se mueve en un plano de tal manera que su distancia desde una recta fija, situada en el plano, es siempre igual a su distancia hasta un punto fijo del plano, y que no pertenece a la recta.

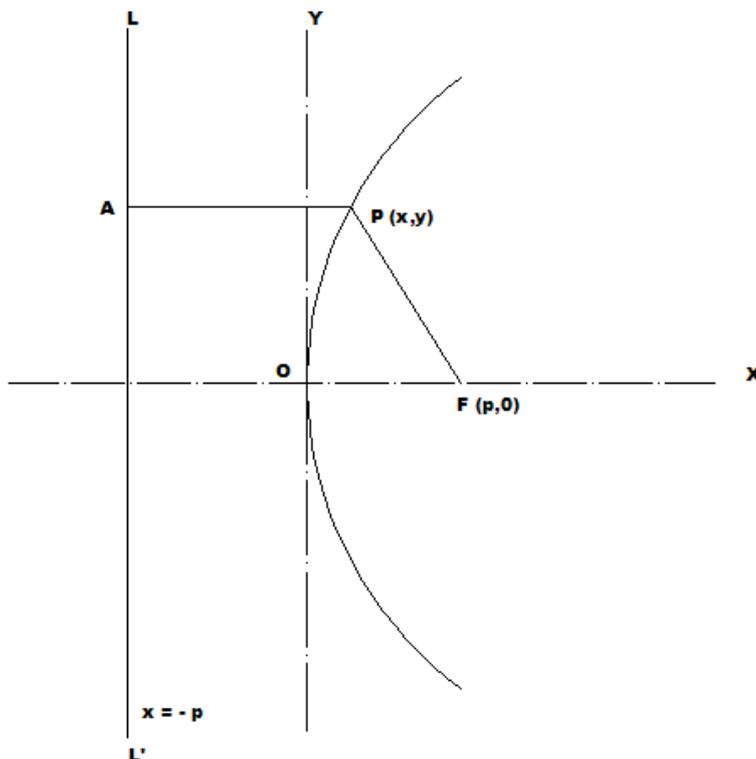
El punto fijo se llama foco ( $F$ ) y la recta fija directriz de la parábola. La definición excluye el caso en el que el foco está sobre la directriz.

Designemos por  $F$  y  $LL'$ , (véase Fig. 2.9), el foco y la directriz de una parábola, respectivamente. La recta que pasa por  $F$  y es perpendicular a  $LL'$  se llama eje de la parábola. Sea  $A$ , el punto de intersección del eje y la directriz. El punto  $O$ , punto medio del segmento  $AF$ , está por definición, sobre la parábola; este punto se llama vértice.

La cuerda focal  $LL'$  perpendicular al eje se llama lado recto. Si  $P$  es un punto cualquiera de la parábola, la recta  $FP$  que une el foco  $F$  con el punto  $P$  se llama radio focal de  $P$ , o radio vector.

### b) Ecuación de la Parábola

Veremos que la ecuación de la parábola toma su forma más simple cuando su vértice está en el origen y su eje coincide con uno de sus ejes coordenados. De acuerdo con esto, consideremos la parábola cuyo vértice está en el origen (Fig. 2.9) y cuyo eje coincide con el eje X.



**Fig. 2.9: Elementos de la Parábola**

Entonces, el foco  $F$  está sobre el eje  $X$ ; sean  $(p, 0)$  sus coordenadas. Por definición de parábola, la ecuación de la directriz  $LL'$  es  $x = -p$ . Sea  $P(x, y)$  un punto cualquiera de la parábola. Por  $P$  tracemos el segmento  $PA$  perpendicular a  $LL'$ . Entonces por la definición de parábola, el punto  $P$  debe satisfacer la condición geométrica.

$$|\overline{FP}| = |\overline{PA}| \quad (2.13)$$

Entonces:

$$|\overline{FP}| = \sqrt{(x-p)^2 + y^2} \ ;$$

$$|\overline{PA}| = |x+p|$$

Por tanto, la condición geométrica (2.2) está expresada, analíticamente, por la ecuación:

$$\sqrt{(x-p)^2 + y^2} = |x+p| \tag{2.14}$$

Si elevamos al cuadrado ambos miembros de esta ecuación y simplificamos, obtenemos:

$$y^2 = 4px$$

Recíprocamente, sea P1(x1, y1) un punto cualesquiera cuyas coordenadas satisfagan:

$$y_1^2 = 4px_1$$

Para una parábola con directriz paralela al eje X, su ecuación es la siguiente:

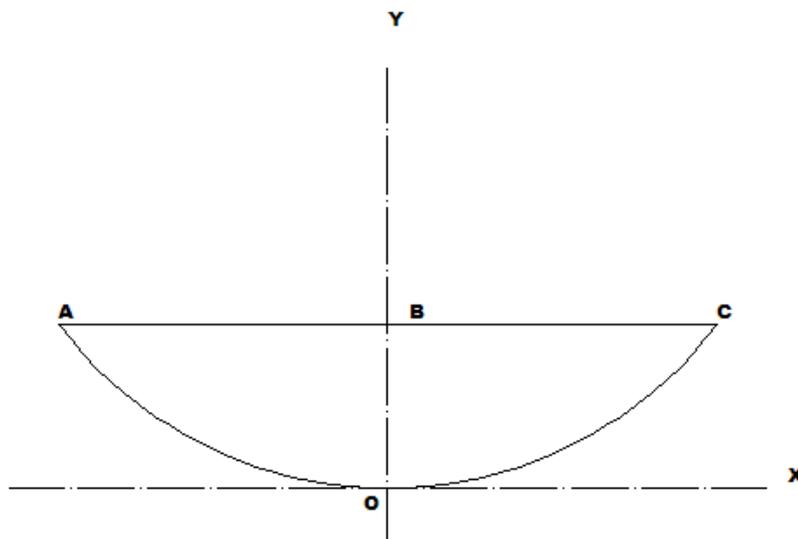
$$x^2 = 4py \tag{2.15}$$

### c) Arco Parabólico

Para calcular el arco parabólico se usa la ecuación:

$$S = \int_A^C \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cdot dx \tag{2.16}$$

A y C son los límites de la integral, que se pueden observar en la Fig. 2.10.

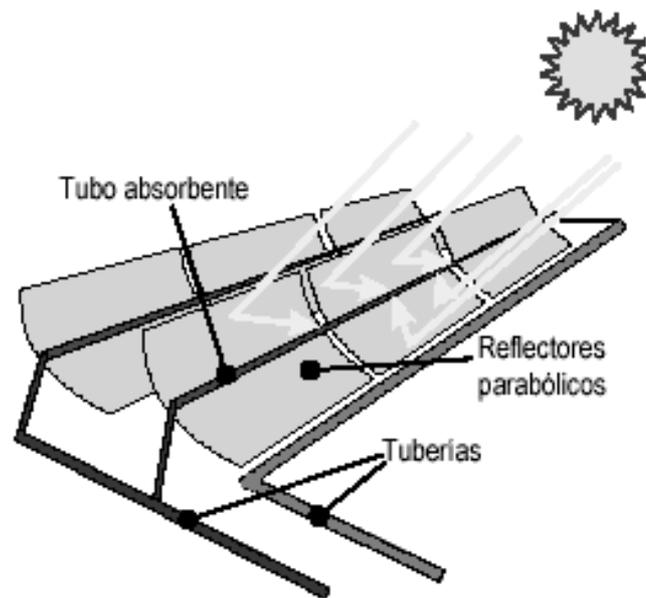


**Fig. 2.10: Arco Parabólico**

### **2.1.5 SISTEMAS DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS**

La misión del concentrador cilindro parabólico (CCP) es reflejar y concentrar sobre el tubo absorbente la radiación solar directa que incide sobre su superficie. Se trata en definitiva de un espejo curvado en una de sus dimensiones con forma de parábola, que concentra sobre su línea focal toda la radiación solar que atraviesa su plano de apertura.

La radiación solar concentrada produce el calentamiento (aumento de energía térmica) del fluido que circula por el interior del tubo absorbedor. La Figura 2.11 muestra un esquema de un CCP e ilustra su modo de funcionamiento.



**Fig. 2.11: Concentrador Cilíndrico Parabólico CCP.**

## **2.1.6 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN CCP**

Los elementos principales de un CCP son:

- El reflector cilindro parabólico,
- El tubo absorbente,
- El sistema de seguimiento del sol
- La estructura metálica.

### **2.1.6.1 EL REFLECTOR**

La superficie reflectante se consigue a base de películas de plata o aluminio depositadas sobre un soporte que le da la suficiente rigidez. En la actualidad se utilizan diferentes medios soportes para la película reflectante:

**a) Chapa Metálica.**

Se suelen usar chapas de aluminio pulido de alta reflectividad especular (en torno al 80%) en las que el material soporte actúa a la vez de elemento reflexivo. La principal ventaja de esta opción es su bajo coste, pero su durabilidad también es baja, ya que la superficie del aluminio se deteriora con cierta rapidez, disminuyendo la reflectividad, cuando está expuesto a la intemperie, por lo que los reflectores de chapa de aluminio no suelen usarse para aplicaciones industriales de larga duración.

**b) Vidrio.**

Cuando el medio soporte es vidrio de bajo contenido en hierro, sobre su cara posterior se deposita una fina película de plata protegida mediante una película de cobre y otra de pintura epoxi. El resultado final es un espejo similar al que se usa en cualquier cuarto de baño.

Dependiendo del espesor del vidrio sobre el que se deposita la película reflexiva de plata, se tienen dos tipos diferentes de espejos: de vidrio grueso (espesor = 3 mm) y de vidrio delgado (espesor = 1.5 mm).

En el caso de vidrios gruesos el vidrio se curva en caliente antes de depositar la película de plata, para que adopte la forma parabólica que debe tener, de modo que los espejos pueden ir directamente colocados sobre la estructura metálica del colector.

Cuando el espesor del vidrio es pequeño (< 1.5 mm) el espejo tiene la suficiente flexibilidad como para curvarse en frío y pueden pegarse directamente sobre una chapa metálica que es la que asegura la adecuada curvatura del concentrador. Es decir, la forma cilindro parabólica la aporta una chapa metálica gruesa, sobre la que se pegan los espejos de pequeño espesor.

### **c) Plástico.**

En este caso el reflector consiste en una lámina de material plástico sobre la que se deposita una película de plata o aluminio, de modo que al final lo que se tiene es una fina lámina de plástico reflectante que puede pegarse sobre cualquier sustrato. Como en el caso de los espejos de vidrio delgados, la forma parabólica tiene que ser aportada por un soporte más resistente, sobre el que se pegará la lámina reflectante.

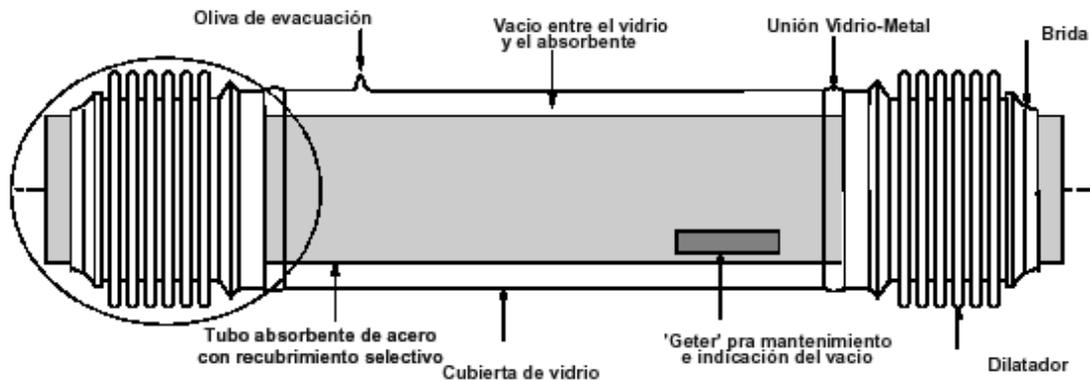
El principal problema de estas láminas reflectantes es su baja durabilidad en la intemperie, ya que resultan dañados por las partículas que, al ser transportadas por el aire, arañan y erosionan su superficie, lo que a su vez resulta en una pérdida de espectros. Otro problema que se ha detectado con este tipo de superficies reflexivas es que presentan un grado de ensuciamiento mayor que los espejos de vidrio. Se piensa que es debido a que se cargan electrostáticamente por la acción del viento y se deposita sobre ellas una mayor cantidad de polvo atraído por esta carga electrostática.

#### **2.1.6.2 EL TUBO ABSORBENTE**

El tubo absorbente (véase Fig. 2.12) es uno de los elementos fundamentales de todo CCP, ya que de él depende en gran medida el rendimiento global del colector. El tubo absorbente de un CCP puede constar de un tubo o, más frecuentemente, de dos tubos concéntricos.

En este último caso, el tubo interior, por el que circula el fluido que se calienta, es metálico y el exterior de cristal. El tubo metálico lleva un recubrimiento selectivo que posee una elevada absorptividad ( $>90\%$ ) y una baja emitancia en el espectro infrarrojo ( $<30\%$ ), lo que le proporciona un elevado rendimiento térmico. El tubo de cristal que rodea al tubo interior metálico tiene la doble misión de reducir las pérdidas térmicas por convección en el tubo metálico y de proteger de las inclemencias meteorológicas su recubrimiento selectivo.

El tubo de cristal suele llevar también un tratamiento antirreflexivo en sus dos caras, para aumentar su transmisividad a la radiación solar y, consiguientemente, el rendimiento óptico del colector.



**Fig. 2.12: Esquema de un tubo absorbente típico de un colector cilindro parabólico.**

Cuando el fluido que circula por el tubo absorbedor solo se calienta hasta una temperatura máxima de  $300^{\circ}\text{C}$ , no es necesario recurrir a recubrimientos selectivos. Para esas temperaturas puede recurrirse a un simple recubrimiento mediante cobalto, cromo o níquel negro, que son bastante más económicos y fáciles de fabricar. Este tipo de recubrimiento es estable en contacto con el aire hasta una temperatura del orden de los  $325^{\circ}\text{C}$ , por lo que no es necesario utilizar tubos absorbentes con vacío entre el tubo interior metálico y el exterior de vidrio.

### 2.1.6.3 EL SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL SOL

Un CCP, como cualquier sistema solar de concentración, solo puede aprovechar la radiación solar directa y esto exige que el colector vaya provisto de un mecanismo de seguimiento solar que lo mueva a lo largo del día conforme el sol describe su trayectoria diaria en el cielo. El sistema de seguimiento solar más común consiste en un dispositivo que gira los reflectores

cilindro parabólicos del colector alrededor de un eje. La Figura 2.13 muestra esquemáticamente este tipo de seguimiento solar.

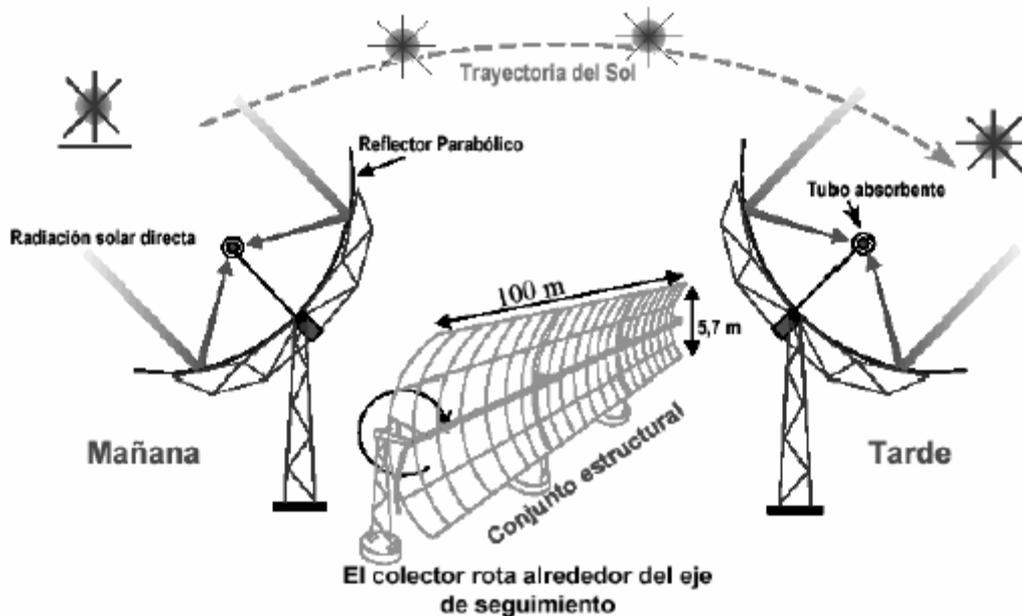


Fig. 2.13: Sistema de Seguimiento.

#### 2.1.6.4 LA ESTRUCTURA METÁLICA

La misión de la estructura del colector es la de dar rigidez al conjunto de elementos que lo componen, a la vez que actúa de interfase con la cimentación del colector.

Todos los colectores CCP actuales usan estructuras metálicas, que en algunos casos son del tipo espacial y en otros casos están fabricadas con perfiles llenos.

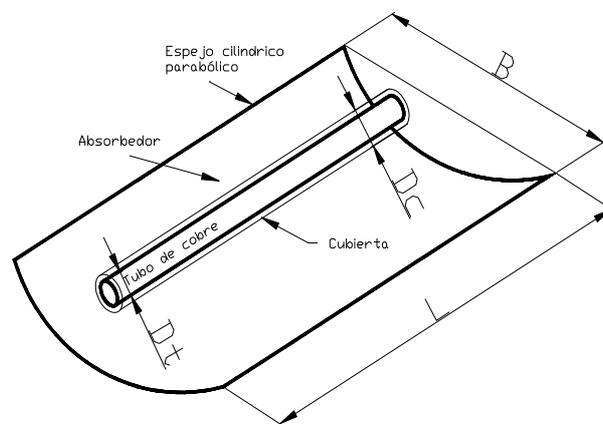
#### 2.1.7 ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DE UN CCP

Dos parámetros básicos de un colector cilindro parabólico son la razón de concentración y el ángulo de aceptación  $\theta_A$ .

La Razón de Concentración se define como la relación entre el área efectiva de apertura  $A_a$ , y el área del receptor  $A_t$ .

El área efectiva de apertura se refiere al área proyectada no sombreada del sistema óptico. Así,

$$C = \frac{A_a}{A_t} \quad (2.17)$$



**Fig. 2.14: Áreas.**

En donde:

$$A_a = (B - D_c) \times L \quad (2.18)$$

$$A_t = D_t \times \pi \times L$$

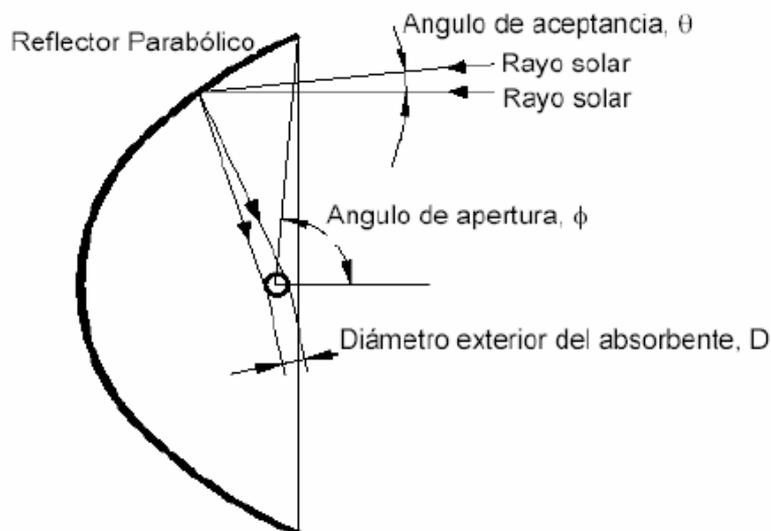
Esta razón de concentración tiene un límite máximo; para un concentrador cilíndrico,  $C_{max}$ , es igual a:

$$C_{\max} = \frac{A_a}{A_t} \quad (2.19)$$

$$C_{\max} = 215$$

Entre más alta es la temperatura a la cuál la energía necesita ser liberada, más alta debe ser la razón de concentración y también más precisos deben ser los componentes ópticos del concentrador y receptor y del mecanismo de seguimiento del sol.

El ángulo de aceptación,  $\theta$ , es el ángulo máximo que pueden formar dos rayos en un plano transversal de la apertura del colector de manera que, una vez reflejados, dichos rayos intercepten el tubo absorbente (véase Fig. 2.15).



