



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DE DOS CONFIGURACIONES CON Y SIN  
SEGUIMIENTO PARA PROTOTIPOS DE COLECTORES CILINDRO-  
PARABÓLICOS**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE: MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD  
ENERGÉTICA**

**NOMBRE DEL SUSTENTANTE: Ing. Isabel Bazán Barojas**

**DIRECTOR: DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ**

**CO- DIRECTOR: DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ**

**SINODALES:**

**DR. ANTONIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ**

**DRA. HELENA CABAL CUESTA**

**DR. JESÚS CEREZO ROMÁN**

**CUERNAVACA, MOR.**

**2019**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



## RESUMEN

El mundo entero está pasando por una de las situaciones más difíciles con lo que respecta al cambio climático, dicha situación puede ocasionar deterioros irreversibles que impactan la esfera social y económica. Las energías renovables como fuente adicional para la generación de energía térmica representan un beneficio para el medio ambiente; un ejemplo de ellas es la utilización de energía solar.

Disminuir la presencia de gases efecto invernadero es posible si reducimos el uso de combustibles fósiles; el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INEEC) emite un inventario (INEEC 2015) en el cual muestra el porcentaje de emisiones por sector, para este trabajo estamos abordando el sector residencial el cual representa un 3.1%; lo que se busca es reducir dicho porcentaje, por lo cual se propone el uso de Colectores Cilindro Parabólicos (CCP) también conocidos como PTC (Parabolic Trough Collector) en inglés; para el calentamiento de agua; de esta manera podemos disminuir el porcentaje de emisión, sabemos que el sector elegido representa un porcentaje menor; pero si abordamos este sector y fomentamos el uso de energías renovables; en específico la utilización de la energía solar térmica, podemos motivar y potenciar el uso del recurso solar como fuente de energía, y a su vez disminuir las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI).

En el presente trabajo se realiza un Análisis *energético de dos configuraciones con y sin seguimiento solar para prototipos de colectores cilindro-parabólicos*, los cuales se encuentran instalados en el Taller Multidisciplinario Básico (TAMULBA) de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQel) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).



Dichos prototipos fueron evaluados durante el periodo mayo – diciembre de 2018, en un horario de 9:00 a.m. a 6:00 p.m.; de los resultados obtenidos se observa que la mejor orientación para esta ubicación es la Este – Oeste (E-O); se observa que dicha orientación tiene mayor captación de energía ya que llega a transformar hasta un 30% de la energía captada y en considerable medida aumenta con el sistema de seguimiento llegando hasta un 70%.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



## ABSTRACT

The whole world is going through one of the most difficult situations about climate change, this situation can cause irreversible damage that impacts the social and economic sphere. Renewable energies as an additional source for the generation of thermal energy represent a benefit for the environment; an example of them is the use of solar energy.

Decrease the presence of greenhouse gases is possible if we reduce the use of fossil fuels; the National Institute of Ecology and Climate Change (INEEC) issues an inventory (INEEC, 2015) in which shows the percentage of emissions by sector, for this work we are addressing the residential sector which represents 3.1%; what is sought is to reduce said percentage, for which purpose the use of Parabolic Cylinder Collectors (CCP) also known as PTC (Parabolic Trough Collector) in English is proposed; for water heating; in this way we can reduce the emission percentage, we know that the chosen sector represents a smaller percentage; but if we approach this sector and encourage the use of renewable energies; specifically the use of solar thermal energy, we can motivate and promote the use of the solar resource as a source of energy, and in turn reduce the emissions of Greenhouse Gases (GHG).

In the present work, an energy analysis of two configurations with and without solar tracking for prototypes of parabolic trough collectors, which are installed in the Basic Multidisciplinary Workshop (TAMULBA) of the Faculty of Chemical Sciences and Engineering (FCQel) of the Autonomous University of the State of Morelos (UAEM).



These prototypes were evaluated during the period May - December 2018, at a time of 9:00 a.m. at 6:00 p.m .; of the obtained results it is observed that the best orientation for this location is the East - West (E - O); it is observed that this orientation has a greater energy uptake since it reaches up to 30% of the energy captured and, to a considerable extent, increases with the monitoring system, reaching up to 70%.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) y a la Secretaría de Energía (**SENER**) por la beca otorgada para el desarrollo de mi crecimiento profesional y personal.

Al **CeMIE-SOL** por el apoyo financiero otorgado al proyecto 09, “Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con energía solar”, que me permitió llevar a cabo la rehabilitación de los prototipos evaluados en esta tesis.

A la Red Temática CONACYT de Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad (**SUMAS**), proyecto 2811001, por el apoyo recibido.

Al **Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas** por abrirme las puertas y permitirme realizar mis estudios de Maestría en sus instalaciones.

Al Dr. **Rosenberg J. Romero Domínguez** por su tiempo, dedicación y su paciencia; gracias por ser mi guía en este proyecto y por haberme permitido ser parte de su equipo de colaboradores.

Al Dr. **Moisés Montiel González** por recibirme en su equipo de trabajo, a pesar de las condiciones no favorables, gracias por creer en mí y compartir su pasión por el uso de energía solar para desarrollar este trabajo.

A mi comité revisor: **Dr. Antonio Rodríguez Martínez, Dra. Helena Cabal Cuesta, Dr. Jesús Cerezo Román** por sus aportaciones para que este trabajo fuera de mayor calidad.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



Al **Dr. Jorge Díaz Salgado** por sus comentarios y aportaciones para el desarrollo de este trabajo, gracias por su colaboración.

A mis compañeros de servicio social **Oscar Barrera Huerta, Celso A. Castro Zúñiga, Francisco G. Hernández Lavín e Ismael** que estuvieron colaborando durante diferentes etapas de la evaluación experimental de los prototipos de canal parabólico.

A mis compañeros de maestría, pero en especial a **Jazz, Yara, Gina, Dioce Dra. Gaby, Dra. Yuri** por su amistad y apoyo incondicional, gracias por tenderme la mano, pero sobre todo gracias por conocerme y aun con eso seguir a mi lado en esta travesía.



## **DEDICATORIAS**

### **A mis padres**

Quiero agradecer primero a mis padres por el apoyo brindado durante todo este proyecto de vida, a mi madre en especial **Carmen Barojas** por darme la fuerza y el ánimo para seguir siempre adelante, por enseñarme que todo lo que deseo lo puedo alcanzar siempre trabajando con mucho esfuerzo, mami te amo gracias por todo, a mi padre **Mario Bazán** por apoyarme siempre.

### **A mi esposo**

**Marco Vazquez** gracias por apoyarme en esta aventura, por tu paciencia, por ser el gran hombre que necesito a mi lado, gracias por darme ánimos cuando más lo necesitaba, gracias por ser mi compañero de vida. Te amo gordo.

### **A mis hijas**

**Alely** e **Isamar** gracias por ser esos motores de mi vida, gracias por regalarme su amor y sus sonrisas. Gracias por su comprensión cuando mami tenía que estar en la escuela hasta tarde y aun así me esperaban para dormir. Les dedico a ustedes también este trabajo.

### **A mi familia**

Gracias a la familia cercana que siempre me animan y apoyan a seguir adelante, aun en los retos más difíciles, gracias por creer en mí, por su apoyo y amor brindado. A mi tía **Chelita, Charito**, mis hermanos **Mario y Luis**. Gracias por todo, los amo.



## ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	I
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	I
CAPITULO I. Antecedentes	1
1.1. <i>Introducción</i>	1
1.2. <i>Definición del Problema</i>	7
1.3. <i>Hipótesis</i>	8
1.4. <i>Justificación</i>	9
1.5. <i>Objetivos</i>	9
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	9
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	9
1.6. <i>Estado del arte</i>	10
CAPITULO II. Marco Teórico	20
2.1 <i>Energía solar en México</i>	20
2.2 <i>Captación de energía solar</i>	21
2.3 <i>Tipos de concentradores solares</i>	21
2.3.1. <i>Colectores planos (FPC. - Flat Plate Collector)</i>	22
2.3.2. <i>Colector de tubos al vacío (ETC.- Evacuated tube collector)</i>	22
2.3.3. <i>Colectores cilindro parabólico (PTC. – Parabolic trough collector)</i>	22

I



2.3.4. <i>Colector parabólico compuesto (CPC. - compound parabolic collector)</i>	
22	
2.3.5. <i>Reflector de Fresnel lineal (LFR. -linear Fresnel reflector)</i>	23
2.3.6. <i>Reflector de disco parabólico (PDR parabolic dish reflector)</i>	23
2.3.7. <i>Sistemas de Torre central</i>	23
2.4. <i>Sistemas de seguimiento solar</i>	24
CAPITULO III. Metodología Teórico / Experimental	26
3.1. <i>Adecuación del área de trabajo</i>	26
3.2. <i>Instalación de equipo e instrumentación de los CCP</i>	27
3.2.1. <i>Elección de Termopares</i>	27
3.2.2. <i>Construcción de Termopares</i>	29
3.2.3. <i>Instalación de Termopares</i>	31
3.2.4. <i>Instalación del actuador lineal</i>	32
3.2.3. <i>Instalación de sistema de seguimiento vía fotovoltaica</i>	33
3.2.4. <i>Instalación de bomba</i>	34
3.2.5. <i>Medidor de caudal</i>	35
3.2.6. <i>Instalación de piranómetro</i>	36
3.2.7. <i>Instalación de celdas de referencia</i>	37
3.3. <i>Criterios para la evaluación Experimental</i>	38
3.4. <i>Procedimiento para la evaluación experimental</i>	39
3.5. <i>Escenarios seleccionados para la evaluación experimental</i>	39



3.8.	<i>Cálculo de transferencia de calor</i>	45
3.8.1.	<i>Pérdida de calor por convección</i>	45
3.8.2.	<i>Pérdida de calor por radiación</i>	46
3.9.	<i>Cálculo de eficiencia térmica</i>	46
3.10.	<i>Evaluación energética y de impactos ambientales con el uso de CCP</i>	47
3.10.1.	<i>Evaluación energética y de impactos ambientales para el brazo de seguimiento de los prototipos</i>	47
3.10.2.	<i>Evaluación energética y de impactos ambientales para la bomba utilizada</i>	49
CAPITULO IV. Resultados y Discusión		52
4.1.	<i>Primer mes de prueba, mayo 2018.</i>	53
4.1.1.	<i>Escenario con mayor porcentaje de energía transformada</i>	53
4.1.2.	<i>Día con mayor generación de energía térmica</i>	54
4.1.3.	<i>Perdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica</i>	54
4.1.4.	<i>Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía</i>	56
4.1.5.	<i>Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.</i>	58
4.2.	<i>Segundo mes de prueba, junio 2018.</i>	59
4.2.1.	<i>Escenario con mayor porcentaje de energía transformada</i>	59
4.2.2.	<i>Día con mayor generación de energía térmica</i>	59



4.2.3.	<i>Perdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica</i>	60
4.2.4.	<i>Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía</i>	62
4.2.5	<i>Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.</i>	63
4.3.	<i>Tercer mes de prueba, julio 2018.</i>	64
4.3.1.	<i>Escenario con mayor porcentaje de energía transformada</i>	64
4.3.2.	<i>Día con mayor generación de energía térmica</i>	64
4.3.3.	<i>Perdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica</i>	65
4.3.4.	<i>Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía</i>	66
4.3.5.	<i>Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.</i>	67
4.4.	<i>Cuarto mes de prueba, agosto 2018.</i>	68
4.4.1.	<i>Escenario con mayor porcentaje de energía transformada</i>	68
4.4.2.	<i>Día con mayor generación de energía térmica</i>	68
4.4.4.	<i>Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía</i>	70
4.4.5.	<i>Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.</i>	71
4.5.	<i>Quinto mes de prueba, septiembre 2018.</i>	72



4.5.1.	<i>Escenario con mayor porcentaje de energía transformada</i>	72
4.5.2.	<i>Día con mayor generación de energía térmica</i>	72
4.5.3.	<i>Perdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica</i>	73
4.5.4.	<i>Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía</i>	74
4.5.5.	<i>Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.</i>	75
4.6.	<i>Sexto mes de prueba, noviembre 2018.</i>	76
4.6.1.	<i>Escenario con mayor porcentaje de energía transformada</i>	76
4.6.2.	<i>Día con mayor generación de energía térmica</i>	76
4.6.3.	<i>Perdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica</i>	77
4.6.4.	<i>Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía</i>	78
4.6.5.	<i>Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.</i>	79
4.7.	<i>Séptimo mes de prueba, diciembre 2018.</i>	80
4.7.1.	<i>Escenario con mayor porcentaje de energía transformada.</i>	80
4.7.2.	<i>Día con mayor generación de energía térmica</i>	80
4.7.3.	<i>Perdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica</i>	81
4.7.4.	<i>Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía</i>	



4.8. <i>Emisiones de CCP vs Gas LP.</i>	84
CAPITULO V. Conclusiones y Recomendaciones	86
5.1. <i>Conclusiones</i>	86
5.2. <i>Recomendaciones</i>	87
REFERENCIAS	88
APÉNDICE A.	96
A.1. <i>Código para la correlación</i>	96
A.2. <i>Coeficiente de Pearson</i>	98
APÉNDICE B.	100
ANEXO A. REDES TEMÁTICAS CONACYT	101
ANEXO B. PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS	105
ANEXO C. CURSOS Y TALLERES	112



**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg de CO<sub>2</sub>e) 2015. .... 4

Tabla 2. Emisiones del sector comercial/institucional, residencial y agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías (INEEC 2015) ..... 7

Tabla 3. Rango de precisión y rango de temperatura termopares (Omega, 2018) 28

Tabla 4. Características del actuador instalado..... 32

Tabla 5. Características de brazo instalado. .... 33

Tabla 6. Características de la bomba. .... 34

Tabla 7. Características del medidor de caudal. .... 36

Tabla 8. Características del piranómetro..... 37

Tabla 9. Características de las celdas..... 38

Tabla 10. Datos para la evaluación experimental..... 39

Tabla 11. Propiedades de agua saturada, valores de densidad (Yunus, C., & John 2006) ..... 42

Tabla 12. Propiedades de agua saturada, valores de Cp (Yunus, C., & John 2006).  
..... 43

Tabla 13. Consumo del motor. .... 47

Tabla 14. Consumo de bomba centrífuga. .... 49

Tabla 15. Pérdidas en colectores (31 de mayo)..... 55

Tabla 16. Eficiencia de los CCP (31 de mayo)..... 57

Tabla 17. Pérdidas en colectores (26 de junio) . .... 61

Tabla 18. Eficiencia de los CCP (26 de junio). .... 62

Tabla 19. Pérdidas en colectores (11 de julio). .... 65

Tabla 20. Eficiencia de los CCP (11 de julio). .... 66

Tabla 21. Pérdidas en colectores (23 de agosto)..... 69

Tabla 22. Eficiencia de los CCP (23 de agosto)..... 70



Tabla 23. Pérdidas en colectores (19 de septiembre).....	73
Tabla 24. Eficiencia de los CCP (19 de septiembre).....	74
Tabla 25. Pérdidas en colectores (6 de noviembre).....	77
Tabla 26. Eficiencia de los CCP (6 de noviembre).....	78
Tabla 27. Pérdidas en colectores (4 de diciembre).....	81
Tabla 28. Eficiencia de los CCP (4 de diciembre).....	82
Tabla 29. Emisiones anuales mediante el uso de CCP.....	84
Tabla 30. Emisiones anuales mediante el uso de Gas LP. ....	84



### LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Efecto Invernadero (Mendoza 2018)</i> .....	2
Figura 2. Representación gráfica de las emisiones por sector en 2017 (INEEC 2018).....	4
Figura 3. Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEEC 2015).....	6
Figura 4. Radiación Solar en México (SOLARGIS, 2018).....	20
Figura 5. Área de trabajo en la azotea del anexo TAMULBA.....	26
Figura 6. Fuente de variación de voltaje. ....	29
Figura 7. Voltajes máximos y mínimos para soldar los termopares. ....	30
Figura 8. a) Termopar soldado; b)Termopar instalado en tubería. ....	30
Figura 9. Ubicación de termopares instalados en la planta solar prototipo. ....	31
Figura 10. Actuador lineal instalado en CCP (EBay 2018).....	32
Figura 11. Actuador lineal instalado físicamente en sitio.....	33
Figura 12. Controlador del Sistema de seguimiento solar (EBay, 2018b). ....	34
Figura 13. Bomba centrífuga. ....	35
Figura 14. Medidor de caudal («Medidor de caudal» 2018).....	36
Figura 15. Medidor digital de flujo. ....	36
Figura 16. Piranómetro instalado. ....	37
Figura 17. Celdas Instaladas.....	38
Figura 18. Colectores fijos.....	40
Figura 19. Colectores en seguimiento.....	40
Figura 20. Correlación de densidad, datos tomados de (Yunus, C., & John 2006); elaboración propia.....	42
Figura 21. Correlación de $C_p$ , datos tomados de (Yunus, C., & John 2006); elaboración propia.....	43



Figura 22. Ilustración de la regla trapezoidal..... 44

Figura 23. Imagen tomada de (SEMARNAT 2018) ..... 48

Figura 24. Porcentaje de energía transformada en los días de prueba en el mes de mayo 2018..... 53

Figura 25. Prueba del día con mayor transformación de energía (31 de mayo). .. 54

Figura 26. Energía acumulada, pérdidas y captada (31 mayo). ..... 56

Figura 27. Eficiencia Térmica en los CCP (31 de mayo) ..... 57

Figura 28. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de junio 2018. .... 59

Figura 29. Prueba del día con mayor transformación de energía (26 de junio)..... 60

Figura 30. Energía acumulada, pérdidas y captada (26 junio). ..... 61

Figura 31. Eficiencia Térmica en los CCP (26 de junio) ..... 63

Figura 32. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de julio 2018. .... 64

Figura 33. Prueba del día con mayor transformación de energía (11 de julio)..... 65

Figura 34. Energía acumulada, pérdidas y captada (11 julio). ..... 66

Figura 35. Eficiencia Térmica en los CCP (11 de julio) ..... 67

Figura 36. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de agosto 2018. .... 68

Figura 37. Prueba del día con mayor transformación de energía (23 de agosto). 69

Figura 38. Energía acumulada, pérdidas y captada (23 agosto). ..... 70

Figura 39. Eficiencia Térmica en los CCP (23 de agosto) ..... 71

Figura 40. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de septiembre 2018..... 72

Figura 41. Prueba del día con mayor transformación de energía (19 de septiembre). ..... 73



Figura 42. Energía acumulada, pérdidas y captada (19 septiembre). ..... 74

Figura 43. Eficiencia Térmica en los CCP (19 de septiembre). ..... 75

Figura 44. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de noviembre 2018. .... 76

Figura 45. Prueba del día con mayor transformación de energía (6 de noviembre). ..... 77

Figura 46. Energía acumulada, pérdidas y captada (6 noviembre). ..... 78

Figura 47. Eficiencia Térmica en los CCP (6 de noviembre). ..... 79

Figura 48. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de diciembre 2018. .... 80

Figura 49. Prueba del día con mayor transformación de energía (4 de diciembre). ..... 81

Figura 50. Energía acumulada, pérdidas y captada (4 diciembre). ..... 82

Figura 51. Eficiencia Térmica en los CCP (4 de diciembre) ..... 83



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



## **CAPITULO I. Antecedentes**

### *1.1. Introducción*

El cambio climático consiste fundamentalmente en el calentamiento del planeta, que tiene lugar como consecuencia del llamado efecto invernadero. Ese efecto lo ocasionan determinados gases, entre los que destaca el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), producido principalmente durante la combustión de las fuentes de energía fósiles, como el carbón o el petróleo (Cambio Climático Global 2014). El cambio climático es definido como uno de los mayores retos en nuestro mundo actual, ya que nos encontramos atravesando cambios meteorológicos que nos amenazan desde la producción de alimentos, hasta el incremento del nivel del mar el cual aumenta el riesgo de inundaciones catastróficas (Naciones Unidas 2019). El cambio climático es causado por factores como procesos bióticos (Porto 2007), variaciones en la radiación solar recibida por la tierra; también se han identificado ciertas actividades humanas como causa principal del cambio climático reciente, a menudo llamado calentamiento global (National Geographic 2018).

