



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**INSTITUCIÓN:**

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO TECNOLÓGICO**

**DISEÑO DE UN CAMPO SOLAR DE CAPTADORES  
CILINDROPARABÓLICOS (CCP) DE GENERACIÓN  
DIRECTA DE VAPOR**

**RESIDENTE**

**JOSUÉ HERNÁNDEZ CANCINO**

M.C. Lenin Russell Suárez Aguilar

Dra. Sara Lilia Moya Acosta

Nombre del asesor interno

Nombre del asesor externo

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 11 de Julio del 2016

# Índice de contenido

## Tabla de contenido

<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción</b>	1
1.1	<b>Introducción</b>	2
1.2	<b>Justificación</b>	3
1.3	<b>Revisión bibliográfica</b>	5
1.4	<b>Objetivos</b>	7
1.4.1	Objetivos generales.	7
1.4.2	Objetivos específicos.	7
1.5	<b>Problemática a resolver</b>	7
<b>Capítulo 2</b>	<b>Energía solar</b>	8
2.1	<b>El sol</b>	9
2.2	<b>Tipos de radiación solar</b>	10
2.3	<b>Energía solar</b>	11
2.4	<b>Antecedentes de la energía solar</b>	12
2.5	<b>Tipos de instrumentos para medir la radiación solar</b>	13
2.6	<b>Sistemas térmicos solares</b>	16
2.7	<b>Captador solar cilindro parabólico</b>	18
2.7.1	Reflector del cilindro parabólico	18
2.7.2	Tubo absorbedor o receptor	19
2.7.3	Sistema de seguimiento solar	20
2.7.4	Estructura metálica	20
2.8	<b>Pérdidas en un captador cilindro parabólico</b>	20
2.8.1	Pérdidas ópticas	21
2.8.2	Pérdidas térmicas	22
2.8.3	Pérdidas geométricas	23
2.9	<b>Rendimiento de un captador solar cilindro parabólico</b>	23
2.9.1	Rendimiento óptico	23
2.9.2	Rendimiento global	24
2.9.3	Rendimiento térmico	24
2.9.4	Modificador de ángulo de incidencia	24
<b>Capítulo 3</b>	<b>Planteamiento de escenario</b>	25
3.1	<b>Planteamiento del escenario</b>	26

<b>3.2 diseño del campo solar cilindroparábólico .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Propuesta del captador cilindroparábólico.....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Condiciones de operación del sistema.....</b>	<b>30</b>
<b>Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Conclusiones .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Recomendaciones .....</b>	<b>51</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>52</b>

## Índice de figuras

FIGURA 1. ENERGÍAS RENOVABLES EXISTENTES. ....	3
FIGURA 2. CICLO DE VIDA DEL SOL. ....	9
FIGURA 3. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR ....	11
FIGURA 4. CENTRAL TERMOSOLAR. ....	12
FIGURA 5. PIRANÓMETRO. ....	13
FIGURA 6. PIRHELIÓMETRO ABSOLUTO. ....	14
FIGURA 7. ACTINÓGRAFO. ....	14
FIGURA 8. HELIÓGRAFO ....	15
FIGURA 9. COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS. ....	16
FIGURA 10. SISTEMAS DE RECEPTOR CENTRAL. ....	17
FIGURA 11. DISCOS PARABÓLICOS ....	17
FIGURA 12. PARTES DE UN CAPTADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO. ....	18
FIGURA 13. TUBO ABSORBEDOR DE VACÍO DE UN CCP. ....	19
FIGURA 14. ORIENTACIONES DE LOS CAPTADORES CILINDROPARABOLICOS. ....	20
FIGURA 15. UBICACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN LOXICHA. ....	26
FIGURA 16. MAPA DE RADIACIÓN SOLAR EN MÉXICO ....	27
FIGURA 17. ESQUEMA LINEAL DEL CAMPO CILINDROPARABÓLICO. ....	27
FIGURA 18. ESQUEMA PARALELO DEL CAMPO CILINDROPARABÓLICO. ....	27
FIGURA 19. LOGOTIPO DE LA EMPRESA ABSOLICON. ....	28
FIGURA 20. RENDIMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA. ....	30

## Índice de Tablas

TABLA 1. FUENTE INEGI CENSO POBLACIONAL 2010.....	26
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL CAPTADOR ABSOLICON.....	29
TABLA 3. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE ENERO .....	31
TABLA 4. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	32
TABLA 5. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	32
TABLA 6. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	33
TABLA 7. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE FEBRERO.....	33
TABLA 8. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	33
TABLA 9. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	34
TABLA 10. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	34
TABLA 11. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE MARZO .....	34
TABLA 12. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	35
TABLA 13. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	35
TABLA 14. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	35
TABLA 15. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE ABRIL.....	36
TABLA 16. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	36
TABLA 17. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	37
TABLA 18. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	37
TABLA 19. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE MAYO.....	37
TABLA 20. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	38
TABLA 21. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	38
TABLA 22. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	38
TABLA 23. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE JUNIO.....	39
TABLA 24. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	39
TABLA 25. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	39
TABLA 26. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	40
TABLA 27. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE JULIO .....	40
TABLA 28. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	40
TABLA 29. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	41
TABLA 30. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	41
TABLA 31. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE AGOSTO.....	41

TABLA 32. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	42
TABLA 33. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	42
TABLA 34. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	42
TABLA 35. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE SEPTIEMBRE.....	43
TABLA 36. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	43
TABLA 37. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	44
TABLA 38. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	44
TABLA 39. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE OCTUBRE.....	44
TABLA 40. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	45
TABLA 41. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	45
TABLA 42. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	45
TABLA 43. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE NOVIEMBRE.....	46
TABLA 44. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	46
TABLA 45. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	47
TABLA 46. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	47
TABLA 47. ÁNGULOS DE INCIDENCIA EN EL MES DE DICIEMBRE.....	47
TABLA 48. CALCULO DE POTENCIA SOLAR A LO LARGO DEL DÍA Y HORAS SELECCIONADAS.....	48
TABLA 49. POTENCIA QUE GANARA EL FLUIDO A LO LARGO DEL DÍA, EFICIENCIA TÉRMICA COMO GLOBAL.....	48
TABLA 50. CANTIDAD DE COLECTORES NECESARIOS PARA GENERAR LOS 100kW EN EL MES, CON POTENCIA MÁXIMA, MÍNIMA Y PROMEDIO.....	48

# **Capítulo 1**

# **Introducción**

## 1.1 Introducción

En nuestros días vivimos casi dependiendo del uso de la energía eléctrica ya sea desde iluminación en nuestros hogares hasta para los procesos industriales para la fabricación de alimentos u otros servicios de los cuales nosotros como personas necesitamos. Sin embargo aún hay partes en nuestro país en donde no se dispone aún de la energía eléctrica y se usan otros métodos como la quema de leña para obtener calor e iluminación. Que a su vez genera problemas de salud al estar en constante acercamiento a estos gases que se liberan de la combustión de la leña.

En relación a la energía eléctrica es que en nuestros días para la obtención de ella en la mayoría de las ocasiones se tiene que quemar combustibles fósiles para ya sea mover una turbina un motor de combustión interna que genera energía eléctrica, que estos son muy dañinos hacia el medio ambiente contaminándolo ya que al quemar combustibles fósiles se liberan grandes cantidades de monóxido de carbono que ataca principalmente a la atmosfera que nos protege de la radiación solar y también que contribuye al calentamiento global y cambios climáticos que estamos sufriendo, también por otra parte si es inhalado por los seres vivos trae consecuencias graves ala salud, también estos combustibles no son renovables que quiere decir que no siempre podremos de disponer de ellos.

Por esto se propondrá un sistema de un campo solar de captadores cilindroparábolicos (CCP) de generación directa de vapor, para así no consumir quemar combustibles fósiles para la obtención de energía eléctrica y proveer vapor para ciertas industrias que necesitan vapor para sus procesos en la conversión de materias primas hasta un producto terminado, a este sistema se le acoplará uno que funcione con biogás obtenido a través de los nopales por qué la elección de nopales para tal caso, debido a que en gran parte de nuestro país la tierra es muy buena para la producción de los nopales, este acoplamiento tiene como fundamento que cuando las condiciones meteorológicas no sean benéficas para el campo de captadores Cilindroparábolicos entre en función el gas producido por los nopales para que pueda accionar turbinas que a la vez estas producirían la energía eléctrica para los diferentes usos.

## 1.2 Justificación

Hoy en día se tiene la preocupación de obtener energía mediante tecnologías que no contaminen o su impacto hacia el medio ambiente sea el mínimo, debido a la preocupación que se tiene actualmente al cambio climático que en nuestros días empezamos a sufrir a causa del deteriora-miento del medio ambiente, por ello el uso de energías no renovables ya no es una buena opción debido a que son agotables y muy contaminantes, se ha buscado el uso de energías renovables que también son una buena opción ya que de ellas podemos producir energía eléctrica, energía térmica, etc. Las energías renovables que el ser humano puede aprovechar son la radiación solar, viento, caídas de agua, biomasa, mareas y geotérmica que para nuestro caso nos enfocaremos en la energía solar (radiación solar). En la figura 1 podemos observar las fuentes actuales de energías renovables con las que contamos en nuestro planeta y el potencial que estas tienen para aprovecharlo y obtener energía eléctrica, como podemos observar la energía solar es una de las más grandes comparándola con las otras energías renovables.

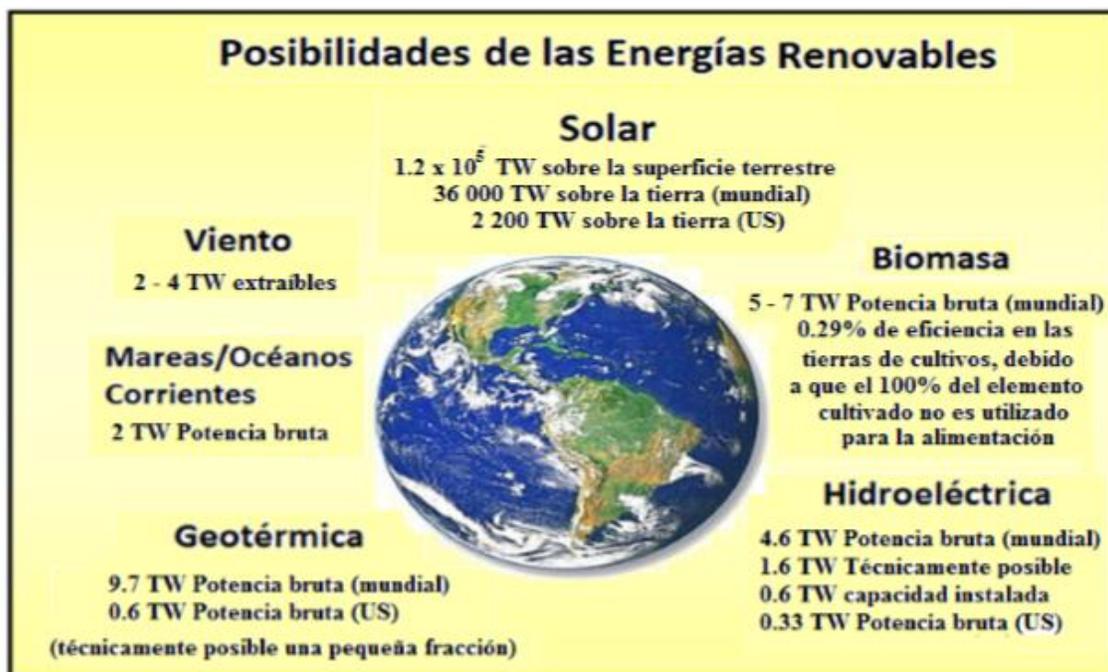


Figura 1. Energías renovables existentes Fuente: Benoit Cushman-Roisin. George Crabtree, División de Ciencia de los Materiales. Argonne National Laboratory. EEUU. Enero 2011.