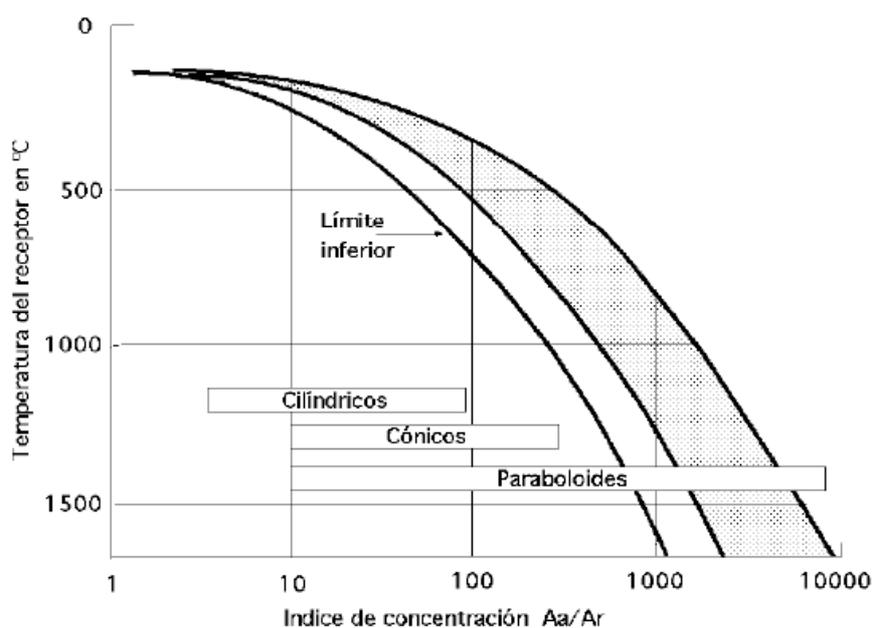
**Fig. 2.15: Ángulo de Aceptancia de un CCP**

Una manera de saber qué temperaturas se pueden obtener en este tipo de colectores concentradores, es a través de la razón de concentración,  $C$ .

En los concentradores al aumentar la razón de concentración,  $A_a / A_t$ , manteniendo  $A_a$  constante, las pérdidas térmicas se reducen, permitiendo

alcanzar altas temperaturas. Sin embargo, las pérdidas por reflexión, factor de forma y la no concentración de radiación difusa en los concentradores, reducen la energía absorbida.

En la Fig. 2.16 la curva límite inferior representa razones de concentración, que en el caso de un concentrador cilíndrico – parabólico se calcula con la ecuación (2.19) y con la cual podemos observar la temperatura que alcanzará el concentrador y a las cuales las pérdidas térmicas son iguales a la energía generada. La región sombreada corresponde a eficiencias de colección de 40% a 60% y representa el intervalo usual de buena operación. La escala de densidad de flujo muestra la densidad de flujo promedio de radiación reflejada en el área focal.



**Fig. 2.16: Relaciones entre razón de concentración y temperatura del receptor.<sup>9</sup>**

<sup>9</sup> COLECTORES DE CONCENTRACIÓN DE MEDIA TEMPERATURA.  
<http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/solar/PDFs/Solar4.pdf>

### 2.1.8 FACTORES OPTICOS

Los factores ópticos que intervienen en un concentrador cilíndrico parabólico se pueden ver en la Fig. 2.17.

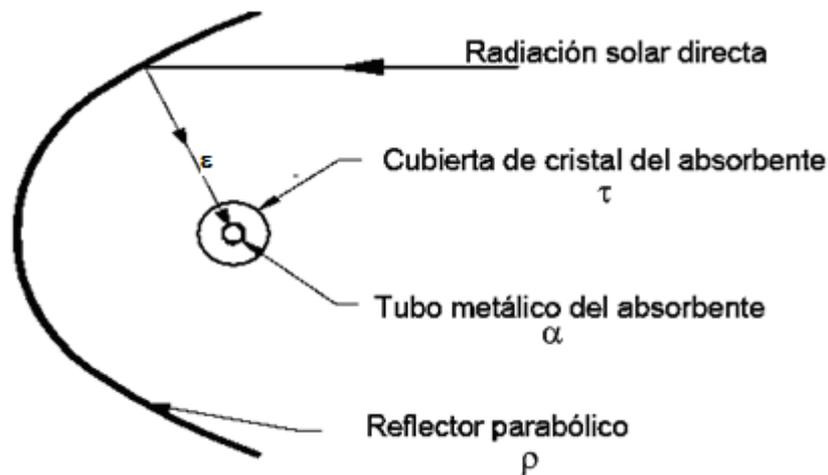


Fig. 2.17: Factores Ópticos.

- **REFLEJANCIA ( $\rho$ ).**- es una propiedad que determina la fracción de radiación incidente que es reflejada por una superficie.
- **ABSORTANCIA ( $\alpha$ ).**- es una propiedad que determina la fracción de la irradiación absorbida por una superficie. Depende de la distribución espectral de la radiación incidente, así como de la distribución direccional y de la naturaleza de la superficie de absorción.
- **TRANSMITANCIA ( $\tau$ ).**- La razón entre la radiación que pasa a través de la cubierta semitransparente y la radiación total incidente.
- **EMITANCIA ( $\epsilon$ ).**- se define como la razón de la radiación emitida por la superficie a la radiación emitida por un cuerpo negro (cuerpo ideal  $\epsilon = 1$ ) a la misma temperatura.

### **3. CAPÍTULO III: DISEÑO MODELO EXPERIMENTAL.**

#### **3.1 DISEÑO TÉRMICO DEL CONCENTRADOR CILÍNDRICO PARABÓLICO**

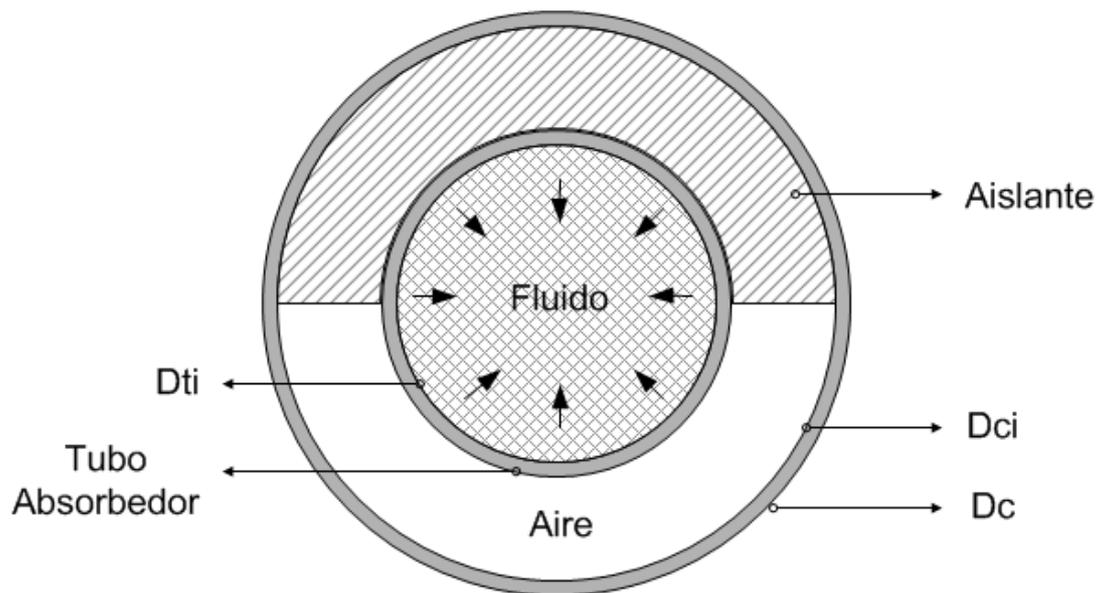
##### **3.1.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES**

Para el diseño térmico<sup>10</sup> se ha tomado las siguientes consideraciones:

1. El absorbedor está en equilibrio térmico (estado estable).
2. Los rayos del Sol se consideran paralelos y uniformes.
3. La reflejancia del espejo y la transmitancia de la cubierta son constantes sobre el espectro solar.
4. Las propiedades de absorptancia, emitancia, transmitancia y reflejancia dependen de la naturaleza del material, naturaleza del recubrimiento de la superficie y no de la temperatura.
5. La temperatura del tubo absorbedor es la misma a largo de su longitud.
6. La temperatura de la cubierta en la región no aislada es diferente que la temperatura de la cubierta en la región aislada.
7. La radiación directa incidente sobre el absorbedor proviene solo de la superficie reflectante.
8. No existen áreas sombreadas en el absorbedor.

---

<sup>10</sup> BENAVIDES E. Diseño y Construcción de una Cocina Solar Experimental, de Tipo Cilíndrico Parabólico con Aplicación al Sector Rural Marginal. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela politécnica del Ejército. Departamento de la Ciencias de la Energía y Mecánica. 2006



**Fig. 3.1: Vista transversal del elemento absorbedor**

- $D_{ti}$  Diámetro interno del tubo del absorbedor (m).  
 $D_{ci}$  Diámetro interno de la cubierta (m).  
 $D_c$  Diámetro externo de la cubierta (m).

### 3.2 PARAMETROS DE DISEÑO

Calculamos la instalación destinada al calentamiento de agua:

- Vamos a calentar 30 litros de agua que es un promedio de consumo de agua de una persona y va desde una temperatura inicial aproximada de  $10^{\circ}\text{C}$  hasta una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ , se calienta hasta esta temperatura ya que es un promedio de temperatura de agua caliente que las personas consumen en sus hogares y el volumen de agua (30 litros) dependieron de la capacidad del tanque con el cual se plantea el diseño y la construcción.

**Tabla 3.1: Parámetros de diseño**

	<b>ITEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
1	VOLUMEN DE AGUA A CALENTAR	30	LT
2	TEMPERATURA INICIAL APROXIMADA DEL AGUA	10	°C.
3	TEMPERATURA FINAL DEL AGUA	40	°C.

### 3.3 CALCULO DE LA RADIACION SOLAR

Latitud de Quito S 0° 15'.

Se calcula la radiación para el día representativo de cada mes. A continuación se calcula para Enero y n =17, como un ejemplo:

$$\phi := \frac{-15}{60}$$

$$\phi = -0.25 \quad (^\circ)$$

$$n := 17 \quad \text{Día medio del mes.}$$

#### - Declinación

$$\delta := 23.45 \cdot \sin \left[ \left[ \frac{360 \cdot (284 + n)}{365} \right] \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

$$\delta = -20.917 \quad (^\circ)$$

**- Ángulo del ocaso o semi-ángulo horario del día n.**

$$\omega_s := \arccos \left( -\tan \left( \delta \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot \tan \left( \phi \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)$$

$$\omega_s = 1.572 \quad (\text{rad})$$

$$\omega_s = 90.096 \quad (^\circ)$$

**- Número de horas de luz solar teórico.**

$$N := \frac{2}{15} \cdot \omega_s$$

$$N = 12.0 \quad (\text{Horas})$$

**- Constante Solar.**

$$G_{sc} := 1353 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

**- Irradiación diaria solar promedio extraterrestre sobre superficie horizontal (Ho).**

$$H_o := \frac{24 \cdot G_{sc}}{\pi} \cdot \left[ \left( 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right) \left[ \cos \left( \phi \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot \cos \left( \delta \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot \left( \sin \left( \omega_s \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right) + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin \left( \phi \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot \sin \left( \delta \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right] \right]$$

$$H_o = 9.524 \times 10^3 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ día}} \right)$$

**- Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal (H).**

$$nr := 4.6665$$

Número de horas de luz solar real.

$$a := 0.23$$

$$b := 0.56$$

$$H := Ho \cdot \left[ a + b \cdot \left( \frac{nr}{N} \right) \right]$$

$$H = 4.262 \times 10^3 \quad \left( \frac{W}{m^2 \text{ dia}} \right)$$

**- Irradiación diaria solar difusa promedio. (Hd)<sup>11</sup>.**

$$KT := \frac{H}{Ho}$$

Índice la Claridad.

$$KT = 0.448$$

$$Hd := H \cdot (1.39 - 4.03 \cdot KT + 5.53 \cdot KT^2 - 3.11 \cdot KT^3)$$

$$Hd = 1.77 \times 10^3 \quad \left( \frac{W}{m^2 \text{ dia}} \right)$$

---

<sup>11</sup> Formulas de Energía Solar Térmica. Universidad de Navarra.  
<http://www1.ceit.es/asignaturas/tecener1/FormulasSolarTermica>

**- Irradiación diaria solar directa promedio. (Hb).**

$$H = H_b + H_d$$

$$H_b := H - H_d$$

$$H_b = 2.492 \times 10^3 \left( \frac{W}{m^2 \text{ dia}} \right)$$

**- Datos de heliofanía para diferentes años. (nr)**

**Tabla 3.2: Heliofanía**

MES	2000	2001	2002	2003	2004	Suma	Promedio Anual	Promedio Diario (nr)
<b>ENERO</b>	119.70	165.10	159.20	128.10	151.20	723.30	144.66	4.67
<b>FEBRERO</b>	104.40	149.90	124.30	87.90	127.10	593.60	118.72	4.24
<b>MARZO</b>	120.50	111.00	132.30	37.00	119.30	520.10	104.02	3.36
<b>ABRIL</b>	131.70	147.70	126.60	141.00	111.20	658.20	131.64	4.39
<b>MAYO</b>	168.40	157.10	133.30	134.50	89.70	683.00	136.60	4.41
<b>JUNIO</b>	139.70	148.20	182.20	124.90	162.60	757.60	151.52	5.05
<b>JULIO</b>	220.50	246.10	179.50	198.10	183.40	1027.60	205.52	6.63
<b>AGOSTO</b>	223.30	231.30	190.70	198.20	160.70	1004.20	200.84	6.48
<b>SEPTIEMBRE</b>	199.40	161.70	184.60	130.30	137.00	813.00	162.60	5.42
<b>OCTUBRE</b>	168.80	170.80	170.00	156.00	201.50	867.10	173.42	5.59
<b>NOVIEMBRE</b>	240.00	105.90	175.50	169.20	178.10	868.70	173.74	5.79
<b>DICIEMBRE</b>	191.50	179.70	216.80	128.80	166.00	882.80	176.56	5.70
							<b>Suma</b>	61.72
							<b>Promedio</b>	<b>5.14</b>

El valor de 5.14 horas, se utiliza como dato del Tiempo de funcionamiento del Equipo, para el diseño se tomo como un valor absoluto de 5 horas. Los datos de heliofanía se tomaron del INAMHI. Ver Anexo 4

## - Datos Generales para los 12 Meses

Tabla 3.3: Datos Generales.

MES	n	d	ws	N	Ho
		(°)	(°)	Hr	(W-hr / m <sup>2</sup> dia)
ENERO	17.00	-20.92	90.10	12.01	9523.80
FEBRERO	47.00	-12.95	90.06	12.01	9849.33
MARZO	75.00	-2.42	90.01	12.00	10379.16
ABRIL	105.00	9.41	89.96	11.99	9851.20
MAYO	135.00	18.79	89.91	11.99	9877.88
JUNIO	162.00	23.09	89.89	11.99	9197.56
JULIO	197.00	21.35	89.90	11.99	9882.12
AGOSTO	228.00	13.45	89.94	11.99	10118.74
SEPTIEMBRE	258.00	2.22	89.99	12.00	9984.84
OCTUBRE	288.00	-9.60	90.04	12.01	10289.49
NOVIEMBRE	318.00	-18.91	90.09	12.01	10082.48
DICIEMBRE	344.00	-23.05	90.11	12.01	9853.42

Tabla 3.4: Datos Generales

MES	nr	H	KT	Hd	Hb
	(hr)	(W-h r / m <sup>2</sup> dia)		(W-hr / m <sup>2</sup> dia)	(W-hr / m <sup>2</sup> dia)
ENERO	4.67	4262.25	0.45	1769.92	2492.33
FEBRERO	4.24	4212.96	0.43	1830.93	2382.02
MARZO	3.36	4012.28	0.39	1921.27	2091.01
ABRIL	4.39	4283.97	0.43	1831.40	2452.56
MAYO	4.41	4305.07	0.44	1836.35	2468.71
JUNIO	5.05	4285.85	0.47	1706.62	2579.24
JULIO	6.63	5333.59	0.54	1796.63	3536.96
AGOSTO	6.48	5388.64	0.53	1845.44	3543.20
SEPTIEMBRE	5.42	4822.28	0.48	1847.91	2974.38
OCTUBRE	5.59	5051.52	0.49	1901.22	3150.30
NOVIEMBRE	5.79	5041.29	0.50	1858.96	3182.34
DICIEMBRE	5.70	4882.13	0.50	1818.76	3063.37
				<b>Sumatoria</b>	33916.42
				<b>Promedio</b>	2826.37
				<b>Mayor</b>	3543.20

Tabla 3.5: Datos Generales

<b>Phi</b>	-0.25	<b>(°)</b>	Latitud
<b>Gsc</b>	1353	<b>(W/m<sup>2</sup>)</b>	Solar Constant
<b>a</b>	0.23	Constantes del Modelo de Amstrong Modificado	
<b>b</b>	0.56		

Para dimensionar el Concentrador se tomara el máximo valor de Irradiación diaria solar directa promedio, el cual pertenece al mes de Agosto.

### 3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA PARÁBOLA

$$p := 350 \quad (\text{mm})$$

$$x := -700 \dots 700 \quad (\text{mm})$$

$$y(x) := \frac{x^2}{4p} \quad (\text{mm})$$

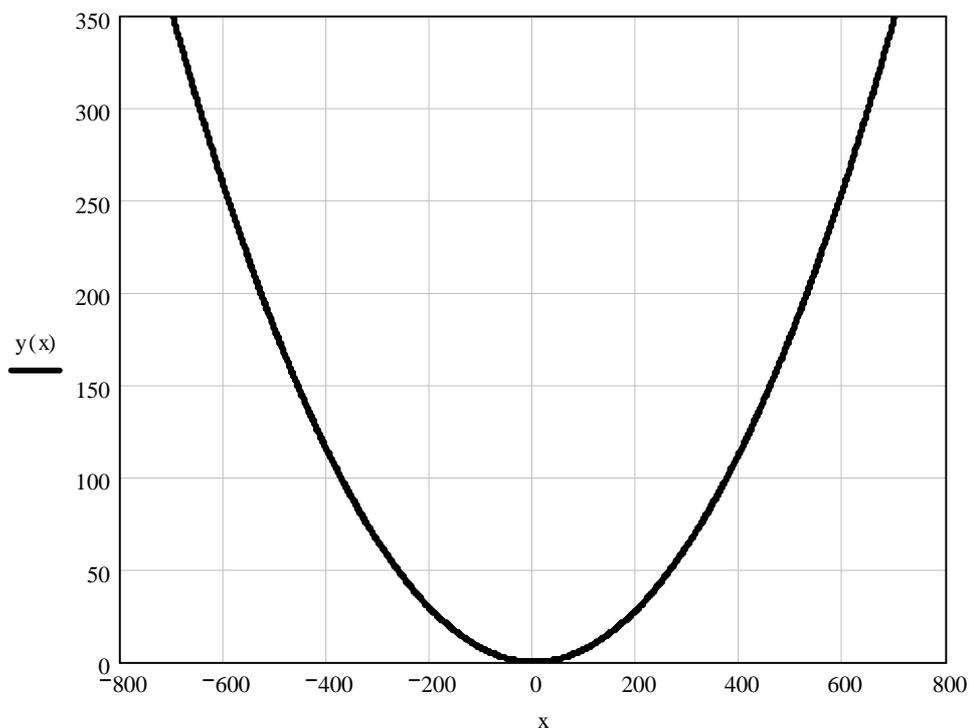


Fig. 3.2: Parábola

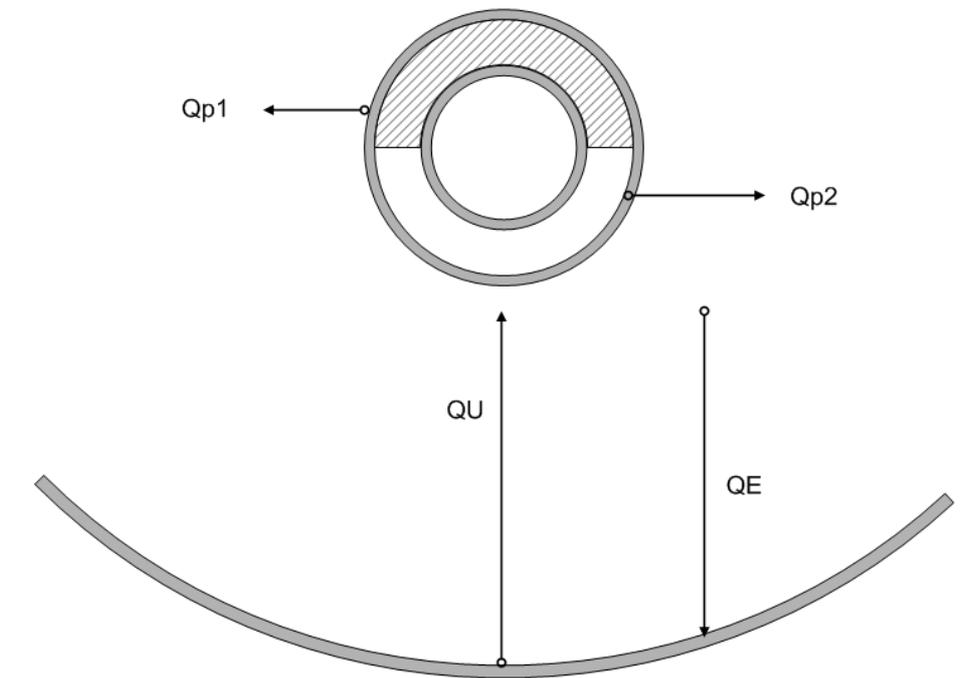
De la ecuación 2.17

$$S := \left[ \int_{-700}^{700} \sqrt{1 + \left( \frac{d}{dx} y(x) \right)^2} dx \right]$$