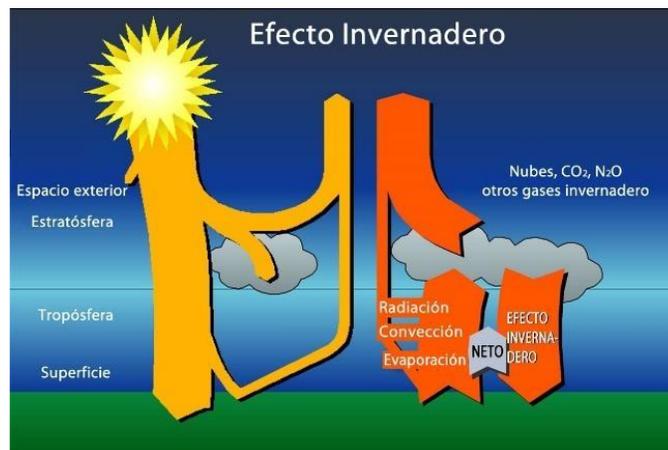
El cambio climático pone en riesgo la salud, la seguridad alimentaria y energética (WWF 2018), es considerado actualmente uno de los problemas ambientales más grandes de nuestros tiempos y esto no sólo a nivel nacional sino también a nivel mundial. Este daño puede ser ocasionado por causas naturales o bien como resultado de nuestras actividades diarias. Una de las consecuencias más notables con respecto al cambio climático, es el calentamiento global ya que hemos tenido incrementos de temperaturas en la tierra y en el mar (Burke et al. 2008). De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016), algunas de las señales de este fenómeno climático son:

- Aumento de la desertificación



- Aumento extremo de temperatura
- Aumentos en fenómenos extremos
- Adelanto en las épocas de calor
- Pérdida de bosques
- Desaparición de los glaciares en el mundo
- Aparición de enfermedades (por ejemplo, los padecimientos ocasionados por el incremento de temperatura; enfermedades cardiopulmonares, enfermedades por contaminación en agua y aire; salud mental causado por el estrés)

Otro factor que afecta el cambio climático son los gases efecto invernadero (GEI), estos los encontramos presentes en la atmósfera y son los que provocan el fenómeno denominado efecto invernadero (National Geographic 2018); el cual se representa gráficamente en la Figura 1. Dicho fenómeno ocurre de manera natural, pero se ve afectado debido a las actividades humanas, las cuales aumentan la concentración de GEI en la atmósfera (Mendoza 2018).



*Figura 1. Efecto Invernadero (Mendoza 2018)*



La emisión de gases efecto invernadero es del 68%, los cuales provienen principalmente de diez países, México es uno de ellos contribuyendo con el 1.68% de emisiones; las principales fuentes emisoras en México son el transporte, la generación de electricidad y la industria (WWF 2018); a su vez estas emisiones de GEI son responsables del aumento de la temperatura del aire próximo al suelo. Los principales GEI son: vapor de agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), clorofluorocarbonos (CFC) y ozono ( $\text{O}_3$ ). En México se lleva a cabo un inventario nacional de las emisiones por sector, dentro de la Ley General de Cambio Climático (DOF 2018) se define el inventario en mención, y describe que este documento contiene la estimación de las emisiones por sector y por absorción de los sumideros que existen. Dicho inventario es realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INEEC 2015) y este desarrolló el inventario de acuerdo con los siguientes plazos:

- La estimación de emisiones por quema de combustibles fósiles se realiza anualmente.
- La estimación de emisiones por otros métodos que no son quema de combustible fósil, exceptuando las relacionadas con el cambio de uso de suelo se realizan cada dos años.
- La estimación de emisiones por las fuentes y las absorciones por los sumideros se realizan cada cuatro años.

En la Tabla 1 se muestran los datos de las emisiones por sector, de acuerdo con lo que presenta el INEEC en su Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) (INEEC 2018); así mismo en la Figura 2 se realiza la representación gráfica.



Tabla 1. Emisiones de gases de efecto invernadero (Gg de CO<sub>2</sub>e) 2015.

	Emisiones	Incertidumbre
	CO <sub>2</sub> e	%
Energía	481	2.26
Procesos industriales y uso de productos	54	13.32
Ganado	71	4.78
Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra	31	63.19
Residuos	46	101.48
<b>Total (sin tierra)</b>	<b>683</b>	<b>7.68</b>
Tierra	-148	19.46
<b>Total (con tierra)</b>	<b>535</b>	<b>11.19</b>

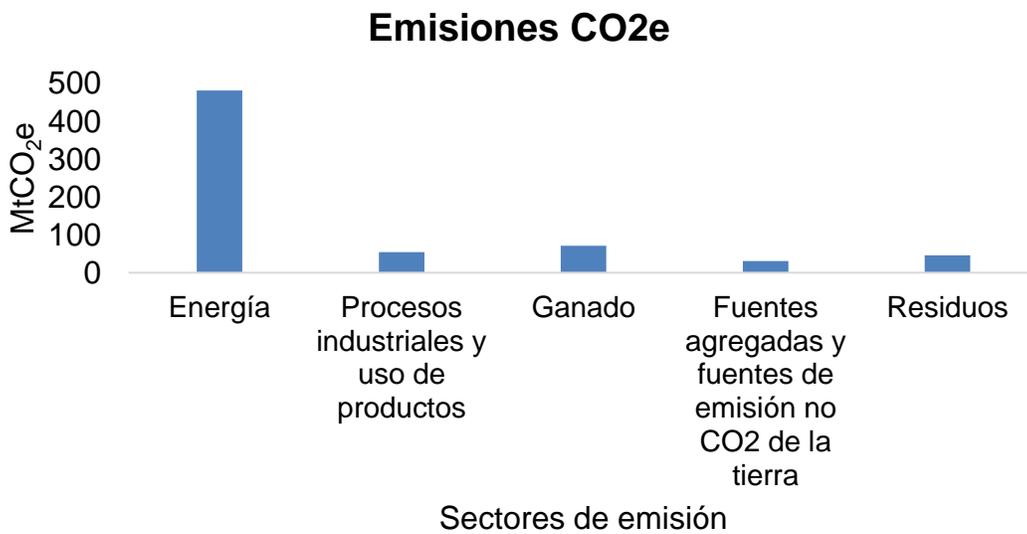


Figura 2. Representación gráfica de las emisiones por sector en 2017 (INEEC 2018)



De acuerdo con la información que muestra el INEEC, se presenta en la Figura 3, el Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero con la información recaudada de 1990 a 2015.

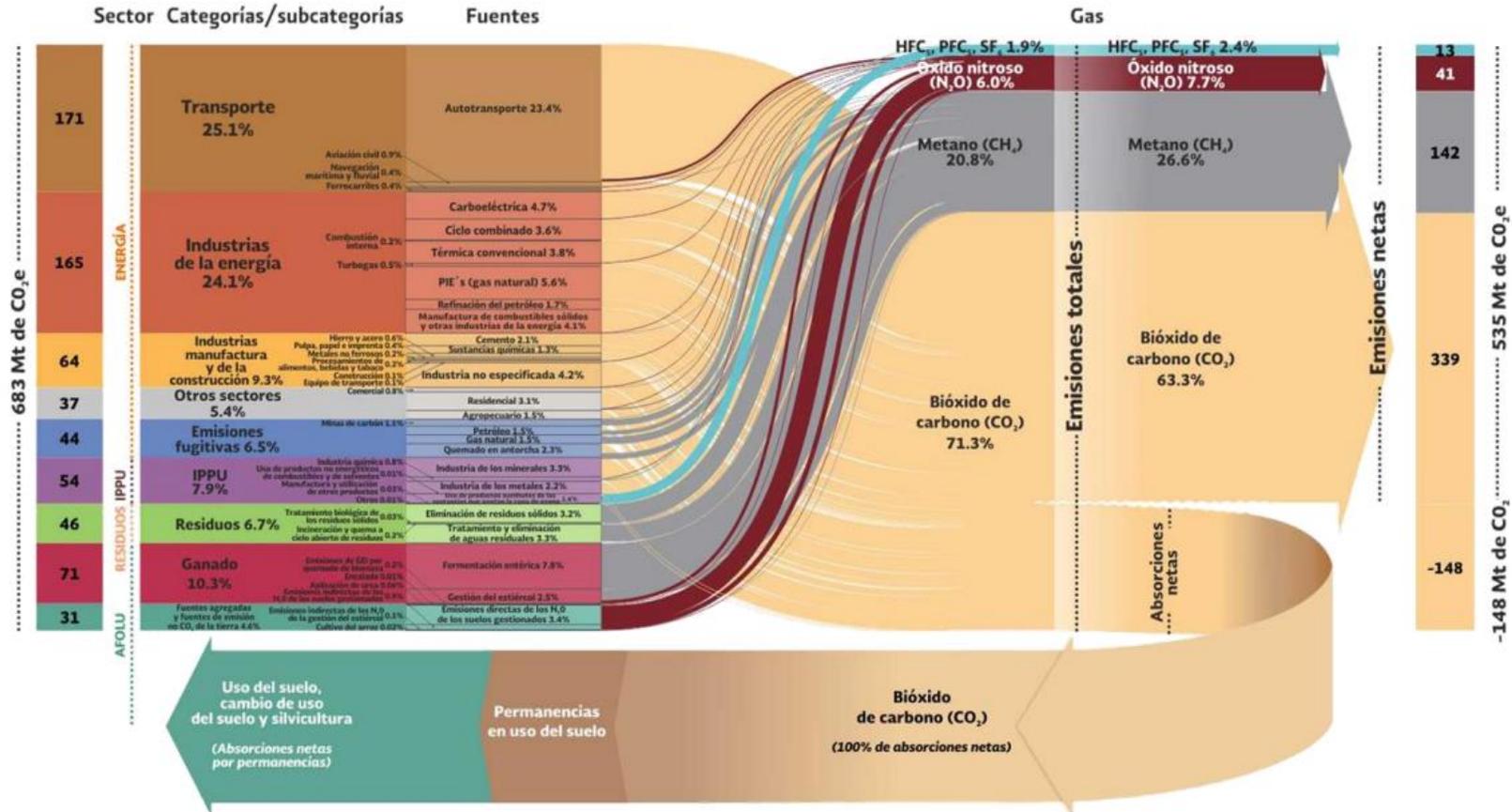


Figura 3. Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEEC 2015)



Una vez revisado el inventario de GEI podemos observar que uno de los apartados que se consideran es el sector energía, el cual será considerado para este trabajo; dentro de dicho sector se consideran las siguientes actividades: *comerciales/institucional, residencial y agropecuario / silvicultura / pesca / piscifactorías*; en la *Tabla 2* se muestran la cantidad de emisiones para dichas actividades.

*Tabla 2. Emisiones del sector comercial/institucional, residencial y agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías (INEEC 2015)*

<b>Categoría/fuente/subfuente de emisión</b>	<b>Emisiones CO<sub>2</sub>e</b>	<b>Emisiones CH<sub>4</sub></b>	<b>Emisiones N<sub>2</sub>O</b>
<b>Energía</b>	<b>445,398.36</b>	<b>31,644.83</b>	<b>3,835.63</b>
<b>Actividades de quema del combustible</b>	<b>429,894.03</b>	<b>2,730.29</b>	<b>3,835.63</b>
<i>Otros sectores</i>	<i>34,460.59</i>	<i>2,216.63</i>	<i>300.90</i>
Comercial/institucional	5,262.21	12.17	2.86
Residencial	18,838.28	2,165.30	276.13
Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	10,360.10	39.16	21.92

### 1.2. Definición del Problema

Derivado del calentamiento global el ser humano ha tenido que crear nuevas formas de transformación de energía que ayuden a la disminución de GEI, pero que a su vez permitan mantener el equilibrio en el planeta, así como mejorar las necesidades de ellos mismos. El planeta atraviesa una de las etapas más críticas con lo que respecta a cambio climático, el cual puede traer



consecuencias devastadoras en pocos años, además de grandes impactos económicos y sociales, y en un caso extremo, si continúa el aumento de temperaturas, cientos de especies animales y seres humanos sufrirían daños irreversibles. Por mencionar un ejemplo, una oleada solar puede causar daños irreparables en un planeta que tiene constantes cambios de temperaturas (Solar 2018).

Por lo anterior, es importante el uso de energías renovables como alternativa para la generación de energía eléctrica. Por otra parte, una forma de reducir la presencia de los GEI es acabar con la explotación de los recursos naturales y eliminar la contaminación que genera la quema de combustibles fósiles. Como se observó en la Tabla 2, el sector residencial representa 21 MtCO<sub>2e</sub> (millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente), lo que es equivalente a 3.1% de emisiones, de acuerdo a lo presentado en el inventario de GEI 2015, dichas emisiones pueden reducirse fomentando el uso de energías renovables, en específico, en este trabajo se aprovecha la energía solar para generar calor de proceso, el cual puede ser utilizado en diversas aplicaciones, sin contaminar o dañar el medio ambiente.

### 1.3. *Hipótesis*

Con un análisis energético es posible determinar la cantidad de energía por unidad de área que puede transformar un colector cilíndrico parabólico, con orientaciones Norte – Sur (N-S) y Este – Oeste (E-O) con y sin seguimiento solar, en Cuernavaca, Morelos, México.



#### 1.4. *Justificación*

Este proyecto contribuye al análisis decreciente de GEI en el sector residencial, mediante el uso de Colectores Cilindro Parabólicos (CCP), estos pueden ser utilizados para generar calor de proceso, generación de energía eléctrica, fuente térmica de sistemas de aire acondicionado solar (ACAS), por mencionar algunas aplicaciones. Además, México es uno de los 5 países con un alto potencial para el uso de la energía solar, de acuerdo con los datos de IRENA, México recibe en promedio diariamente 5.5 kWh/m<sup>2</sup>.

#### 1.5. *Objetivos*

##### 1.5.1. *Objetivo General*

Analizar el comportamiento térmico del fluido en la operación de un concentrador cilíndrico parabólico con orientación N-S y E-O con y sin seguimiento solar.

##### 1.5.2. *Objetivos Específicos*

- Adecuación del área de trabajo para dos prototipos con seguimiento N-S y E-O.
- Instrumentación de dos prototipos para evaluación térmica en función de su orientación y seguimiento.
- Evaluación energética e impactos ambientales en función de las orientaciones de un CCP.