En países como en Alemania, España, etc. Se está usando este recurso natural por medio de captadores solares para producir energía eléctrica y debido a que es en esta forma la energía eléctrica se abarata también los costos para el mantenimiento de las plantas debido a que no son muy exhaustivos como en las calderas para la obtención de vapor que posteriormente tendrá un proceso para la obtención de electricidad.

Por las justificaciones anteriores el trabajo se enfoca al diseño óptimo de un captador cilindro parabólico además un objetivo será para llevar electricidad a comunidades lejanas donde el tendadero eléctrico no llega para satisfacer las necesidades de dichas comunidades en el país, también el principal objetivo es el de generar vapor para los procesos industriales que lo requiera.

### **1.3 Revisión bibliográfica**

Se realizó un estudio de captadores cilindroparábolicos de diversas fuentes de consultas para tener de referencias de estudios previos, de estos se tomaron las fuentes de más interés para saber del comportamiento de los fenómenos físicos involucrados en la generación de vapor para proceso por medio de captadores cilindroparábolicos en primera instancia cabe hablar de las partes que componen los captadores cilindroparábolicos se compone de cuatro partes, la primera es el reflector cilindro parabólico que es el que capta la radiación solar y la transfiere al tubo absorbedor, la segunda que es el tubo absorbedor es el que se encarga de recibir la radiación proyectada y transferir esa radiación en forma de calor al fluido de trabajo que contiene en su interior, el tercer componente es la estructura metálica que se encarga de dar soporte a lo anterior y el cuarto componente es el seguidor solar que mueve al reflector y tubo absorbedor para una mayor captación de radiación solar, también se revisó un poco de literatura para poder realizar un acoplamiento de otro sistema al sistema de captadores y hacer híbrido el campo solar de captadores cilindroparábolicos con la finalidad de combinar los dos sistemas para la generación de energía eléctrica esto también ayudara para cuando las condiciones meteorológicas sean malas y eviten la radiación solar que alimenta de energía en forma de radiación al campo de captadores el sistema que se acopla funciona básicamente con biogás a través de una composta de nopales que hoy en día se está usando y dando buenos resultados en nuestro país ya que el gas alimenta a generadores de energía eléctrica que producen la electricidad. Después de la revisión bibliográfica previa que se seguirá realizando en todo el transcurso del proyecto puedo concluir el uso de estos sistemas son de vital importancia debido a que se dejaría de utilizar combustibles fósiles para ya sea calentar agua o producir energía eléctrica, esto ayudaría mucho al medio ambiente que debido a la explotación y uso de los combustibles fósiles y carbón mineral contaminan mucho, el sistema de captadores cilindroparábolicos junto con el de producción de biogás son muy efectivos debido a que si uno empieza a tener una baja eficiencia para lo que se pretende tendrá el subsidio del otro así juntamente se obtienen de los dos sistemas una buena eficiencia para la generación de energía

eléctrica y vapor de proceso, de igual manera con un sistema híbrido se reduciría el espacio que ocupa un campo solar convencional que llegan a ocupar una extensión de 400m<sup>2</sup> a 800 m<sup>2</sup> ya que muchas empresas no cuentan con espacios tan grandes para tener un campo solar y el proyecto también se pretende llevarlo a comunidades que no cuentan con energía eléctrica por ello es que se piensa un sistema híbrido que no ocupe mucho espacio para la instalación completa y genere electricidad para las comunidades.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivos generales.**

- 1.- Diseñar un campo solar por medio de captadores cilindroparabólicos para la producción de energía eléctrica.
- 2.- Proponer el diseño del campo solar.
- 3.- Seleccionar una marca de captadores cilindroparabólicos para realizar cálculos de eficiencias y potencias.

### **1.4.2 Objetivos específicos.**

- 1.- Elegir una comunidad con escasas de energía eléctrica.
- 2.- Proponer la cantidad de paneles a usar para generar 100kW.
- 3.- Investigar si la radiación incidente en la comunidad elegida es buena para proponer allí el campo solar cilindroparabólicos.

## **1.5 Problemática a resolver**

- 1.- Proveer de energía eléctrica a comunidades en donde no cuenten con electricidad para sus actividades.
- 2.- Sustituir la forma convencional de la obtención de vapor para procesos industriales que se hacen a través de la quema de algún combustible fósil o gas natural.
- 3.- Reducir los costos que normalmente se generan para generar energía eléctrica y vapor de proceso industrial.

# Capítulo 2

## Energía solar

## 2.1 El sol

Esta estrella se formó hace 4650 millones de años y se considera que tiene combustible para vivir 5000 millones más. Después de esta cantidad de años, comenzará a hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso y se convertirá en una enana blanca, que este proceso puede tardar un trillón de años para que se logre enfriarse. Este ciclo de vida es representado en la figura 2.

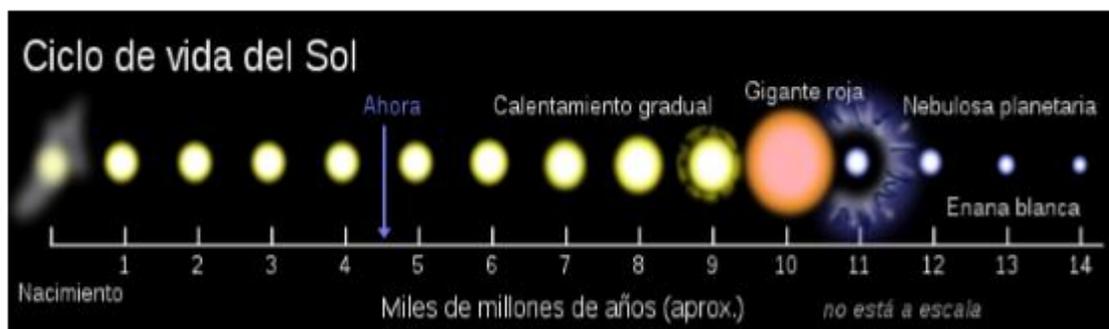


Figura 2. Ciclo de vida del sol Fuente: Future Human. Artículo: La muerte del sol.

La radiación o energía solar, como su nombre indica tiene como su fuente primaria al sol y esta tiene su origen en su mismo interior. Aquí la temperatura alcanza ( $15 \cdot 10^6$  °C) y la presión ( $340 \cdot 10^9$  veces la presión del aire en la Tierra al nivel del mar) son tan intensas que se llevan a cabo las reacciones nucleares. Estas reacciones causan núcleos de cuatro protones o hidrógeno para fundirse juntos y formar una partícula alfa o núcleo de helio. La partícula alfa tiene cerca de 0.7 % menos masa que los cuatro protones. La diferencia en la masa es expulsada como energía y es llevada a la superficie del sol, a través de un proceso conocido como convección, donde se liberan luz y calor. La energía generada en el centro del sol tarda un millón de años para alcanzar la superficie del sol. Cada segundo se convierten 700 millones de toneladas de hidrógeno en cenizas de helio. En este proceso se liberan 5 millones de toneladas de energía pura; por lo cual, el sol cada vez se vuelve más ligero. La generación de energía proviene, por tanto, de la pérdida de masa del sol, que se convierte en energía de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein,  $E = mc^2$ , donde E es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa m y c es la velocidad de la luz

El sol contiene más del 99% de toda la materia del sistema solar. Ejerce una fuerte atracción gravitatoria sobre los planetas y los hace girar a su alrededor.

## **2.2 Tipos de radiación solar**

**Radiación solar directa:** Es la radiación solar recibida en la superficie terrestre sin que sufra ningún cambio de dirección en su recorrido del sol a la superficie de la tierra.

**Radiación solar difusa:** es la radiación que llega a la superficie de la tierra con un cambio de dirección al pasar por la atmósfera terrestre. Este desvío de los rayos solares, se puede producir por el choque directo con ciertas moléculas y partículas contenidas en el aire, por este motivo, los rayos solares no tienen una dirección directa. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul.

**Foco lambertiano:** Se denomina a la superficie emisora cuya radiancia no varía en función del ángulo de observación. Un trozo de papel blanco grueso, si es iluminado por luz solar difusa, representa una buena aproximación a un foco lambertiano, ya que el brillo del papel percibido visualmente no varía con el ángulo de observación que la persona haga.

**Radiación solar de albedo o también conocida como radiación terrestre:** Es la procedente de la reflexión del suelo, o más bien dicho la que se refleja por los objetos como una pared blanca el agua, etc. En la figura 3 podemos observar de modo ilustrativo algunos tipos de radiación que ya hemos mencionado.

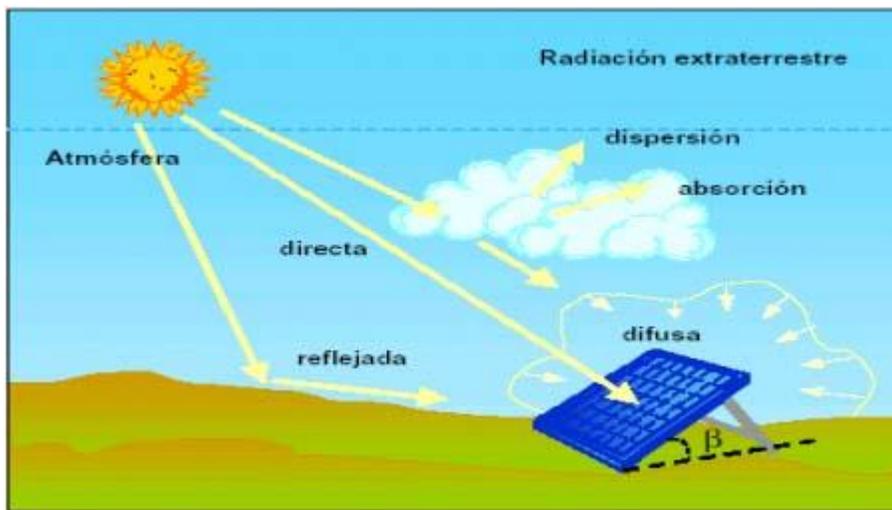


Figura 3. Tipos de radiación solar Fuente: <http://www.oocities.org/imosolar/cont-7.htm>

## 2.3 Energía solar

El uso de la energía solar no es algo nuevo, desde hace varios siglos ya era utilizada para diferentes funciones tales como para calentar agua y hasta para secar alimentos. Pero con la llegada de la revolución industrial fue sustituida por el petróleo.