$$S = 1606.911 \quad (\text{mm})$$

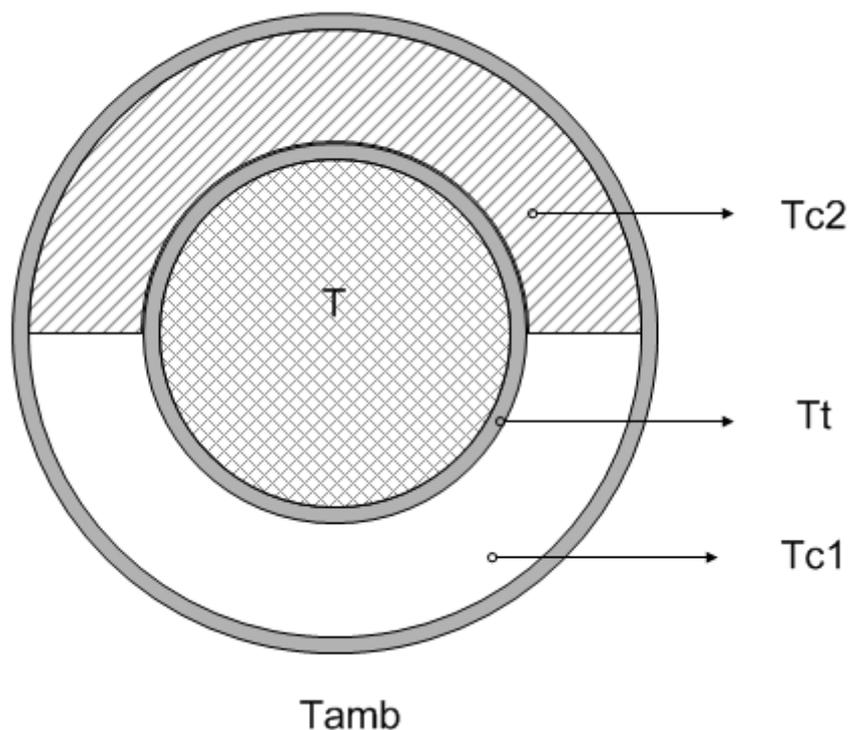
Para predecir el comportamiento térmico del concentrador cilíndrico parabólico se plantea un balance de energía en el absorbedor. Véase Figura 3.3.

Los calores que intervienen en el balance de energía se los expresa en (W/m) por facilidades de cálculo, así se puede predecir las variaciones de los calores y temperaturas a lo largo de la longitud del absorbedor.



**Fig. 3.3: Balance de energía.**

En la figura 3.4 se puede observar la distribución de temperaturas que intervienen en el análisis térmico del absorbedor.

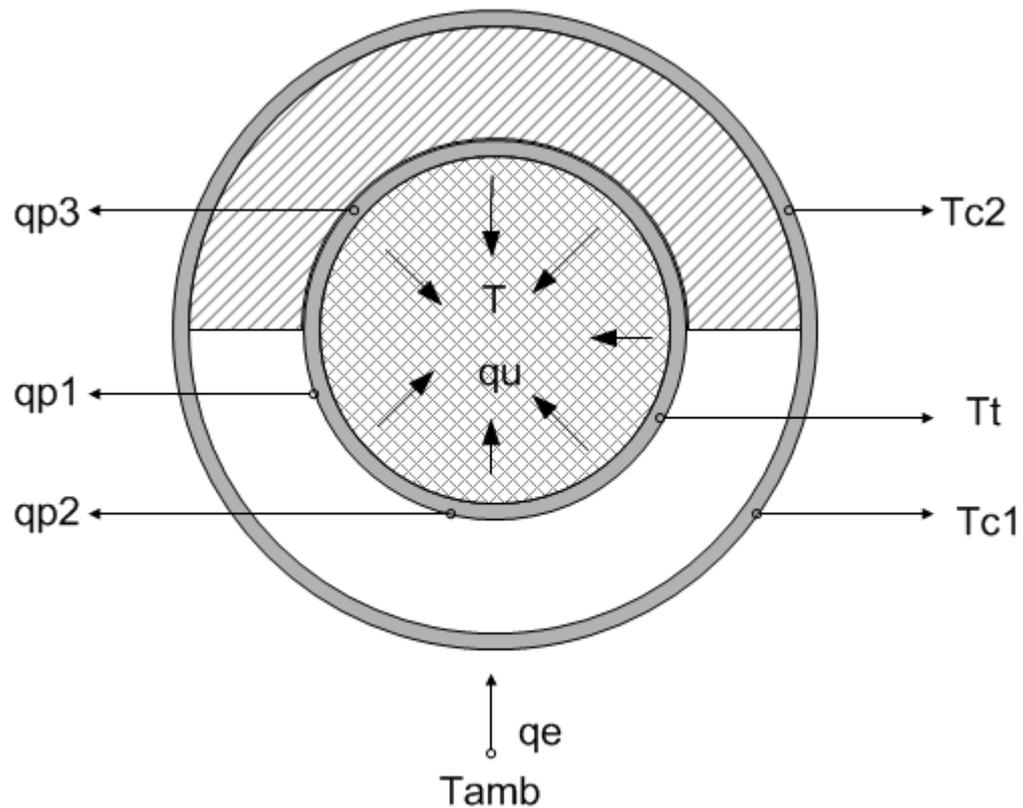


**Fig. 3.4: Temperatura en el absorbedor.**

- $T$  Temperatura del fluido de trabajo (K).  
 $T_t$  Temperatura del tubo del absorbedor (K).  
 $T_{c1}$  Temperatura de la cubierta en la parte no aislada (K).  
 $T_{c2}$  Temperatura de la cubierta en la parte aislada (K).  
 $T_{amb}$  Temperatura ambiente (K).

– **BALANCE DE ENERGÍA EN EL TUBO DEL ABSORBEDOR.**

A continuación se plantea un balance de energía en el tubo del absorbedor que se encuentra al interior de la cubierta. Véase figura 3.5.



**Fig. 3.5: Calores que intervienen en el absorbedor.**

Aplicando la ley de la conservación de la energía se tiene:

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{alm}$$

La variación de la energía en el tubo del absorbedor se considera igual a cero porque toda la energía que entra al tubo se la cede al fluido de trabajo. Por lo tanto:

$$E_{ent} = E_{sal}$$

$$q_E = q_{p2} + q_{p1} + q_{p3} + q_U \quad (3.1)$$

$E_{ent}$  Energía que entra al absorbedor (W/m).

$E_{sal}$  Energía que sale del absorbedor (W/m).

$\Delta E_{alm}$  Variación de la energía en el absorbedor (W/m).

$q_U$  Calor útil que absorbe el fluido de trabajo (W/m).

- $q_e$  Calor radiante efectivo que llega al tubo absorbedor (W/m).
- $q_{p1}$  Calor perdido por radiación entre el tubo del absorbedor y la cubierta (W/m).
- $q_{p2}$  Calor perdido por convección entre el tubo del absorbedor y el aire atrapado entre el tubo y la cubierta (W/m).
- $q_{p3}$  Calor perdido por conducción en la parte aislada entre el tubo, el aislante y la cubierta (W/m).

**– EL CALOR PERDIDO POR RADIACIÓN ENTRE EL TUBO ABSORBEDOR Y LA CUBIERTA ( $Q_{p1}$ ).**

El calor perdido por radiación entre el tubo del absorbedor y la cubierta en (W) puede ser expresado con la fórmula de transferencia de calor por radiación entre dos superficies cilíndricas concéntricas<sup>12</sup>:

$$Q_{p1} = \frac{A_t \cdot \sigma \cdot (T_t^4 - T_{c1}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_t} + \frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_c} \left( \frac{D_t}{D_{ci}} \right)} \quad (3.2)$$

En donde:

- $A_t$  Área por metro lineal del tubo (m<sup>2</sup>).  $A_t = \pi \cdot D_t \cdot L$
- $D_t$  Diámetro exterior del tubo del absorbedor (m).
- $L$  Longitud del concentrador (m).
- $\sigma$  Constante de Stefan Boltzman (W/m<sup>2</sup>·K).
- $\varepsilon_t$  Emitancia del tubo del absorbedor.
- $\varepsilon_c$  Emitancia de la cubierta.
- $D_{ci}$  Diámetro interno de la cubierta (m).
- $T_t$  Temperatura del tubo absorbedor (K).
- $T_{c1}$  Temperatura de la cubierta en la parte no aislada (K).

---

<sup>12</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.738.

La transferencia de calor por conducción es despreciable, debido a que la diferencia de temperaturas entre la superficie interior y exterior de la cubierta es muy baja y el espesor de la cubierta es muy pequeño, por esta razón se toma la temperatura del interior de la cubierta y exterior como similares en la ecuación (3.2).

Ordenando los términos de la ecuación 3.2, esta puede ser representada en función de la diferencia de temperaturas entre  $T_t$  y  $T_{c1}$ , y de una resistencia térmica, todo esto para facilitar el cálculo, así:

$$q_{p1} = \frac{T_t - T_{c1}}{R_{p1}} \quad (3.3)$$

Igualando la ecuación 3.2 y 3.1, despejando  $R_{p1}$ :

$$R_{p1} = \frac{\frac{1}{\epsilon_t} + \frac{1 - \epsilon_c}{\epsilon_c} \left( \frac{D_t}{D_{ci}} \right)}{\pi \cdot D_t \cdot \sigma \cdot (T_t^2 + T_{c1}^2) (T_t + T_{c1})} \quad (3.4)$$

$R_{p1}$  Resistencia térmica por radiación entre el absorbedor y la cubierta (m·K/W).

$$\epsilon_t := 0.03$$

$$T_{c1} := 300 \quad (\text{K})$$

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right)$$

$$\epsilon_c := 0.90$$

$$T_t := 313.5 \quad (\text{K}) \quad 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Tubo Absorbedor:**

$$Dt := 1\frac{1}{8} \quad (\text{in}) \qquad Dt = 0.0286 \quad (\text{m})$$

$$Dti := 0.995 \quad (\text{in}) \qquad Dti = 0.0253 \quad (\text{m})$$

- **Cubierta:**

$$Dc := 0.051 \quad (\text{m})$$

$$Dci := 0.047 \quad (\text{m})$$

$$Rp1 = 56.807 \quad \left( \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)$$

- **CALOR PERDIDO POR CONVECCIÓN ENTRE EL TUBO ABSORBEDOR Y EL AIRE ( $Q_{p2}$ ).**

Este calor puede ser expresado con la formula de transferencia de calor por convección libre en el espacio anular entre dos tubos concéntricos horizontales largos<sup>13</sup>:

$$q_{p2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_{ef} \cdot (T_t - T_{c1})}{\ln\left(\frac{D_{ci}}{D_t}\right)} \qquad (3.5)$$

---

<sup>13</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.512.

En donde:

- $k_{ef}$  Conductividad térmica efectiva del aire ( W/m·K ).<sup>14</sup>  
 $D_t$  Diámetro exterior del tubo del absorbedor (m).  
 $D_{ci}$  Diámetro interno de la cubierta (m).  
 $T_t$  Temperatura del tubo del absorbedor (K).  
 $T_{c1}$  Temperatura de la cubierta en la parte no aislada (K).

El calor perdido por convección entre el tubo absorbedor y el aire atrapado entre el tubo y la cubierta en (W/m) puede ser expresado como:

$$q_{p2} = \frac{T_t - T_{c1}}{R_{p2}} \quad (3.6)$$

Igualando las ecuaciones 3.5 y 3.6, despejando  $R_{p2}$ :

$$R_{p2} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ci}}{D_t}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{ef}} \quad (3.7)$$

- $R_{p2}$  Resistencia térmica por convección libre entre el tubo del absorbedor la cubierta y el aire atrapado (m·K/W).  
 $k_{ef}$  Conductividad térmica efectiva del aire (W/m·K).<sup>15</sup> Conductividad térmica que un fluido estacionario debe tener para transferir la misma cantidad de calor que el fluido en movimiento.

$$\frac{k_{ef}}{k_a} = 0.386 \cdot \left( \frac{Pr_a}{0.861 + Pr_a} \right)^{1/4} \cdot (Rac_a)^{1/4} \quad (3.8)$$

<sup>14</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.512.

<sup>15</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.512.

$k_a$  Conductividad térmica del aire en el absorbedor (W/m·K).

$Pr_a$  Número de Prandtl para el aire en el absorbedor.

$Rac_a$  Número de Rayleigh modificado para el aire.

$$Rac_a = \frac{\ln\left(\frac{D_{ci}}{D_t}\right)^4}{L_a^3 \cdot (D_t^{-3/5} + D_{ci}^{-3/5})^5} \cdot Ra_a \quad (3.9)$$

$Ra_a$  Número de Rayleigh para el aire en el absorbedor<sup>16</sup>.

$L_a$  Espesor del aire atrapado entre la cubierta y el tubo absorbedor (m).

$$Ra_a = \frac{g \cdot \beta_a \cdot (T_t - T_{c1}) \cdot L_a^3}{\nu_a \cdot \alpha_a} \quad (3.10)$$

$g$  Gravedad ( $m/s^2$ ).

$\beta_a$  Coeficiente volumétrico de expansión térmica del aire en el absorbedor ( $K^{-1}$ ).

$\nu_a$  Viscosidad cinemática del aire en el absorbedor ( $m^2/s$ ).

$\alpha_a$  Difusividad térmica del aire en el absorbedor ( $m^2/s$ ).

Las propiedades térmicas del aire deben ser evaluadas a la temperatura  $T_{faire}$ .

$$\beta_a = \frac{1}{T_{faire}} \quad (3.11)$$

$$T_{faire} = \frac{T_t + T_{c1}}{2} \quad (3.12)$$

---

<sup>16</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.490.

Las propiedades térmicas del aire deben ser evaluadas a la temperatura  $T_{\text{faire}}$ .

$$T_{c1} := 300 \quad (\text{K})$$

$$T_t := 313.5 \quad (\text{K}) \quad 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{faire}} = 306.75 \quad (\text{K})$$

$$\beta_a = 3.26 \times 10^{-3} \quad \left( \frac{1}{\text{K}} \right)$$

$$g := 9.8 \quad \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$v_a := 16.99 \cdot 10^{-6} \quad \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$\alpha_a := 24.11 \cdot 10^{-6} \quad \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$L_a := \frac{D_{ci} - D_t}{2}$$

$$L_a = 9.463 \times 10^{-3} \quad (\text{m})$$

$$R_{ala} = 892.077$$

$$R_{aca} = 103.573$$

$$P_{ra} := 0.705'$$

$$k_a := 27.10 \cdot 10^{-3} \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right)$$

$$k_{ef} = 2.73 \times 10^{-2} \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

$$R_{p2} = 2.959 \left( \frac{m \cdot K}{W} \right)$$

– **CALOR PERDIDO POR CONDUCCIÓN EN LA PARTE AISLADA ( $Q_{p3}$ ).**

El calor perdido por conducción en la parte aislada entre el tubo, el aislante y la cubierta en (W/m) es:

$$q_{p3} = \frac{T_t - T_{c2}}{R_{p3}} \quad (3.13)$$

$$R_{p3} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ci}}{D_t}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_2} + \frac{\ln\left(\frac{D_c}{D_{ci}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_3} \quad (3.14)$$

En donde:

- $R_{p3}$  Resistencia térmica por conducción en la parte aislada entre el tubo absorbedor, el aislante y la cubierta<sup>17</sup>. (m·K/W)
- $k_2$  Conductividad térmica del aislante. (W/m·K)
- $k_3$  Conductividad térmica de la cubierta (W/m·K).
- $T_t$  Temperatura del tubo del absorbedor (K).
- $T_{c2}$  Temperatura de la cubierta en la parte aislada (K).
- $D_{ci}$  Diámetro interno de la cubierta (m).
- $D_c$  Diámetro externo de la cubierta (m).
- $D_t$  Diámetro exterior del tubo del absorbedor (m).

---

<sup>17</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.92.

$$k_2 := 0.038 \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

$$k_3 := 1.4 \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

$$Rp_3 = 2.138 \left( \frac{mK}{W} \right)$$

– **CALOR ÚTIL ( $Q_U$ ).**

El calor útil que absorbe el fluido de trabajo en (W) se puede expresar mediante la ley de enfriamiento de Newton así<sup>18</sup>:

$$Q_U = A_t \cdot h \cdot (T_t - T) \quad (3.15)$$

Reemplazando  $A_t$  en la ecuación 3.15 y dividiendo para L, entonces el calor útil que absorbe el fluido de trabajo en (W/m) es:

$$q_U = \pi \cdot D_t \cdot h \cdot (T_t - T) \quad (3.16)$$

h Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada conducción entre el tubo del absorbedor y el fluido de trabajo ( $W/m^2 \cdot K$ ).

---

<sup>18</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.427.

– **CALOR RADIANTE EFECTIVO ( $Q_E$ )**

El calor radiante efectivo que llega al tubo absorbedor en (W) es<sup>19</sup>:

$$Q_E = H_b \cdot A_a \cdot \zeta \cdot \gamma \cdot \tau \cdot \alpha \quad (3.17)$$

$A_a$  Área de apertura del concentrador ( $m^2$ ).

$$A_a = (B - D_c) L \quad (3.18)$$

En la figura 2.14 se muestran los términos B,  $D_c$  y L.

Reemplazando 3.18 en 3.17 y dividiendo para L, entonces el calor radiante efectivo que llega al tubo del absorbedor en (W/m) es:

$$q_E = H_b \cdot (B - D_c) \cdot \rho \cdot \gamma \cdot \tau \cdot \alpha \quad (3.19)$$

En donde:

$H_b$  Radiación solar directa incidente sobre el concentrador ( $W/m^2$ ).

B Apertura de boca de la parábola (m).

$\rho$  Reflejancia de la superficie del concentrador.

$\gamma$  Factor de forma de la superficie del concentrador  $(0.95)^{20}$ .

$\alpha$  Absortancia del tubo del absorbedor.

$\tau$  Transmitancia de la cubierta.

---

<sup>19</sup> ALMANZA, R., MUÑOZ, F. Ingeniería de la energía solar. Primera ed. México. El Colegio Nacional. 1993. p.279.

<sup>20</sup> Manuel Silva Pérez. Sistemas termosolares de concentración. Grupo de Termodinámica y Energías Renovables. Curso 2004/2005.

<http://www.esi.us.es/php/infgen/aulav/energrenov/ER-STC-04-05.pdf>

$$B := 1.20 \quad (\text{m})$$

$$\gamma := 0.95$$

$$\tau := 0.82$$

$$\alpha := 0.91 \quad \text{Cobre} \quad \text{Ver Anexo 6}$$

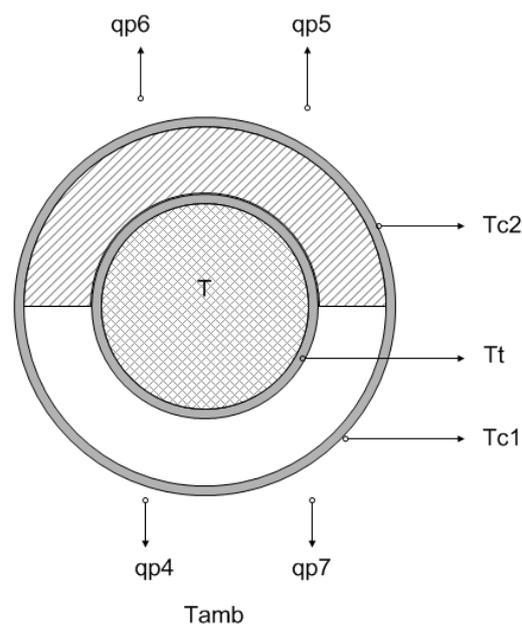
$$H_b = 689.339 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\rho := 0.95 \quad \text{Aluminio Pulido} \quad \text{Ver Anexo 6}$$

$$q_E = 533.17 \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}} \right)$$

– **BALANCE DE ENERGÍA EN LA CUBIERTA DEL ABSORBEDOR LA SUPERFICIE REFLEJANTE.**

En esta parte se realiza un balance de energía en la cubierta del absorbedor y la superficie reflejante Véase figura 3.6:



**Fig. 3.6: Calores que intervienen en el balance de energía en la cubierta**

Aplicando la ley de la conservación de la energía se tiene:

$$E_{\text{ent}} = E_{\text{sal}}$$

$$q_{pc} + q_{pr} + q_{pd} = q_{p4} + q_{p5} + q_{p6} + q_{p7} \quad (3.20)$$

$Q_{p4}$  Calor perdido por radiación entre la cubierta y la superficie reflectante, en la parte no aislada (W/m).