### 1.6. *Estado del arte*

Para el desarrollo de esta tesis, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de la literatura publicada, la cual sirve de apoyo para definir el presente trabajo y conocer el panorama del uso y aplicaciones de las tecnologías termo solares, así como los sistemas de seguimiento solar, los cuales son objeto de estudio de este trabajo. Los trabajos de investigación de mayor relevancia sobre el tema son:

Kalogirou en 2014 realizó una descripción de los diversos tipos de colectores (planos, de tubos evacuados y cilindro parabólicos), una vez descritos ejecutó un análisis óptico, térmico y termodinámico de los colectores y una descripción de los métodos utilizados para evaluar su rendimiento, (Kalogirou 2004)

Bakos realizó un estudio experimental para investigar el efecto del uso de un seguimiento continuo de dos ejes en la energía solar recolectada. Los resultados indican que la energía solar recolectada medida en la superficie en movimiento fue significativamente mayor (hasta 46.46%) en comparación con la superficie fija. (Bakos 2006)

Huang y Sun plantean un diseño fotovoltaico con seguimiento solar de una posición con tres ejes, el sistema fue diseñado con un reflector de baja concentración, el marco de seguimiento lo montan de forma individual. Dicho sistema se posiciona en tres ángulos fijos, los cuales corresponden para la mañana, medio día y tarde. En este trabajo reportan que la generación de energía aumenta aproximadamente un 24.5% en comparación con un módulo fotovoltaico fijo para la latitud del caso de estudio. (Huang y Sun 2007)



Abdallah y Badran realizaron un sistema de seguimiento solar para mejorar la productividad de la captación solar, el dispositivo es controlado por un sistema computarizado el cual hace que se siga la trayectoria del sol, realizan comparaciones de las imágenes obtenidas cuando el sistema se encuentra fijo y cuando se encuentra en movimiento, de lo cual descubren que aumenta la captación solar alrededor de un 22% sobre los valores obtenidos cuando se encuentra fijo. (Abdallah y Badran 2008)

Chong y Wong reportaron el mecanismo de seguimiento de la elevación del azimut y del rodillo de inclinación ya que se encuentran entre los métodos de seguimiento solar más utilizados para estar en posición del sol en todo momento. En este documento, se presenta la forma general la fórmula de seguimiento solar que abarca todos los posibles métodos de seguimiento en el eje. (Chong y Wong 2009)

Villeda y colaboradores presentaron el diseño y fabricación de un seguidor solar de dos ejes (rotación-elevación), el sistema trabaja con motores controlados desde una computadora. El seguimiento primario y secundario es el mismo para los equinoccios, mientras que para los solsticios son diferentes debido a que durante el verano en el hemisferio norte existe mayor altura solar que en invierno. El seguidor solar permite una captación más eficiente de la radiación solar debido a que sigue minuto a minuto el movimiento aparente del Sol. (Villeda et al. 2011)

Espino y colaboradores desarrollaron un sistema de seguimiento solar para mejorar la eficiencia de equipos que son utilizados para el deshidratado de frutas y utilizan la energía solar como fuente de energía tales como colectores, secadores



solares, así como de heliostatos. Con este proyecto buscan mejorar sistemas ya instalados con una baja inversión. Los resultados que obtuvieron demostraron que el colector se mantiene con orientación perpendicular al sol, aprovechando al máximo la radiación solar. (Piero Espino Roman, Carlos Francisco Montoya Mejía, Alejandro Lizárraga Lizárraga 2012)

Ratismith y colaboradores propusieron configuraciones fijas de colectores los cuales se encuentran diseñados para diversos ángulos en el transcurso del día y con esto obtener la mayor incidencia posible, se presentan dos diseños de CPC. En los experimentos reportan que pueden alcanzar temperatura de hasta  $180^{\circ}\text{C}$  y puede ser utilizado para aplicaciones de generación de calor en procesos industriales; otro factor que presentan es que la placa plana es más eficiente que el de canal parabólico. (Ratismith, Inthongkhum y Briggs 2014)

Li y colaboradores analizaron un colector solar de espejo fijo el cual se fija al reflector y el receptor móvil para recolectar la mayor cantidad de energía solar. En este trabajo instalan el colector de espejo fijo en un dispositivo de seguimiento paralelo a la tierra y los reflectores se disponen por intermedio para evitar el sombreado del reflector vecino para un ángulo de incidencia de menos de  $10^{\circ}$  para mejorar su rendimiento óptico. Los resultados muestran que la eficiencia de calor neta media anual de todo el sistema será de hasta el 61% con la temperatura de funcionamiento de  $400^{\circ}\text{C}$ , que es más alta que el colector de canal parabólico. (Li et al. 2015)

Recalde y colaboradores analizaron que el comportamiento de tubos evacuados ante la acción de la radiación solar incidente en la zona ecuatorial. Las pruebas se



realizaron en cuatro días diferentes con tres declinaciones solares, cubriendo la época seca y la época lluviosa, las mediciones demuestran que en las primeras horas del monitoreo la temperatura más alta del agua corresponde al ángulo mayor y al acercarse el medio día el comportamiento cambia, a la inversa. Concluyeron que para optimizar la incidencia de la radiación solar directa en el calentamiento de agua en la región ecuatorial se debe emplear tubos evacuados horizontales. (Recalde et al. 2015)

Wang y colaboradores desarrollaron y estudiaron un colector solar de concentración parabólica compuesto de seguimiento (TCPC); crearon un modelo teórico para simular los ángulos de incidencia solar y el rendimiento óptico del colector TCPC. Sus resultados demuestran que, mediante el seguimiento, la eficiencia óptica promedio es superior al 60%, mientras que se reduce al 30% en el modo fijo, la energía de salida de los colectores de TCPC durante el período de prueba puede aumentarse considerablemente, que es 1.9 ~ 2.3 veces más alta que cuando se encuentran en modo fijo. (Wang et al. 2015)

Arreola y colaboradores destacan que, utilizando un colector solar con seguimiento, la energía total recibida en un día claro puede ser del orden de un 30-45% mayor que para el mismo colector solar estático. Además, diseñaron y construyeron un sistema de seguimiento autónomo capaz de seguir el movimiento de sol, el cual se acopló a un panel fotovoltaico para mejorar la eficiencia en la captura de energía. El mejor rendimiento energético lo reportan cuando el seguidor solar se orientó al sol cada 60 min, la energía generada fue de 27.98% más respecto al panel fijo, con un gasto energético para su funcionamiento de 1.3% de la ganancia final de energía. (Arreola G. et al. 2015)



Kalogirou y colaboradores examinaron la viabilidad de un colector solar térmico, según la plataforma de seguimiento empleada en este colector representa una mejora significativa para la tecnología de concentración solar "estacionaria" la cual se mantiene en el mismo lugar durante cierto tiempo; también realizaron un análisis de rendimiento técnico-económico a nivel de sistema utilizando un modelo desarrollado en TRNSYS. Los resultados de la simulación demuestran que con las características de su prototipo cubren hasta un 50% de su demanda requerida, con respecto al análisis económico indica que este sistema de aire acondicionado solar puede derivar un costo nivelado de energía de refrigeración (LCOC) de 0.60 \$/kW-h. (Kalogirou et al. 2016)

Tagle y colaboradores desarrollaron un programa computacional que predice la producción de energía del sistema con colectores solares parabólicos. Este documento presentó los resultados de dos sistemas instalados, comparando datos computacionales con datos experimentales. (Tagle, Agraz y Rivera 2016)

Liang y colaboradores compararon tres modelos ópticos diferentes basados en el trazado de rayos para un colector parabólico, demuestran que son factibles y confiables en comparación con otras tecnologías. Dentro del trabajo estiman los efectos cuando varían los parámetros geométricos de un colector con respecto a la eficiencia óptica. Además, la compensación del absorbente en la dirección opuesta al error de seguimiento fue beneficiosa para mejorar el rendimiento óptico. El ángulo de apertura más grande fue la eficiencia óptica menos sensible al error de seguimiento para el mismo ancho de abertura del colector. (Liang, You y Zhang 2016)



Moreno y colaboradores realizaron el diseño y construcción de un concentrador solar de Disco Parabólico Reflector (DPR) con seguimiento solar a dos ejes, demuestran que la radiación solar directa incidente de forma perpendicular o normal al plano de apertura es en todo momento mayor a la radiación directa sobre un plano horizontal, esto demuestra que funciona el sistema de control propuesto y que efectivamente se está siguiendo la trayectoria del movimiento aparente del Sol. El sistema se posicionará en dirección al Sol sin importar la obstrucción de la radiación solar ya sea por nubosidades, edificios, árboles o cualquier otro objeto que genere sombra. (Gabriel y Moreno 2016)

Lv y colaboradores mostraron el rendimiento de un colector solar donde indica que este depende en gran medida de su ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal y la orientación (ángulo azimutal de superficie) del colector. Proponen el concepto efectivo de recolección de calor y desarrollaron un modelo matemático optimizado para determinar el ángulo de inclinación y la orientación óptimos para el colector solar. (Lv et al. 2016)

Houncine y colaboradores desarrollaron un método computacional detallado para trazado de 4 rayos en 3 dimensiones para un sistema de colector cilindro parabólico, este método fue basado en las técnicas de trazado de rayos para determinar la distribución del flujo de calor a lo largo del tubo receptor del sistema. En el presente estudio, relacionaron la concentración local y la distribución de la densidad del flujo de calor en la superficie del tubo absorbente para validar el método propuesto; analizan los efectos de la relación de concentración geométrica y el ángulo en la distribución de densidad de flujo de calor y en la energía solar



total interceptada en el tubo receptor. (Houcine et al. 2017)

Ratismith y colaboradores este trabajo es la continuación de un trabajo reportado en 2014, en donde trabajaron con un concentrador cilindro parabólico el cual capta prácticamente un 100% de la radiación solar difusa, aunque lo recomiendan especialmente para climas tropicales. Para esta versión agregaron un módulo, el cual incorpora un nuevo contacto directo de metal con agua que resulta en una eficiencia mejorada al 20% de la transferencia de calor al líquido de trabajo. Los resultados experimentales, obtenidos al probar en condiciones típicas de irradiación solar a lo largo del día, indican que existe una mejora sobre el colector que se encuentra desenfocado, esto de acuerdo con lo teóricamente analizado con respecto al estudio de trazado de rayos, siendo que se comprueban también en la práctica. (Ratismith et al. 2017)

Conrado y colaboradores presentaron una revisión actualizada del rendimiento térmico de los colectores de cilindro parabólicos, con respecto a las configuraciones experimentales de estos, los cuales han sido estudiados en términos de pérdida de calor, condiciones ambientales, temperatura y flujo de calor. Dicho trabajo concluye que aún hay oportunidades para que los investigadores mejoren el modelado térmico, dichas oportunidades se basan en la combinación de los modelos térmicos que tienen reportados en la literatura. (Conrado et al. 2017)

Fernández y colaboradores presentaron la deducción analítica de las ecuaciones genéricas y unificadas del movimiento de los sistemas de seguimiento solar, las cuales consideran la posición del sol, o las ecuaciones del movimiento



astronómico. La aportación de este trabajo es que al ser ecuaciones genéricas permiten la optimización del posicionamiento de las instalaciones fotovoltaicas donde se puede utilizar la irradiación difusa y reflejada. (Fernández-Ahumada et al. 2017)

Conrado y colaboradores presentaron una revisión actualizada del rendimiento térmico de los colectores de PTC, estos han sido estudiados en términos de pérdida de calor, condiciones ambientales, temperatura y flujo de calor. Los principales desafíos que enfrentan los ingenieros son (a) la combinación de los modelos térmicos, (b) introducción de métodos numéricos y simulaciones con menos requisitos computacionales, (c) proponer nuevas metodologías que midan eficientemente el rendimiento térmico y (d) reducir los costos de estos colectores. (Conrado et al. 2017)

Hafez y colaboradores presentaron una revisión de los parámetros de diseño, técnicas matemáticas y simulaciones utilizadas en el diseño de sistemas solares parabólicos, junto con una revisión de sus aplicaciones, analizan los diferentes tipos de software y métodos de prueba de los colectores solares desarrollados desde 1981 que se pueden distinguir por sus modelos matemáticos particulares o técnicas de seguimiento. (Hafez et al. 2018)

Nsengiyumva y colaboradores realizaron revisión a uno de los sistemas de seguimiento solar más comúnmente utilizados y destacan los sistemas que ofrecen beneficios tales como mayor eficiencia, mayor precisión de seguimiento, fácil instalación y rentabilidad. El estudio revela que el eje doble en forma de eje polar y azimut / elevación con los modelos de movimiento solar y el control



dinámico de retroalimentación de bucle cerrado son los más efectivos y generalmente ofrecen una mejora de más del 40% en el retorno de energía en comparación con los paneles fotovoltaicos fijos. (Nsengiyumva et al. 2018)

Tian y colaboradores en este trabajo realizaron una revisión completa de los principios de diseño para los diferentes tipos de configuraciones que pueden realizarse con los colectores cilindro parabólicos; así mismo como sus diversas aplicaciones y predicciones de rendimiento reportadas desde el 2000; concluyen con la perspectiva centrada en los diseños y mejoras para los CCP. (Tian et al. 2018)

Aguilar y colaboradores realizaron un estudio comparativo de dos concentradores parabólicos compuestos con un tubo concéntrico como absorbente colocado longitudinalmente en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste. El análisis incluye el diseño, modelado, construcción, experimentación y validación de los concentradores. Definen como objeto de estudio un CPC con  $24.3^\circ$  de aceptación y 2.22 de concentración geométrica, con una longitud de 2 m. El tubo absorbedor tiene un diámetro exterior de 0.04 m. Configuraron un banco de pruebas para posicionar ambos colectores respectivamente en la dirección N-S y E-W. Los resultados muestran que, en promedio, el CPC con una orientación E-W tiene una eficiencia óptica del 57.5%, mientras que la posición N-S alcanza el 51.3%. (Aguilar-Jiménez et al. 2018)

Lv y colaboradores desarrollaron y validaron un modelo matemático optimizado para determinar el ángulo de inclinación y la orientación óptima para los colectores solares instalados para ser utilizados en la temporada de calefacción. Cuando



comparan los resultados óptimos basados en la radiación solar total, encuentran una desviación de 5 ° en las orientaciones óptimas basadas en la recolección efectiva de calor solar. El caso de estudio muestra que no es aconsejable ajustar el ángulo de inclinación óptimo mensualmente porque no hay cambios significativos en las ganancias totales de energía solar en comparación con el caso de que no haya dicho ajuste durante la temporada de calefacción. (Lv et al. 2018)



## CAPITULO II. Marco Teórico

### 2.1 Energía solar en México

México es uno de los 5 países con un alto potencial para el uso de la energía solar. La manera de contabilizar el potencial es mediante la radiación solar. De acuerdo con los datos mostrados por International Renewable Energy Agency (IRENA) nos muestra que México se encuentra en una latitud entre 15° y 35°; por lo que nuestro país se encuentra ubicado en las regiones más favorecidas con recurso solar, de acuerdo con los datos de IRENA, México recibe en promedio diariamente 5.5 kWh/m<sup>2</sup>. En el noroeste del país se reporta una zona con mayor potencial en la cual la radiación excede de los 8 kWh/m<sup>2</sup>. La Figura 4 nos muestra la radiación directa en México.

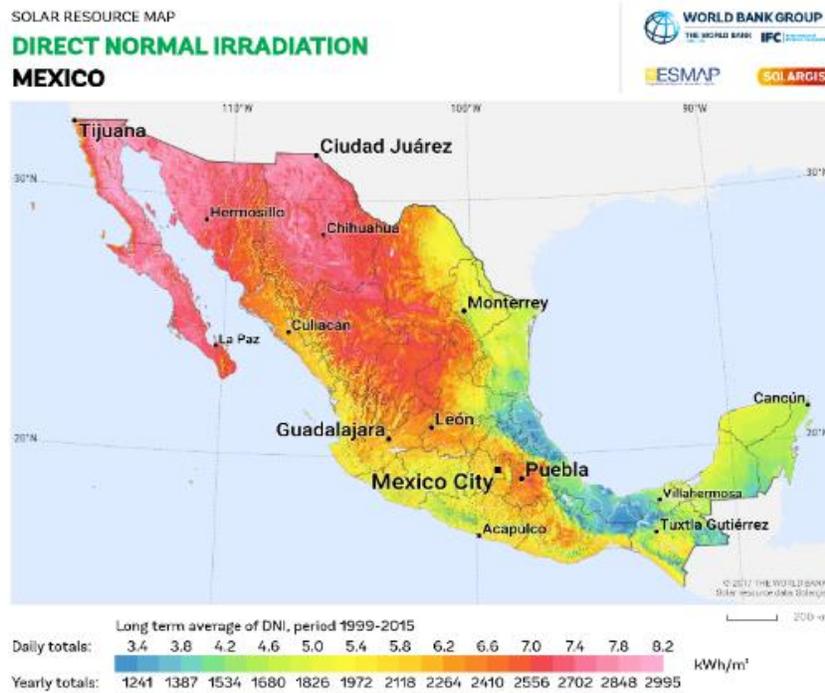


Figura 4. Radiación Solar en México (SOLARGIS, 2018)



## 2.2 Captación de energía solar

La energía solar puede ser energía fotovoltaica pero también térmica, en este caso hablamos de la fotovoltaica para explicar acerca de la captación solar; en la cual se debe contar con un colector solar. Los colectores solares son equipos que tienen la capacidad de acumular la energía que nos irradia el sol, además de acumularla la transforma en energía térmica. Estos instrumentos se distribuyen en dos grupos (Monreal 2007): a) los colectores planos, los cuales tienen la característica de ser de baja temperatura y b) los tipos concentradores, estos son considerados de alta temperatura y regularmente producen energía eléctrica.

Otra forma de agrupar los colectores es tomando en cuenta el factor de concentración (C), el cual es obtenido cuando dividimos el área de colección ( $A_c$ ) entre el área de absorción ( $A_a$ ).

$$C = \frac{A_c}{A_a} = \frac{\text{Área de entrada o colección}}{\text{Área de salida u absorción}}$$

Con esta ecuación podremos obtener el factor de concentración el cual nos indicará que flujo de energía que es capaz de concentrar.

## 2.3 Tipos de concentradores solares

Derivado de la ecuación antes mencionada los que resultan con un índice  $C=1$  son los que están dentro del menor rango de concentración, aquí se agrupan de la siguiente forma:



### *2.3.1. Colectores planos (FPC. - Flat Plate Collector)*

Su funcionamiento es mediante una placa de vidrio o también llamada placa colectora en donde la energía del sol incide, y logra que el fluido caloportador absorba la energía proveniente del sol y se convierte en energía térmica. Su rendimiento está asociado a diversos factores como son la insolación, el área geográfica de la instalación del dispositivo, así como la correcta colocación de este (Martínez 2009).

### *2.3.2. Colector de tubos al vacío (ETC.- Evacuated tube collector)*

Este tipo de colectores tiene registrado que pueden tener una mejor eficiencia con respecto a los colectores planos; esto debido a que reducen las pérdidas por conducción y convección. Estos colectores permiten controlar el límite máximo de temperatura permitido para ellos y de esta forma también logran obtener un mayor rendimiento. Algunas de sus ventajas de esta tecnología es que tiene mejor captación en días poco soleados, que aún en climas poco beneficiosos puede alcanzar temperaturas elevadas (Group 2018).

Los que están catalogados con un  $C > 1$  son;

### *2.3.3. Colectores cilindro parabólico (PTC. – Parabolic trough collector)*

Estos dispositivos transforman la radiación solar directa en energía térmica, ya que la radiación que incide en una superficie con forma de canal parabólico es reflejada y concentrada en la línea focal del colector, donde se coloca un tubo absorbedor a través del cual circula un fluido de trabajo. Estos sistemas alcanzan temperaturas entre  $125^{\circ}$  y los  $450^{\circ}\text{C}$ . (Rommel 2008)

### *2.3.4. Colector parabólico compuesto (CPC. - compound parabolic collector)*

Este dispositivo tiene la capacidad de reflejar el mayor número de rayos que estén dentro de su ángulo de captación; este dispositivo no requiere de seguimiento y debido a esto hace que sean equipos de menor costo y aún más



atractivos para su utilización, este tipo de colector capta la radiación difusa, por lo que son considerados dispositivos de mediana temperatura (Tapia y Del Río 2009).

#### *2.3.5. Reflector de Fresnel lineal (LFR. -linear Fresnel reflector)*

Estos dispositivos concentran toda la radiación en el tubo de absorción, y como este se dirige en una sola línea por eso se le conoce como sistemas de foco lineal; estos colectores por lo regular cuentan con un sistema de seguimiento solar ya que estos deben estar siempre enfocados hacia el sol. Algunos de las ventajas o beneficios de la utilización de este tipo de colectores es que no requieren tubos de vacío, estos colectores son planos y pueden ser instalados cerca del suelo, y a su vez las filas de colectores pueden estar cerca una de la otra, y con esto se garantiza el mejor aprovechamiento del uso de suelo (Monreal 2007).