Pero hoy en día con el alta del precio del petróleo y el impacto ambiental que este ha estado teniendo se está regresando al aprovechamiento de la energía solar. Tal vez si en la revolución industrial no se hubiera desechado el aprovechamiento de la energía solar hoy en día tal vez se tendría una tecnología avanzada para el aprovechamiento de este recurso natural.

Un ejemplo de como hoy en día se aprovecha la radiación solar. Es la energía termosolar (Fig.4) que transforma la energía solar en eléctrica. Las centrales termosolares funcionan a través de un ciclo termodinámico, que se compone de un conjunto de espejos (helióstatos), ubicados sobre un terreno y orientados adecuadamente para que reflejen la radiación solar que incide sobre ellos, toda esta radiación se concentra a un receptor, de manera que toda la energía se transporta al mismo tiempo.



*Figura 4. Central termosolar Fuente: Solarweb.Net.*

## **2.4 Antecedentes de la energía solar**

En 1887, a través de varios experimentos Heinrich Hertz logró producir celdas fotovoltaicas que transformaban la luz en electricidad

En 1893, el físico francés Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico, notó que algunos materiales transformaban la luz en corriente eléctrica.

No podía faltar Albert Einstein en la historia de la energía solar, pues en 1905 habló sobre el efecto fotoeléctrico, asociándolo con la generación de electricidad en las células solares.

El procedimiento de Czochralski (método para obtener cristales de silicio de alta pureza) hizo que la comercialización fotovoltaica aumentara de nivel. En 1954 los científicos de los Laboratorios Bell (Murray Hill, NJ D.M. Chapin, C.S. Fuller, y G.L) lograron fabricar la primera célula solar de silicón capaz de crear una corriente eléctrica regulable.

Durante la guerra fría las células solares tuvieron su aplicación en aviones y satélites.

En 2002, en Japón se instalaron 25000 paneles solares en los techos de las viviendas expandidas por todo el país.

En 2003, las inversiones en energía solar y eólica superaron los 20 000 millones de dólares al año.

Para el año 2009 había más de 20000 MW fotovoltaicos instalados por todo el mundo (potencia teórica de 20 grupos de centrales nucleares).

## 2.5 Tipos de instrumentos para medir la radiación solar

Para medir la cantidad de radiación solar se utilizan varios instrumentos solares como pueden ser los piranómetros o solarímetros y los pirheliómetros. Según las características de cada instrumento pueden servir para medir la radiación solar global (directa más difusa), la directa (procedente del rayo solar), la difusa y el brillo solar.

**Piranómetro:** este instrumento es capaz de medir radiación directa, difusa y global, Figura. 5.



Figura 5. Piranómetro fuente: IDEAM

**Pirheliómetro absoluto:** Son Instrumentos que miden la radiación solar directa, se calibran por ínter comparación con un Pirheliómetro de cavidad absoluta, figura 6



*Figura 6. Pirheliómetro absoluto fuente: IDEAM*

**Actinógrafo:** es un instrumento para registrar la radiación global que funciona mediante un sensor termo mecánico, protegido por una cúpula en vidrio, figura 7.



*Figura 7. Actinógrafo fuente: IDEAM*

**Heliógrafo:** es un instrumento registrador que proporciona las horas de sol efectivo en el día (insolación o brillo solar). Registra los periodos de tiempo de radiación solar directa que superan un valor mínimo, figura 8.



*Figura 8. Heliógrafo fuente: IDEAM*

## 2.6 Sistemas térmicos solares

El principal componente de cualquier sistema de energía solar es el colector o captador solar. Los colectores de energía solar son tipos especiales de intercambiadores de calor que transforman la energía captada de la radiación solar en energía interna y dicha energía la transfieren a un medio de transporte (por lo general agua, aceite o aire) que fluye a través del colector. Las aplicaciones del aprovechamiento solar pueden ser directas, en forma de calor, o bien indirectas, utilizando este calor para obtener trabajo mecánico en un eje y finalmente electricidad este último es el uso que nos interesa de los captadores que la energía solar la transformemos en electricidad. Esta tecnología no es nueva desde mucho tiempo atrás era usada pero con la revolución industrial se desechó ya que en aquel tiempo se pensaba que sería una fuente inagotable pero como lo hemos visto los hidrocarburos son una fuente agotable y muy contaminante al medio ambiente entre las tecnologías existentes hay tres que se destacan por su grado de desarrollo que han tenido últimamente los cuales son: los sistemas de colectores cilindro parabólicos (CCP) figura 9, los sistemas de receptor central (SRC) figura 10 y los discos parabólicos (DP) figura 11.



*Figura 9. Colectores cilindro parabólicos. Fuente Greenpeace*

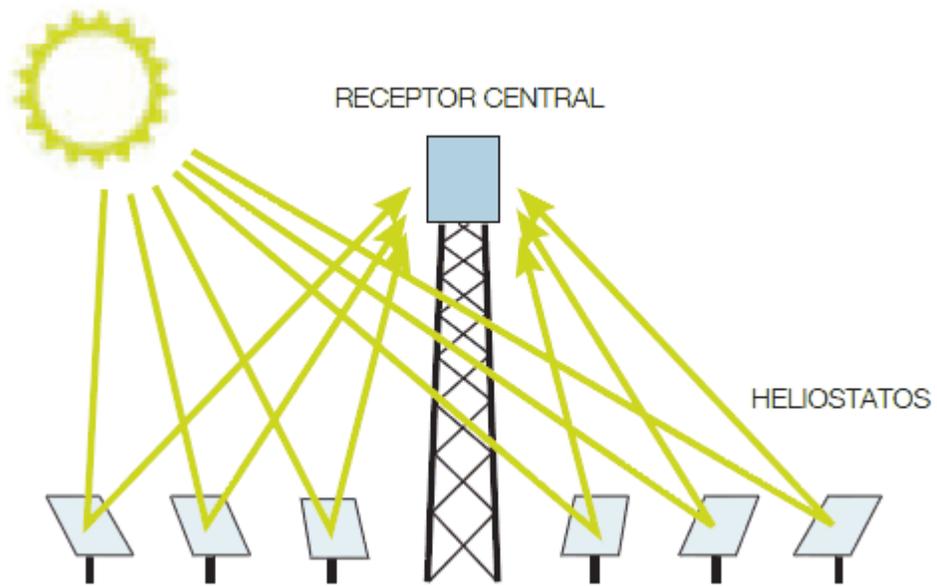


Figura 10. Sistemas de receptor central. Fuente (<http://www.adrformacion.com/cursos/solarter/leccion1/tutorial5.html>)

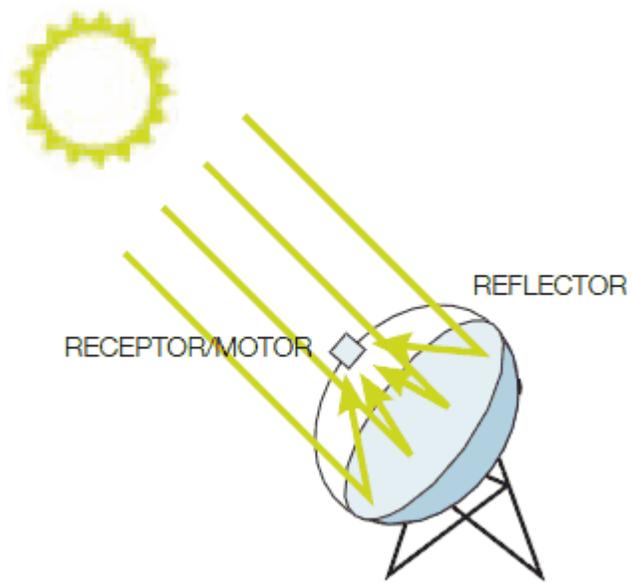


Figura 11. Discos parabólicos. Fuente Greenpeace

## 2.7 Captador solar cilindro parabólico

Para este caso la investigación se basa solo en un sistema térmico, que es el de captadores solares cilindro parabólicos (CCP) que se componen de cuatro partes principales.

- Reflector cilindro parabólico
- Tubo absorbedor.
- Sistema de seguimiento solar
- La estructura metálica

### 2.7.1 Reflector del cilindro parabólico

Su función de un reflector es el de concentrar primeramente y después reflejar sobre el receptor la radiación solar directa proveniente del sol. Es un espejo curvado que forma una parábola de modo que concentra sobre su línea focal toda la radiación reflejada del sol el material para su construcción varía de acuerdo a las necesidades los materiales más usados podemos encontrar plásticos cubiertos con películas de plata y aluminio entre otros pero en la industria los más usados son los vidrios con base de pinturas epoxi figura 12.

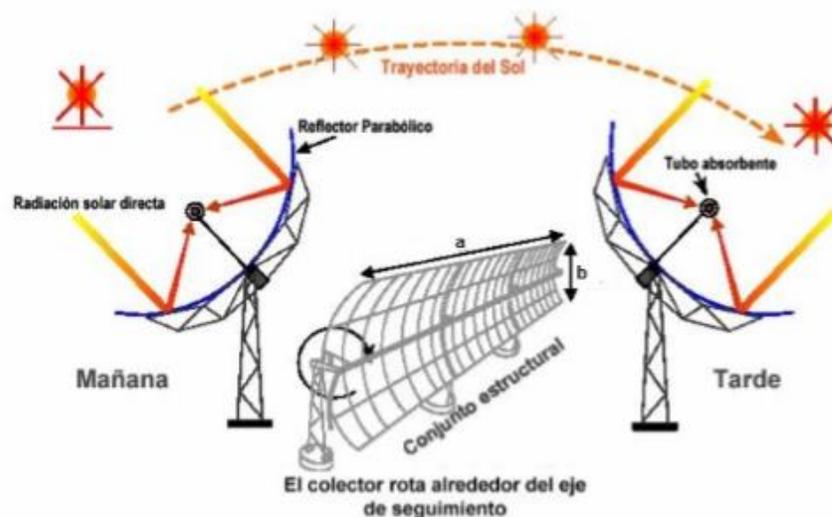


Figura 12. Partes de un captador solar Cilindro parabólico. Fuente Greenpeace

## 2.7.2 Tubo absorbedor o receptor

El tubo absorbedor (Figura 13) es una de las partes fundamentales del sistema ya que este es el encargado de absorber la radiación para suministrarla al fluido de trabajo que se esté ocupando este está compuesto de dos tubos el interior es un tubo metálico por donde circula el fluido para que se caliente y el tubo exterior es de vidrio que este sirve para proteger el recubrimiento selectivo del tubo metálico y también para las condiciones climáticas del medio ambiente estos dos están unidos entre sí por una soldadura especial de metal-cristal.