$q_{p5}$  Calor perdido por radiación entre la cubierta y el medio ambiente, en la parte aislada (W/m).

$q_{p6}$  Calor perdido por convección desde la cubierta al medio ambiente, en la parte aislada (W/m).

$q_{p7}$  Calor perdido por convección desde la cubierta al medio ambiente, en la parte no aislada (W/m).

– **CALOR PERDIDO POR RADIACIÓN EN LA PARTE NO AISLADA ( $Q_{P4}$ )**

El calor perdido por radiación entre la cubierta y el medio ambiente, en la parte no aislada en (W) es<sup>21</sup>:

$$Q_{p4} = \frac{\sigma \cdot (T_{c1}^4 - T_s^4)}{\frac{1 - \epsilon_c}{\epsilon_c \cdot A_c} + \frac{1}{A_c} + \frac{1 - \epsilon_s}{\epsilon_s \cdot A_s}} \quad (3.21)$$

$$A_c = \pi \cdot D_c \cdot L \quad (3.22)$$

$$A_s = S \cdot L \quad (3.23)$$

En donde:

$A_c$  Área por metro lineal de la cubierta (m<sup>2</sup>).

---

<sup>21</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.738.

- $D_c$  Diámetro externo de la cubierta (m).  
 $A_s$  Área de la superficie interna tipo espejo del concentrador ( $m^2$ ).  
 $S$  Longitud de la curvatura parabólica (m).  
 $T_s$  Temperatura de la superficie reflectante del concentrador (K).  
 $T_{c1}$  Temperatura de la cubierta en la parte no aislada (K).  
 $\epsilon_c$  Emitancia de la cubierta.  
 $\sigma$  Constante de Stefan Boltzman ( $W/m^2 \cdot K$ ).

Reemplazando las ecuaciones 3.22 y 3.23 en la ecuación 3.21 y dividiendo para L se tiene:

$$q_{p4} = \frac{\pi \cdot D_c \cdot \sigma \cdot (T_{c1}^4 - T_s^4)}{\frac{1 - \epsilon_c}{\epsilon_c} + 1 + \frac{(1 - \epsilon_s) \cdot \pi \cdot D_c}{\epsilon_s \cdot S}} \quad (3.24)$$

El calor perdido por radiación entre la cubierta y la superficie reflectante, en la parte no aislada en (W/m) también puede ser expresado como:

$$q_{p4} = \frac{T_{c1} - T_s}{R_{p4}} \quad (3.25)$$

Igualando la ecuación 3.24 con 3.25 y despejando se obtiene la ecuación para  $R_{p4}$ :

$$R_{p4} = \frac{\left[ \left( \frac{1 - \epsilon_c}{\epsilon_c} + 1 \right) \left( \frac{1}{\pi \cdot D_c} \right) + \frac{(1 - \epsilon_s) \cdot \pi \cdot D_c}{\epsilon_s \cdot S} \right] \cdot (T_{c1} - T_s)}{\sigma \cdot (T_{c1}^4 - T_s^4)} \quad (3.26)$$

En donde:

- $R_{p4}$  Resistencia térmica por radiación entre la cubierta y la superficie reflectante del concentrador ( $m \cdot K/W$ ).  
 $\epsilon_s$  Emitancia de la superficie reflectante.

$T_s$  Temperatura de la superficie reflectante del concentrador (K).

$$T_s = \frac{H_b \cdot (1 - \rho)}{2 \cdot h_v} + T_{amb} \quad (3.27)$$

$T_{amb}$  Temperatura ambiente local (K).

$h_v$  Coeficiente de transferencia de calor por viento<sup>22</sup> ( $W/m^2 \cdot K$ ).

$H_b$  Radiación solar directa incidente sobre el concentrador ( $W/m^2$ ).

$\rho$  Reflejancia de la superficie del concentrador.

$$h_v = 5.7 + 3.8 \cdot V_v \quad (3.28)$$

$V_v$  Velocidad del viento local. (m/s)

$$\epsilon_s := 0.03$$

Aluminio Pulido

Ver Anexo 6

$$V_v := 5 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$h_v = 24.7 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

$$H_b := 3543.2 \left( \frac{W - hr}{m^2} \right)$$

$$nr := 5.14 \quad (hr)$$

Heliofania

$$H_b := \frac{H_b}{nr}$$

$$H_b = 689.339 \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

<sup>22</sup> DUFFIE, J. A. y BECKMAN, W. A., Solar Energy thermal Processes, Primera ed. Nueva York, John Wiley and Sons. 1974. p.130.

$\rho := 0.95$       Aluminio Pulido      Ver Anexo 6

$T_{amb} := 294.11$  (K)      70 ° F

$T_s = 294.808$  (K)

$$R_{p4} = 4.523 \quad \left( \frac{m \cdot K}{W} \right)$$

– **CALOR PERDIDO POR RADIACIÓN ENTRE LA CUBIERTA Y EL MEDIO AMBIENTE ( $Q_{p5}$ )**

El calor perdido por radiación entre la cubierta y el medio ambiente, en la parte aislada en (W) es<sup>23</sup> :

$$Q_{p5} = A_c \cdot \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{c2}^4 - T_{sky}^4) \quad (3.29)$$

Reemplazando 3.22 en 3.29 y dividiendo para L se tiene que el calor perdido por radiación entre la cubierta y el medio ambiente, en la parte aislada en (W/m) es:

$$q_{p5} = \pi \cdot D_c \cdot \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{c2}^4 - T_{sky}^4) \quad (3.30)$$

El calor  $q_{p5}$  también puede ser expresado como:

---

<sup>23</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.10.

$$q_{p5} = \frac{T_{c2} - T_{sky}}{R_{p5}} \quad (3.31)$$

Igualando la ecuación 3.30 con 3.31 y despejando se obtiene la ecuación para  $R_{p5}$ :

$$R_{p5} = \frac{1}{\pi \cdot D_c \cdot \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{c2}^2 + T_{sky}^2)(T_{c2} + T_{sky})} \quad (3.32)$$

En donde:

$R_{p5}$  Resistencia térmica por radiación entre la cubierta y el medio ambiente (m·K/W).

$T_{sky}$  Temperatura de cielo<sup>24</sup> (K).

$T_{c2}$  Temperatura de la cubierta en la parte aislada (K).

$$T_{sky} = 0.0522 \cdot T_{amb}^{1.5} \quad (3.33)$$

$$T_{sky} = 263.291 \quad (\text{K})$$

$$T_{c2} := 294.1 \quad (\text{K}) \quad 70 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\epsilon_c := 0.90$$

$$R_{p5} = 1.395 \quad \left( \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)$$

---

<sup>24</sup> DUFFIE, J. A. y BECKMAN, W. A., Solar Energy thermal Processes, Primera ed. Nueva York, John Wiley and Sons. 1974. p..

– **CALOR PERDIDO POR CONVECCIÓN DESDE LA CUBIERTA AL MEDIO AMBIENTE EN LA PARTE AISLADA ( $Q_{p6}$ ) Y NO AISLADA ( $Q_{p7}$ ).**

Los calores perdidos por convección desde la cubierta al medio ambiente, en la parte aislada y no aislada en ( W ) son:

$$Q_{p6} = A_c \cdot h_v \cdot (T_{c2} - T_{amb}) \quad (3.34)$$

$$Q_{p7} = A_c \cdot h_v \cdot (T_{c1} - T_{amb}) \quad (3.35)$$

Reemplazando 3.22 en 3.34 y 3.35 y dividiendo ambas para L, tenemos que los calores perdidos por convección desde la cubierta al medio ambiente, en la parte aislada y no aislada en ( W/m ) son:

$$q_{p6} = \pi \cdot D_c \cdot h_v \cdot (T_{c2} - T_{amb}) \quad (3.36)$$

$$q_{p7} = \pi \cdot D_c \cdot h_v \cdot (T_{c1} - T_{amb}) \quad (3.37)$$

Ordenando términos:

$$q_{p6} = \frac{T_{c2} - T_{amb}}{R_{p6}} \quad (3.38)$$

$$q_{p7} = \frac{T_{c1} - T_{amb}}{R_{p6}} \quad (3.39)$$

$$R_{p6} = \frac{1}{\pi \cdot D_c \cdot h_v} \quad (3.40)$$

En donde:

$R_{p6}$  Resistencia térmica por convección entre la cubierta y el medio ambiente (m·K/ W).

$T_{c1}$  Temperatura de la cubierta en la parte no aislada (K).

$T_{c2}$  Temperatura de la cubierta en la parte aislada (K).

$h_v$  Coeficiente de transferencia de calor por viento<sup>25</sup> (W/m<sup>2</sup>·K).

$$R_{p6} = R_{p7}$$

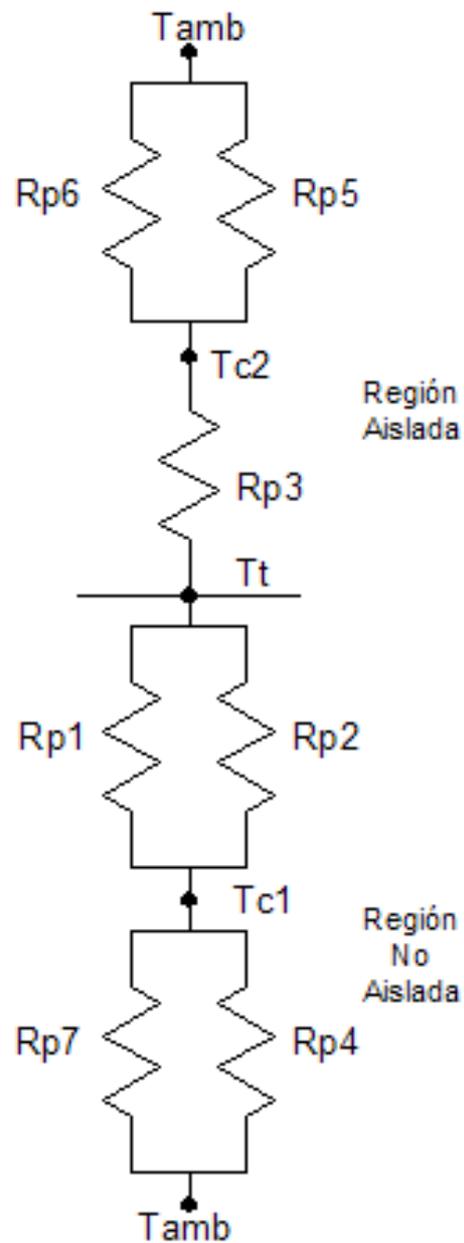
$$R_{p6} = 0.25 \left( \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)$$

– **DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE PÉRDIDAS EN EL ABSORBEDOR ( $U_{TP}$ ).**

Una vez expresadas todas las fórmulas de los calores que intervienen en el absorbedor se hace una analogía eléctrica de las resistencias y los calores que intervienen en el análisis térmico. Véase figura 3.7.

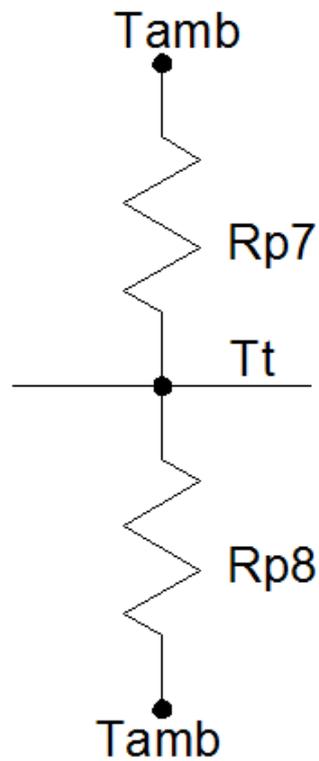
---

<sup>25</sup> DUFFIE, J. A. y BECKMAN, W. A., Solar Energy thermal Processes, Primera ed. Nueva York, John Wiley and Sons. 1974. p.130.



**Fig. 3.7: Red eléctrica.**

La red eléctrica equivalente de la figura 3.7 se la puede representar por una simplificada. Véase figura 3.8.



**Fig. 3.8: Red eléctrica simplificada.**

Las resistencias  $R_{p7}$  y  $R_{p8}$  que se observan en la figura 3.8 representan:

$R_{p7}$  Resistencia térmica simplificada en la región aislada (m·K/W).

$R_{p8}$  Resistencia térmica simplificada en la región no aislada (m·K/W).

Las resistencias  $R_{p7}$  y  $R_{p8}$  se las puede expresar mediante las ecuaciones 3.41 y 3.42:

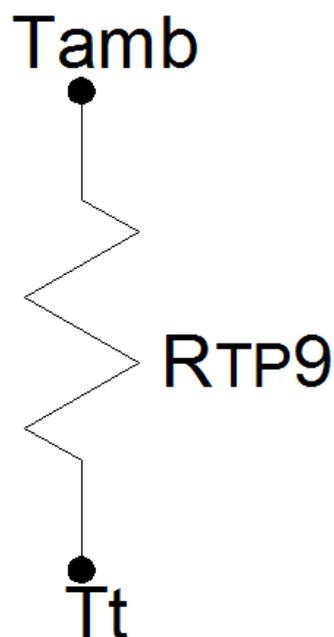
$$R_{p7} = \frac{R_{p3} \cdot (R_{p6} + R_{p5}) + R_{p6} \cdot R_{p5}}{R_{p6} + R_{p5}} \quad (3.41)$$

$$R_{p7} = 2.35 \left( \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{p8} = \frac{(R_{p1} + R_{p2})(R_{p6} \cdot R_{p4}) + (R_{p6} + R_{p4})(R_{p1} \cdot R_{p2})}{(R_{p6} + R_{p4})(R_{p1} + R_{p2})} \quad (3.42)$$

$$R_{p8} = 3.049 \left( \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}} \right)$$

La red eléctrica equivalente simplificada de la figura 3.8 se la puede expresar mediante una red más simplificada final. Véase figura 3.9.



**Fig. 3.9: Red eléctrica final.**

En la figura 3.9 podemos observar la resistencia térmica total de pérdidas  $R_{TP9}$ , la cual puede ser expresada como:

$$R_{TP9} = \frac{R_{p8} \cdot R_{p7}}{R_{p8} + R_{p7}} \quad (3.43)$$

$$R_{TP9} = 1.327 \left( \frac{m \cdot K}{W} \right)$$

El calor total de pérdidas en (W/m) es igual a:

$$q_{TP} = \frac{T_t - T_{amb}}{R_{TP9}} \quad (3.44)$$

El calor total de pérdidas en (W) puede ser expresado con la siguiente fórmula<sup>26</sup>:

$$Q_{TP} = A_t \cdot U_{TP} \cdot (T_t - T_{amb}) \quad (3.45)$$

$U_{TP}$  Coeficiente global de transferencia de calor de pérdidas en el absorbedor ( $W/m^2 \cdot K$ ).

Reemplazando  $A_t$  en 3.45 y dividiendo para  $L$ , tenemos que el calor total de pérdidas en (W/m) también puede ser expresado como:

$$q_{TP} = \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot (T_t - T_{amb}) \quad (3.46)$$

Igualando la ecuación 3.45 con 3.44 y despejando  $U_{TP}$ , tenemos:

$$U_{TP} = \frac{1}{\pi \cdot D_t \cdot R_{TP9}} \quad (3.47)$$

---

<sup>26</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.92.

$$UTP = 8.394 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

– **DETERMINACIÓN DEL CALOR ÚTIL ( $Q_U$ ).**

En esta zona se analiza el fluido de trabajo sin ningún cambio de fase desde la temperatura inicial hasta la temperatura de salida del fluido.

$$q_U = q_E - q_{TP} \quad (3.48)$$

Utilizando la ecuación 3.46 se tiene que:

$$q_{TP} = \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot (T_t - T_{amb})$$

La ecuación 3.16 para esta zona:

$$q_U = \pi \cdot D_t \cdot h_l \cdot (T_t - T)$$

De la ecuación 3.16 se despeja  $T_t$ , se reemplaza en 3.46 y tenemos:

$$q_{TP} = \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot \left( T + \frac{q_U}{\pi \cdot D_t \cdot h_l} - T_{amb} \right) \quad (3.49)$$

La ecuación 3.49 se reemplaza en la ecuación 3.48 y tenemos:

$$q_U = q_E - \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot \left( T + \frac{q_U}{\pi \cdot D_t \cdot h_l} - T_{amb} \right) \quad (3.50)$$

Ordenando los términos de la ecuación 3.50 se tiene que:

$$q_U = \left( \frac{hl}{hl + U_{TP}} \right) \cdot [q_E - \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot (T - T_{amb})] \quad (3.51)$$

La ecuación del calor útil transferido al fluido de trabajo en esta zona es igual a:

$$q_U = Kl \cdot [q_E - \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot (T - T_{amb})] \quad (3.52)$$

En donde:

T Temperatura del fluido de trabajo (K).

$T_{amb}$  Temperatura ambiente local (K).

$D_t$  Diámetro exterior del tubo del absorbedor (m).

$U_{TP}$  Coeficiente global de transferencia de calor de pérdidas en el absorbedor ( $W/m^2 \cdot K$ ).

$q_E$  Calor radiante efectivo que llega al tubo absorbedor (W/m).

Kl Factor de eficiencia en la zona de líquido.

$$Kl = \left( \frac{hl}{hl + U_{TP}} \right) \quad (3.53)$$

hl Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada y conducción entre el tubo del absorbedor y el fluido de trabajo en la zona de líquido ( $W/m^2 \cdot K$ ).

$$hl = \frac{1}{Rl \cdot \pi \cdot D_t} \quad (3.54)$$

RI Resistencia térmica por convección forzada y conducción entre el tubo del absorbedor y el fluido de trabajo en la zona de líquido (m·K/W).

$$RI = R_c + R_{cv} \quad (3.55)$$

$R_c$  Resistencia térmica de conducción entre las paredes del tubo del absorbedor (m·K/W).

$R_{cv}$  Resistencia térmica de convección forzada entre el fluido de trabajo y el interior del tubo del absorbedor (m·K/W).

La resistencia térmica  $R_c$  se la puede expresar con la fórmula de la resistencia térmica para conducción radial en una pared cilíndrica<sup>27</sup>.

$$R_c = \frac{\ln\left(\frac{D_t}{D_{ti}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_4} \quad (3.56)$$

$k_4$  Conductividad térmica del tubo del absorbedor (W/m·K).

$D_{ti}$  Diámetro interno del tubo absorbedor.

$$R_{cv} = \frac{1}{h_{cv} \cdot \pi \cdot D_{ti}} \quad (3.57)$$

$h_{cv}$  Coeficiente de calor por convección forzada (W/m<sup>2</sup>·K).

Para régimen laminar se tiene que el coeficiente de calor por convección forzada para un fluido dentro de un tubo circular es<sup>28</sup>:

---

<sup>27</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.92.

<sup>28</sup> INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999. p.440.

$$h_{cv} = 4.36 \cdot \frac{k_w}{D_{ti}} \quad \text{Para } Re < 2000 \quad (3.58)$$

$K_{\text{Agua}}$  Conductividad térmica del fluido de trabajo ( $W/m^2 \cdot K$  ).  
 $Re$  Número de Reynolds.

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot D_{ti} \cdot \mu} \quad (3.59)$$

$\dot{m}$  Caudal másico del fluido de trabajo ( $Kg./s$ ).