#### *2.3.6. Reflector de disco parabólico (PDR parabolic dish reflector)*

Estos dispositivos están compuestos por un reflector, el cual posee forma de paraboloides de revolución, es decir que es una parábola que gira sobre su propio eje. Como los otros colectores mencionados anteriormente este también cuenta con un tubo receptor, solo que adicional este cuenta con un sistema de generación de energía eléctrica. Su funcionamiento es casi idéntico que el de los colectores cilindro parabólicos, estos colectores pueden llegar a alcanzar los 1500°C. (Pino et al. 2011).

#### *2.3.7. Sistemas de Torre central*

Este dispositivo también es conocido como colector de campo de helióstatos (HFC. -heliostat field collector), este tipo de colectores regularmente se emplean como un campo de colectores, ya que los helióstatos están formados por varios espejos planos que logran una gran concentración y al ser de gran tamaño



su concentración aumenta, estos dispositivos están orientados hacia el sol en dos direcciones por lo que logran que los rayos solares incidan en varios sentidos sobre la torre; ya que al ser varios espejos cada uno está orientado en un ángulo diferente obteniendo como resultado una mayor captación de energía solar (UNAM 2014).

Una vez mencionados los tipos de colectores solares más utilizados de forma teórica y experimental; se describirán los sistemas de seguimiento solar en qué consisten y a qué tipo de colectores solares son empleados.

#### *2.4. Sistemas de seguimiento solar*

Se le conoce como seguidor solar a aquel equipo o dispositivo mecánico que es capaz de mover, girar u orientar a los paneles fotovoltaicos o colectores solares, para que estos vayan moviéndose conforme a la trayectoria del sol, ya que, al estar moviéndose con respecto al sol, tendrán una mayor captación de radiación solar, y de esta forma se puede incrementar el rendimiento de los sistemas de captación (López A.G. 1985). Existen diversos tipos de sistemas de seguimiento, entre los que destacan:

- En un eje horizontal, el cual consiste en que la superficie gire precisamente en el eje horizontal y este orientado en la dirección norte – sur.
- En un eje azimutal, en este caso la superficie gira sobre el eje vertical y en ángulo de la superficie es igual a la latitud del lugar donde se encuentra instalado, en este caso el giro se ajusta para que la superficie este en la misma dirección que el meridiano local, en este tipo de sistemas de



seguimiento se deben de realizar diversos ajustes a lo largo del día, conforme a la trayectoria del sol.

- En un eje polar, este sistema de seguimiento gira sobre el eje orientado al sur, pero debe encontrarse inclinado con el ángulo correspondiente a la latitud del lugar donde se encuentran instalados los sistemas de captación. En este sistema el ajuste del giro se realizará hasta que la normal coincida con la dirección del meridiano terrestre. Para este sistema se encuentra reportado en literatura que el giro de ajuste es de  $15^\circ$  por hora, en sentido a las manecillas del reloj.
- En dos ejes, para este sistema de seguimiento la superficie se mantiene todo el tiempo perpendicular al sol, aunque cabe mencionar que también este tipo de sistemas tiene dos variantes, en un caso se suele utilizar con un sólo soporte al centro, y en otro se le colocan varios soportes que son distribuidos uniformemente a lo largo de la superficie del sistema de captación en el cual este instalado.



### CAPITULO III. Metodología Teórico / Experimental

En el presente capitulo se presenta todas las actividades que fueron necesarias desarrollar para cumplir con los objetivos específicos planteados en el presente trabajo.

#### 3.1. Adecuación del área de trabajo

Antes de iniciar la evaluación de los prototipos de CCP, primero se llevó a cabo una limpieza del área donde fueron instalados, ya que junto a la azotea del anexo TAMULBA, hay árboles que sombrean los prototipos, así como el desprendimiento y caída constante de hojas durante todo el año. El área asignada cuenta con una superficie aproximada de 140m<sup>2</sup> y se encuentra distribuida como se muestra en la Figura 5.

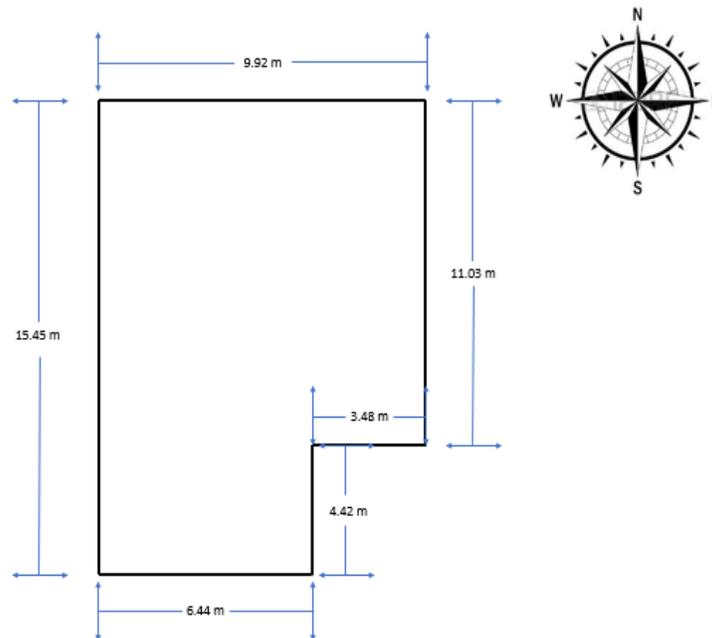


Figura 5. Área de trabajo en la azotea del anexo TAMULBA



Una vez que la azotea estuvo limpia de objetos y polvo, se procedió a realizar la orientación de los prototipos, cabe mencionar que uno estaría orientado Norte – Sur y el otro con orientación Este – Oeste. La orientación de los prototipos es de acuerdo con la posición geográfica, por esto es importante definir el norte magnético y el norte geográfico.

**Norte magnético:** Es la dirección que nos indica la aguja cuando hacemos uso de una brújula, el norte magnético jamás coincide con el norte geográfico, este se mueve de forma diaria.

**Norte geográfico:** se refiere al punto de la superficie del planeta que coincide con el eje de rotación.

### 3.2. *Instalación de equipo e instrumentación de los CCP*

Los prototipos ya se encontraban completamente armados e instalados, así que se procedió con la instalación de los instrumentos de medición necesarios para las pruebas experimentales que se describen posteriormente.

- Termopares Tipo K
- Actuador lineal
- Sistema de seguimiento integrado por 4 celdas FV de 3 V
- Bomba hidráulica de ½ HP
- Medidor de flujo digital
- Piranómetro

#### 3.2.1. *Elección de Termopares*

Para abordar este punto lo primero que haremos es describir que es un termopar y



para qué o en qué se utiliza, un termopar es aquel sensor con el cual podemos medir la temperatura en un punto, en este caso se utilizó cable tipo termopar K, el cual está compuesto por dos metales diferentes por cada conductor, el conductor positivo está formado por níquel-cromo y el conductor negativo es de una aleación de níquel-aluminio.

Cada tipo de termopar tiene una precisión y rango de temperatura, el cual se muestra en la Tabla 3.

*Tabla 3. Rango de precisión y rango de temperatura termopares (Omega, 2018)*

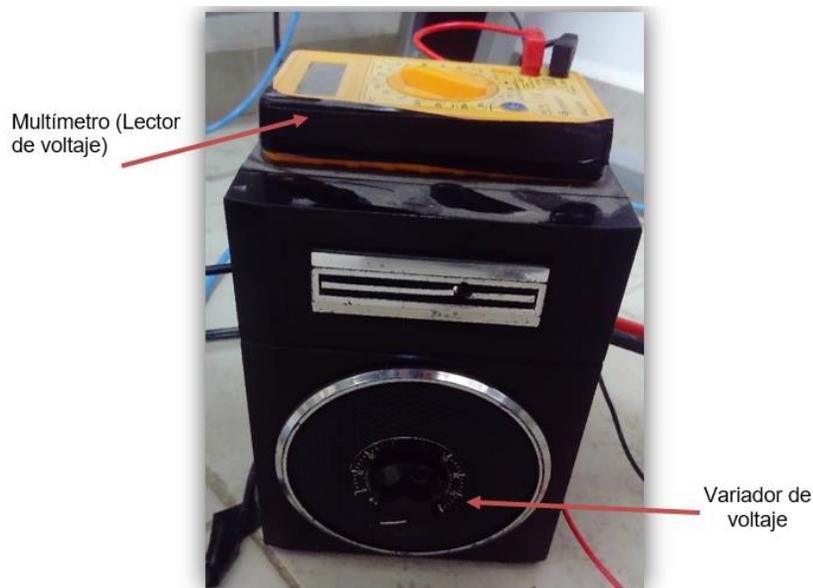
Tipo de Termopar	Rango de temperatura	Límite de error Estándar	Límite de error Marca Omega
<b>J</b>	0°C – 750 °C 32°F – 1382°F	2.2 °C / 0.75%	1.1 °C / 0.4%
<b>K</b>	-200°C – 1250 °C -328°F – 2282°F	2.2 °C / 0.75%	1.1 °C / 0.4%
<b>E</b>	-200°C – 900 °C -328°F – 1652°F	1.7 °C / 0.5%	1.0 °C / 0.4%
<b>T</b>	-250°C – 350 °C -328°F – 662°F	1.0 °C / 0.75%	0.5 °C / 0.4%

Para este trabajo cualquiera de los termopares enlistados pudo haber sido seleccionado, ya que son adecuados para la experimentación, porque el rango de las temperaturas registradas va de 10°C a 90°C y como se observa en la Tabla 3; dichos termopares presentados se encuentran dentro del rango a utilizar. Por lo que se seleccionan Termopares tipo K.



### 3.2.2. Construcción de Termopares

Para poder instalar los termopares lo primero que se tuvo que hacer fue soldar las puntas de los termopares, estos fueron soldados con una fuente reguladora de voltaje (VARIAC) el voltaje que se aplica depende del calibre del cable, en este caso el calibre es 20 (0.8mm), cada uno de ellos fue instalado en algún punto donde estuvieran en contacto directo con el fluido, a continuación se mostrará la Figura 6 y 7 se irán describiendo cada una de las imágenes donde se puede apreciar la instalación.



*Figura 6. Fuente de variación de voltaje.*



Voltaje mínimo



Voltaje máximo

Figura 7. Voltajes máximos y mínimos para soldar los termopares.

Una vez soldados los termopares, se instalan dentro del circuito En la Figura 8a) se observa como quedo soldado físicamente el termopar, mientras que en la Figura 8b) se observa cómo está instalado el termopar dentro de la tubería del sistema.



Figura 8. a) Termopar soldado; b) Termopar instalado en tubería.

### 3.2.3. Instalación de Termopares

Los termopares se encuentran distribuidos como se muestra en la Figura 9.

1. T1 Entrada a termotanque
2. T2 Salida de termotanque a CCP NS (Norte – sur)
3. T3 Entrada a CCP NS
4. T4 Salida de CCP NS
5. T5 Entrada a CCP EO (Este – oeste)
6. T6 Salida de CCP EO
7. T7 Regreso a termotanque
8. T8 Termotanque
9. T9 Temperatura ambiente

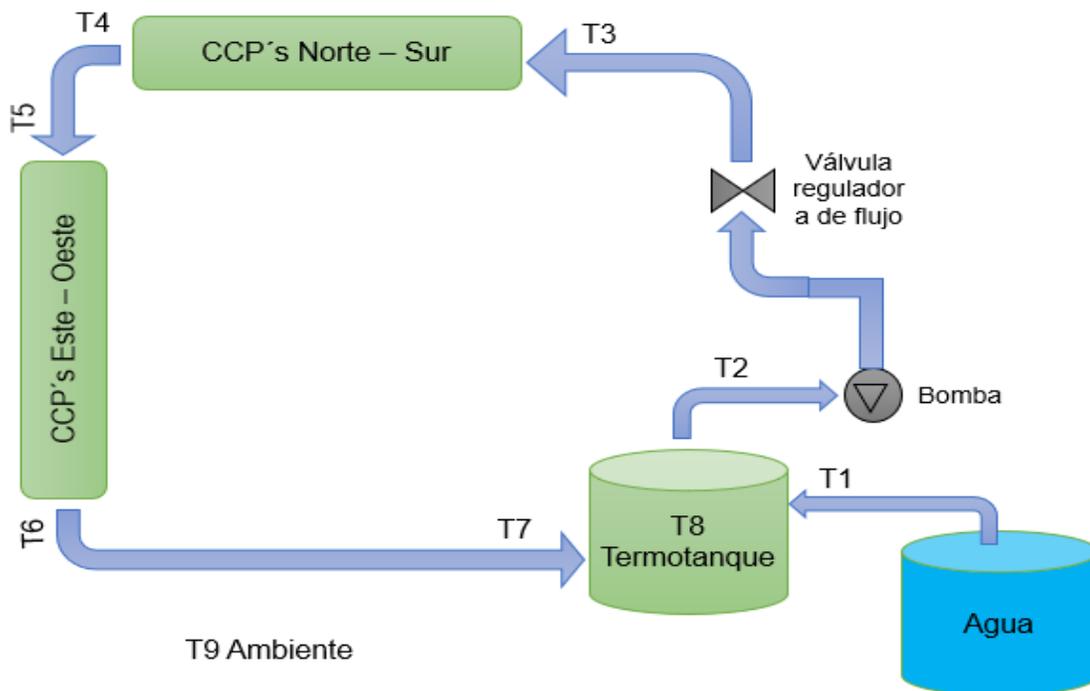


Figura 9. Ubicación de termopares instalados en la planta solar prototipo.

### 3.2.4. Instalación del actuador lineal

Como parte del sistema de seguimiento solar se instala un actuador el cual sirve para poder mover el CCP desde su posición de descanso hasta una apertura máxima de 0.5 m lo cual corresponde de 90 a 180°, en la Tabla 4 se muestra las características del dispositivo.

*Tabla 4. Características del actuador instalado.*

Característica	Valor
<b>Marca</b>	Genérico
<b>Modelo</b>	JS-TGZ-U2
<b>Voltaje de alimentación</b>	12 VCD
<b>Corriente</b>	3 A
<b>Largo de apertura</b>	50 cm



*Figura 10. Actuador lineal instalado en CCP (EBay 2018)*



*Figura 11. Actuador lineal instalado físicamente en sitio.*

### 3.2.3. *Instalación de sistema de seguimiento vía fotovoltaica*

Para poder llevar a cabo el seguimiento de acuerdo con la trayectoria del sol se instaló en cada prototipo un sistema de seguimiento basado en un sensor formado por celdas fotovoltaicas, este es un dispositivo mecánico el cual consiste en realizar la orientación de los CCP logrando que éstos se mantengan perpendiculares a los rayos del sol. Cuando este fenómeno ocurre es cuando se tiene la máxima radiación solar captada.

*Tabla 5. Características de brazo instalado.*

Característica	Valor
<b>Marca</b>	Genérico
<b>Modelo</b>	JS-TGZ-U2
<b>Voltaje de alimentación</b>	12 VCD
<b>Largo de apertura</b>	50 cm



Figura 12. Controlador del Sistema de seguimiento solar (EBay, 2018b).

### 3.2.4. Instalación de bomba

Se instala una bomba con las características mostradas en la Tabla 6, con la cual se recircula el fluido de trabajo durante el tiempo de operación.

Tabla 6. Características de la bomba.

Característica	Valor
<b>Marca</b>	Nacional
<b>Modelo</b>	40151503
<b>Voltaje de alimentación</b>	127 / 220 VCA
<b>Potencia</b>	½ HP



Figura 13. Bomba centrífuga.

### 3.2.5. Medidor de caudal

Se instaló un medidor de caudal comercial para ser operado con la bomba centrífuga ya que con dicha bomba no teníamos forma de controlar el flujo constante que debería entrar y salir en el circuito. Adicional a este medidor de caudal también se instala un medidor digital, dispositivo de fabricación propia que utiliza un microcontrolador y un display de cristal líquido, y que nos muestra el caudal que estamos dando a la salida de la bomba, ya que el medidor de caudal genera una señal cuadrada digital que debe de transformarse para obtener el flujo volumétrico:

$$\frac{1\text{seg}(\text{Hz})}{5.5} = \text{flujo de agua en l/min}$$

Ecuación 1.



Tabla 7. Características del medidor de caudal.

Característica	Valor
Marca	Digiten
Modelo	G3
Voltaje de alimentación	5 - 24 VCD
Corriente máxima	15 mA
Rango de Flujo	1 – 60 l/min



Figura 14. Medidor de caudal («Medidor de caudal» 2018)



Figura 15. Medidor digital de flujo.

### 3.2.6. Instalación de piranómetro

Como parte fundamental de este experimento fue medir el valor de irradiancia al que los CCP se encontraron colectando, para esto fue necesario la instalación de un piranómetro el cual estuvo obteniendo mediciones de irradiancia



*Tabla 8. Características del piranómetro.*

Característica	Valor
<b>Marca</b>	LI-COR
<b>Modelo</b>	LI-200/R
<b>Incertidumbre</b>	$\pm 3\%$
<b>Sensibilidad</b>	$75 \mu\text{A} \times 1000 \text{Wm}^2$
<b>Tiempo de respuesta</b>	menos de $1\mu\text{s}$
<b>Temperatura de operación</b>	$-40^\circ\text{C}$ a $65^\circ\text{C}$



*Figura 16. Piranómetro instalado.*

### 3.2.7. Instalación de celdas de referencia

Adicional a la instalación del piranómetro se realizó la instalación de 4 celdas solares comerciales, con el fin de obtener datos de voltaje y corriente de la radiación directa y difusa, para llevar a cabo una correlación con respecto a los datos obtenidos con el piranómetro.



Dicha correlación fue programada en Matlab<sup>1</sup>, en el APENDÍCE A se muestra el programa desarrollado, también se mostrará los Coeficientes de Pearson y las gráficas obtenidas entre la potencia y el piranómetro.

*Tabla 9. Características de las celdas.*

Característica	Valor
<b>Marca</b>	Radox
<b>Voltaje</b>	3 VCD
<b>Corriente</b>	100 mA
<b>Potencia máxima</b>	0.05 W
<b>Tamaño</b>	5.5 cm x 5.5 cm



*Figura 17. Celdas Instaladas.*

### 3.3. Criterios para la evaluación Experimental

La evaluación de estos prototipos se realiza con las consideraciones de operación mostradas en la tabla siguiente.