Entre el tubo de metal con el tubo de cristal hay una separación que esta al vacío a  $10^{-4}$ Pa (alto vacío) para evitar pérdidas por conveccion-conduccion y así elevar la eficiencia del sistema. El tubo interior es un tubo de acero recubierto de un material selectivo que pueden ser películas de cromo, níquel o cobalto negro, ya estos elementos poseen una buena absorptividad y una emisividad baja. Posee una elevada absorptividad ( $>90\%$ ) y una baja emisividad en el espectro infrarrojo ( $<30\%$ ); por el interior de este tubo metálico circula el fluido de trabajo que es el fluido que se calienta.

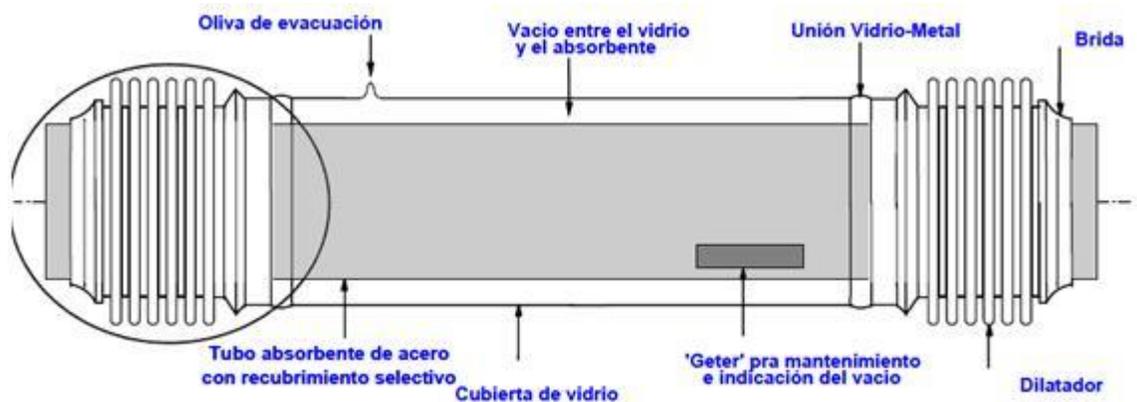


Figura 13. Tubo absorbedor de vacío de un CCP (Zarza, 2003).

### 2.7.3 Sistema de seguimiento solar

El sistema de seguimiento solar en un captador cilindro parabólico consiste en un dispositivo que hace girar los reflectores al transcurso del día para aprovechar al máximo la radiación solar sobre toda la superficie captadora.

Por lo general los captadores Cilindroparabólicos se instalan de forma que si giro quede orientado en dirección de norte-sur o este-oeste dependiendo del desplazamiento del sol a lo largo del día en la ubicación que vaya a tener el campo solar en la figura 14 podemos apreciar el sistema de seguimiento solar.

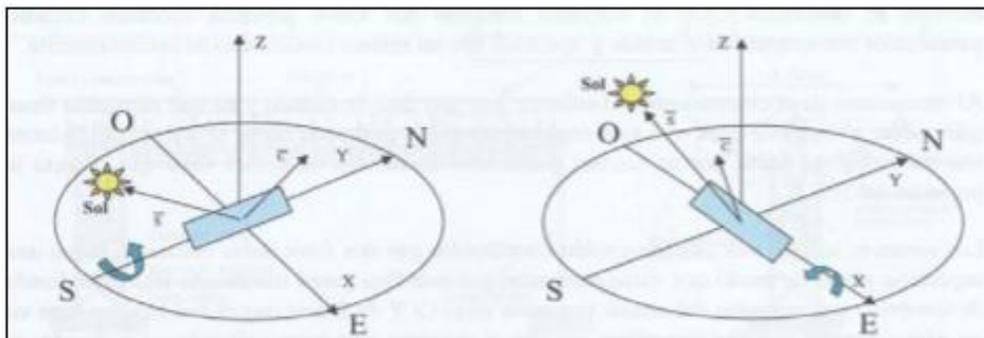


Figura 14. Orientaciones de los captadores cilindroparabólicos (Zarza, 2003).

### 2.7.4 Estructura metálica

La función de una estructura en un sistema de captadores Cilindroparabólicos consiste en dar rigidez y soporte al conjunto de elementos que lo componen, todos los colectores cilindro parabólicos actuales usan estructuras metálicas, que en algunos casos son del tipo espacial y en otros casos están fabricados con perfiles llenos dependiendo el peso del conjunto de los colectores

## 2.8 Pérdidas en un captador cilindro parabólico

Por factores de diseño y otros factores mas no toda la radiación solar se puede aprovechar en un colector parabólico estas pérdidas de pueden dividir en tres tipos de pérdidas las cuales son.

- Pérdidas ópticas

- Pérdidas térmicas
- Pérdidas geométricas

### 2.8.1 Pérdidas ópticas

Cuando se refiere a las pérdidas ópticas de un captador solar Cilindroparabólicos se refieren a las cuestiones geométricas o propiedades físicas estas imperfecciones, provocan que solo una parte de la radiación solar directa que llega al concentrador parabólico llegue al tubo receptor ya que desde un principio el concentrador no tiene un 100% de aprovechamiento, ya que los diferentes materiales que se utilizan en su fabricación no tienen una reflectividad perfecta y el tubo absorbedor no tiene propiedades perfectas de absorción. Podemos mencionar 4 factores que intervienen en las pérdidas ópticas.

1.- Reflectividad de la superficie del concentrador. Algunos autores la manejan como “ $\rho$ ” o también como “ $r$ ”, son debidas a que los elementos propios del colector no son perfectos en reflejar los rayos solares y una fracción de radiación solar reflejada no se aprovecha o no logran llegar a la cubierta de cristal del tubo absorbedor, por el mal posicionamiento del colector también puede surgir este problema y el ultimo se da por la suciedad progresiva de los reflectores. El valor que se le da a este problema es el de  $\pm 90\%$ .

2.- Factor de interceptación. Se denota por el símbolo “ $\gamma$ ”, pueden ser imperfecciones microscópicas o macroscópicas de los espejos o errores de posicionamiento del colector o por el sistema de seguimiento, incluso el bloqueo que pueden suponer los soportes del tubo absorbedor en valor que se le da a este parámetro es el de  $\pm 95\%$ .

3.- transmisibilidad de la cubierta de cristal. Este parámetro se denota por “ $\tau$ ”, es la parte reflejada que alcanza la cubierta del tubo absorbedor pero no es capaz de atravesar la cubierta de cristal. La razón entre la radiación que pasa a través de la cubierta de cristal y la radiación total sobre ella nos da la transmisibilidad. El valor

de este parámetro es 90% a 95%, dependiendo de que el cristal haya sido objetivo de un tratamiento anti reflexivo o no de ahí depende un poco.

4.- Absortividad. Este parámetro nos cuantifica la cantidad de radiación incidente sobre la superficie selectiva que ésta puede absorber. El valor de la absortividad está en el rango 90-96%.

## 2.8.2 Pérdidas térmicas

Las pérdidas térmicas se dan principalmente en dos lugares: en el tubo absorbedor y en la tubería de fluido térmico, siendo de mayor importancia las generadas en el tubo absorbedor.

Las pérdidas se producen por radiación, convección y conducción, ya sea que el calor se disipe a la cubierta de cristal y del cristal al medio ambiente, también ocurren cuando la temperatura del tubo es muy grande a comparación de la temperatura del medio ambiente. Aunque cada una de las pérdidas asociadas en este caso se puede calcular de forma independiente según las ecuaciones de transferencia de calor, en la práctica las pérdidas térmicas totales se engloban solamente en un único coeficiente global.

$$Q_L = Q_{radiación} + Q_{conducción/convección} = U_L * \pi * D * L(T_{abs} - T_{amb}) \quad (\text{Ec.1})$$

En donde:

$T_{abs}$  = Es la Temperatura media del tubo absorbente metálico.

$T_{amb}$  = Es la temperatura del medio ambiente.

D= Diámetro exterior del tubo metálico absorbente.

L = Longitud del tubo metálico.

El parámetro  $U_L$  es un valor del coeficiente global de pérdidas, es un dato experimental que el fabricante facilita. Para un CCP con tubo absorbente de vacío es de unos  $(4) \left( \frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right)$  para temperaturas de entorno a los 350°C.

### 2.8.3 Pérdidas geométricas

Las pérdidas geométricas provocan que el área efectiva de captación solar de los colectores disminuya. En un captador cilindro parabólico se dividen en dos tipos de pérdidas, la primera es debida a la posición relativa de los colectores entre sí los cuales se pueden dar sombra unos a otros cuando se colocan en filas paralelas, y las segundas son aquellas inherentes a cada captador que son motivo del ángulo de incidencia, el cual provoca que en los extremos del colector haya una pérdida de superficie reflexiva útil el ángulo de incidencia afecta los valores de la reflectividad, absorptividad y transmisibilidad.

## 2.9 Rendimiento de un captador solar cilindro parabólico

Ya mencionadas y descritas las características físicas y los tipos de pérdidas del captador cilindro parabólico se continuara con el rendimiento de estos equipos el hecho de que existan perdidas geométricas ópticas y térmicas hacen que la potencia del sistema sea menor al ideal pero con esto no quiere decir que sean sistemas obsoletos ya que aun con las pérdidas que tienen estos sistemas siguen siendo muy ambiciosos para el aprovechamiento de la energía solar.

En un colector solar Cilindroparabólicos se presentan tres rendimientos y un parámetro que a continuación describiremos y calcularemos estas potencias

### 2.9.1 Rendimiento óptico

El rendimiento óptico " $n_{opt,0^\circ}$ " es valor que el fabricante del producto incluye este valor engloba reflectividad de los espejos, transmisibilidad del tubo de vidrio, el factor de intercepción y la absorptividad

La ecuación para calcular el rendimiento óptico es

$$n_{opt,0^\circ} = r * \gamma * \tau * \alpha \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$r = \text{Reflectividad de la superficie del concentrador}$

$\gamma =$  Factor de interceptación

$\tau =$  Transmisividad de la cubierta de cristal

$\alpha =$  Absortividad

## 2.9.2 Rendimiento global

El rendimiento global  $\eta_{global}$  considera todas las pérdidas que se presenta entre la potencia que se obtiene por la radiación sobre los captadores hasta la potencia útil generada por el cambio energético en el fluido de trabajo, dicho de otra manera considera todas las perdidas, tanto ópticas, geométricas y térmicas el rendimiento global queda referenciado con la ecuación.

$$\eta_{global} = \frac{P_{colector}}{Q_{solar}} \quad (\text{Ec. 3})$$

## 2.9.3 Rendimiento térmico

El rendimiento térmico " $\eta_{th}$ " Considera todas las pérdidas térmicas que tienen lugar en el colector y depende directamente de la temperatura de trabajo del tubo absorbedor, de modo que alcanza su valor más alto cuando la temperatura del tubo absorbedor es igual al del medio ambiente la ecuación del rendimiento térmico vendría dada de la siguiente forma.

$$\eta_{th} = \eta_0 - a_1 \left( \frac{\Delta T}{G} \right) - a_2 \left( \frac{\Delta T}{G} \right)^2 \quad (\text{Ec. 4})$$

En donde:

$\eta_0 =$  coeficiente de perdida.