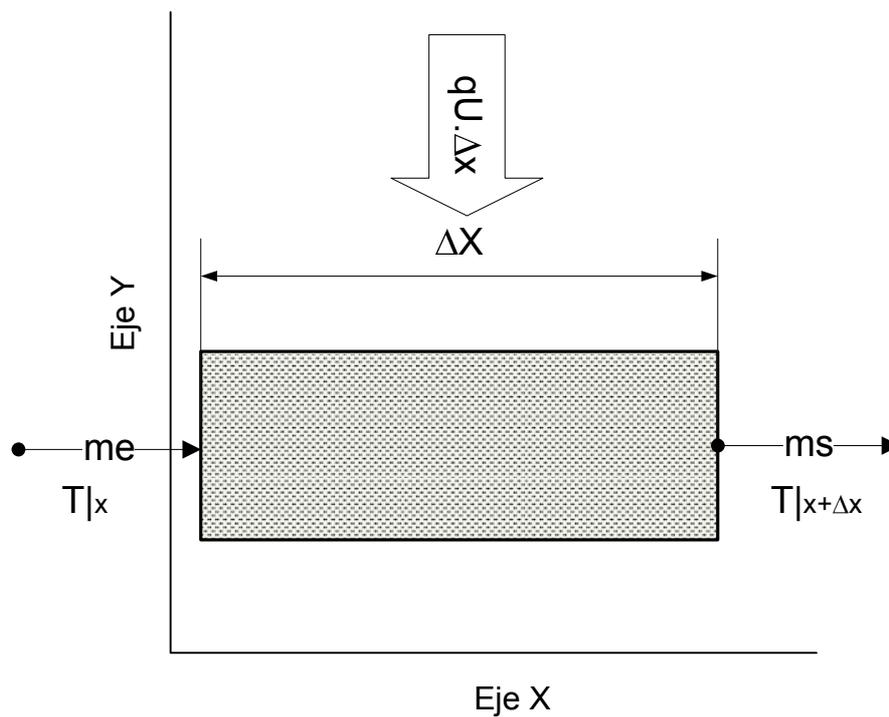
$\mu$  Viscosidad dinámica del fluido de trabajo ( $N \cdot s/m^2$ ).

Sustituyendo 3.58 en 3.57 se tiene que:

$$R_{cv} = \frac{1}{4.36 \cdot \pi \cdot K_{\text{agua}}} \quad (3.60)$$

Como se puede observar en la ecuación 3.52 el calor útil  $q_U$  esta en función de la temperatura del fluido de trabajo, esta temperatura varia conforme el fluido pasa a través del tubo del absorbedor, es decir la temperatura  $T$  para esta zona varía en función de la longitud del absorbedor.

Para encontrar una expresión de la temperatura del fluido de trabajo en función de la longitud  $L$  del absorbedor se hace un balance de energía sobre un pequeño elemento diferencial del fluido de trabajo. Véase figura 3.10



**Fig. 3.10: Elemento Diferencial**

Aplicando la ley de conservación de la energía en el elemento diferencial se tiene que:

$$q_U \cdot \Delta x = \dot{m}_s \cdot h_s - \dot{m}_e \cdot h_e \quad (3.61)$$

En donde:

- $\Delta x$  Longitud del elemento diferencial del fluido de trabajo (m).
- $\dot{m}_e$  Caudal másico del fluido de trabajo a la entrada (Kg./s).
- $\dot{m}_s$  Caudal másico del fluido de trabajo a la salida (Kg./s).
- $h_e$  Entalpía del fluido de trabajo a la entrada (J/Kg.).
- $h_s$  Entalpía del fluido de trabajo a la salida (J/Kg.).

Como se tiene el mismo caudal másico a la salida y a la entrada, entonces:

$$\dot{m} = \dot{m}_s = \dot{m}_e \quad (3.62)$$

$$q_U \cdot \Delta x = \dot{m} \cdot (h_s - h_e) \quad (3.63)$$

La diferencia de entalpías por termodinámica se puede expresar como<sup>29</sup>:

$$h_s - h_e = C_p \cdot (T|_{x+\Delta x} - T|_x) \quad (3.64)$$

Reemplazando la ecuación 3.64 en la ecuación 3.63, tenemos:

$$q_U = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T|_{x+\Delta x} - T|_x)}{\Delta x} \quad (3.65)$$

En donde:

$C_p$  Calor específico a presión constante del fluido de trabajo (J/kg·K).

$T|_x$  Temperatura del fluido de trabajo en el punto x (K).

$T|_{x+\Delta x}$  Temperatura del fluido de trabajo en el punto x+Δx (K).

Llevando hasta el límite la relación 3.65 cuando  $\Delta x \rightarrow 0$ .

$$q_U = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot dT}{dx} \quad (3.66)$$

---

<sup>29</sup> CENGEL, Y., BOLES, M. Termodinámica Tomo I. 2da. ed. México. McGraw-Hill. 2000. p.139.

Igualando la ecuación 3.52 y la ecuación 3.66:

$$\dot{m} \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dx} = Kl \cdot [q_E - \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot (T - T_{amb})] \quad (3.67)$$

Ordenando y acomodando términos se tiene que:

$$\frac{dT}{dx} + \frac{Kl \cdot \pi \cdot D_t \cdot U_{TP}}{\dot{m} \cdot C_p} \cdot T = \frac{Kl}{\dot{m} \cdot C_p} \cdot (q_E + \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot T_{amb}) \quad (3.68)$$

La ecuación 3.68 para facilidades de cálculo puede ser expresada como:

$$\frac{dT}{dx} + A \cdot T = B \quad (3.69)$$

En donde A y B son:

$$A = \frac{Kl \cdot \pi \cdot D_t \cdot U_{TP}}{\dot{m} \cdot C_p} \quad B = \frac{Kl}{\dot{m} \cdot C_p} \cdot (q_E + \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot T_{amb})$$

Por lo tanto la ecuación 3.69, es una Ecuación Lineal De Primer Orden, cuya solución es:

$$e^{\int A \cdot dx} \cdot T = \int B \cdot (e^{\int A \cdot dx}) \cdot dx + C$$

$$T = \frac{B}{A} + C \cdot e^{-A \cdot X} \quad (3.70)$$

Para la condición  $x = 0$ ;  $T = T_i$  se tiene la siguiente solución:

$$C = T_i - \frac{B}{A} \quad (3.71)$$

Reemplazando C en la ecuación 3.70 se obtiene la ecuación de la temperatura del fluido en función de la longitud del absorbedor, en la zona de líquido y despejando T, tenemos:

$$T = \frac{B}{A} \cdot (1 - e^{-A \cdot X}) + T_i \cdot e^{-A \cdot X} \quad (3.72)$$

$$A = \frac{Kl \cdot \pi \cdot D_t \cdot U_{TP}}{\dot{m} \cdot C_p} \quad B = \frac{Kl}{\dot{m} \cdot C_p} \cdot (q_E + \pi \cdot D_t \cdot U_{TP} \cdot T_{amb})$$

Ti Temperatura inicial del fluido de trabajo. (K)

X Longitud del tubo absorbedor.

$$k4 := 401 \quad \left( \frac{W}{m \cdot K} \right) \quad \text{Conductividad Térmica del cobre}$$

$$Rc = 4.87 \times 10^{-5} \quad \left( \frac{m \cdot K}{W} \right)$$

$$K_{Agua} := 606 \cdot 10^{-3} \quad \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$$

$$Rcv = 0.12 \quad \left( \frac{m \cdot K}{W} \right)$$

$$Rl = 1.21 \times 10^{-1} \quad \left( \frac{m \cdot K}{W} \right)$$

$$hl = 92.427 \quad \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

$$Kl = 0.917$$

$$Cp_{\text{Agua}} := 4181 \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \right)$$

$$MA_{\text{Agua}} := 20 \quad \left( \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right)$$

$$MA_{\text{Agua}} = 2.53 \times 10^{-3} \quad \left( \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right)$$

$$T_{\text{amb}} := 294.11 \quad 70 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = 6.54 \times 10^{-2} \quad B = 65.537$$

$$T_i := 283.5 \quad T_{\text{inicial del Agua}} \quad ^\circ\text{K}$$

$$X := 0.7 \quad (\text{m})$$

$$T = 315.651 \quad (\text{K}) \quad \text{Temperatura del Agua}$$

$$T = 108.771 \quad (\text{F})$$

$$QU = 331.732 \quad (\text{W})$$

Ver anexo 3, la grafica de la ecuación T vs X.

– **EFICIENCIA TÉRMICA DEL CONCENTRADOR.**

El rendimiento térmico se calcula mediante la ecuación:

$$\eta_c = \frac{Q_U}{H_b \cdot A_a}$$

**- Área de Apertura:**

B := 1.4 (m) Cuerda Parabólica

$$A_a := (B - D_c) \cdot X$$

Aa = 0.944 (m<sup>2</sup>)

$$\eta_c = 0.51$$

## 4. CAPÍTULO IV: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL

### 4.1 PARAMETROS DE CONSTRUCCION.

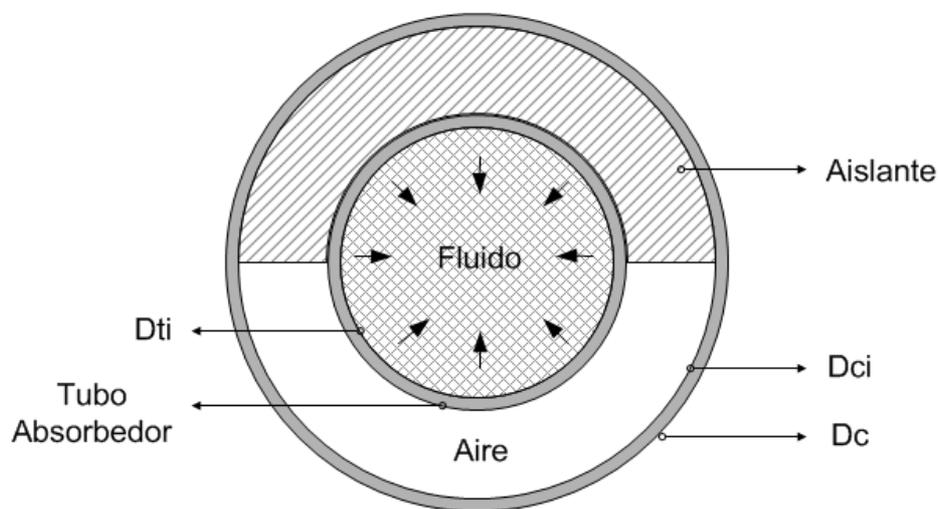
Para la construcción<sup>30</sup> se ha tomado las siguientes consideraciones:

- El absorbedor está en equilibrio térmico (estado estable), por lo que utilizamos lana de vidrio en la parte aislada para que no pierda calor en la parte superior de absorbedor.
- Los rayos del Sol se consideran paralelos y uniformes, lo que nos garantiza que todos los rayos que choquen con la parábola van a reflejarse en la línea focal por donde pasa el tubo absorbedor.
- La reflejancia del espejo (papel aluminizado) y la transmitancia de la cubierta ( tubo de vidrio) son constantes.
- Las propiedades de absortancia, emitancia, transmitancia y reflejancia dependen de la naturaleza del material (tubo de cobre pintado de negro mate), naturaleza del recubrimiento de la superficie (papel aluminizado) y no de la temperatura ambiental.
- La temperatura del tubo absorbedor es la misma a largo de su longitud, por lo que todo el tubo esta pintado de negro mate.
- La temperatura de la cubierta en la región no aislada es diferente que la temperatura de la cubierta en la región aislada.
- La radiación directa incidente sobre el absorbedor proviene solo de la superficie reflectante.
- No existen áreas sombreadas en el absorbedor para que los rayos solares lleguen con plenitud al concentrador cilíndrico parabólico.

---

<sup>30</sup> BENAVIDES E. Diseño y Construcción de una Cocina Solar Experimental, de Tipo Cilíndrico Parabólico con Aplicación al Sector Rural Marginal. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela politécnica del Ejército. Departamento de la Ciencias de la Energía y Mecánica. 2006

- Se utiliza mangueras que soportan temperaturas altas para el calentamiento del agua.
- Se utilizo un tanque de plástico pintado de negro para que conserve el calor y no sufra de corrosión por parte del agua.
- El uso de válvulas es para controlar los flujos en las distintas partes del concentrador para que tenga un correcto funcionamiento.
- Se utilizo un controlador electrónico de temperatura para mejorar la efectividad y eficiencia del concentrador.



**Fig. 4.1: Sección Transversal del Tubo**

$D_{ti}$  Diámetro interno del tubo del absorbedor (m).

$D_{ci}$  Diámetro interno de la cubierta (m).

$D_c$  Diámetro externo de la cubierta (m).

- Vamos a calentar 30 litros de agua desde una temperatura inicial aproximada de  $10^{\circ}\text{C}$  hasta una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ , se calienta hasta esta temperatura ya que es un promedio de temperatura de agua caliente que las personas consumen en sus hogares y el volumen de agua (30 litros) dependieron de la capacidad del tanque con el cual se plantea el diseño y la construcción.

**Tabla 4.1: Parámetros de diseño.**

	<b>ITEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
1	LITROS DE AGUA A CALENTAR	30	LT
2	TEMPERATURA INICIAL APROXIMADA DEL AGUA	10	°C.
3	TEMPERATURA FINAL DEL AGUA	40	°C.

**COLECTORES CONCENTRADORES:**

*Son de tipo parabólico capaz de dar temperaturas entre 500-2000 °C o tipo cilíndrico, el cual puede generar temperaturas entre 100 a 400 °C, ambos con una eficiencia de 30- 60%*

Cuando se desea calentar a temperaturas elevadas un líquido se emplean los llamados **colectores de concentración**, que aprovechan la radiación solar directa.

El tubo del colector por el que circula el agua, se colocan longitudinalmente de manera que el agua fría (la cual proviene de un tanque, ubicada encima del colector) entra por un lado del tubo de cobre y una vez que se calienta por la radiación solar, sale por el otro extremo del colector debido a su menor densidad. Dicho proceso (de entrada y salida de agua) continúa hasta que haya una cantidad mínima de la radiación solar.

## 4.2 CONSTRUCCIÓN DEL CONCENTRADOR CILÍNDRICO – PARABÓLICO.

- Ver Anexo 1 y Anexo 2 (Planos Constructivos y Diagramas de Procesos)

### 4.2.1 MATERIALES.

- Ver Anexo 1 y Anexo 2.
- **Lista de materiales.**

Tabla 4.2: Materiales.

MATERIAL	CANTIDAD
<b>CONCENTRADOR SOLAR CILÍNDRICO - PARABOLICO</b>	
Tubo de cobre 1"	1
Tubo de cobre ½"	1
Tubo cuadrado 1" * 1,5	1
Tubo cuadrado 1"	1
T 1" * 1,5	1
Ángulos 1"* 1,5	2
Angulo 1" * 1,5 mesa	1
1 GAL. pintura negra mate	1
3 m <sup>2</sup> papel aluminizado	1
Soldadura de plata	1
Tubo de vidrio 51 * 1500 mm	1
Placas de acero 5 mm	2
Planchas de tol galvanizado 1200 * 2440 mm	1
Válvula de bronce ½" NPT	3
Bomba	1
Reducciones de 1" a ½"	2
Aceite Regal	1
3 m de mangueras 1/2"	1
3 m de mangueras 3/8"	1

Cadena	1
Pletina de acero 1 m	1
Chumaceras	2
<b>CONTROLADOR DE TEMPERATURA</b>	
PIC 16F877a	1
LCD 2 * 16	1
resistencia de 10K	1
Potenciómetro de 10K	1
Sensor de tpt LM335	1
Amplificador operacional LM358	1
Capacitor electrolítico de 22uF	1
Resistencias de 4,7K	9
Resistencia de 3,9K	1
Resistencia de 330	1
Led	1
Cristal oscilador de 4MHZ	1
Condensadores cerámicos de 22pF	2
Reles 5V	1
Diodos rectificadores 1N4007	1
Transistores 2N3904	1
Baquelita	1
Zócalo portapic	1
Cable para 120V	1

### 4.3 CONSTRUCCIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

EL sensor que utilizamos es un transistor LM335 de la Fig. 4.2, el cual nos da la temperatura en escala Celsius la forma de su funcionamiento es transformar la temperatura del ambiente y la transforma en voltaje. El rango de medición que nos puede dar este sensor es de  $-55^{\circ}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ .



## 5. CAPÍTULO V: PRUEBAS DEL MODELO EXPERIMENTAL

### 5.1. HOMOLOGACION DEL EQUIPO.

El equipo consta de la siguientes partes tal como se muestra en la Figura 5.1:

- a) El reflector cilindro parabólico,
- b) El tubo absorbente,
- c) El sistema de seguimiento del sol
- d) La estructura metálica.

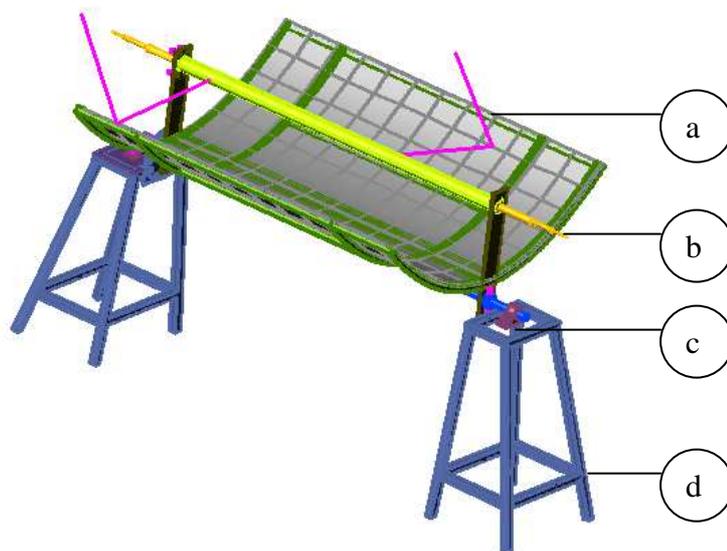


Fig. 5.1: Esquema del Equipo.

### 5.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

La radiación solar se la puede concentrar y aprovecharla térmicamente, lo cual se evidencia en el calentamiento de un fluido. Esto se lleva a cabo con los llamados concentradores solares que se aprovechan de las cualidades de absorción de la radiación y transmisión de calor de algunos materiales, y del efecto invernadero que se produce cuando otro material, por ejemplo el vidrio, es transparente a la radiación de onda corta del sol y opaco a la radiación de onda larga que emiten los cuerpos que están calientes.

#### *COLECTORES CONCENTRADORES:*

*Son de tipo parabólico, y se pueden obtener temperaturas entre 500-2000 °C, o tipo cilíndrico, el cual puede generar temperaturas entre 100 a 400 °C, ambos con una eficiencia de 30- 60%*

Cuando se desea calentar a temperaturas elevadas un líquido, sólido o gas, se emplean los llamados **colectores de concentración**, que aprovechan la radiación solar directa.

Para lograr un aprovechamiento máximo, estos colectores deben tener un mecanismo que les permita seguir el movimiento del Sol a lo largo del día, con el objeto de que sea mayor la intensidad de la radiación. Este tipo de colectores se denomina “de seguimiento”.

El equipo funciona de la siguiente manera: el tanque de plástico que sirve de reservorio tiene una entrada de agua fría; un flotador de cobre indica que se alcanzado el nivel de 30 litros, y este sistema de flotador cierra la válvula de paso de agua fría.

A continuación el agua pasa a través de una electro válvula, la cual se abre cuando la temperatura es inferior a los 40°C y se cierra cuando es superior a los 45°C. Esta electro válvula es controlada por medio de un circuito electrónico que consiste de un medidor de temperatura, con un display que nos muestra la temperatura del agua dentro del tanque, y el intervalo de temperaturas con los cuales se abre o se cierra la electro válvula; estas pueden ser programables.

Luego de pasar el agua por la electro válvula, continúa hacia la bomba que la impulsa para que recircule por el sistema y llegue de nuevo al tanque. El concentrador solar inicialmente no utilizaba bomba, por que nos apoyábamos en la teoría de un sistema de termosifón (utilizado en concentradores planos), y que se basa en lo siguiente: la temperatura alcanzada por un sistema solar depende de la cantidad de agua que necesite calentar, el área del sistema y el clima del lugar; sin embargo con 1 m<sup>2</sup> de un colector plano con una inclinación de 15 a 20°, se puede elevar el agua hasta 50 cm. de altura, ya que una vez que se calienta por la radiación solar, sale por la parte superior del colector debido a su menor densidad. Dicho proceso (de entrada y salida de agua) continúa hasta que haya una cantidad mínima de la radiación solar. *En nuestro caso no se pudo aplicar la teoría del termosifón*, debido a que no se pudo dar la inclinación, y el área de calentamiento es más reducida, aspectos que no permitían que el agua recircule naturalmente. Por este motivo se decidió colocar una bomba, lo que permitió reducir el tiempo de calentamiento; además, la bomba no está permanentemente prendida sino que se enciende en pequeños intervalos de tiempo para que el agua se caliente al pasar por el tubo absorbedor. De esta forma el sistema no consume mucha energía eléctrica.