---

<sup>1</sup> Software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio



*Tabla 10. Datos para la evaluación experimental.*

Descripción	Valor	Unidades
<b>Hora de inicio</b>	9:00	a.m.
<b>Hora de termino</b>	6:00	p.m.
<b>Flujo</b>	6	l/min
<b>Fluido utilizado</b>	agua	

### 3.4. *Procedimiento para la evaluación experimental*

Para llevar a cabo la evaluación de los prototipos realizó una serie de pasos a seguir, tal como se muestra a continuación:

1. Se instala equipo de adquisición y accesorios
2. Se enciende bomba
3. Se colocan CCP (en seguimiento o fijos; de acuerdo con lo calendarizado)
4. Se configura programa adquirente de datos
5. Se inicia prueba 9:00 a.m.
6. Se realiza medición de sombras a partir de las 10:00 a.m. cada 30 minutos
7. Se finaliza la prueba a las 6:00 p.m.
8. Se guardan datos de prueba
9. Se desinstala equipos y accesorios

### 3.5. *Escenarios seleccionados para la evaluación experimental*

Dentro de este apartado quedaran indicados los escenarios seleccionados para la evaluación experimental, los cuales son:

- i. CCP orientados N-S fijos
- ii. CCP orientados N-S con seguimiento solar



- iii. CCP orientados E-O fijos
- iv. CCP orientados E-O con seguimiento solar



Figura 18. Colectores fijos.



Figura 19. Colectores en seguimiento.

### 3.6. Ecuaciones utilizadas para la obtención de variables físicas de interés



Las variables físicas medidas en las pruebas experimentales son:

- Temperatura en nueve puntos diferentes de la planta solar (ver Figura 10)
- Flujo másico del fluido de trabajo
- Corriente y voltaje de las celdas de referencia
- Voltaje de salida del piranómetro utilizado

Estas variables se utilizan para calcular  $Q_T$  (energía térmica generada por los colectores), el cual se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q_T = \dot{m}C_p\Delta T \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

$C_p$  es el calor calorífico esta expresado en  $J/kg^\circ K$

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura obtenida y está dada en  $^\circ C$

$\dot{m}$  es el flujo másico la cual se obtiene de la ecuación:

$$\dot{m} = \rho V \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

$\rho$  es la densidad del fluido, la cual esta expresada en  $(kg/m^3)$

$V$  es el volumen del fluido el cual esta expresado en  $(l/min)$

El flujo volumétrico utilizado para el desarrollo de esta evaluación es constante como ya se había mencionado el cual corresponde a  $6 \text{ l/min}$  o lo que es igual a  $0.10 \text{ kg/s}$  como lo indica el estándar (ANSI/ASHRAE Standard 93-2010 (RA 2014) 2014)

Para el cálculo de la densidad se realiza una correlación mediante una ecuación polinómica de 4to grado con base a los datos mostrados en la Tabla siguiente:



Tabla 11. Propiedades de agua saturada, valores de densidad (Yunus, C., & John 2006)

Temperatura °C	Densidad ρ(kg/m³)
10°	999.7
15°	999.1
20°	998
25°	997
30°	996
35°	994
40°	992.1
45°	990.1
50°	988.1
55°	985.2
60°	983.3
65°	980.4
70°	977.5

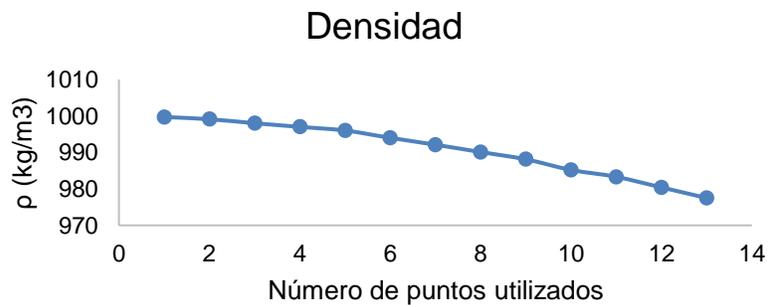


Figura 20. Correlación de densidad, datos tomados de (Yunus, C., & John 2006); elaboración propia.

$$\rho = (-0.0995x^2) - (0.4784x) + 1000.4 \quad \text{Ecuación 4.}$$

Para el cálculo del Cp se realiza una correlación mediante una ecuación polinómica de 4to grado con base a los datos mostrados en la Tabla siguiente:



Tabla 12. Propiedades de agua saturada, valores de Cp (Yunus, C., & John 2006).

Temperatura °C	Calor Específico Cp (J/kg°C)
10°	4194
15°	4186
20°	4182
25°	4180
30°	4178
35°	4178
40°	4179
45°	4180
50°	4181
55°	4183
60°	4185
65°	4187
70°	4190

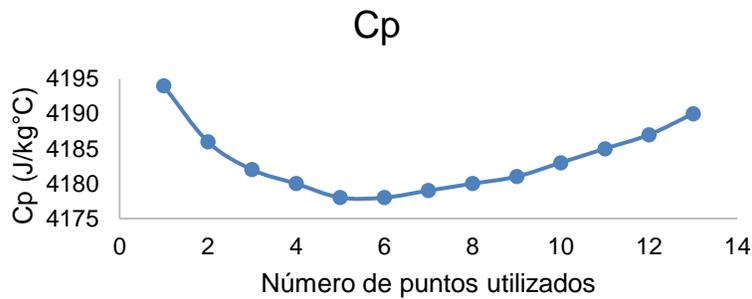


Figura 21. Correlación de Cp, datos tomados de (Yunus, C., & John 2006); elaboración propia.

$$Cp = (0.004x^4) - (0.1441x^3) + (2.0854x^2) - (12.537x) + 4204.4$$

Ecuación 5.

Y por último la diferencia de temperatura:



$$\Delta T = T_{sal} - T_{ent} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Una vez calculando todas estas variables, entonces procedemos a calcular la energía térmica generada ( $Q_t$ ), cabe mencionar que estos cálculos fueron realizados para cada uno de los escenarios presentados.

Se realiza también el cálculo del área bajo la curva con el fin de obtener la energía generada durante cada adquisición de datos (cada 30 segundos), el cual fue realizado mediante el método trapezoidal, el cual consiste en dividir el área bajo la curva  $y=f(x)$ , comprendida entre  $a$  y  $b$ , en  $n$  intervalos de ancho  $\Delta x=(b-a)/n$  y aproximar las áreas de cada intervalo a áreas trapezoidales (Hidalgo López Arturo; Conde Lazaro Carlos; López Benito Alfredo 2007), como se muestra en la Figura 22.

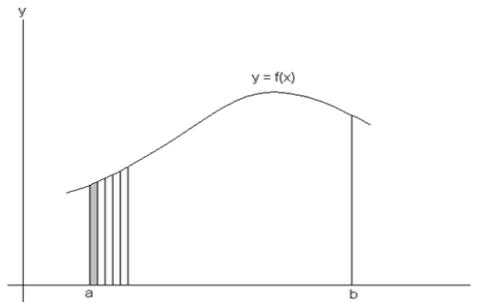


Figura 22. Ilustración de la regla trapezoidal.

El área de cada trapecio equivale, por tanto:

$$A_1 = \frac{1}{2} [f(x_0) + f(x_1)] \Delta x$$

$$A_2 = \frac{1}{2} [f(x_1) + f(x_2)] \Delta x$$

$$A_n = \frac{1}{2} [f(x_{n-1}) + f(x_n)] \Delta x$$

$$\text{Ecuación 7.}$$



### 3.7. Porcentaje de energía transformada

Para la presentación de los resultados se realizó un cálculo el cual sin importar los días de pruebas obtenidos hace que la evaluación de resultados sea de la forma más justa para ser comparados, ya que estos se muestran de manera porcentual adimensional; a esta metodología le llamamos *porcentaje de energía transformada* la cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{ET_{gxd}}{ES_{gxd}} * 100 = \% \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

$ET_{gxd}$  es la Energía térmica total generada por día<sup>2</sup>

$ES_{gxd}$  es la Energía solar captada por día<sup>3</sup>

### 3.8. Cálculo de transferencia de calor

El cálculo de las pérdidas de energía mediante la transferencia de calor por convección y radiación para los elementos que intervienen en la experimentación tales como tuberías y termotanque de almacenamiento, la suma de ambos tipos de pérdidas nos indicará las pérdidas totales en un día de experimentación.

#### 3.8.1. Pérdida de calor por convección

Para calcular el calor transferido por convección se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Q_c = hA\Delta T \quad \text{Ecuación 9.}$$

<sup>2</sup> Generada por día comprende a la energía térmica generada durante el horario de prueba el cual se estableció de las 9:00 a.m. a las 6:00 p.m.

<sup>3</sup> Generada por día comprende a la energía solar captada durante el horario de prueba el cual se estableció de las 9:00 a.m. a las 6:00 p.m.



$$A = \pi dL$$
$$A = 2 \pi r L + 2 \pi r^2$$

*Ecuación 10.*

*Ecuación 11.*

Donde:

$h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección para la tubería sin aislar es de  $6.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (Holman 1998), mientras que para el tanque utilizaremos  $1.32 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Grajales 2003).

$A$  corresponde al área, para la tubería de  $2 \text{ m}$  se toma  $7.97 \text{ m}^2$ , para la tubería de  $6 \text{ m} = 23.93 \text{ m}^2$  y para el tanque  $A=5.62 \text{ m}^2$ .

$L$  es la longitud de las tuberías es  $2$  y  $6 \text{ m}$  respectivamente, del tanque es de  $1.46 \text{ m}$

$r$  es el radio del tanque es de  $0.465 \text{ m}$

$d$  es el diámetro de la tubería la cual es de  $1''$  lo que es igual a  $0.0127 \text{ m}$

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre la temperatura de salida y la de entrada.

### 3.8.2. Pérdida de calor por radiación

Para calcular el calor transferido por radiación se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_r = \varepsilon \sigma A \Delta T^4 \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde:

$\varepsilon$  corresponde a la emisividad la cual para la tubería de cobre es considerada de  $0.03$  siendo un valor adimensional (Holman 1998).

$\sigma$  es la constante de Boltzmann la cual es de  $5.669 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{K}^4$  (Holman 1998).

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre la temperatura de salida y la de entrada.

### 3.9. Cálculo de eficiencia térmica

Para el cálculo de la eficiencia térmica por unidad de área se realiza de acuerdo con (ANSI/ASHRAE Standard 93-2010 (RA 2014) 2014) el cual es un método de



prueba para determinar el rendimiento térmico de los colectores solares; dicho estándar establece que las pruebas de eficiencia deben ejecutarse por un periodo de estado permanente de 5 minutos. La eficiencia estará calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_T}{G_B A_a} \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

$\eta$  es la eficiencia

$Q_T$  es el calor transformado por los colectores

$G_B$  es la irradiancia directa

$A_a$  es el área de apertura, la cual es de 5.856 m<sup>2</sup>

### 3.10. Evaluación energética y de impactos ambientales con el uso de CCP

#### 3.10.1. Evaluación energética y de impactos ambientales para el brazo de seguimiento de los prototipos

Para llevar a cabo la evaluación energética del motor que utiliza el brazo de seguimiento es importante calcular el consumo energético que se tiene durante las horas de experimentación de manera mensual para poder calcular las emisiones anuales de dicho escenario.

Tabla 13. Consumo del motor.

Equipo	Watts x hora	Horas de uso	Wh/mes
<b>Motor (2 equipos)</b>	36	13	468

Para ello se consideraron dos manera de poder llevar a cabo dicha evaluación; el primero es con base en el documento que emite la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en conjunto con la Comisión Reguladora de

Energía (CRE) en el cual nos indica el Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional en 2017 (Energía 2018) (APÉNDICE B), la segunda opción es a través del Registro Nacional de Emisiones (RENE) la cual nos permite el uso de una herramienta para realizar el cálculo de emisiones. Algo que se debe aclarar es que el resultado sólo es indicativo, que dicha calculadora arroja datos aproximados con base a los datos ingresados de forma manual por cada usuario, a su vez dicha calculadora sólo sirve para orientar al usuario, pero nada tiene que ver con el reporte de emisiones que emite dicha institución.

A continuación, se muestra la imagen de la interfaz de la Calculadora RENE.

SEMARNAT SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Calculadora de emisiones para el Registro Nacional de Emisiones

Tus emisiones anuales son:  tCO<sub>2</sub>e/año

SEMARNAT BID Banco Interamericano de Desarrollo

La SEMARNAT agradece al Banco Interamericano de Desarrollo por su apoyo financiero para llevar a cabo este proyecto

Versión 6.0 Mayo 2018

NOTA: El resultado de emisiones es indicativo. La calculadora entregará resultados más aproximados a las emisiones reales en la medida en que el usuario ingrese información completa y verdadera. Puede servir como herramienta orientadora para determinar si el sujeto sobrepasa o no el umbral de registro. En ningún caso sustituye la estimación de emisiones que deben realizar los Establecimientos Sujetos a Reporte y no se debe usar como resultado final de sus emisiones anuales, esta calculadora es un instrumento de apoyo. La suma de las emisiones puede no coincidir con el resultado parcial, por el redondeo de cifras.

1.- Selecciona el sector, subsector y actividad    2.- Ingresar el dato de actividad en las unidades solicitadas    REINICIAR

Sector	Subsector	Actividad	Fuente de Emisión	Instrucciones	Dato de Actividad	Unidad	Emisiones GEI [tCO <sub>2</sub> e]	Emisiones CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> ]	Emisiones CH <sub>4</sub> [tCH <sub>4</sub> ]	Emisiones N <sub>2</sub> O [tN <sub>2</sub> O]
Energía	Energía eléctrica	Consumo_energía_eléctrica	Consumo_energía_eléctrica	Ingreso la electricidad consumida al año en kWh	0.000108	MWh	0.00			

Figura 23. Imagen tomada de (SEMARNAT 2018)

Para llevar a cabo el cálculo con el Factor que emite la CRE se realiza de la siguiente manera:

$$FEE_p = \frac{Emisiones_{p,t}[tCO_{2e}]}{Electricidad\ neta_p[MWh]} \quad \text{Ecuación 14.}$$

$$Emisiones_{p,t}[tCO_{2e}] = (FEE_p) * (Electricidad\ neta_p[MWh]) \quad \text{Ecuación 15.}$$



$$Emisiones_{p,t}[tCO_{2e}] = (0.582 \text{ toneladas de } CO_2 / MWh) * (0.000468MWh)$$

$$Emisiones_{p,t}[tCO_{2e}] = 272.37 \times 10^{-6} tCO_2$$

Las emisiones que se calcularon son de forma mensual por lo que las multiplicaremos por doce meses, así nos ayudará a conocer las emisiones que generaríamos al año, las cuales serían de **32.68x10<sup>-4</sup> tCO<sub>2e</sub>**.

3.10.2. *Evaluación energética y de impactos ambientales para la bomba utilizada*

Como ya se explicó en el ejemplo anterior lo primero es conocer los consumos energéticos que se realizan al utilizar la bomba centrífuga, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 14. Consumo de bomba centrífuga.

Equipo	kWh/h	Horas de uso	kWh/mes
<b>Bomba centrífuga</b>	1.118	216	241.48

Ya que conocemos los consumos mensuales utilizaremos la ecuación 5 del ejercicio anterior:

$$Emisiones_{p,t}[tCO_{2e}] = (FEE_p) * (Electricidad neta_p[MWh])$$

$$Emisiones_{p,t}[tCO_{2e}] = (0.582 \text{ toneladas de } CO_2 / MWh) * (0.244148 MWh)$$

$$Emisiones_{p,t}[tCO_{2e}] = 142.09 \times 10^{-3} tCO_2$$

Y nuevamente si estas emisiones las calculamos a un año estaríamos emitiendo **170.50x10<sup>-2</sup> tCO<sub>2</sub>**.

Utilizando esta metodología emitiremos un total de **170.83x10<sup>-2</sup> tCO<sub>2</sub>** al año.



Cabe mencionar que las emisiones anuales, como lo marca la calculadora RENE, son emisiones menores a un sistema de calentamiento convencional a gas L.P.

### 3.11. Evaluación energética y de impactos ambientales con el uso de Gas LP (Licuado de petróleo)

Para este trabajo de tesis se lleva a cabo un ejercicio académico el cual consiste en considerar que se utiliza un sistema de calentamiento de agua mediante el uso de Gas LP; lo cual nos arrojaría otros impactos ambientales, lo primero que debemos conocer es la cantidad de Gas LP utilizada para lograr las mismas condiciones de temperatura, está la conoceremos mediante la siguiente ecuación:

$$Q = m\Delta H \quad \text{Ecuación 16.}$$

$$m = \frac{Q}{\Delta H} \quad \text{Ecuación 17.}$$

Donde:

$m$  es el flujo másico utilizado el cual esta expresado en (kg/s)

$\Delta H$  es el poder calorífico del gas LP el cual se considerará de 45.72 MJ/kg de gas (Soriano 2018).

Para calcular las emisiones utilizaremos la ecuación 15, modificando el factor de emisión y el consumo, ya que para este ejemplo utilizamos gas LP.

$$\text{Emisiones}[tCO_2e] = (FEG) * (\text{Consumo de gas LP}[kg]) \quad \text{Ecuación 18.}$$

Donde:

$FEG$  corresponde al factor de emisiones del gas LP, el cual se considera de 2.926 kg de CO<sub>2</sub>/kg de gas LP (Soriano 2018).



Una vez que calculemos estos datos mediante los resultados experimentales, se llevará a cabo un ejercicio académico comparando las emisiones de ambos escenarios donde consideraremos en uno si se empleara el uso constante de estos prototipos para el calentamiento de agua, o bien el uso de gas LP; dicho comparativo será presentado en el capítulo correspondiente a resultados.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



## **CAPITULO IV. Resultados y Discusión**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, en cada mes se mostrarán los siguientes datos:

1. el escenario con mayor porcentaje de energía transformada
2. el día con mayor generación de energía térmica
3. las perdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica
4. la eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía
5. comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los colectores cilindro parabólicos y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.

4.1. *Primer mes de prueba, mayo 2018.*

4.1.1. *Escenario con mayor porcentaje de energía transformada*

En la Figura 24 observamos el comportamiento térmico que obtuvimos durante el mes de mayo, donde observamos que el escenario con mayor porcentaje de energía transformada (explicado en el punto 3.7) es el E-O con seguimiento obteniendo 468.80 MJ acumulados mensuales.