$a_1 =$  coeficiente de perdida de calor.

$\Delta T =$  diferencia de temperatura entre el ambiente él y el tubo absorbedor

$G =$  radiación en el captador

$a_2 =$  coeficiente de perdida de calor.

## 2.9.4 Modificador de ángulo de incidencia

El modificador por ángulo de incidencia, K, depende directamente del ángulo de incidencia, siendo  $K=1$  para  $\varphi = 0^\circ$ , y  $K=0$  para  $\varphi = 90^\circ$ . El valor de K se da como una función  $K=K(\varphi)$  que se determina experimentalmente. Este valor es un valor muy importante que puede variar de un colector a otro.

# **Capítulo 3**

# **Planteamiento**

# **de escenario**

### 3.1 Planteamiento del escenario

Se eligió el estado de Oaxaca por que se encuentra en uno de los estados que más necesidad tiene de energía eléctrica según fuentes de la INEGI, también porque es uno de los estados que tiene una elevada radiación solar.

Tabla1. Fuente INEGI censo poblacional 2010

	Total	No disponen de energía eléctrica	Disponen de energía eléctrica	No especificado
Oaxaca	934,055	48,857	881,250	3,948
San José Tenango	4,434	1,385	3,021	28
San Agustín Loxicha	4,366	1,006	3,295	65
San Juan Bautista Tuxtepec	40,968	856	39,949	163

De estos cuatro municipios se elegirá a san Agustín Loxita ya que por su ubicación tiene más radiación solar que los otros municipios de Oaxaca como observamos en la figura 15 y 16, su altitud está a 1757 metros sobre el nivel del mar la radiación promedio es mayor a  $600 \text{ W/m}^2$



Figura 15. Ubicación del municipio de San Agustín Loxicha fuente: google INEGI

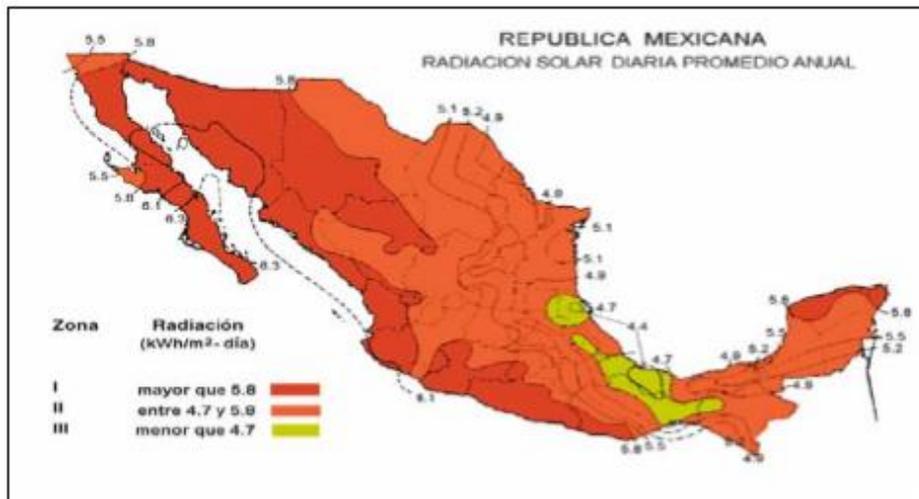


Figura 16. Mapa de radiación solar en México Fuente Instituto de investigaciones eléctricas

### 3.2 diseño del campo solar cilindroparabólico

Común mente se utilizan dos tipos de diseños para un campo solar cilindroparabólico, en forma lineal (figura 17) y en paralelo (Figura 18), para nuestro caso ocuparemos un diseño de un solo paso lineal ya que la potencia que necesitamos es mínima a comparación de campos solares que generan energía eléctrica para ciudades ya que el nuestro es para aplicaciones rurales, el fluido se hará circular y conforme valla en su recorrido este ira ganando calor hasta convertirse en vapor que luego pasara a una turbina donde se producirá la energía eléctrica.

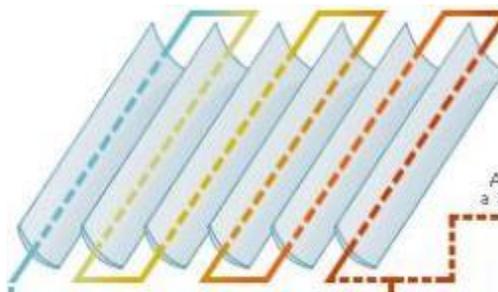


Figura 17. Esquema lineal del campo cilindroparabólico. Fuente <http://energiasolar44.blogspot.mx/>

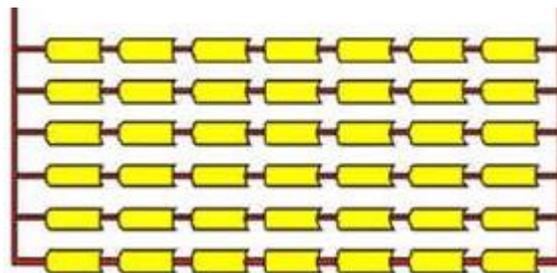


Figura 18. Esquema paralelo del campo cilindroparabólico. Fuente <http://renewablengineering.blogspot.mx/2011/05/planta-solar-termoelectrica-de-50-mw.html>

Con la ayuda del software RELAP5 después de saber la cantidad de paneles que ocuparemos para el diseño del campo solar, se procederá a programar ya que el programa funciona con un documento de texto con formato .i donde especificamos las longitudes de los tubos absorbedores, la cantidad de radiación que reciben, la apertura del foco reflector, tipo de fluido de trabajo, este programa nos arroja un documento de texto con formato .r donde nos muestra eficiencias globales de los tubos absorbedores y también cómo se comporta a lo largo de la tubería el fluido de trabajo.

### 3.3 Propuesta del captador cilindroparabólico

El diseño se pretende llevar a zonas rurales apartadas del tendadero eléctrico se pretende abastecer 100kW como estaba considerado inicialmente en los objetivos, se tendrá que seleccionar un colector cilindro parabólico que nos pueda proveer de la cantidad de energía eléctrica que necesitamos para abastecer de electricidad a la comunidad que se eligió en base a su radiación solar y escasas de energía eléctrica, analizaremos un captador cilindroparabólico que ya existen en el mercado que más se ajusten a nuestras necesidades previamente se consideró ante otros en base a sus eficiencias el equipo que se eligió es un equipo que podemos adquirir en el mercado.

El equipo que se eligió es de una empresa sueca llamada absolicon solar figura 17 el modelo de los captadores es absolicon T160



*Figura 19. Logotipo de la empresa absolicon Fuente: absolicon.es*

Las características del captador cilindro parabólico a usar son las siguientes:

Tabla 2. Características del captador absolicon

Superficie total	9.965 mm x 1.095 mm= 10.91 m <sup>2</sup>
Apertura	10.37 m <sup>2</sup>
Altura del colector	350 mm
Peso del colector	315 Kg
Material de sellado	Silicona
Material externo	Acero galvanizado lacado
Vidrio	Vidrio templado bajo en hierro de 4mm
Receptor	
Material	Aluminio/ revestimiento selectivo
Compensación de temperatura	Montaje sobre railes
Volumen de liquido	5 litros
Flujo recomendado	10 litros/min
Rendimiento solar	
Coef. Perd. Lineal b1	0.849 W/(m <sup>2</sup> .K)
Coef. Perd. Lineal b2	0.849 W/(m <sup>2</sup> .K)
Rendimiento óptico (laminar)	0.7
Rendimiento óptico (turbulento)	0.7
Coef perdidas- épsilon/alpha	0.003 W/(m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup> )
Capacidad térmica dinámica	63361 J/K
Superficie absorbedor	0.7 m <sup>2</sup>
Fracción radiación difusa	0.294%
Max. Presión	16 bar
Tubo absorbedor	
Longitud	9.965 m
Diámetro externo	22 mm
Diámetro interno	18 mm

Con los datos que se obtienen de las especificaciones técnicas podemos calcular la eficiencia térmica con la ecuación número 4 considerando una radiación de  $G = 2416.66 \text{ w/m}^2$  para el municipio de San Agustín Loxicha Oaxaca obtenemos el siguiente comportamiento figura 18.

$$\eta_{th} = 0.7 - 0.849 \left(\frac{\Delta T}{G}\right) - 0.003 \left(\frac{\Delta T}{G}\right)^2 \quad (\text{Ec. 5})$$

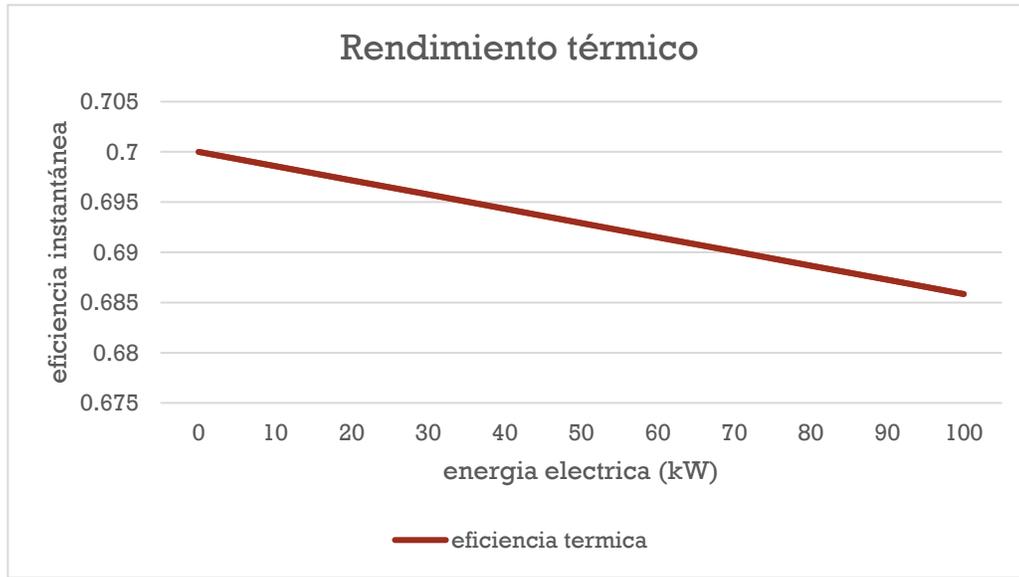


Figura 20. Rendimiento térmico del sistema

### 3.4 Condiciones de operación del sistema

Con los datos que tenemos acerca del municipio y del colector cilindro parabólico procederemos a realizar el diseño de nuestro campo solar, tomando en cuenta una radiación de 24166.66 W/m<sup>2</sup>, área de apertura del colector de 10.37m<sup>2</sup>, una latitud de 17.05 tomando en cuenta un horario de 8 a 17 horas