La bomba se alimenta desde un tanque con flotador y una válvula check que se activa cuando el agua llega a un cierto nivel en dicho tanque. Esto permite que al agua que está en el tubo absorbedor gane energía y se caliente en un determinado intervalo de tiempo. De esta forma se puede llevar agua caliente al tanque de reserva.

Al llegar el agua caliente al tanque de reserva, se mezcla con el agua fría que ha ingresado en el tanque; luego esta agua vuelve otra vez a circular por el sistema hasta el punto en que llega a los 40°C. El tiempo de calentamiento va a depender de las condiciones climáticas que se presenten.

Durante la noche el agua del tanque pierde calor equivalente a un descenso de 1 - 2.5°C por hora, dependiendo de velocidad del viento y la temperatura ambiente. Debido a que la radiación solar no es siempre suficiente para calentar agua a la temperatura necesaria, todo los días del año, se podría interconectar el sistema solar con un sistema convencional de calentamiento de agua ( tanque eléctrico o gas pero con termostato).

En este sistema, el agua precalentada por la energía solar pasa al tanque auxiliar donde termina por alcanzarse la temperatura requerida, con el uso de una fuente convencional. Por lo tanto, con el sistema mixto se puede asegurar una temperatura predefinida en forma permanente, pero siempre economizando el uso de la energía.

## **5.2 VERIFICACIÓN DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO**

### **5.2.1 PARAMETROS DE DISEÑO**

- Se va a calentar 30 litros de agua desde una temperatura inicial aproximada de 10°C hasta una temperatura de 40°C. Se escogió esta temperatura porque representa un promedio de la temperatura de agua caliente que las personas consumen en sus hogares, y el volumen de agua (30 litros) es la capacidad del tanque con la cual se plantea el diseño y la construcción.

**Tabla 5.1: Parámetros de diseño.**

	<b>ITEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
1	VOLUMEN DE AGUA A CALENTAR	30	LT
2	TEMPERATURA INICIAL APROXIMADA DEL AGUA	10	°C.
3	TEMPERATURA FINAL DEL AGUA	40	°C.

### **5.2.2 VERIFICACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA.**

La toma de temperaturas se la realizó desde las 08h00, hasta las 14h00, debido a que el número de horas de luz real para nuestro país, es en promedio de 5.14 horas, y este fue el tiempo de funcionamiento del equipo, para aprovechar la irradiación solar diaria directa.

Se tomaron las temperaturas inicial y final con el controlador electrónico de temperaturas, cuyo sensor se encuentra en el interior del tanque de almacenamiento de agua.

El concentrador se mueve a través del posicionador mecánico cada hora y media, siguiendo la trayectoria solar, para tratar de obtener el máximo aprovechamiento de irradiación solar.

Los datos tabulados pertenecen a los días de mejor irradiación solar; los otros días estuvieron nublados y en algunos casos amaneció con lluvia por lo que no se pudo tomar datos.

Los datos del mes de julio sólo se tomaron durante la mañana, mientras se verificaba el correcto funcionamiento del equipo.

Tabla 5.2: Datos Obtenidos Julio-Día 1.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	15
2		17	08:30	18
3		20	09:00	20
4		28	09:30	21
5		29	10:00	21
6		28	10:30	18
7		26	11:00	18
8		27	11:30	20
9		29	12:00	21
10		34	12:30	22
11		45	13:00	22
12		43	13:30	22
13		42	14:00	21
<b>Promedio</b>			<b>29.30</b>	-

Tabla 5.3: Datos Obtenidos Julio-Día 2.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	12	12	08:00	13
2		15	08:30	15
3		17	09:00	17
4		16	09:30	18
5		18	10:00	18
6		20	10:30	18
7		22	11:00	19
8		19	11:30	20
9		22	12:00	22
10		24	12:30	23
11		30	13:00	23
12		34	13:30	23
13		38	14:00	22
<b>Promedio</b>			<b>22.07</b>	-

Tabla 5.4: Datos Obtenidos Julio-Día 3.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	12	12	08:00	13
2		13	08:30	15
3		18	09:00	17
4		20	09:30	18
5		23	10:00	20
6		27	10:30	18
7		30	11:00	19
8		36	11:30	20
9		38	12:00	22
10		45	12:30	23
11		49	13:00	23
12		45	13:30	23
13		44	14:00	24
<b>Promedio</b>			<b>30.76</b>	-

Tabla 5.5: Datos Obtenidos Agosto-Día 1.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	10	10	08:00	10
2		14	08:30	15
3		15	09:00	17
4		17	09:30	21
5		18	10:00	21
6		20	10:30	21
7		29	11:00	21
8		32	11:30	22
9		38	12:00	23
10		44	12:30	23
11		49	13:00	24
12		45	13:30	24
13		45	14:00	24
14		42	15:00	20
15		40	16:00	19
16		38	17:00	18
17		35	18:00	17
<b>Promedio</b>			<b>31.22</b>	-

Tabla 5.6: Datos Obtenidos Agosto-Día 2.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	13
2		15	08:30	15
3		17	09:00	18
4		18	09:30	18
5		20	10:00	18
6		23	10:30	19
7		26	11:00	19
8		33	11:30	20
9		36	12:00	23
10		40	12:30	22
11		45	13:00	23
12		47	13:30	23
13		45	14:00	22
14		42	15:00	20
15		39	16:00	19
16		34	17:00	17
17		33	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>30.94</b>	-

Tabla 5.7: Datos Obtenidos Agosto-Día 3.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	14
2		16	08:30	17
3		17	09:00	18
4		20	09:30	18
5		22	10:00	18
6		26	10:30	22
7		29	11:00	22
8		32	11:30	22
9		38	12:00	23
10		43	12:30	24
11		46	13:00	23
12		48	13:30	24
13		49	14:00	21
14		45	15:00	20
15		43	16:00	19
16		38	17:00	16
17		35	18:00	15
<b>Promedio</b>			<b>32.94</b>	<b>-</b>

Tabla 5.8: Datos Obtenidos Agosto-Día 4.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	14
2		15	08:30	17
3		18	09:00	18
4		22	09:30	18
5		25	10:00	20
6		28	10:30	22
7		29	11:00	24
8		33	11:30	24
9		40	12:00	24
10		45	12:30	24
11		47	13:00	22
12		48	13:30	22
13		50	14:00	22
14		50	15:00	20
15		47	16:00	19
16		44	17:00	16
17		40	18:00	15
<b>Promedio</b>			<b>34.94</b>	-

Tabla 5.9: Datos Obtenidos Agosto-Día 5.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	11	11	08:00	11
2		15	08:30	15
3		17	09:00	18
4		18	09:30	18
5		20	10:00	18
6		23	10:30	19
7		26	11:00	19
8		33	11:30	20
9		36	12:00	23
10		40	12:30	22
11		45	13:00	23
12		47	13:30	23
13		45	14:00	22
14		42	15:00	20
15		39	16:00	19
16		34	17:00	17
17		33	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>30.82</b>	-

Tabla 5.10: Datos Obtenidos Septiembre-Día 1.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	10	10	08:00	11
2		14	08:30	15
3		16	09:00	17
4		17	09:30	21
5		20	10:00	21
6		23	10:30	21
7		29	11:00	21
8		34	11:30	22
9		38	12:00	23
10		45	12:30	23
11		49	13:00	24
12		45	13:30	24
13		45	14:00	24
14		42	15:00	20
15		40	16:00	19
16		38	17:00	18
17		33	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>31.64</b>	<b>-</b>

Tabla 5.11: Datos Obtenidos Septiembre-Día 2.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	11	11	08:00	13
2		13	08:30	15
3		17	09:00	18
4		19	09:30	18
5		22	10:00	18
6		25	10:30	19
7		29	11:00	20
8		32	11:30	20
9		35	12:00	23
10		39	12:30	22
11		42	13:00	23
12		43	13:30	23
13		42	14:00	24
14		45	15:00	24
15		48	16:00	22
16		44	17:00	17
17		38	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>31.94</b>	-

Tabla 5.12: Datos Obtenidos Septiembre-Día 3.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	13
2		15	08:30	15
3		18	09:00	18
4		20	09:30	18
5		22	10:00	18
6		25	10:30	19
7		29	11:00	20
8		33	11:30	24
9		36	12:00	23
10		39	12:30	22
11		43	13:00	23
12		45	13:30	23
13		46	14:00	22
14		42	15:00	20
15		39	16:00	19
16		36	17:00	17
17		34	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>31.47</b>	-

Tabla 5.13: Datos Obtenidos Septiembre-Día 4.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	12	12	08:00	13
2		16	08:30	17
3		19	09:00	18
4		22	09:30	20
5		26	10:00	20
6		29	10:30	20
7		33	11:00	22
8		37	11:30	22
9		39	12:00	23
10		42	12:30	24
11		45	13:00	24
12		48	13:30	24
13		49	14:00	22
14		47	15:00	23
15		50	16:00	22
16		45	17:00	18
17		38	18:00	15
<b>Promedio</b>			<b>35.18</b>	-

Tabla 5.14: Datos Obtenidos Septiembre-Día 5.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	10	11	08:00	14
2		14	08:30	18
3		17	09:00	19
4		19	09:30	21
5		23	10:00	21
6		25	10:30	21
7		29	11:00	23
8		33	11:30	23
9		35	12:00	24
10		37	12:30	23
11		40	13:00	23
12		43	13:30	23
13		44	14:00	21
14		46	15:00	22
15		48	16:00	21
16		42	17:00	19
17		35	18:00	14
<b>Promedio</b>		<b>31.82</b>	<b>-</b>	<b>20.58</b>

Tabla 5.15: Datos Obtenidos Octubre-Día 1.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	10	10	08:00	10
2		14	08:30	15
3		15	09:00	17
4		17	09:30	21
5		18	10:00	21
6		20	10:30	21
7		29	11:00	21
8		32	11:30	22
9		38	12:00	23
10		44	12:30	23
11		49	13:00	24
12		45	13:30	24
13		45	14:00	24
14		42	15:00	20
15		40	16:00	19
16		38	17:00	18
17		35	18:00	17
<b>Promedio</b>			<b>31.22</b>	-

Tabla 5.16: Datos Obtenidos Octubre-Día 2.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	13
2		15	08:30	15
3		17	09:00	18
4		18	09:30	18
5		20	10:00	18
6		23	10:30	19
7		26	11:00	19
8		33	11:30	20
9		36	12:00	23
10		40	12:30	22
11		45	13:00	23
12		47	13:30	23
13		45	14:00	22
14		42	15:00	20
15		39	16:00	19
16		34	17:00	17
17		33	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>30.94</b>	<b>-</b>

Tabla 5.17: Datos Obtenidos Octubre-Día 3.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	10	10	08:00	11
2		14	08:30	15
3		16	09:00	17
4		17	09:30	21
5		20	10:00	21
6		23	10:30	21
7		29	11:00	21
8		34	11:30	22
9		38	12:00	23
10		45	12:30	23
11		49	13:00	24
12		45	13:30	24
13		45	14:00	24
14		42	15:00	20
15		40	16:00	19
16		38	17:00	18
17		33	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>31.64</b>	-

Tabla 5.18: Datos Obtenidos Octubre-Día 4.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	9	10	08:00	11
2		13	08:30	15
3		15	09:00	18
4		18	09:30	18
5		20	10:00	18
6		23	10:30	20
7		27	11:00	20
8		33	11:30	20
9		38	12:00	23
10		44	12:30	24
11		45	13:00	23
12		48	13:30	23
13		45	14:00	22
14		45	15:00	22
15		45	16:00	22
16		39	17:00	17
17		37	18:00	16
<b>Promedio</b>		<b>32.05</b>	<b>-</b>	<b>19.53</b>

Tabla 5.19: Datos Obtenidos Octubre-Día 5.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	11	11	08:00	11
2		13	08:30	14
3		17	09:00	17
4		21	09:30	19
5		23	10:00	19
6		27	10:30	21
7		29	11:00	22
8		33	11:30	23
9		36	12:00	23
10		39	12:30	22
11		42	13:00	21
12		46	13:30	21
13		47	14:00	21
14		48	15:00	19
15		47	16:00	18
16		44	17:00	17
17		39	18:00	13
<b>Promedio</b>			<b>33.00</b>	-

Tabla 5.20: Datos Obtenidos Noviembre-Día 1.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	13
2		15	08:30	15
3		18	09:00	18
4		20	09:30	18
5		22	10:00	18
6		25	10:30	19
7		29	11:00	20
8		33	11:30	24
9		36	12:00	23
10		39	12:30	22
11		43	13:00	23
12		45	13:30	23
13		46	14:00	22
14		42	15:00	20
15		39	16:00	19
16		36	17:00	17
17		34	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>31.47</b>	-

Tabla 5.21: Datos Obtenidos Noviembre-Día 2.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	14
2		16	08:30	17
3		17	09:00	18
4		20	09:30	18
5		22	10:00	18
6		26	10:30	22
7		29	11:00	22
8		32	11:30	22
9		38	12:00	23
10		43	12:30	24
11		46	13:00	23
12		48	13:30	24
13		49	14:00	21
14		45	15:00	20
15		43	16:00	19
16		38	17:00	16
17		35	18:00	15
<b>Promedio</b>			<b>32.94</b>	-

Tabla 5.22: Datos Obtenidos Noviembre-Día 3.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	13	13	08:00	13
2		15	08:30	15
3		17	09:00	18
4		18	09:30	18
5		20	10:00	18
6		23	10:30	19
7		26	11:00	19
8		33	11:30	20
9		36	12:00	23
10		40	12:30	22
11		45	13:00	23
12		47	13:30	23
13		45	14:00	22
14		42	15:00	20
15		39	16:00	19
16		34	17:00	17
17		33	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>30.94</b>	-

Tabla 5.23: Datos Obtenidos Noviembre-Día 4.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	11	11	08:00	13
2		14	08:30	15
3		17	09:00	18
4		18	09:30	18
5		20	10:00	18
6		23	10:30	19
7		26	11:00	19
8		28	11:30	19
9		31	12:00	20
10		34	12:30	20
11		36	13:00	20
12		37	13:30	22
13		39	14:00	22
14		39	15:00	20
15		38	16:00	19
16		34	17:00	18
17		30	18:00	14
<b>Promedio</b>		<b>27.94</b>	<b>-</b>	<b>18.47</b>

Tabla 5.24: Datos Obtenidos Noviembre-Día 5.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	9	9	08:00	10
2		13	08:30	15
3		17	09:00	17
4		19	09:30	21
5		21	10:00	21
6		25	10:30	22
7		30	11:00	22
8		35	11:30	22
9		40	12:00	23
10		46	12:30	23
11		51	13:00	24
12		46	13:30	24
13		47	14:00	24
14		43	15:00	20
15		42	16:00	19
16		40	17:00	18
17		38	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>33.05</b>	<b>-</b>

Tabla 5.25: Datos Obtenidos Diciembre-Día 1.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	12	12	08:00	13
2		15	08:30	15
3		17	09:00	18
4		20	09:30	18
5		22	10:00	18
6		26	10:30	19
7		28	11:00	19
8		30	11:30	19
9		34	12:00	20
10		37	12:30	20
11		39	13:00	20
12		42	13:30	22
13		44	14:00	22
14		45	15:00	20
15		45	16:00	19
16		42	17:00	18
17		40	18:00	14
<b>Promedio</b>			<b>31.64</b>	-

Tabla 5.26: Datos Obtenidos Diciembre-Día 2.

# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	11	11	08:00	11
2		14	08:30	15
3		18	09:00	18
4		22	09:30	20
5		24	10:00	20
6		28	10:30	22
7		30	11:00	23
8		34	11:30	24
9		37	12:00	24
10		40	12:30	23
11		43	13:00	22
12		47	13:30	22
13		48	14:00	22
14		49	15:00	20
15		48	16:00	19
16		45	17:00	18
17		40	18:00	14
<b>Promedio</b>			<b>34.00</b>	<b>-</b>

Tabla 5.27: Datos Obtenidos Diciembre-Día 3.

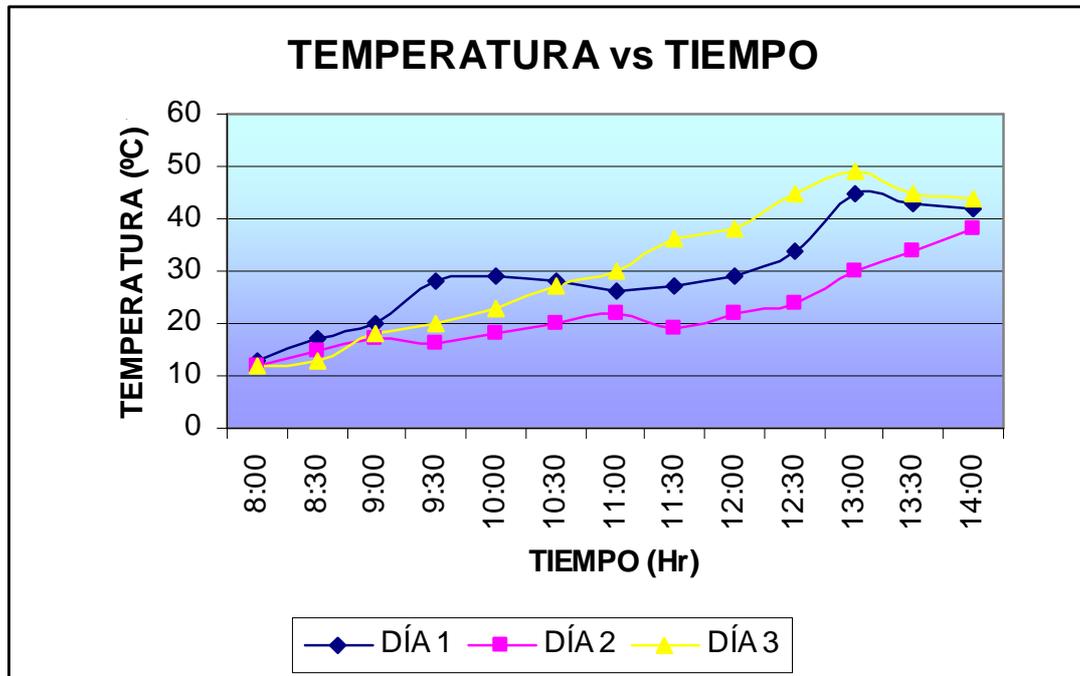
# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	12	12	08:00	11
2		15	08:30	14
3		20	09:00	17
4		25	09:30	19
5		27	10:00	19
6		30	10:30	21
7		33	11:00	22
8		37	11:30	23
9		41	12:00	23
10		45	12:30	22
11		49	13:00	21
12		44	13:30	21
13		39	14:00	21
14		34	15:00	19
15		29	16:00	18
16		25	17:00	17
17		19	18:00	13
<b>Promedio</b>			<b>30.82</b>	-

Tabla 5.28: Datos Obtenidos Diciembre-Día 4.