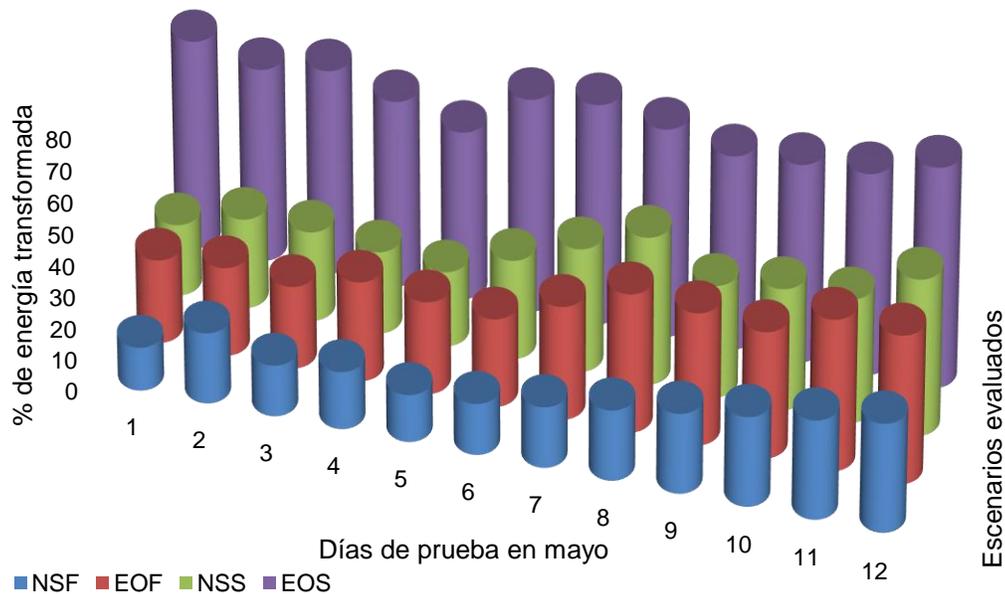


Figura 24. *Porcentaje de energía transformada en los días de prueba en el mes de mayo 2018.*

Donde:

- NSF corresponde al escenario Norte-Sur en su posición fija
- EOF corresponde al escenario Este-Oeste en su posición fija
- NSS corresponde al escenario Norte-Sur con seguimiento
- EOS corresponde al escenario Este-Oeste con seguimiento

#### 4.1.2. Día con mayor generación de energía térmica

En la Figura 25 observaremos el máximo acumulado diario el cual fue obtenido de 58.71 MJ con una temperatura máxima de salida de 45.30 °C, cabe mencionar que los valores que se presentan en los resultados se encuentran comparados por unidad de área para poder llevar a cabo una comparación adecuada para este trabajo de tesis.

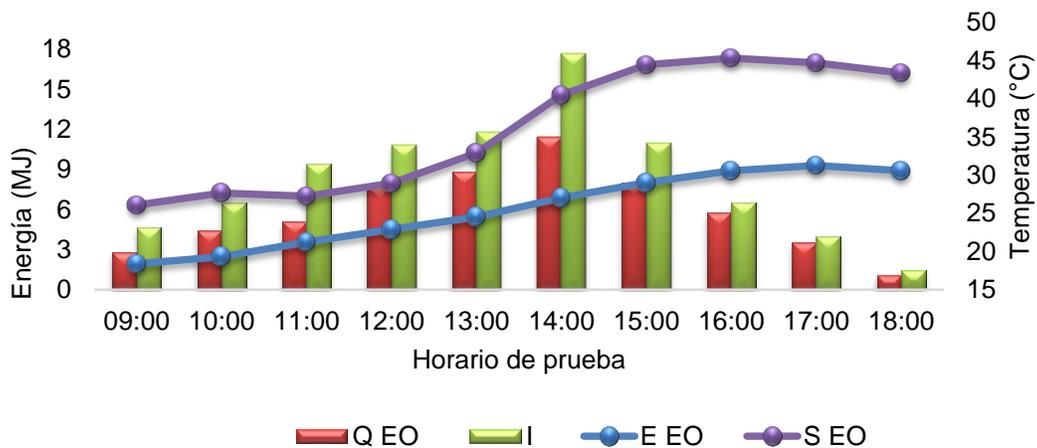


Figura 25. Prueba del día con mayor transformación de energía (31 de mayo).

Donde:

- Q EO corresponde al calor generado con la orientación Este – Oeste
- I corresponde a la Irradiación acumulada en ese día
- E EO corresponde a la temperatura de entrada del escenario Este-Oeste
- S EO corresponde a la temperatura de salida del escenario Este-Oeste

#### 4.1.3. Pérdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica

En la Tabla 15, se muestra el cálculo de las pérdidas de energía que se tuvieron



en ese día en los diferentes elementos del sistema para dicho escenario, el cual está conectado como se muestra en la Figura 9; pero para este ejercicio solo consideraremos las dos tuberías de mayor trayectoria las cuales corresponden a 2 y 6 metros respectivamente, el otro elemento que será considerado para el análisis de pérdidas será el termotanque. Cabe considerar que el cálculo de pérdidas se encuentra realizado por día, pero se desarrollan cálculos cada dos hora, teniendo el dato de la irradiancia captada en el colector.

*Tabla 15. Pérdidas en colectores (31 de mayo).*

Parte del sistema	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	4:00 p.m.	6:00 p.m.	Totales por elemento
	1013 W/m <sup>2</sup>	1795.5 W/m <sup>2</sup>	5100.7 W/m <sup>2</sup>	2830.0 W/m <sup>2</sup>	1661.2 W/m <sup>2</sup>	
<b>Tubería 2m</b>	71.00	184.16	619.57	339.79	367.25	1581.77
<b>Tanque</b>	46.93	117.97	375.90	212.48	196.97	950.25
<b>Tubería 6m</b>	174.91	447.06	1499.24	823.85	758.75	3703.80
<b>Pérdidas por hora</b>	292.84	749.19	2494.71	1376.11	1322.97	<b>6235.83</b>

Las pérdidas calculadas corresponden a  $6235.83 W = 22.44 MJ$

En la Figura 26 se muestra de forma comparativa la *energía acumulada (Q EO)*, la *energía perdida (QP EO)* y la *energía captada (I)*.

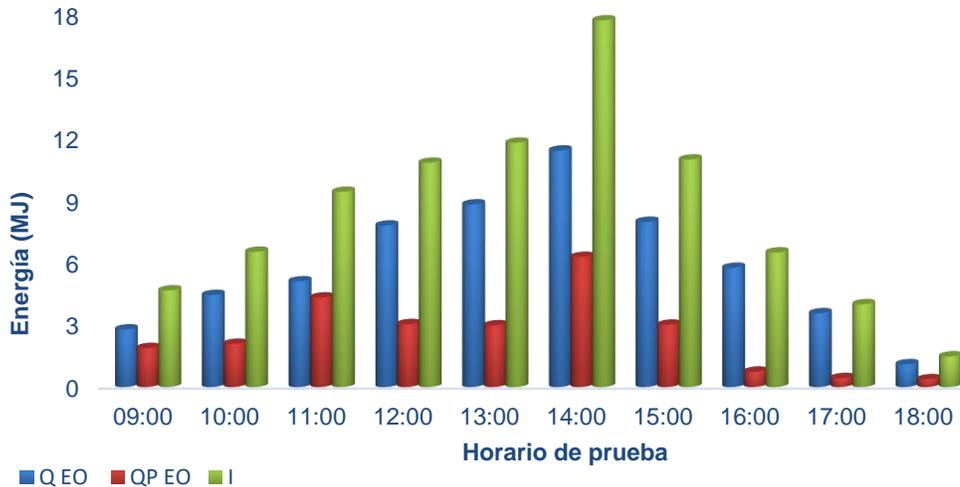


Figura 26. Energía acumulada, pérdidas y captada (31 mayo).

#### 4.1.4. Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía

Como se describió en la metodología obtendremos la eficiencia térmica del colector para el día con mayor generación de energía, esto mediante la ecuación 10; con la cual obtenemos los datos que se presentan en la Tabla 16 y se representan en la Figura 27.

Donde:

$Q_{NS}$  corresponde a la energía térmica generada por el CCP con orientación NS y esta expresada en MJ.

$Q_{EO}$  corresponde a la energía térmica generada por el CCP con orientación EO y esta expresada en MJ.

$I$  es la irradiación reportada cada hora durante el periodo de evaluación y esta expresada en MJ

Área de captación de los colectores, la cual es un valor constante y esta expresada en  $m^2$



$\eta$  la eficiencia térmica obtenida durante el desarrollo de la evaluación y esta expresada de manera porcentual.

Tabla 16. Eficiencia de los CCP (31 de mayo).

Hora	Q NS (MJ)	Q EO (MJ)	I (MJ)	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta$ NS (%)	$\eta$ EO (%)
09:00	0.12	2.78	4.66	5.856	0.44	10.18
10:00	0.98	4.44	6.52	5.856	2.57	11.62
11:00	1.26	5.10	9.42	5.856	2.28	9.25
12:00	1.94	7.79	10.82	5.856	3.06	12.29
13:00	2.76	8.81	11.79	5.856	4.00	12.76
14:00	4.37	11.41	17.69	5.856	4.22	11.01
15:00	2.47	7.97	10.98	5.856	3.84	12.40
16:00	1.2	5.75	6.49	5.856	3.16	15.12
17:00	0.84	3.56	3.99	5.856	3.59	15.22
18:00	0.07	1.10	1.48	5.856	0.81	12.72

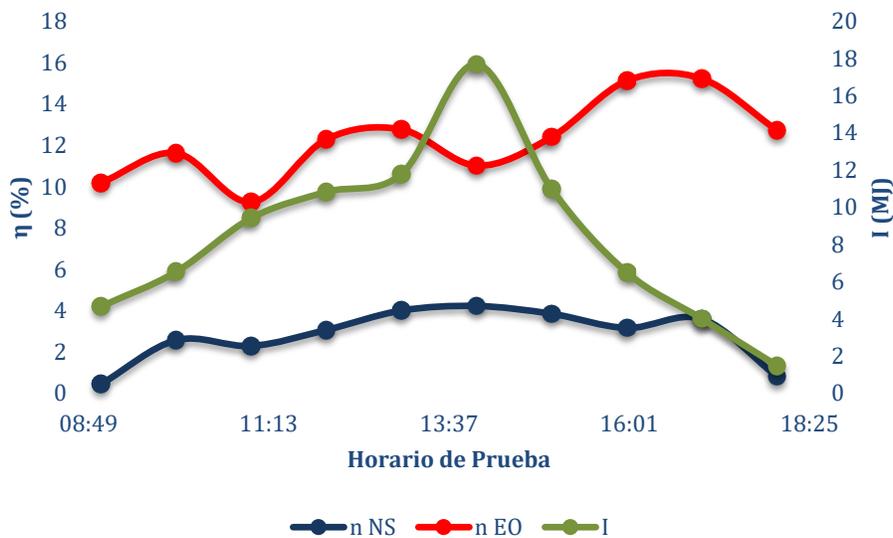


Figura 27. Eficiencia Térmica en los CCP (31 de mayo)



4.1.5. Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.

Realizando el equivalente del consumo de gas LP para este mes, sería:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$
$$m = \frac{1027.79 \text{ MJ}}{45.72 \text{ MJ/kg}}$$
$$m = 22.48 \text{ kg de gas LP}$$

El cálculo de emisiones entonces sería:

$$\text{Emisiones}[tCO_{2e}] = (FEG) * (\text{Consumo de gas LP}[kg])$$
$$\text{Emisiones}[tCO_{2e}] = \left( 2.926 \text{ kg de } \frac{CO_2}{\text{kg de gas LP}} \right) * (22.48 \text{ kg de gas LP})$$
$$\text{Emisiones}[tCO_{2e}] = 65.77 \text{ tCO}_{2e}$$



#### 4.2. Segundo mes de prueba, junio 2018.

##### 4.2.1. Escenario con mayor porcentaje de energía transformada

En la Figura 28 se muestra la evaluación durante el mes de junio en donde también observamos que el escenario con mayor captación es el E-O con seguimiento, obteniendo 1027.79 MJ acumulados del mes.

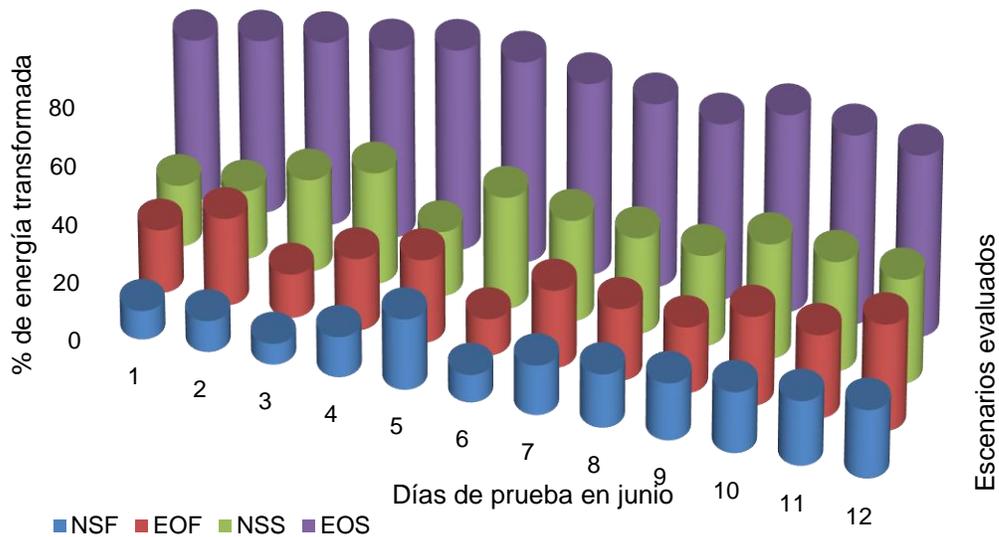


Figura 28. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de junio 2018.

##### 4.2.2. Día con mayor generación de energía térmica

En la Figura 29 se muestra el máximo acumulado diario el cual fue obtenido de 63.91 MJ con una temperatura máxima de salida de 94.56 °C.

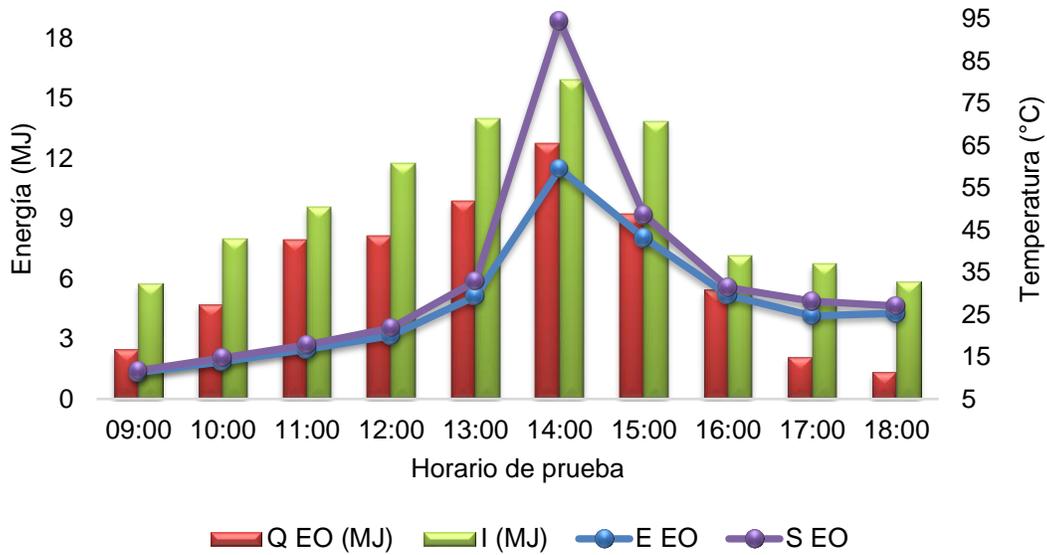


Figura 29. Prueba del día con mayor transformación de energía (26 de junio).

#### 4.2.3. Pérdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica

En la Tabla 17, se muestra el cálculo de las pérdidas de energía que se tuvieron en ese día en los diferentes elementos del sistema para dicho escenario.



Tabla 17. Pérdidas en colectores (26 de junio) .

Parte del sistema	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	4:00 p.m.	6:00 p.m.	Totales por elemento
	1013 W/m <sup>2</sup>	1795.5 W/m <sup>2</sup>	5100.7 W/m <sup>2</sup>	2830.0 W/m <sup>2</sup>	1661.2 W/m <sup>2</sup>	
<b>Tubería 2m</b>	89.45	197.15	560.58	550.41	417.09	1814.68
<b>Tanque</b>	59.18	126.10	341.64	337.28	222.59	1086.79
<b>Tubería 6m</b>	264.42	574.26	1628.39	1599.20	1032.08	5098.35
<b>Pérdidas por hora</b>	413.05	897.51	2530.61	2486.89	1671.76	<b>7999.82</b>

Las pérdidas calculadas corresponden a  $7999.82 W = 28.79 MJ$ .

En la Figura 30 se muestra la comparación de energía para este día.

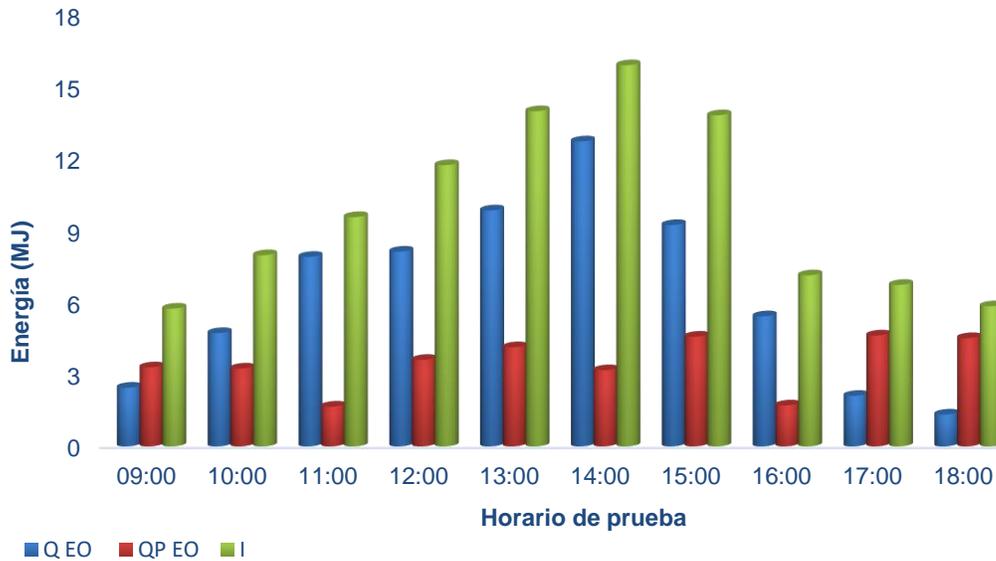


Figura 30. Energía acumulada, pérdidas y captada (26 junio).