Las ecuaciones que usaremos son las siguientes:

$$\cos\varphi = \cos\lambda\cos\delta\cos\omega + \sin\lambda\sin\delta \quad (\text{Ec.6})$$

$$\delta = 23.45\text{sen}\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\omega = 15(\text{horas} - 12) \quad (\text{Ec. 8})$$

$$P_{\text{sol}} = (A_c) * (G) * (\cos \varphi) \quad (\text{Ec. 9})$$

$$P_{\text{colector}} = (A_c) * (G) * (\cos \varphi) * (K\varphi) * (\eta_{\text{th}}) \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

n= número de día natural

$\lambda$ = Latitud

$\delta$ = Declinación

$\omega$ = Ángulo de horario el valor es negativo por la mañana y positivo tras el mediodía

$P_{\text{sol}}$ =Potencia solar

$A_c$  = Angulo de apertura

G= Radiación solar

$P_{\text{colector}}$ = Potencia del colector

$\eta_{\text{th}}$ = Eficiencia térmica

$K_{\phi}$ = Modificador por ángulo de incidencia

Para nuestro gradiente de temperatura  $\Delta T$  consideraremos una temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$  a la entrada, y de saturación nos basaremos en las especificaciones del colector con una presión de 16 bar (1600kPa) con esta presión nos da una temperatura de saturación igual a  $201.331^{\circ}\text{C}$ , esto nos servirá para obtener una diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) para obtener la eficiencia térmica, tenemos que  $\Delta T = (201.331 - 25)^{\circ}\text{C} = 176.331^{\circ}\text{C}$ .

Ocupando las ecuaciones correspondientes obtenemos los siguientes valores mostrados en las tablas siguientes para cada mes y los captadores a ocupar dependiendo de la radiación que ocupemos si la mínima o máxima

Tabla 3. Ángulos de incidencia en el mes de enero

Enero					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \phi$	$\phi$
8	-21.2694	17.05	-60	0.48136156	61.2256348
9	-21.2694	17.05	-45	0.73290894	42.8691813
10	-21.2694	17.05	-30	0.66974347	47.9527309
11	-21.2694	17.05	-15	0.51416818	59.0581292
12	-21.2694	17.05	0	0.81371099	35.5398935
13	-21.2694	17.05	15	0.51416818	59.0581292
14	-21.2694	17.05	30	0.66974347	47.9527309
15	-21.2694	17.05	45	0.73290894	42.8691813
16	-21.2694	17.05	60	0.48136156	61.2256348
17	-21.2694	17.05	75	0.80039111	36.8325335

Tabla 4. Cálculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

enero		
Hora	$\varphi$	$P_{sol}$ (Watts)
8	61.2256348	12063.2884
9	42.8691813	18367.2582
10	47.9527309	16784.2833
11	59.0581292	12885.4474
12	35.5398935	20392.2193
13	59.0581292	12885.4474
14	47.9527309	16784.2833
15	42.8691813	18367.2582
16	61.2256348	12063.2884
17	36.8325335	20058.4128

Tabla 5. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	$P_{sol}$ (Watts)	$K(\varphi)$	$\eta_{th}$	$P_{fluido}$ (Watts)	$\eta_{global}$
8	12063.2884	0.99352894	0.68761269	8241.19362	0.68316311
9	18367.2582	0.89643557	0.69186438	11391.5909	0.62021184
10	16784.2833	0.94505731	0.69109706	10962.2573	0.65312633
11	12885.4474	0.99052547	0.6884031	8786.33922	0.6818808
12	20392.2193	0.78283637	0.69267228	20396.7949	0.54224905
13	12885.4474	0.99052547	0.6884031	12889.0831	0.6818808
14	16784.2833	0.94505731	0.69109706	16788.8194	0.65312633
15	18367.2582	0.89643557	0.69186438	18371.972	0.62021184
16	12063.2884	0.99352894	0.68761269	12066.6986	0.68316311
17	20058.4128	0.80681419	0.69255033	20063.0505	0.55875943

Tabla 6. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Enero	
promedio de la eficiencia global	0.63777726
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	5
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	12
promedio de los paneles solares	9

Tabla 7. Ángulos de incidencia en el mes de febrero

Febrero					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	-13.6197	17.05	-60	0.3955	36.2749327
9	-13.6197	17.05	-45	0.5879	56.299127
10	-13.6197	17.05	-30	0.7356	51.8321005
11	-13.6197	17.05	-15	0.8284	39.3389971
12	-13.6197	17.05	0	0.8601	61.6976158
13	-13.6197	17.05	15	0.8284	39.3389971
14	-13.6197	17.05	30	0.7356	51.8321005
15	-13.6197	17.05	45	0.5879	56.299127
16	-13.6197	17.05	60	0.3955	36.2749327
17	-13.6197	17.05	75	0.1714	60.8279856

Tabla 8. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

Febrero		
hora	$\cos \varphi$	$P_{sol}(\text{Watts})$
8	0.3955	9911.53224
9	0.5879	14733.2233
10	0.7356	18434.6981
11	0.8284	20760.3371
12	0.8601	21554.7633
13	0.8284	20760.3371
14	0.7356	18434.6981
15	0.5879	14733.2233
16	0.3955	9911.53224
17	0.1714	4295.41498

Tabla 9. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	$P_{sol}$ (Watts)	$K(\varphi)$	$\eta_{th}$	$P_{fluido}$ (Watts)	$\eta_{global}$
8	9911.53224	0.99728891	0.68492328	6770.23458	0.68306639
9	14733.2233	0.97758648	0.6898576	9936.01889	0.67439546
10	18434.6981	0.89371909	0.69189414	11399.2615	0.618359
11	20760.3371	0.7534663	0.69280221	10836.9607	0.52200312
12	21554.7633	0.6782503	0.6930675	10132.3175	0.47007324
13	20760.3371	0.7534663	0.69280221	10836.9607	0.52200312
14	18434.6981	0.89371909	0.69189414	11399.2615	0.618359
15	14733.2233	0.97758648	0.6898576	9936.01889	0.67439546
16	9911.53224	0.99728891	0.68492328	6770.23458	0.68306639
17	4295.41498	0.99910311	0.6652081	2854.78213	0.66461148

Tabla 10. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Febrero	
promedio de la eficiencia global	0.613033
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	9
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	35
promedio de los paneles solares	22

Tabla 11. Ángulos de incidencia en el mes de Marzo

Marzo					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	-2.41773	17.05	-60	0.48320775	61.1048847
9	-2.41773	17.05	-45	0.73428651	42.7530388
10	-2.41773	17.05	-30	0.67123871	47.8372587
11	-2.41773	17.05	-15	0.51595325	58.9388074
12	-2.41773	17.05	0	0.81493802	35.4187657
13	-2.41773	17.05	15	0.51595325	58.9388074
14	-2.41773	17.05	30	0.67123871	47.8372587
15	-2.41773	17.05	45	0.73428651	42.7530388
16	-2.41773	17.05	60	0.48320775	61.1048847
17	-2.41773	17.05	75	0.80164295	36.7127197

Tabla 12. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	cos $\varphi$	P <sub>sol</sub> (Watts)
8	0.48320775	12109.5554
9	0.73428651	18401.781
10	0.67123871	16821.7551
11	0.51595325	12930.1826
12	0.81493802	20422.9697
13	0.51595325	12930.1826
14	0.67123871	16821.7551
15	0.73428651	18401.781
16	0.48320775	12109.5554
17	0.80164295	20089.785

Tabla 13. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	P <sub>sol</sub> (Watts)	K( $\varphi$ )	$\eta_{th}$	P <sub>fluido</sub> (Watts)	$\eta_{global}$
8	12109.5554	0.99339085	0.69824724	8399.58019	0.69363242
9	18401.781	0.89505261	0.69884657	11510.3959	0.62550445
10	16821.7551	0.94419364	0.69873823	11098.0554	0.6597442
11	12930.1826	0.99032453	0.69835848	8942.53419	0.69160154
12	20422.9697	0.78050405	0.69896072	11141.5811	0.54554168
13	12930.1826	0.99032453	0.69835848	8942.53419	0.69160154
14	16821.7551	0.94419364	0.69873823	11098.0554	0.6597442
15	18401.781	0.89505261	0.69884657	11510.3959	0.62550445
16	12109.5554	0.99339085	0.69824724	8399.58019	0.69363242
17	20089.785	0.80466232	0.69894349	11298.7661	0.56241349

Tabla 14. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Marzo	
promedio de la eficiencia global	0.644892
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	9
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	12
promedio de los paneles solares	10

Tabla 15. Ángulos de incidencia en el mes de Abril

Abril					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	9.7831	17.05	-60	0.13930617	81.992301
9	9.7831	17.05	-45	0.45312787	63.0554577
10	9.7831	17.05	-30	0.37432484	68.0174101
11	9.7831	17.05	-15	0.18023455	79.6165779
12	9.7831	17.05	0	0.55393367	56.3627001
13	9.7831	17.05	15	0.18023455	79.6165779
14	9.7831	17.05	30	0.37432484	68.0174101
15	9.7831	17.05	45	0.45312787	63.0554577
16	9.7831	17.05	60	0.13930617	81.992301
17	9.7831	17.05	75	0.53731624	57.4988699

Tabla 16. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	$\cos \varphi$	$P_{sol}(\text{Watts})$
8	0.139306	3491.119
9	0.453128	11355.73
10	0.374325	9380.867
11	0.180235	4516.816
12	0.553934	13882
13	0.180235	4516.816
14	0.374325	9380.867
15	0.453128	11355.73
16	0.139306	3491.119
17	0.537316	13465.56

Tabla 17. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	$P_{\text{sol}}$ (Watts)	$K(\varphi)$	$\eta_{\text{th}}$	$P_{\text{fluido}}$ (Watts)	$N_{\text{global}}$
8	3491.119	1	0.657111	2294.052	0.657111
9	11355.73	1	0.686816	7799.298	0.686816
10	9380.867	0.9977	0.68404	6402.13	0.682467
11	4516.816	0.999061	0.666851	3009.218	0.666226
12	13882	0.984876	0.689215	9422.986	0.678792
13	4516.816	0.999061	0.666851	3009.218	0.666226
14	9380.867	0.9977	0.68404	6402.13	0.682467
15	11355.73	0.995273	0.686816	7762.433	0.68357
16	3491.119	0.99926	0.657111	2292.353	0.656624
17	13465.56	0.987557	0.688882	9160.754	0.68031