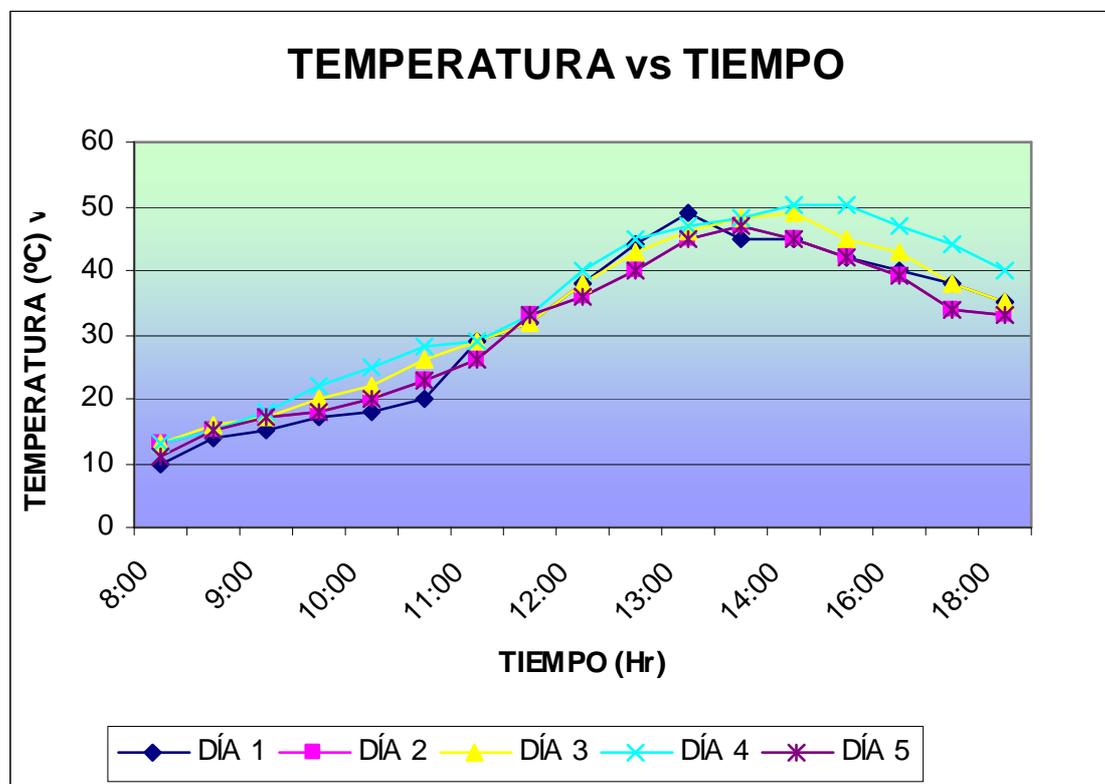
# Medición	Temperatura Inicial del Agua	Temperatura Final del Agua	Hora de Medición	Temperatura Ambiental
	°C	°C	Hr	°C
1	12	12	08:00	12
2		15	08:30	15
3		17	09:00	18
4		18	09:30	18
5		20	10:00	18
6		23	10:30	19
7		26	11:00	19
8		33	11:30	20
9		36	12:00	23
10		40	12:30	22
11		45	13:00	23
12		47	13:30	23
13		45	14:00	22
14		42	15:00	20
15		39	16:00	19
16		34	17:00	17
17		33	18:00	16
<b>Promedio</b>			<b>30.88</b>	<b>-</b>

### 5.2.3 RESUMEN MENSUAL DE LOS DATOS OBTENIDOS EN GRAFICOS DE EXCEL.

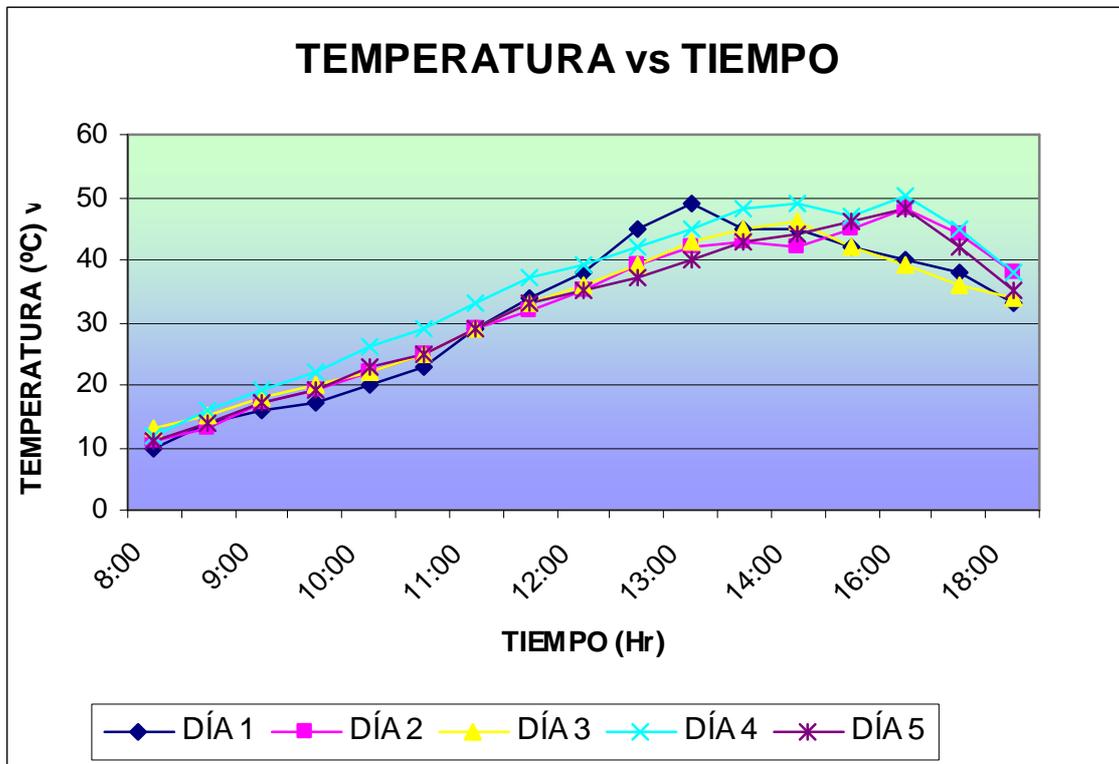
#### JULIO



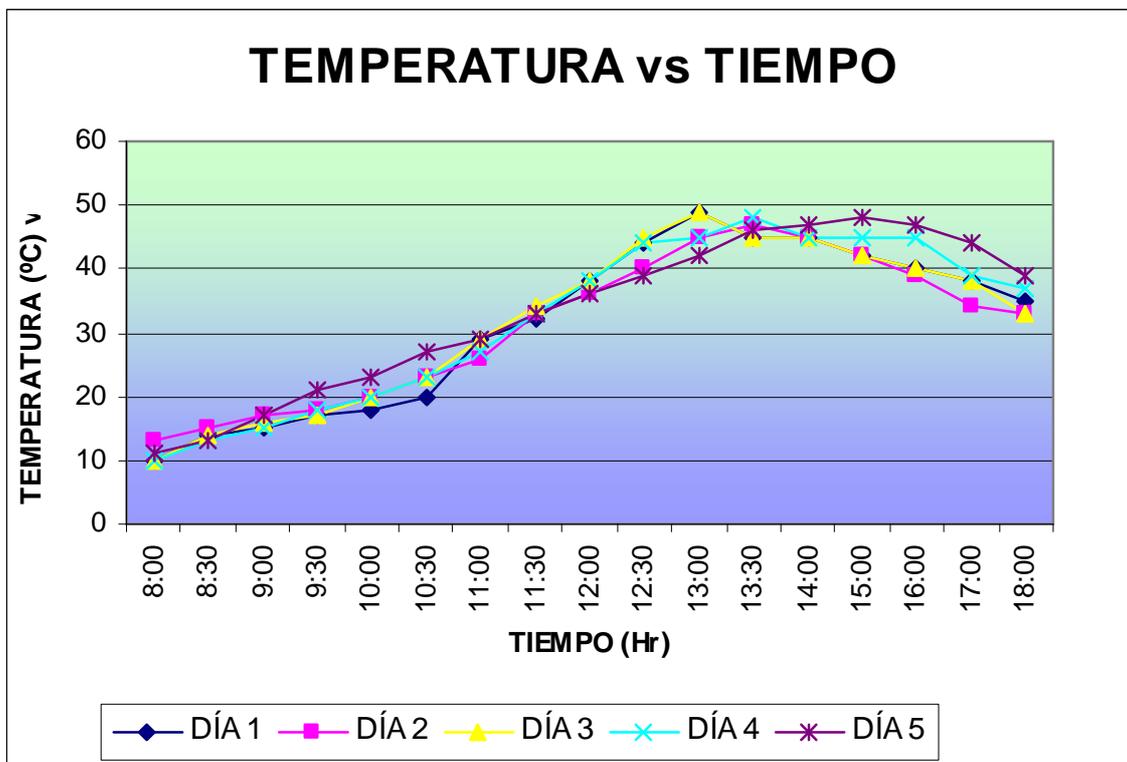
#### AGOSTO



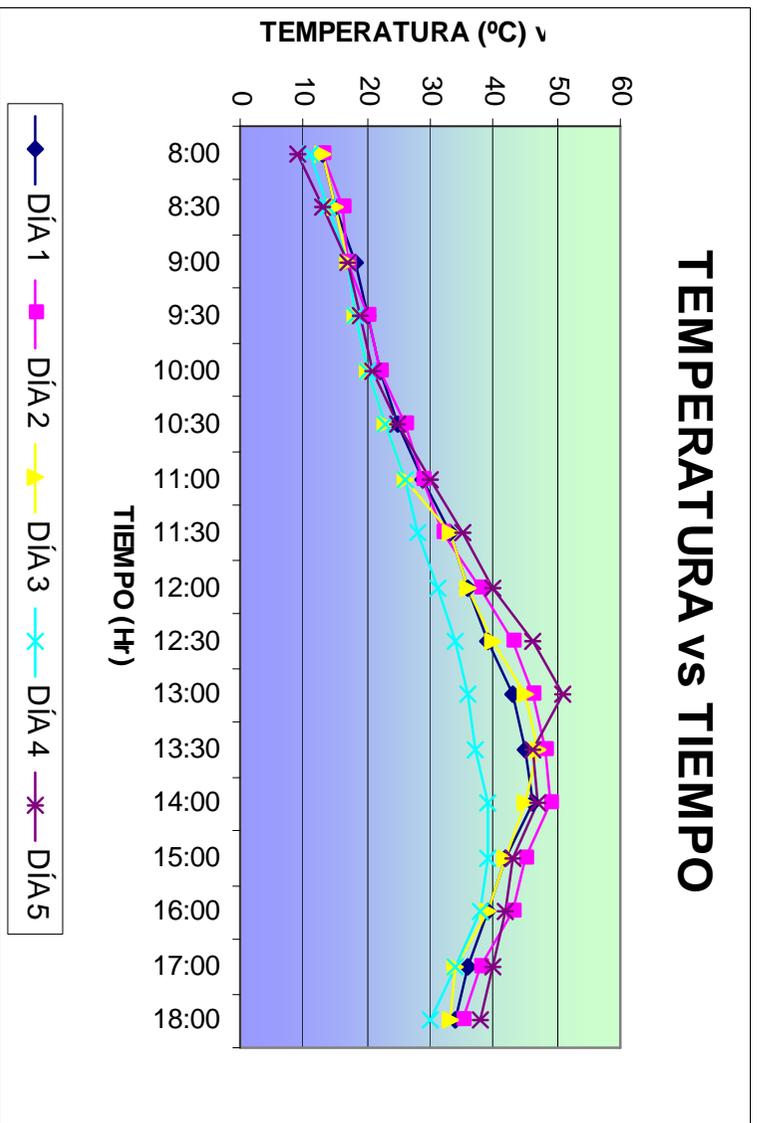
## SEPTIEMBRE



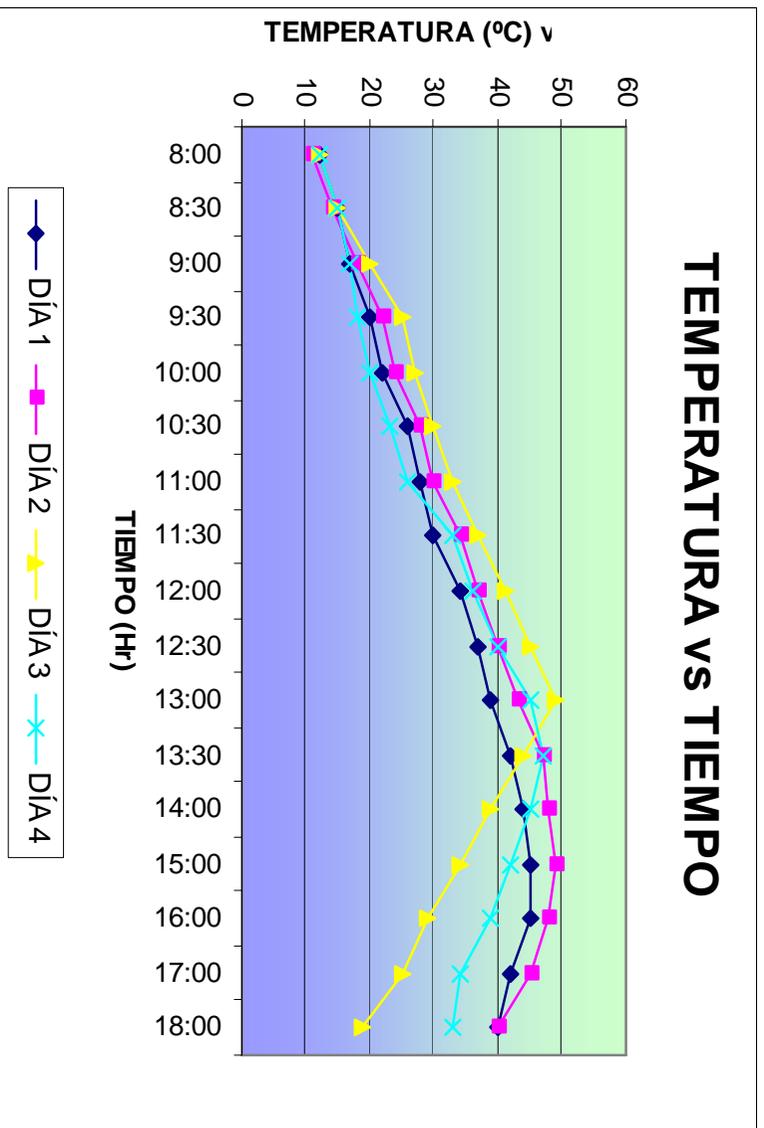
## OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE



En las distintas tablas y graficos de resultados que obtuvimos mensualmente, observamos que en el mes de julio mientras se instalaba y se ponía a punto el equipo, se obtuvieron distintas curvas irregulares pero se observa que se mantenía una elevación de temperatura según transcurría el tiempo y que llego a alcanzar la temperatura de diseño.

En los siguientes meses ya con el equipo instalado correctamente, se observa que la elevación de temperatura en el tiempo es semejante en todo los meses, donde se observa que se alcanzo la temperatura de diseño, teniendo en algunos meses picos de temperaturas superiores a la temperatura de diseño.

La elevación de temperaturas tuvo un comportamiento esperado, al igual que el descenso en las tardes, como se indicó las curvas en los distintos gráficos corresponden a la toma de datos en los días de mejor radiación solar durante el mes, ya que en días nublados o días lluviosos no se pudo tomar datos.

#### **5.2.4 GUIA DE LABORATORIO**

A continuación tenemos de una guía para la toma de datos en el equipo. Ver Anexo 5.

### **5.3 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO**

El mantenimiento del equipo no es muy complicado. Se utilizó pintura anticorrosivo para evitar daños en la estructura; se debe lavar el tubo de vidrio por lo menos una vez al mes, y se debe dar mantenimiento a la bomba como se muestra en la características técnicas más adelante.

### 5.3.1 BECKETT CONDENSATE REMOVAL PUMP

#### - DATOS GENERALES:

**Fabricante:** BECKETT  
**País de origen:** Estados Unidos  
**Dirección:** Irving, Texas 75063 - 2606  
**Teléfono:** 972-871-8000  
**Nombre del representante en el país:** Anglo Ecuatoriana  
**Fecha de compra:** 2007



#### - DATOS TECNICOS:

La bomba tiene las siguientes características:

**Modelo:** CB 201U2

**Voltaje:** 115 V

**Dimensiones del equipo:**

**Altura:** 15,9 cm.

**Ancho:** 12,7 cm.

**Largo:** 28,3 cm.

**Capacidad del Tanque:** 1,9 lt.

**Distancia Máxima de Elevación:** 6,1 m.

**Litros por hora a 30,5 cm.:** 397 lt.

#### - MANTENIMIENTO:

#### ADVERTENCIA:

Si la bomba se usa en un ambiente sucio o se bombea otro líquido que no sea agua limpia de condensado, el tanque se debe desmontar y limpiar periódicamente con agua y jabón. Si la bomba no funciona, rectificar lo siguiente:



- Asegúrese que la bomba está recibiendo energía eléctrica. Probar en otra salida eléctrica para estar seguro.
- Examine la tubería de descarga para ver si existen bloqueos o tubos doblados. También asegúrese de que la tubería flexible o el tubo de entrada no estén obstruidos.
- Retire la cubierta y compruebe que el flotador puede moverse libremente.
- Mueva a mano el ventilador para asegurarse de que el motor este libre.
- Asegure que el conmutador del flotador y el conmutador de seguridad, están completamente enganchados en sus montajes.
- Si se requiere más desmontaje, retire el tanque, desprendiendo con un destornillador por la ranuras.
- Examine el conjunto de bomba – válvula de retención, en su toma, para ver si hay obstrucciones. La checkvalve puede ser quitada dando vuelta a la izquierda.

## 6. CAPÍTULO VI: ANÁLISIS FINANCIERO

### 6.1 ESTUDIO FINANCIERO.

El presente Trabajo de Titulación, no podía estar completo sin un estudio financiero; es por ello que se procedió a realizar una investigación sobre la viabilidad y rentabilidad del presente proyecto.

a.- Se partió con un estudio de mercado en el que se destaca la importancia de la demanda de los servicios derivados del **modelo experimental de calentamiento solar de agua**.

b.- Después de conocer que estos servicios tienen aceptación por los potenciales consumidores, fue preciso conocer cuál es el *precio*, la capacidad de pago de los consumidores, y su disposición a pagar por este tipo de servicios.

c.- No menos importante es lo relacionado a la competencia. En la ciudad existen renombradas Universidades Técnicas, entre ellas la Escuela Politécnica Nacional, la Universidad Politécnica Salesiana, la Escuela Politécnica del Ejército, la Universidad San Francisco; estas universidades cuentan con pequeños laboratorios de energía solar y en el caso de la Universidad de las Américas no cuenta con equipos de aprovechamiento de la energía solar, por lo que se puede recomendar comenzar un laboratorio de energías no convencionales, para el desarrollo de la universidad y de sus estudiantes.

### **6.1.1 SERVICIOS DERIVADOS**

Después de este estudio se concluyó que los servicios derivados del modelo experimental de calentamiento solar que tendrían acogida son los citados a continuación:

**1.-** Ingresos generados por utilización del equipo de calentamiento solar de agua en laboratorio;

Consiste en crear un laboratorio de energías no convencionales, en el cual se incluya el trabajo de titulación de calentamiento solar de agua con concentrador cilíndrico - parabólico, equipo que podrá ser expuesto y utilizado por los estudiantes de las Universidades de las Américas y otras universidades para lo cual deberán aportar económicamente una suscripción en la matrícula de USD 75 por de utilización del equipo, con lo que se prevé un escenario con un número estudiantes que asistirán al laboratorio de energías no convencionales con una capacidad de 15 estudiantes por semestre, por tanto son 30 personas que visitarán anualmente el laboratorio, con una utilización de 5 horas en cada practica de laboratorio .

**2.-** Ingresos por seminarios y cursos;

Si cambiamos nuestros antiguos hábitos de consumo, y aprovechamos las nuevas tecnologías de forma más efectiva sin desperdiciar los recursos naturales, entre ellos la energía solar. Justamente sobre esto se trata nuestro modelo experimental y hemos evidenciado que la gente en general desea informarse más para conocer como ayudar a preservar nuestro medio ambiente.

La información sobre inventos y proyectos en nuestro país, que permiten proteger el planeta en el que habitamos, se puede difundir a través de seminarios.

## 6.2 ANÁLISIS FINANCIERO .

### 6.2.1 COSTOS Y GASTOS.

#### A. PERIODO DE EJECUCIÓN.

- Resumen de los costos de producción en el periodo de ejecución.

DETALLE	Año 2007
<b>A.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>7,745.69</b>
A.1.1 Mano de Obra directa	6,500.00
A.1.2 Materia Prima	521.09
A.1.3 Costos de Fabricación	724.60
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>7,745.69</b>

A continuación tenemos el desglose de los costos de producción en el periodo de ejecución.

#### A.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN

##### A.1.1 Mano de Obra directa

Concepto	Detalle	Valor/ Honorario	Nº de meses	Total General
Estudiante 1	Enrique Estudiante Carrera de Ingeniería Producción - UDLA	500.00	12	6,000.00
Técnico 1	Contratado			500.00
	<b>TOTAL</b>	500.00	12	<b><u>6,500.00</u></b>

### A.1.2 Materia Prima

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
Tubos cobre	2	8.67	17.34
Tubos cuadrados	4	8.00	32.00
T de acero	1	8.00	8.00
Ángulos de acero	1	15.00	15.00
Pintura negra 1/4	3	4.00	12.00
Papel aluminizado	3	2.67	8.01
Suelda de plata	1	13.00	13.00
Tubo de vidrio	1	81.00	81.00
Placa de acero	2	4.00	8.00
Bomba condensación	1	68.33	68.33
Mangueras	2	19.36	38.72
Válvulas de acero y bronce	2	13.40	26.80
Electro válvula	1	37.00	37.00
Pletina de acero	1	11.00	11.00
Pinturas en Spray	2	3.50	7.00
Plástico negro	3	3.67	11.01
Chumaceras	2	6.00	12.00
Válvula con Flotador	1	3.50	3.50
T de acero inoxidable 1/4 "	4	3.50	14.00
Extensiones	2	6.00	12.00
Acoples de cobre 1 " a 1/2"	2	4.50	9.00
Tanque reservorio plástico	1	20.00	20.00
PIC 16F844	1	11.00	11.00
LCD	1	16.00	16.00
Resistencias varias	6	0.43	2.58
Pulsadores	3	0.60	1.80
Varios			45.00
<b>Total</b>			<b><u>521.09</u></b>

### A.1.3 Costos de Fabricación

DESCRIPCIÓN	2007
A.1.4 MANO DE OBRA INDIRECTA	600.00
A.1.5 MATERIAL INDIRECTO	25.60
A.1.6 OTROS GASTOS DE FABRICACIÓN	99.00
	<b><u>724.60</u></b>

### A.1.4 Mano de Obra Indirecta

Concepto	Detalle	Valor hora Honorario	Tiempo Real Utilizado (Horas)	Sub-Total
Director	Ingeniero de Investigación y Termodinámica	20.00	30	600.00
<b>TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA</b>				<b><u>600.00</u></b>

### A.1.5 Material Indirecto

– Materiales de seguridad

Nombre	Cantidad	Precio Unita	Precio Total
Guantes cuero flexibles	2	3.80	7.60
Mandil	2	6.00	12.00
Gafas	2	3.00	6.00
<b><u>Total Gastos</u></b>			<b><u>25.60</u></b>

### A.1.6 Otros Costos de Fabricación

Descripción	Horas/ Cantidad	V/ unit.	V/ Total
Servicio de transporte	1	30.00	30.00
Servicio de Internet	60	0.70	42.00
Papel bond	3	9.00	27.00
<b>TOTAL</b>			<b><u>99.00</u></b>

### B.- PERIODO DE OPERACIÓN

- Resumen de los costos de producción y gastos de venta en el periodo de operación.