4.2.4. Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía

Tabla 18. Eficiencia de los CCP (26 de junio).

Hora	Q NS (MJ)	Q EO (MJ)	I (MJ)	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta$ NS (%)	$\eta$ EO (%)
<b>09:00</b>	0.74	2.45	4.66	5.856	2.20	7.28
<b>10:00</b>	0.85	4.73	6.52	5.856	1.82	10.12
<b>11:00</b>	1.98	7.91	9.42	5.856	3.53	14.11
<b>12:00</b>	2.39	8.13	10.82	5.856	3.48	11.83
<b>13:00</b>	3.12	9.85	11.79	5.856	3.81	12.02
<b>14:00</b>	4.62	12.73	17.69	5.856	4.96	13.66
<b>15:00</b>	3.42	9.24	10.98	5.856	4.23	11.42
<b>16:00</b>	2.96	5.43	6.49	5.856	7.08	12.99
<b>17:00</b>	0.95	2.11	3.99	5.856	2.41	5.35
<b>18:00</b>	0.12	1.33	1.48	5.856	0.35	3.88

En la Figura 31 se muestra el comportamiento de las eficiencias para ambas orientaciones.

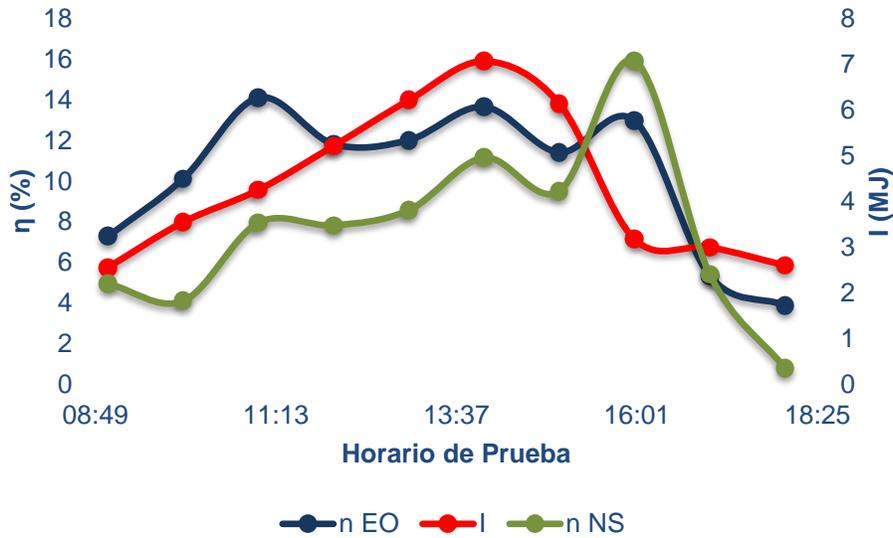


Figura 31. Eficiencia Térmica en los CCP (26 de junio)

#### 4.2.5 Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.

El consumo de gas LP equivalente a este mes, sería:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = \frac{1027.79 \text{ MJ}}{45.72 \text{ MJ/kg}}$$

$$m = 22.48 \text{ kg de gas LP}$$

El cálculo de emisiones entonces sería:

$$Emisiones[tCO_{2e}] = (FEG) * (Consumo de gas LP[kg])$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = \left(2.926 \text{ kg de } \frac{CO_2}{\text{kg de gas LP}}\right) * (22.48 \text{ kg de gas LP})$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = 65.77 \text{ tCO}_{2e}$$



### 4.3. Tercer mes de prueba, julio 2018.

#### 4.3.1. Escenario con mayor porcentaje de energía transformada

En la Figura 32 se muestra la evaluación durante el mes de julio en donde se observa que el escenario con mayor porcentaje de energía transformada es el E-O con seguimiento, generando 1126.58 MJ acumulados mensuales.

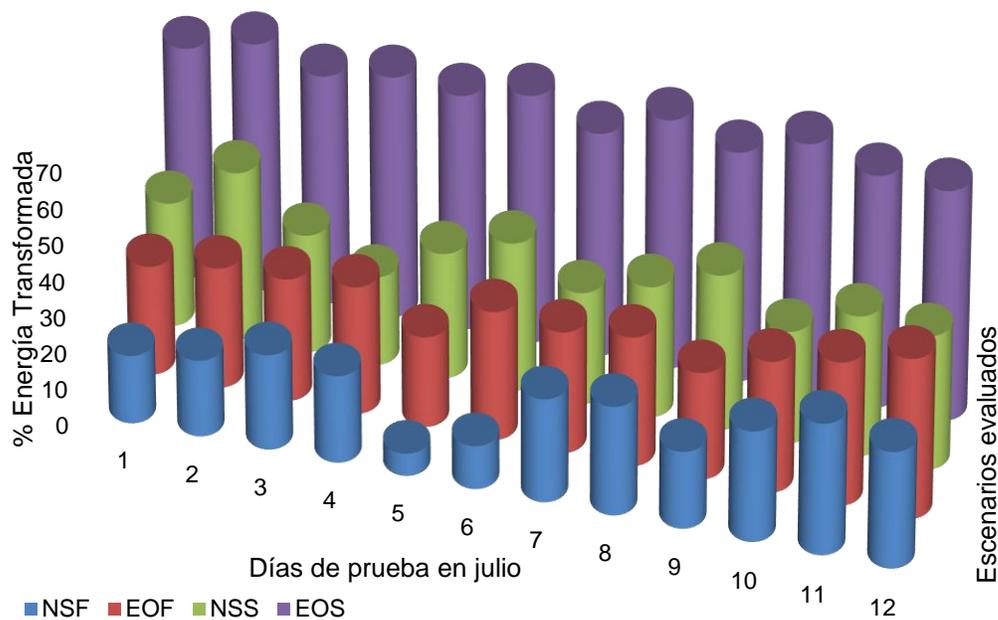


Figura 32. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de julio 2018.

#### 4.3.2. Día con mayor generación de energía térmica

El día con mayor acumulación fue el 11 de julio generando 73.21 MJ con una temperatura máxima de salida de 62.34 °C, como se muestra en la Figura 33.

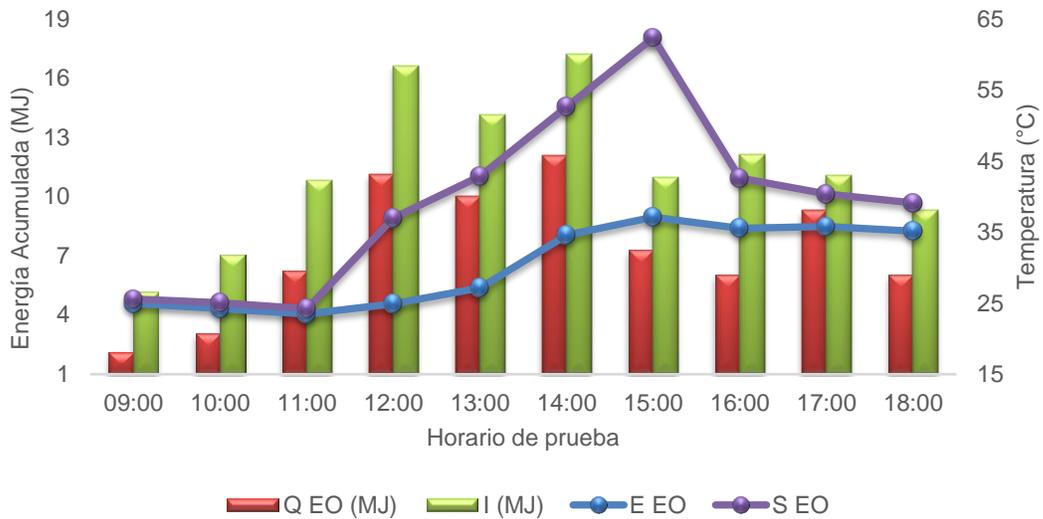


Figura 33. Prueba del día con mayor transformación de energía (11 de julio).

#### 4.3.3. Pérdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica

Tabla 19. Pérdidas en colectores (11 de julio).

Parte del sistema	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	4:00 p.m.	6:00 p.m.	Totales por elemento
	1952.7 W	4616.6 W	4777.7 W	3375 W	2588.8 W	
<b>Tubería 2m</b>	185.57	565.60	712.71	638.60	574.87	2677.37
<b>Tanque</b>	121.39	346.17	426.66	384.17	299.78	1578.17
<b>Tubería 6m</b>	427.06	1369.32	1723.26	1544.78	1176.53	6240.95
<b>Pérdidas por hora</b>	734.02	2281.10	2862.64	2567.55	2051.18	<b>10496.48</b>

Las pérdidas calculadas corresponden a  $10496.48 W = 37.78 MJ$ .

En la Figura 34 se muestra la comparación de energía para este día.

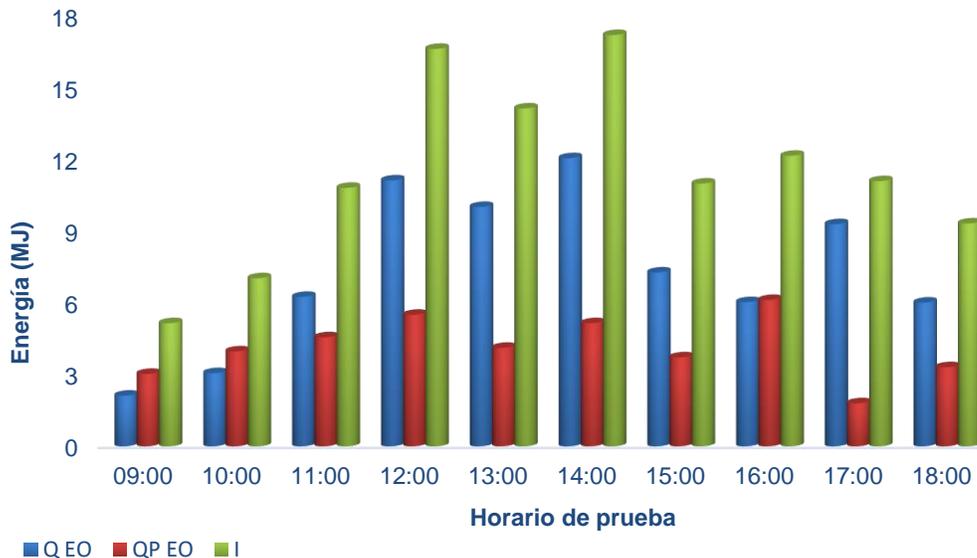


Figura 34. Energía acumulada, pérdidas y captada (11 julio).

#### 4.3.4. Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía

Tabla 20. Eficiencia de los CCP (11 de julio).

Hora	Q NS (MJ)	Q EO (MJ)	I (MJ)	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta$ NS (%)	$\eta$ EO (%)
09:00	0.43	2.12	4.66	5.856	1.43	7.03
10:00	0.82	3.06	6.52	5.856	1.99	7.43
11:00	1.35	6.25	9.42	5.856	2.13	9.87
12:00	2.69	11.12	10.82	5.856	2.76	11.43
13:00	2.05	10.01	11.79	5.856	2.48	12.10
14:00	2.78	12.05	17.69	5.856	2.76	11.96
15:00	1.41	7.27	10.98	5.856	2.19	11.30
16:00	1.08	6.03	6.49	5.856	1.52	8.48
17:00	0.86	9.29	3.99	5.856	1.32	14.30
18:00	1.72	6.01	1.48	5.856	3.15	11.01

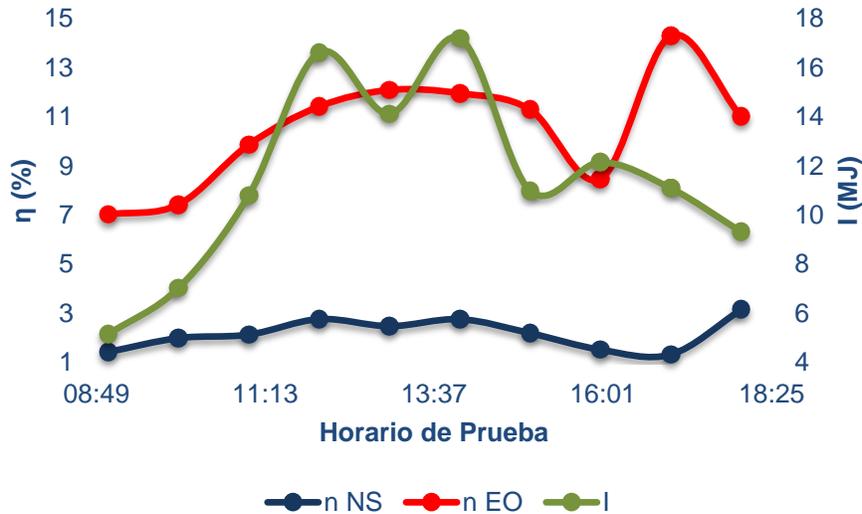


Figura 35. Eficiencia Térmica en los CCP (11 de julio)

4.3.5. Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.

El consumo de gas LP equivalente a este mes, sería:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = \frac{1126.58 \text{ MJ}}{45.72 \text{ MJ/kg}}$$

$$m = 24.64 \text{ kg de gas LP}$$

El cálculo de emisiones entonces sería:

$$Emisiones[tCO_{2e}] = (FEG) * (Consumo de gas LP[kg])$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = \left( 2.926 \text{ kg de } \frac{CO_2}{\text{kg de gas LP}} \right) * (24.64 \text{ kg de gas LP})$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = 72.09 \text{ tCO}_{2e}$$

4.4. Cuarto mes de prueba, agosto 2018.

4.4.1. Escenario con mayor porcentaje de energía transformada

En la Figura 36 se muestra la evaluación durante el mes de agosto en donde se observa que el escenario con mayor energía transformada es el E-O con seguimiento, obteniendo 897.48 MJ acumulados.

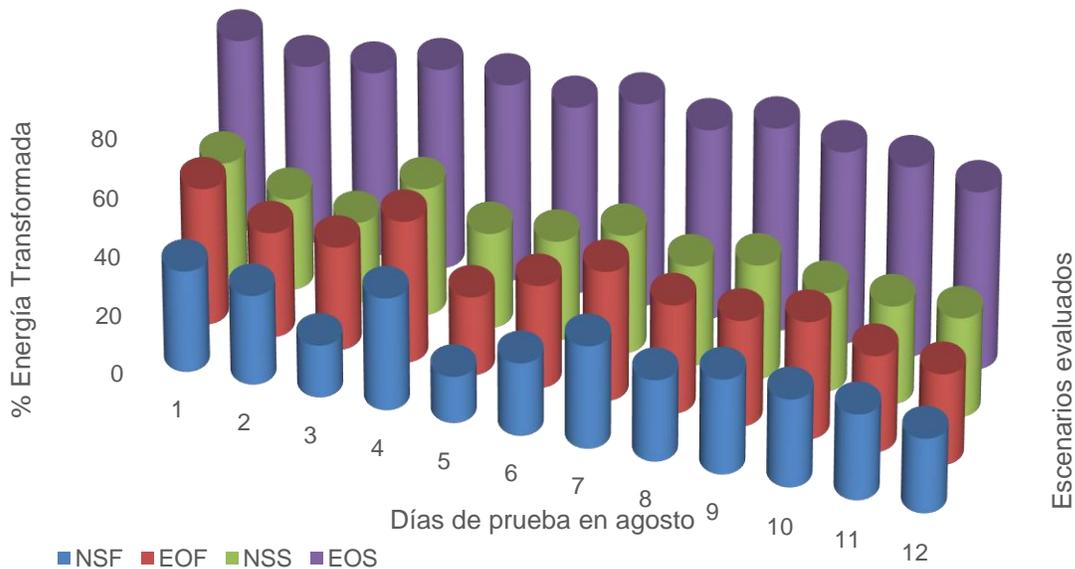


Figura 36. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de agosto 2018.

4.4.2. Día con mayor generación de energía térmica

En la Figura 37 se muestra el día con mayor energía transformada generando 74.63 MJ, con una temperatura máxima de salida de 53.23°C; este escenario corresponde al día 23 de agosto.

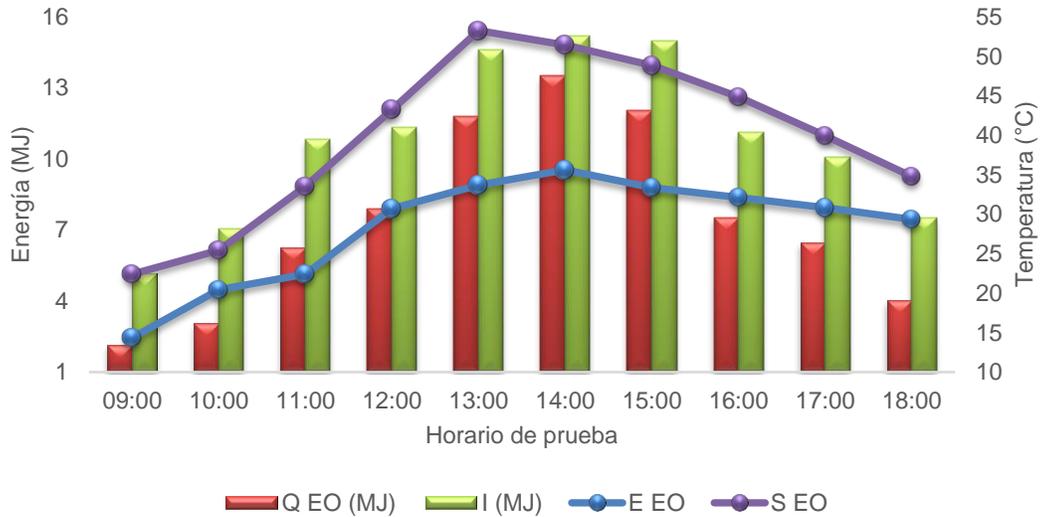


Figura 37. Prueba del día con mayor transformación de energía (23 de agosto).