Tabla 18. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Abril	
promedio de la eficiencia global	0.676773
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	11
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	44
promedio de los paneles solares	27

Tabla 19. Ángulos de incidencia en el mes de Mayo

Mayo					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	19.0305	17.05	-60	0.5475	101.1939
9	19.0305	17.05	-45	0.7346	120.0606
10	19.0305	17.05	-30	0.8783	115.0798
11	19.0305	17.05	-15	0.9686	103.541
12	19.0305	17.05	0	0.9994	126.8314
13	19.0305	17.05	15	0.9686	103.541
14	19.0305	17.05	30	0.8783	115.0798
15	19.0305	17.05	45	0.7346	120.0606
16	19.0305	17.05	60	0.5475	101.1939
17	19.0305	17.05	75	0.3295	125.6771

Tabla 20. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	cos $\varphi$	P <sub>sol</sub> (Watts)
8	0.5475	13720.77
9	0.7346	18409.64
10	0.8783	22010.87
11	0.9686	24273.86
12	0.9994	25045.73
13	0.9686	24273.86
14	0.8783	22010.87
15	0.7346	18409.64
16	0.5475	13720.77
17	0.3295	8257.522

Tabla 21. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	P <sub>sol</sub> (Watts)	K( $\varphi$ )	$\eta_{th}$	P <sub>fluido</sub> (Watts)	$\eta_{global}$
8	13720.77	0.985974	0.689089	9322.217	0.679424
9	18409.64	0.894736	0.691868	11396.28	0.619039
10	22010.87	0.626754	0.693198	9562.944	0.434465
11	24273.86	0.253315	0.693833	4266.325	0.175758
12	25045.73	0.068113	0.694023	1183.963	0.047272
13	24273.86	0.253315	0.693833	4266.325	0.175758
14	22010.87	0.626754	0.693198	9562.944	0.434465
15	18409.64	0.894736	0.691868	11396.28	0.619039
16	13720.77	0.985974	0.689089	9322.217	0.679424
17	8257.522	0.998249	0.681869	5620.692	0.680675

Tabla 22. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Mayo	
promedio de la eficiencia global	0.454532
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	9
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	84
promedio de los paneles solares	47

Tabla 23. Ángulos de incidencia en el mes de Junio

Junio					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	23.3543	17.05	-60	0.555	53.8192745
9	23.3543	17.05	-45	0.7368	35.7932789
10	23.3543	17.05	-30	0.8763	40.9144516
11	23.3543	17.05	-15	0.964	51.7473325
12	23.3543	17.05	0	0.9939	28.1084676
13	23.3543	17.05	15	0.964	51.7473325
14	23.3543	17.05	30	0.8763	40.9144516
15	23.3543	17.05	45	0.7368	35.7932789
16	23.3543	17.05	60	0.555	53.8192745
17	23.3543	17.05	75	0.3434	29.4988498

Tabla 24. Cálculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	$\cos \varphi$	$P_{sol}(\text{Watts})$
8	0.555	13908.72
9	0.7368	18464.77
10	0.8763	21960.75
11	0.964	24158.58
12	0.9939	24907.89
13	0.964	24158.58
14	0.8763	21960.75
15	0.7368	18464.77
16	0.555	13908.72
17	0.3434	8605.866

Tabla 25. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	$P_{sol}(\text{Watts})$	$K(\varphi)$	$\eta_{th}$	$P_{fluido}(\text{Watts})$	$\eta_{global}$
8	13908.72	0.984686	0.689236	9439.588	0.678681
9	18464.77	0.892488	0.691892	11402.1	0.617505
10	21960.75	0.632738	0.693183	9632.05	0.438603
11	24158.58	0.278063	0.693803	4660.694	0.192921
12	24907.89	0.103803	0.69399	1794.318	0.072038
13	24158.58	0.278063	0.693803	4660.694	0.192921
14	21960.75	0.632738	0.693183	9632.05	0.438603
15	18464.77	0.892488	0.691892	11402.1	0.617505
16	13908.72	0.984686	0.689236	9439.588	0.678681
17	8605.866	0.998114	0.682603	5863.309	0.681315

Tabla 26. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Mayo	
promedio de la eficiencia global	0.454532
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	9
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	84
promedio de los paneles solares	47

Tabla 27. Ángulos de incidencia en el mes de Julio

Julio					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	21.3536	17.05	-60	0.5519	138.8701
9	21.3536	17.05	-45	0.7363	118.9423
10	21.3536	17.05	-30	0.8778	123.4734
11	21.3536	17.05	-15	0.9668	135.8978
12	21.3536	17.05	0	0.9971	113.4174
13	21.3536	17.05	15	0.9668	135.8978
14	21.3536	17.05	30	0.8778	123.4734
15	21.3536	17.05	45	0.7363	118.9423
16	21.3536	17.05	60	0.5519	138.8701
17	21.3536	17.05	75	0.3372	114.3108

Tabla 28. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	$\cos \varphi$	$P_{sol}(\text{Watts})$
8	0.5519	13831.04
9	0.7363	18452.24
10	0.8778	21998.34
11	0.9668	24228.75
12	0.9971	24988.09
13	0.9668	24228.75
14	0.8778	21998.34
15	0.7363	18452.24
16	0.5519	13831.04
17	0.3372	8450.49

Tabla 29. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	$P_{sol}$ (Watts)	$K(\varphi)$	$\eta_{th}$	$P_{fluido}$ (Watts)	$\eta_{global}$
8	13831.04	0.985232	0.689176	9391.242	0.678998
9	18452.24	0.893002	0.691887	11400.84	0.617856
10	21998.34	0.628257	0.693195	9580.378	0.435505
11	24228.75	0.263084	0.693821	4422.55	0.182533
12	24988.09	0.083183	0.694009	1442.559	0.05773
13	24228.75	0.263084	0.693821	4422.55	0.182533
14	21998.34	0.628257	0.693195	9580.378	0.435505
15	18452.24	0.893002	0.691887	11400.84	0.617856
16	13831.04	0.985232	0.689176	9391.242	0.678998
17	8450.49	0.998177	0.682283	5755.117	0.681039

Tabla 30. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Julio	
promedio de la eficiencia global	0.456855
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	9
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	69
promedio de los paneles solares	39

Tabla 31. Ángulos de incidencia en el mes de Agosto

Agosto					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	19.0305	17.05	-60	0.5475	128.2971
9	19.0305	17.05	-45	0.7346	146.2059
10	19.0305	17.05	-30	0.8783	141.0762
11	19.0305	17.05	-15	0.9686	130.3381
12	19.0305	17.05	0	0.9994	154.0159
13	19.0305	17.05	15	0.9686	130.3381
14	19.0305	17.05	30	0.8783	141.0762
15	19.0305	17.05	45	0.7346	146.2059
16	19.0305	17.05	60	0.5475	128.2971
17	19.0305	17.05	75	0.3295	152.589

Tabla 32. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	cos $\varphi$	P <sub>sol</sub> (Watts)
8	0.5475	13720.77
9	0.7346	18409.64
10	0.8783	22010.87
11	0.9686	24273.86
12	0.9994	25045.73
13	0.9686	24273.86
14	0.8783	22010.87
15	0.7346	18409.64
16	0.5475	13720.77
17	0.3295	8257.522

Tabla 33. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	P <sub>sol</sub> (Watts)	K( $\varphi$ )	$\eta_{th}$	P <sub>fluido</sub> (Watts)	$\eta_{global}$
8	13720.77	0.985974	0.689089	9322.217	0.679424
9	18409.64	0.894736	0.691868	11396.28	0.619039
10	22010.87	0.626754	0.693198	9562.944	0.434465
11	24273.86	0.253315	0.693833	4266.325	0.175758
12	25045.73	0.068113	0.694023	1183.963	0.047272
13	24273.86	0.253315	0.693833	4266.325	0.175758
14	22010.87	0.626754	0.693198	9562.944	0.434465
15	18409.64	0.894736	0.691868	11396.28	0.619039
16	13720.77	0.985974	0.689089	9322.217	0.679424
17	8257.522	0.998249	0.681869	5620.692	0.680675

Tabla 34. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

agosto	
promedio de la eficiencia global	0.454532
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	8
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	84
promedio de los paneles solares	47

Tabla 35. Ángulos de incidencia en el mes de Septiembre

Septiembre					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	2.2168	17.05	-60	0.489	175.7726
9	2.2168	17.05	-45	0.6868	156.3987
10	2.2168	17.05	-30	0.8386	159.5004
11	2.2168	17.05	-15	0.9341	170.6538
12	2.2168	17.05	0	0.9666	152.9184
13	2.2168	17.05	15	0.9341	170.6538
14	2.2168	17.05	30	0.8386	159.5004
15	2.2168	17.05	45	0.6868	156.3987
16	2.2168	17.05	60	0.489	175.7726
17	2.2168	17.05	75	0.2586	153.4628

Tabla 36. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	$\cos \varphi$	$P_{sol}(\text{Watts})$
8	0.489	12254.71
9	0.6868	17211.73
10	0.8386	21015.96
11	0.9341	23409.26
12	0.9666	24223.73
13	0.9341	23409.26
14	0.8386	21015.96
15	0.6868	17211.73
16	0.489	12254.71
17	0.2586	6480.714

Tabla 37. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	$P_{\text{sol}}(\text{Watts})$	$K(\varphi)$	$\eta_{\text{th}}$	$P_{\text{fluido}}(\text{Watts})$	$\eta_{\text{global}}$
8	12254.71	0.992936	0.687783	8369.046	0.682925
9	17211.73	0.934471	0.691302	11118.81	0.646002
10	21015.96	0.731118	0.692876	10646.15	0.506574
11	23409.26	0.422458	0.693605	6859.348	0.293019
12	24223.73	0.264163	0.69382	4439.756	0.183281
13	23409.26	0.422458	0.693605	6859.348	0.293019
14	21015.96	0.731118	0.692876	10646.15	0.506574
15	17211.73	0.934471	0.691302	11118.81	0.646002
16	12254.71	0.992936	0.687783	8369.046	0.682925
17	6480.714	0.998699	0.676898	4381.074	0.676017

Tabla 38. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Septiembre	
promedio de la eficiencia global	0.51163368
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	9
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	23
promedio de los paneles solares	16

Tabla 39. Ángulos de incidencia en el mes de Octubre

Octubre					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	-9.5993	17.05	-60	0.4224	154.0936
9	-9.5993	17.05	-45	0.6176	133.8379
10	-9.5993	17.05	-30	0.7674	138.1223
11	-9.5993	17.05	-15	0.8616	150.7536
12	-9.5993	17.05	0	0.8937	128.7676
13	-9.5993	17.05	15	0.8616	150.7536
14	-9.5993	17.05	30	0.7674	138.1223
15	-9.5993	17.05	45	0.6176	133.8379
16	-9.5993	17.05	60	0.4224	154.0936
17	-9.5993	17.05	75	0.195	129.5773