DETALLE	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011
<b>B.3.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>2095.57</b>	<b>2158.44</b>	<b>2223.19</b>	<b>2289.88</b>
B.3.1.1 Mano de Obra directa	535.00	551.05	567.58	584.61
B.3.1.2 Costos Varios	1564.57	1611.51	1659.81	1709.65
<b>B.4.1 GASTOS DE VENTAS</b>	<b>740.00</b>	<b>762.20</b>	<b>785.07</b>	<b>808.62</b>
B.4.1.1 Gastos de Comercialización	740.00	762.20	785.07	808.62
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>2835.57</b>	<b>2920.64</b>	<b>3008.26</b>	<b>3098.50</b>

A continuación tenemos el desglose de los costos de producción y gastos de venta en el periodo de operación.

## B.1 COSTOS POR UTILIZACION DEL EQUIPO DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN LABORATORIO.

### B.1.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN

#### B.1.1.1 Mano de Obra Directa

CONCEPTO	CANTIDAD	V. HORA	N HORAS	TOTAL
Laboratorista	1	20	8	160.00
<b>TOTAL</b>				<b>160.00</b>

#### B.1.1.2 Costos Varios.

CONCEPTO	TOTAL
Lubricantes y Grasas	32.00
Mantenimiento	58.00
<b>TOTAL</b>	<b>90.00</b>

## B.2 COSTOS POR LA REALIZACIÓN DE TALLERES SEMINARIOS.

### B.2.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN

#### B.2.1.1 Mano de Obra Directa

CONCEPTO	CANTIDAD	V. HORA	N HORAS	TOTAL
Honorarios profesionales	1	25	15	375.00
<b>TOTAL</b>				<b>375.00</b>

**B.2.1.2 Costos Varios.**

CONCEPTO	CANTIDAD	V. HORA	N HORAS	Sub total
Alquiler de local y equipos	2	15.00	6.00	180.00

CONCEPTO	CANTIDAD	V. Unitario	Sub total
Material de apoyo	200	2.00	400.00
Transporte	2	60.00	120.00
Depreciación	1		774.57
<b>TOTAL</b>			<b>1,474.57</b>

**B.2.2 GASTOS DE VENTAS****B.2.2.1 Gastos de Comercialización**

CONCEPTO	CANTIDAD	V. Unitario	Sub total
<b>Publicidad:</b>			
Rótulos en lona	24.00	15.00	360.00
Trípticos	100.00	2.00	200.00
<b>TOTAL</b>			<b>740.00</b>

## 6.2.2 INGRESOS

- Resumen de ingresos.

	2008	2009	2010	2011
<b>INGRESOS GRAVABLES</b>	V. TOTAL	V. TOTAL	V. TOTAL	V. TOTAL
C.1 INGRESOS POR UTILIZACION DEL EQUIPO DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN LABORATORIO	2250.00	2250.00	2250.00	2250.00
C.2 INGRESOS POR SEMINARIOS Y CURSOS	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>6750.00</b>	<b>6750.00</b>	<b>6750.00</b>	<b>6750.00</b>

A continuación tenemos el desglose de los ingresos.

### C.1 INGRESOS POR UTILIZACION DEL EQUIPO DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN LABORATORIO

Año	Nº usuarios de la Universidad	Nº horas	Valor x hora	Ingreso x grupo
2008	30	5	15.00	2250.00
2009	30	5	15.00	2250.00
2010	30	5	15.00	2250.00
2011	30	5	15.00	2250.00
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>24</b>		<b>9000.00</b>

**C.2 INGRESOS POR SEMINARIOS Y CURSOS.**

<b>Año</b>	<b>Participantes</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Total</b>
2007	150	30.00	4500.00
2008	150	30.00	4500.00
2009	150	30.00	4500.00
2010	150	30.00	4500.00
<b>TOTAL</b>	<b>800</b>		<b>18000.00</b>

**D.1 REQUERIMIENTOS EN ACTIVOS**

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>	<b>Depreciación</b>
Concentrador Solar Cilíndrico y Parabólico para el calentamiento de agua	1	7745.69	7745.69	774.57

<b>TOTAL Y DEPRECIACION</b>		<b>7745.69</b>	<b>774.57</b>
-----------------------------	--	----------------	---------------

### 6.2.3 FLUJO DE CAJA – EVALUACIÓN FINANCIERA.

Años	0	1	2	3	4
<b>(+) INGRESOS GRAVABLES</b>		<b>\$6,750.00</b>	<b>\$6,750.00</b>	<b>\$6,750.00</b>	<b>\$6,750.00</b>
INGRESOS POR ALQUILER EQUIPO		\$2,250.00	\$2,250.00	\$2,250.00	\$2,250.00
INGRESOS POR SEMINARIOS Y CURSOS		\$4,500.00	\$4,500.00	\$4,500.00	\$4,500.00
<b>(-) COSTOS DEDUCIBLES</b>		<b><u>2,839.57</u></b>	<b><u>2,924.76</u></b>	<b><u>3,012.50</u></b>	<b><u>3,102.87</u></b>
<b>COSTOS DE EJECUCIÓN</b>	7,745.69	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>1.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>					
(-) 1.1.1 Mano de Obra directa	6500.00				
(-)1.1.2 Materia Prima	521.09				
(-) 1.1.3 Costos de Fabricación	724.60				
<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>		2,839.57	2,924.76	3,012.50	3,102.50
<b>1.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>					
(-) 1.1.1 Mano de Obra directa		535.00	551.05	567.58	584.61
(-) 1.1.2 Materia Prima					
(-) 1.1.3 Costos de Fabricación		790.00	836.94	885.28	935.08
<b>2.1 GASTOS DE VENTAS</b>					
(-) 2.1.2 Gastos de Comercialización		740.00	762.20	785.07	808.62
(-) Depreciación		774.57	774.57	774.57	774.57
(=) Utilidad		3910.43	3825.24	3737.50	3647.13
(-) Inversión	\$7,745.69				
(+) Depreciación		\$774.57	\$774.57	\$774.57	\$774.57
Flujo de Fondos Neto Puro	-\$7,745.69	\$4,685.00	\$4,599.81	\$4,512.07	\$4,421.70
Tasa pertinente de descuento		15%	15%	15%	15%
Factor de valor actual a la tasa de descuento		\$0.87	\$0.76	\$0.66	\$0.57
Valor presente de los flujos de fondos		\$4,074	\$3,478	\$2,967	\$2,528
Valor presente acumulado		\$4,074	\$7,552	\$10,519	\$13,047
<b>COSTO (INVERSION) PROYECTO</b>	-\$7,745.69				
Suma flujos de Caja Actualizados	\$13,046.91				
<b>Indicadores</b>		Proyecto financieramente Rentable?			
TIR	<b>46.4%</b>	<b>SI</b>			
Valor Actual Neto (VAN)	<b>\$5,301.22</b>	<b>SI</b>			
Relación Beneficio Costo	<b>1.684</b>	<b>SI</b>			
Período de Recuperación (Años)	<b>2.02</b>	<b>Dos Años</b>			

## 6.3 PRECIOS

Para poder establecer nuestros precios para cada uno de los servicios, es necesario primeramente conocer cuáles son nuestros costos en las dos etapas del proyecto:

- Período de ejecución: Año cero (0)

En este período no existe ningún tipo de ingreso, sino únicamente la inversión total.

- Período de operación: desde el Año (1) al año (4)

Se realizó hasta el año cuatro debido a que podemos observar que se obtiene el doble de ingresos con relación al costo del equipo en el año (0) con lo que se puede demostrar que se tiene una muy buena utilidad y el proyecto es rentablemente económico; ya que la inversión se recupera en apenas 2.02 años.

En este período existen desembolsos de recursos pero también existen ingresos que son generados por los servicios derivados del modelo experimental.

Para ofertar este tipo de servicio se requiere incurrir en varios Costos y Gastos; entre ellos Costos de Producción (Mano de obra directa, materiales indirectos) Gastos de Fabricación (Mano de Obra indirecta, depreciación, servicios de alquiler), y Gastos de Ventas (publicidad)

Para el primer servicio nuestros Costos y Gastos anuales totales (Tablas B.1) ascienden a USD 250, el costo unitario ( $250/30$  personas) es igual a USD 8,33; mientras que nuestro precio es de USD 75 por cada persona (Tabla C.1).

Con relación al segundo servicio el costo total es USD 2589,57 (Tablas B.2); si el total de participantes en los dos seminarios son 150 personas al año, el costo unitario es de USD 17,26; por persona. Mientras que el precio unitario es de USD 30 (Tabla C.2).

En lo que respecta a la depreciación, el único activo fijo de este proyecto es el equipo. Es así que utilizamos el método de depreciación lineal.

$$\frac{\text{Valor actual} - \text{Valor residual}}{\text{Número de Años}}$$

$$\frac{7745.69 - 0}{10 \text{ años}}$$

La depreciación anual del activo: USD 774.57

## 6.4 RENTABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO

Este análisis parte de una *tasa pertinente de descuento* la que nos indica el costo de oportunidad del dinero, es decir que en lugar de invertir en este proyecto, se podría destinar los recursos económicos a otra actividad económica. Se consideraron como posibles actividades: invertir en Pólizas de acumulación; para el monto de USD 7750, en las instituciones del Sistema Financiero nos ofrecen tasas pasivas entre el 3% y 4% de interés anual. En el caso de invertir en la Bolsa de Valores, existen varias alternativas pero entre las más accesibles se puede obtener una tasa de rendimiento del 10% al 15% anual.

Otro punto que se debe considerar es el costo del dinero, pues en caso de que los recursos necesarios para la inversión hayan sido obtenidos a través de un crédito, la tasa activa promedio en el Sistema Financiero Nacional, es del 12% sin incluir los servicios y comisiones bancarias.

Después de este análisis hemos llegado a determinar que la *tasa pertinente de descuento* más apropiada que podíamos considerar para nuestro proyecto es de 15% anual.

**TIR:**

La tasa que conseguimos en este proyecto fue de 46.4%, lo que nos indica que podemos obtener réditos tres veces superiores con relación a lo que dejamos de ganar si invertíamos los recursos en otra actividad económica.

**VAN:**

La misma cantidad de dinero hoy y la que obtendríamos en los posteriores años de duración del proyecto no tienen el mismo valor.

Por ello que traídos al presente los valores de los años venideros ascenderían USD 13,046.91; y restado el costo del proyecto la utilidad sería de USD 5301.22.

**Relación Beneficio Costo:**

Con relación a este indicador lo que nos explica es que por cada dólar invertido en el proyecto nos retornaría USD 1.684.

**Período de Recuperación (Años):**

Se prevé que en dos años se recuperará el total invertido.

## **7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES.**

- La contaminación ambiental generada por las fuentes de energía no renovables, justifica la realización de este proyecto donde se aprovecha la energía solar en sistemas de calentamiento de agua.
- La energía solar aplicada a este sistema de calentamiento de agua, no puede trabajar las 24 horas del día por lo que está destinado sólo a las regiones donde la energía eléctrica sea escasa o muy costosa.
- El sistema de calentamiento de agua va a depender de las condiciones climáticas, debido a que cada día tiene diferentes condiciones y la nubosidad es un problema para aprovechar la radiación solar.
- La transferencia de calor entre el concentrador solar y el tanque de reserva necesita que el fluido conserve la energía; esto nos permite aprovechar mejor la radiación solar para el calentamiento del agua dentro del tanque, y conservarla por algunas horas.
- Con los resultados obtenidos en el CAPÍTULO 5, se comprobó que se alcanzaron las temperaturas correspondientes al diseño, con lo que se demuestra la aplicación de la energía solar a este sistema de calentamiento de agua.
- El uso de la electro válvula y la bomba en este proyecto fue para optimizar la entrada de agua al concentrador y aprovechar de mejor manera la energía solar durante el día para el calentamiento mas rápido del agua.

- Las 5.14 horas promedio de radiación solar, es utilizado como el tiempo de funcionamiento del Equipo de Calentamiento Solar de Agua, según los datos de heliofanía que se tomaron del INAMHI. Con este dato se obtuvo el dimensionamiento correcto del Equipo, para alcanzar la temperatura de diseño.
- Después de realizar un análisis de viabilidad comercial y factibilidad financiera del Proyecto, hemos determinado que los servicios derivados del sistema de calentamiento solar son financieramente rentables, así lo demuestran los indicadores TIR, VAN, y la Relación Beneficio Costo. Por lo tanto el proyecto es viable.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- La radiación solar es peligrosa para la piel ya que genera cáncer, por lo que se recomienda no estar expuesto mucho tiempo a la superficie reflectora ya que esta alcanza altas temperaturas y refleja la radiación solar directamente y producir quemaduras.
- La aplicación de este sistema de calentamiento va dirigido sólo a las regiones donde la energía eléctrica es de difícil acceso.
- El sistema de calentamiento de agua debe estar limpio de cualquier suciedad dentro de sus tuberías, tanques y válvulas para un mejor funcionamiento del equipo y para que el agua este siempre limpia.
- Se deberá continuar con el estudio de nuevas superficies reflectivas que hagan más eficientes a los sistemas de calentamiento.
- Los sistema de calentamiento solar son una tecnología no convencional y se debe priorizar su desarrollo a través de capacitaciones, para que otras personas puedan desarrollar nuevos proyectos de calentamiento solar y a su vez obtener ingresos generados por este prototipo.
- Se recomienda a la Universidad de las Américas crear un centro de investigación de energías no convencionales, ya que son las llamadas energías del futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- HEREDIA R y MOYA E. Diseño de un Modelo Experimental de Refrigeración Solar Intermitente, Mediante el Ciclo de Absorción con la Solución Agua - Amoniaco. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de la Ciencias de la Energía y Mecánica. 2007.
- ALTHOUSE A. et al. Modern Refrigeration and Air Conditioning. USA. The Goodhart-Willcox Company. 2004.
- BENAVIDES E. Diseño y Construcción de una Cocina Solar Experimental, de Tipo Cilíndrico Parabólico con Aplicación al Sector Rural Marginal. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de la Ciencias de la Energía y Mecánica. 2006.
- DUFFIE, J. A. y BECKMAN, W. A., Solar Energy Thermal Processes, Primera ed. Nueva York, 1974.
- FERNANDEZ S, JM y RODRIGUEZ V. Energía Solar Térmica en la Edificación. Primera Ed. España. AMV Ediciones. 2004. pp 249-273.
- HOLMAN J, P. Thermodynamics. 4ta. Ed. McGraw-Hill.
- INCROPERA, F y DE WITT, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice-Hall. 1999.
- JONES, J.B y DUGAN R. E. Ingeniería Termodinámica. Traducido por Ricardo Cruz Quintana. México. PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA. 1995. p 934
- KREITH, F. Y BOHN, M. Principios de Transferencia de Calor. 6ta. Ed. Thompson – Learning.

- MEGYESY E. F. Pressure Vessel Handbook. 12va. Ed. Pressure Vessel Publishin, Inc. p280.
- PERRY, J. H. Chemical Engineers' Handbook. 4ta. Ed. New York. McGraw-Hill. 1693. pp 3-154.
- PILATOWSKY, I y GARCIA O. Seminario Energía Solar y Refrigeración. Coordinación de Refrigeración y Bombas de Calor, Departamento de Sistemas Energéticos UNAM. Organizado por: Corporacion para la Investigación Energética (CIE) Red Iberoamericana de Refrigeración y Aire Acondicionado Solar (CYTED). Quito, Ecuador. 2004.
- POHLMANN W. Manual de Técnica Frigorífica. Cap VII. p 136.
- RAPIN, P y JACQUARD P. Formulario del Frío. Editores Alfaomega. 2001. pp 69-79.
- RAPIN, P. J. Instalaciones Frigoríficas. Traducción José Alarcón Creus. España. Boixareu Editores. 1978. pp 267-268.
- ROY, J. D. Principios de Refrigeración. Traducido del inglés por Armando Garza. 17ma ed. México. Compañía Editorial Continental. 1997. pp 527-529.
- SHORT, B. E. et al. Engineering Thermodynamics. USA. Harper & Brothers Publishers. pp 445-453.
- STOECKER W. Refrigeración y Acondicionamiento de Aire. Traducido por José Seijas Domínguez. Ediciones Castill. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. pp 180-192.

- VAN WYLEN, G y SONNTAG R., Fundamentos de Termodinámica, 2da. Ed. Mexico. Limusa 1999. pp 834-835.
- WOOLRICH, W.R. Handbook of Refrigerating Engineering. 4ta. Ed. USA. The AVI Publishing Company. 1965. pp 327-353.

## WEB CONSULTADAS

- Apéndice B: Datos de Materiales.  
<http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/ambiente/antesol/TESIS/B-Mater.pdf>
- Carta Topográfica de Sangolquí.  
[http://www.igm.gov.ec/productos/cartabase/enie/ENIEIII\\_B3.htm](http://www.igm.gov.ec/productos/cartabase/enie/ENIEIII_B3.htm)
- COLECTORES DE CONCENTRACIÓN DE MEDIA TEMPERATURA.  
<http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/solar/PDFs/Solar4.pdf>
- ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.  
<http://www1.ceit.es/asignaturas/tecener1/FormulasSolarTermica.pdf>
- Formulas de Energía Solar Térmica. Universidad de Navarra.  
<http://www1.ceit.es/asignaturas/tecener1/FormulasSolarTermica.pdf>
- Hermosillo, J et al. Notas sobre el Curso de Energía Solar. Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (División Ingeniería). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.  
[http://www.solartronic.com/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/curso\\_itesopdf](http://www.solartronic.com/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/curso_itesopdf)
- LOS SISTEMAS DE ABSORCIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.  
[http://www.riraas.net/documentacion/CD\\_04/Sistemaseyec.HERNANDEZ.pdf](http://www.riraas.net/documentacion/CD_04/Sistemaseyec.HERNANDEZ.pdf)

- Manuel Silva Pérez. Sistemas termosolares de concentración. Grupo de Termodinámica y Energías Renovables. Curso 2004/2005.  
<http://www.esi.us.es/php/infgen/aulav/energrenov/ER-STC-04-05.pdf>
  
- Pilatowsky I. y Best R. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO.  
[http://www.riraas.net/documentacion/CD\\_03/PONENCIA01.pdf](http://www.riraas.net/documentacion/CD_03/PONENCIA01.pdf)
  
- R.E. Gaia - H.Bessone y A. Cortés. ENERGÍA SOLAR PARA REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA.  
<http://mail.inenco.net/~asadedit/avermas/averma3/03-17.pdf>
  
- Radiación solar. Español. 14 - 06 - 2004.  
[http://www.sky.net.co/energia/FV\\_Anexo4.PDF](http://www.sky.net.co/energia/FV_Anexo4.PDF)
  
- RADIACION SOLAR.  
[http://sky.net.co/energia/H\\_Cap3\\_Radiacion.PDF](http://sky.net.co/energia/H_Cap3_Radiacion.PDF)

## **ANEXOS.**

- Anexo 1 : Planos Constructivos.
- Anexo 2 : Diagrama de Procesos.
- Anexo 3 : Gráfico Temperatura vs. Distancia
- Anexo 4 : Datos de Heliofanía. INAMHI
- Anexo 5 : Guía de Laboratorio.
- Anexo 6 : Datos de Materiales
- Anexo 7 : Programa Controlador de Temperatura
- Anexo 8 : Fotos.