Tabla 40. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	cos $\varphi$	P <sub>sol</sub> (Watts)
8	0.4224	10585.67
9	0.6176	15477.53
10	0.7674	19231.63
11	0.8616	21592.35
12	0.8937	22396.8
13	0.8616	21592.35
14	0.7674	19231.63
15	0.6176	15477.53
16	0.4224	10585.67
17	0.195	4886.849

Tabla 41. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	P <sub>sol</sub> (Watts)	K( $\varphi$ )	$\eta_{th}$	P <sub>fluido</sub> (Watts)	$\eta_{global}$
8	10585.67	0.996548	0.685857	7235.19	0.683489
9	15477.53	0.968675	0.690327	10349.86	0.668702
10	19231.63	0.856627	0.692215	11403.79	0.592971
11	21592.35	0.67425	0.693067	10090.12	0.4673
12	22396.8	0.577808	0.693316	8972.228	0.400603
13	21592.35	0.67425	0.693067	10090.12	0.4673
14	19231.63	0.856627	0.692215	11403.79	0.592971
15	15477.53	0.968675	0.690327	10349.86	0.668702
16	10585.67	0.996548	0.685857	7235.19	0.683489
17	4886.849	0.998993	0.669362	3267.775	0.668688

Tabla 42. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Octubre	
promedio de la eficiencia global	0.589422
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	10
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	14
promedio de los paneles solares	12

Tabla 43. Ángulos de incidencia en el mes de Noviembre

Noviembre					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	-19.1478	17.05	-60	0.3554	47.34547
9	-19.1478	17.05	-45	0.5424	67.15854
10	-19.1478	17.05	-30	0.6859	62.55793
11	-19.1478	17.05	-15	0.7762	50.22058
12	-19.1478	17.05	0	0.8069	72.82906
13	-19.1478	17.05	15	0.7762	50.22058
14	-19.1478	17.05	30	0.6859	62.55793
15	-19.1478	17.05	45	0.5424	67.15854
16	-19.1478	17.05	60	0.3554	47.34547
17	-19.1478	17.05	75	0.1375	71.90777

Tabla 44. Cálculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	$\cos \varphi$	$P_{sol}(\text{Watts})$
8	0.3554	8906.596
9	0.5424	13592.96
10	0.6859	17189.18
11	0.7762	19452.17
12	0.8069	20221.53
13	0.7762	19452.17
14	0.6859	17189.18
15	0.5424	13592.96
16	0.3554	8906.596
17	0.1375	3445.855

Tabla 45. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	$P_{sol}$ (Watts)	$K(\varphi)$	$\eta_{th}$	$P_{fluido}$ (Watts)	$\eta_{global}$
8	8906.596	0.997974	0.68319	6072.573	0.681806
9	13592.96	0.98679	0.688986	9241.644	0.679885
10	17189.18	0.935071	0.69129	11111.19	0.646406
11	19452.17	0.844571	0.692304	11373.67	0.584699
12	20221.53	0.795399	0.692597	11139.85	0.55089
13	19452.17	0.844571	0.692304	11373.67	0.584699
14	17189.18	0.935071	0.69129	11111.19	0.646406
15	13592.96	0.98679	0.688986	9241.644	0.679885
16	8906.596	0.997974	0.68319	6072.573	0.681806
17	3445.855	0.999269	0.656547	2260.712	0.656067

Tabla 46. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Noviembre	
promedio de la eficiencia global	0.639255
cantidad de paneles considerando la potencia máxima	9
cantidad de paneles considerando la potencia mínima	9
promedio de los paneles solares	9

Tabla 47. Ángulos de incidencia en el mes de Diciembre

Diciembre					
hora	$\delta$	$\lambda$	$\omega$	$\cos \varphi$	$\varphi$
8	-23.3352	17.05	-60	0.3327	175.7261
9	-23.3352	17.05	-45	0.5045	159.0407
10	-23.3352	17.05	-30	0.644	161.7595
11	-23.3352	17.05	-15	0.7317	171.4755
12	-23.3352	17.05	0	0.7616	155.9899
13	-23.3352	17.05	15	0.7317	171.4755
14	-23.3352	17.05	30	0.644	161.7595
15	-23.3352	17.05	45	0.5045	159.0407
16	-23.3352	17.05	60	0.3227	175.7261
17	-23.3352	17.05	75	0.1109	156.467

Tabla 48. Calculo de potencia solar a lo largo del día y horas seleccionadas

hora	cos $\varphi$	P <sub>sol</sub> (Watts)
8	0.3327	8337.716
9	0.5045	12643.16
10	0.644	16139.13
11	0.7317	18336.96
12	0.7616	19086.28
13	0.7317	18336.96
14	0.644	16139.13
15	0.5045	12643.16
16	0.3227	8087.109
17	0.1109	2779.239

Tabla 49. Potencia que ganará el fluido a lo largo del día, eficiencia térmica como global.

hora	P <sub>sol</sub> (Watts)	K( $\varphi$ )	$\eta_{th}$	P <sub>fluido</sub> (Watts)	$\eta_{global}$
8	8337.716	0.99822	0.682043	5676.564	0.68083
9	12643.16	0.991541	0.688159	8626.9	0.682338
10	16139.13	0.958187	0.690724	10681.56	0.661842
11	18336.96	0.897636	0.691836	11387.56	0.621017
12	19086.28	0.864124	0.692156	11415.67	0.598109
13	18336.96	0.897636	0.691836	11387.56	0.621017
14	16139.13	0.958187	0.690724	10681.56	0.661842
15	12643.16	0.991541	0.688159	8626.9	0.682338
16	8087.109	0.998308	0.681487	5501.932	0.680334
17	2779.239	0.999404	0.646122	1794.658	0.645737

Tabla 50. Cantidad de colectores necesarios para generar los 100kW en el mes, con potencia máxima, mínima y promedio.

Diciembre	
promedio de la eficiencia global	0.65354024
Cantidad de paneles tomando la potencia máxima	9
Cantidad de paneles tomando la potencia mínima	18
promedio de los paneles solares	13

# **Capítulo 4**

## **Conclusiones y recomendaciones**

## 4.1 Conclusiones

Este proyecto tiene como principal meta de poder suplir demanda de energía eléctrica. Para nuestro caso elegimos el estado de Oaxaca ya que según fuentes de la INEGI es el segundo con más necesidad de energía eléctrica el estado recibe una muy buena cantidad de radiación solar por eso es muy aceptable ocupar esta tecnología de los captadores. En dicho estado se estudió el comportamiento del sistema para diferentes horas a lo largo del mes para tener como referencia la cantidad incidente y cambiante a lo largo del día se propuso un sistema cilindroparabólicos existente en el mercado también para dicho estudio, con base a ellos se obtuvieron resultados muy buenos ya que si tomamos horas pico que sería lo más conveniente se ocupan muy pocos colectores para la generación de los 100kW que se necesitan para alimentar a las casas propuestas. Se toman las horas picos ya que es la máxima potencia que los colectores captarían de la radiación solar que incide sobre ellos y también porque se debe de tener en cuenta que los tubos absorbedores soportan hasta ciertas temperaturas que depende del fabricante este dato es obligatorio que el fabricante lo proporcione ya que si se pasa de la temperatura que el tubo soporta se puede llegar a agrietarse e incluso romperse debido a que se flexionaría por el calor, se realizó mes con mes para saber la variación que ocurren en las altas y bajas que la incidencia solar ocurre para que en base a estos resultados podamos elegir de una manera confiable la cantidad de colectores a usar para obtener la potencia que se requiere.

Para conclusión de cuantos paneles solares ocuparíamos para este caso tomando las horas picos se necesitarían 9 paneles solares para poder suplir la demanda en todo el transcurso del año. Y si tomamos la potencia mínima a lo largo del día necesitaríamos 38 paneles para suplir la demanda en todo el transcurso del año.

En lo personal aconsejaría que fuera un promedio entre la hora pico y la hora en que menos potencia hay para aprovecharse ya que si se toma solo la máxima hay horas en la cual faltarían paneles solares para poder producir la potencia que se necesita, y si se toma la potencia mínima para tomar la decisión de cuantos paneles solares se ocuparían hay meses en los cuales estarían muy sobrados la cantidad de ellos e incluso en horas del día en lo cual se desperdiciaría mucha energía que se produciría y no se aprovecharía por ello recomiendo un promedio de la potencia mínima y máxima que nos daría una cantidad de 24 paneles solares.

## 4.2 Recomendaciones

Como recomendaciones para trabajos posteriores, sería el de realizar un estudio más completo del ciclo termodinámico, incluir incluso la bomba que hace circular el fluido para saber en sí que pasa con mayor profundidad dentro del campo solar y como aumentar más eficiente el sistema.

Realizar el estudio para las demás poblaciones que están con una grande escases de energía eléctrica del estado de Oaxaca y también de los otros estados como lo son Chihuahua, Chiapas, etc. Ya que algunos estados tienen una mayor radiación solar que otros.

Hacer un sistema hibrido que sea uno de ellos los captadores cilindroparabólicos, y el otro sistema un sistema de generación de metano, por si las condiciones climáticas la radiación en los captadores no es la suficiente para producir la energía eléctrica, poder usar el biocombustible para que genere tal electricidad necesaria a la población y a si los dos sistemas se auxiliarían para que ni uno ni otro se tengan que explotar al máximo para que su periodo de vida de los sistemas se alarguen y subir también la eficiencia de tales sistemas.

## Referencias

Conde Sánchez, M. A., & Ramos Mateos, Z. A. (2014). *DISEÑO DE UN CALENTADOR SOLAR DE PLACA DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2015, de Facultad de Ingeniería UNAM: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3062/Tesis.pdf?sequence=1>

Cundapí, R. (2016). *Análisis Termohidráulico de un Sistema de Generación Directa de Vapor Mediante Concentradores Solares Cilindro-Parabólicos para Calor de Proceso Industrial*, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Cuernavaca, Morelos, México.

Madera, M. (2014) *El oro verde de México*. Chihuahua, México.

Horta, P. (8 de Julio de 2015). *SOLVAPOR: SOLAR HEAT INTEGRATION IN STEAM PRODUCTION FOR INDUSTRIAL PROCESSES*. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de FRAUNHOFER: [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

Hernández-Lobón D., 2014. *CONTRIBUCIÓN AL MODELADO TERMOHIDRÁULICO DE CAPTADORES SOLARES CILINDROPARABÓLICOS PARA LA GENERACIÓN DIRECTA DE VAPOR*. Tesis Doctoral. Universidad de Almería, España.

Paredes, C. (2012), *DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY*, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS, Paraguay.