4.4.3. Pérdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica.

En la Tabla 21 se muestra el cálculo de pérdidas de energía para este día.

Tabla 21. Pérdidas en colectores (23 de agosto).

Parte del sistema	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	4:00 p.m.	6:00 p.m.	Totales por elemento
	1952.7 W	3147.2 W	4222.2 W	3091.6 W	2083.3 W	
Tubería 2m	111.07	432.61	581.08	553.49	474.74	2152.98
Tanque	72.01	269.60	353.11	336.23	250.03	1280.98
Tubería 6m	431.57	1048.44	1406.38	1339.75	975.45	5201.59
<b>Pérdidas por hora</b>	<b>614.64</b>	<b>1750.64</b>	<b>2340.56</b>	<b>2229.48</b>	<b>1700.22</b>	<b>8635.55</b>

Las pérdidas calculadas corresponden a  $8635.55 W = 31.08 MJ$ .



En la Figura 38 se muestra la comparación de energía para este día.

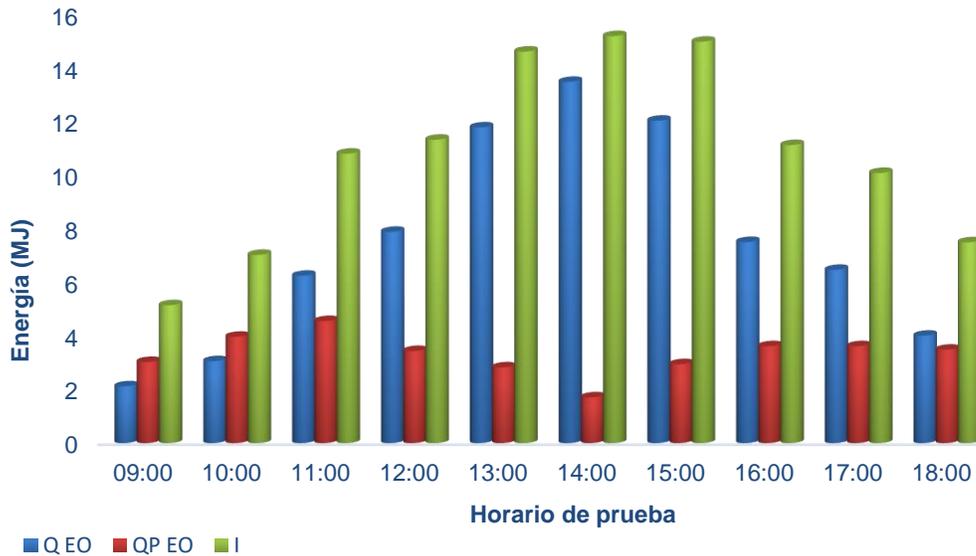


Figura 38. Energía acumulada, pérdidas y captada (23 agosto).

#### 4.4.4. Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía

Tabla 22. Eficiencia de los CCP (23 de agosto).

Hora	Q NS (MJ)	Q EO (MJ)	I (MJ)	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta$ NS (%)	$\eta$ EO (%)
09:00	0.74	2.45	4.66	5.856	2.20	7.28
10:00	0.85	4.73	6.52	5.856	1.82	10.12
11:00	1.98	7.91	9.42	5.856	3.53	14.11
12:00	2.39	8.13	10.82	5.856	3.48	11.83
13:00	3.12	9.85	11.79	5.856	3.81	12.02
14:00	4.62	12.73	17.69	5.856	4.96	13.66
15:00	3.42	9.24	10.98	5.856	4.23	11.42
16:00	2.96	5.43	6.49	5.856	7.08	12.99
17:00	0.95	2.11	3.99	5.856	2.41	5.35
18:00	0.12	1.33	1.48	5.856	0.35	3.88

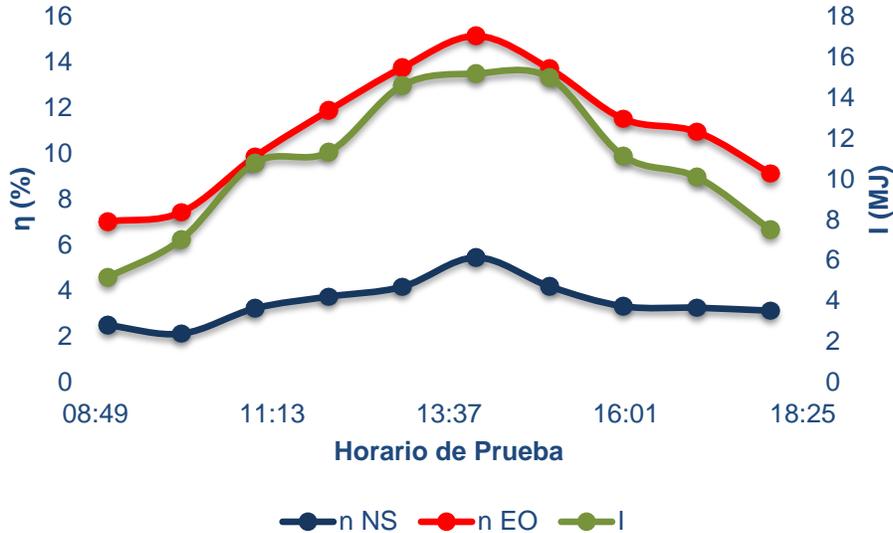


Figura 39. Eficiencia Térmica en los CCP (23 de agosto)

4.4.5. Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.

El consumo de gas LP equivalente a este mes, sería:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = \frac{897.48 \text{ MJ}}{45.72 \text{ MJ/kg}}$$

$$m = 19.62 \text{ kg de gas LP}$$

El cálculo de emisiones entonces sería:

$$\text{Emisiones}[tCO_{2e}] = (FEG) * (\text{Consumo de gas LP}[kg])$$

$$\text{Emisiones}[tCO_{2e}] = \left( 2.926 \text{ kg de } \frac{CO_2}{\text{kg de gas LP}} \right) * (19.62 \text{ kg de gas LP})$$

$$\text{Emisiones}[tCO_{2e}] = 57.43 \text{ tCO}_{2e}$$



4.5. Quinto mes de prueba, septiembre 2018.

4.5.1. Escenario con mayor porcentaje de energía transformada

En la Figura 40 se muestra la evaluación durante el mes de septiembre en donde se observa que el escenario con mayor porcentaje de energía transformada es el E-O con seguimiento, generando 465.96 MJ; cabe mencionar que para este mes solo se consideran 6 días de prueba, por lo que la cantidad de energía acumulada disminuye.

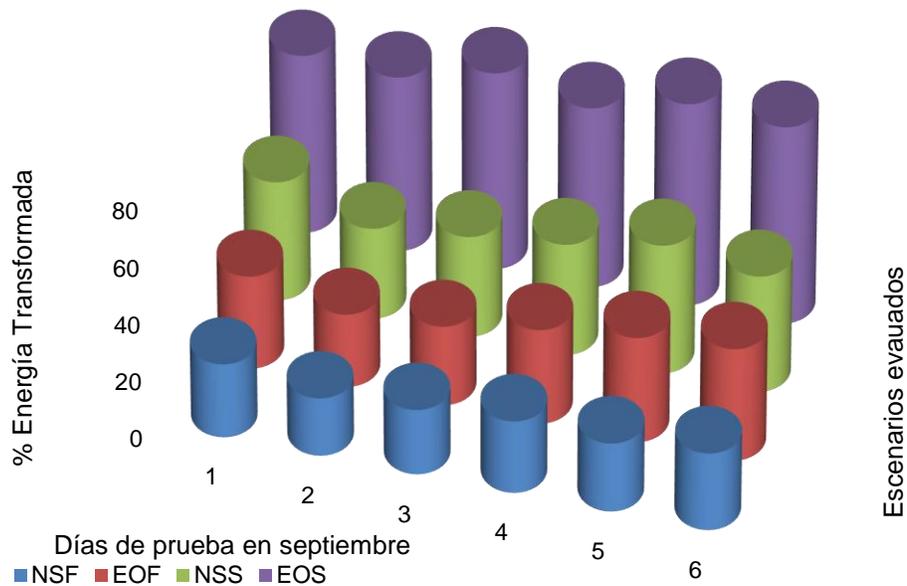


Figura 40. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de septiembre 2018.

4.5.2. Día con mayor generación de energía térmica

En la Figura 41 se muestra el día con mayor energía generada siendo de 74.73

MJ acumulados para el día 19 de septiembre con una temperatura máxima de salida de 38.67 °C.

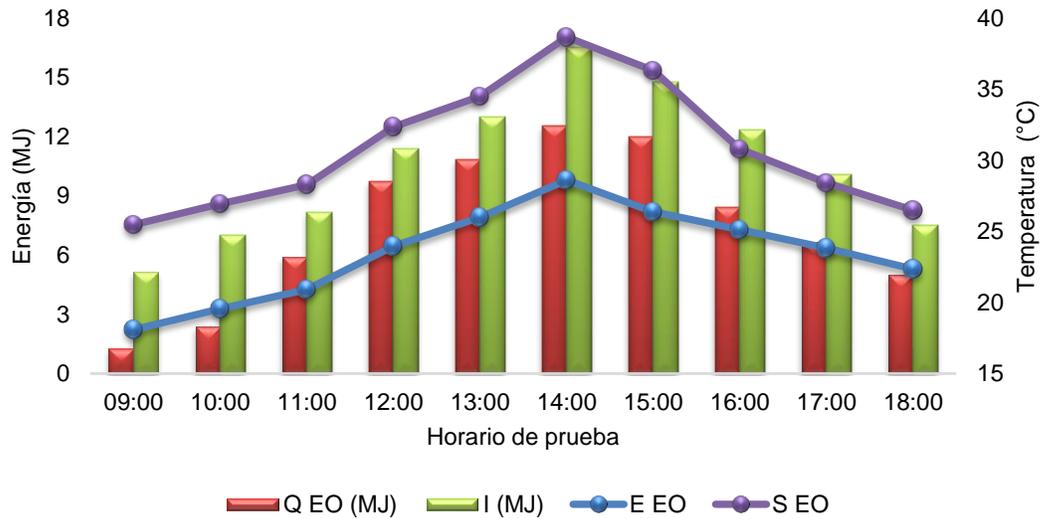


Figura 41. Prueba del día con mayor transformación de energía (19 de septiembre).

#### 4.5.3. Pérdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica

Tabla 23. Pérdidas en colectores (19 de septiembre).

Parte del sistema	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	4:00 p.m.	6:00 p.m.	Totales por elemento
	1952.7 W	3158.3 W	4597.5 W	3425 W	2083.3 W	
Tubería 2m	82.69	175.60	281.94	317.19	415.53	1272.95
Tanque	72.02	218.40	337.77	380.55	271.69	1280.41
Tubería 6m	350.41	851.37	1364.24	1534.46	1064.91	5165.38
<b>Pérdidas por hora</b>	505.11	1245.37	1983.95	2232.19	1752.12	<b>7718.74</b>

Las pérdidas calculadas corresponden a 7718.74 W = 27.78 MJ.



En la Figura 42 se muestra la comparación de energía para este día.

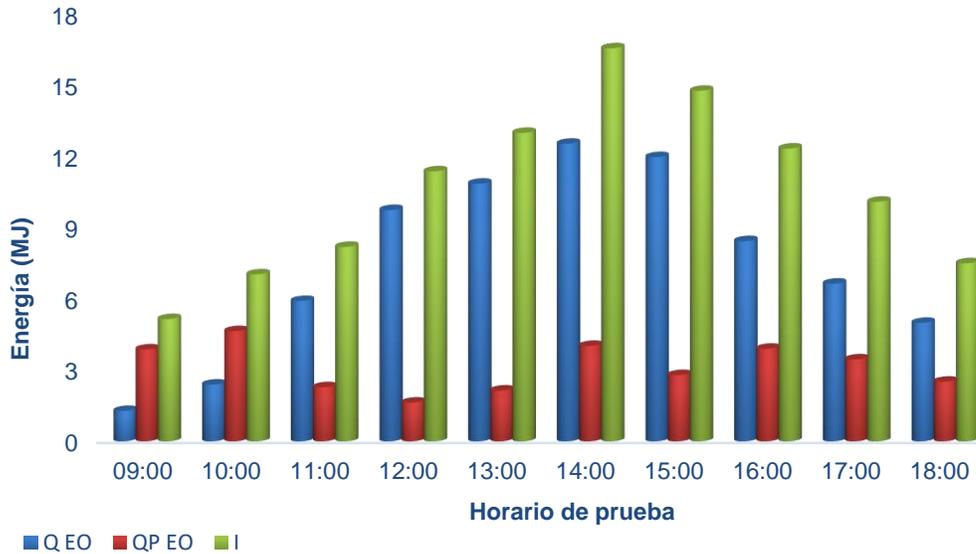


Figura 42. Energía acumulada, pérdidas y captada (19 septiembre).

#### 4.5.4. Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía

Tabla 24. Eficiencia de los CCP (19 de septiembre).

Hora	Q NS (MJ)	Q EO (MJ)	I (MJ)	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta$ NS (%)	$\eta$ EO (%)
<b>09:00</b>	0.12	1.28	4.66	5.856	0.40	4.24
<b>10:00</b>	0.27	2.39	6.52	5.856	0.66	5.81
<b>11:00</b>	0.93	5.91	9.42	5.856	1.94	12.32
<b>12:00</b>	2.55	9.74	10.82	5.856	3.83	14.63
<b>13:00</b>	3.68	10.85	11.79	5.856	4.84	14.26
<b>14:00</b>	4.56	12.53	17.69	5.856	4.71	12.93
<b>15:00</b>	3.81	11.97	10.98	5.856	4.41	13.85
<b>16:00</b>	2.64	8.43	6.49	5.856	3.66	11.68
<b>17:00</b>	1.34	6.64	3.99	5.856	2.27	11.24
<b>18:00</b>	1.24	4.99	1.48	5.856	2.82	11.36

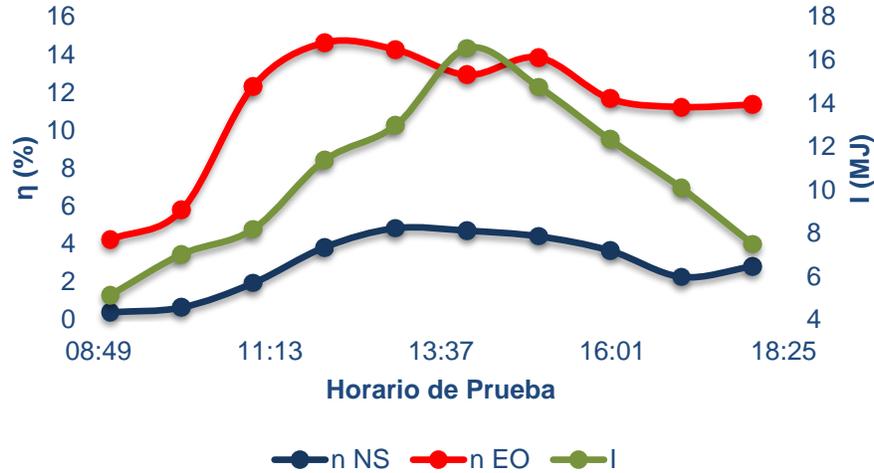


Figura 43. Eficiencia Térmica en los CCP (19 de septiembre).

#### 4.5.5. Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.

El consumo de gas LP equivalente a este mes, sería:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = \frac{465.96 \text{ MJ}}{45.72 \text{ MJ/kg}}$$

$$m = 10.19 \text{ kg de gas LP}$$

El cálculo de emisiones entonces sería:

$$Emisiones[tCO_{2e}] = (FEG) * (Consumo de gas LP[kg])$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = \left( 2.926 \text{ kg de } \frac{CO_2}{\text{kg de gas LP}} \right) * (10.19 \text{ kg de gas LP})$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = 29.82 \text{ tCO}_{2e}$$

El mes de octubre no es presentado debido a que no fue posible realizar pruebas en este mes, por causas ajenas a el desarrollo del trabajo.



#### 4.6. Sexto mes de prueba, noviembre 2018.

##### 4.6.1. Escenario con mayor porcentaje de energía transformada

En la Figura 44 se muestra la evaluación durante el mes de noviembre en donde se observa que el escenario con mayor porcentaje de energía transformada es el E-O con seguimiento, generando 396.85 MJ acumulados mensuales.

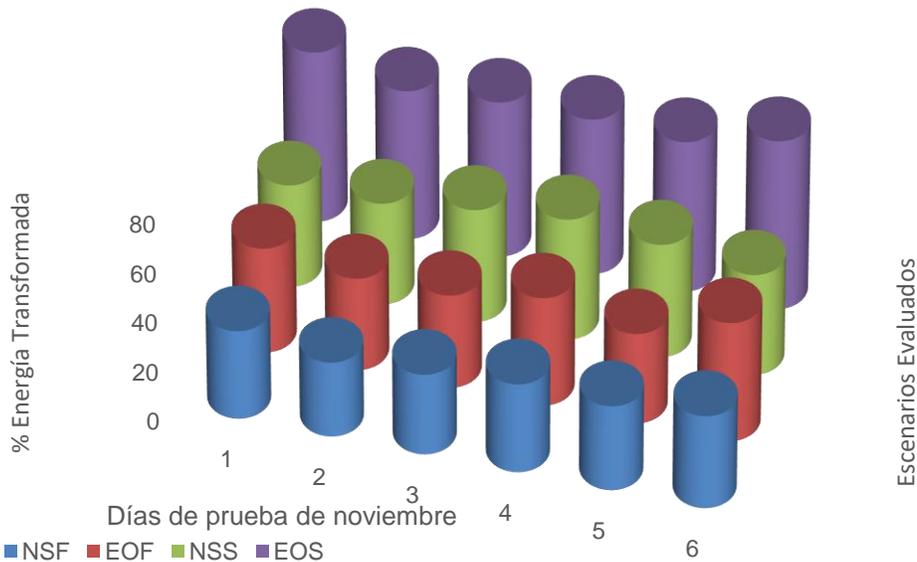


Figura 44. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de noviembre 2018.

##### 4.6.2. Día con mayor generación de energía térmica

En la Figura 45 se muestra el día con mayor generación de energía del mes, el cual presenta 53.73 MJ acumulados, con una temperatura máxima de salida de 33.99; dicho comportamiento correspondiente al 6 de noviembre.

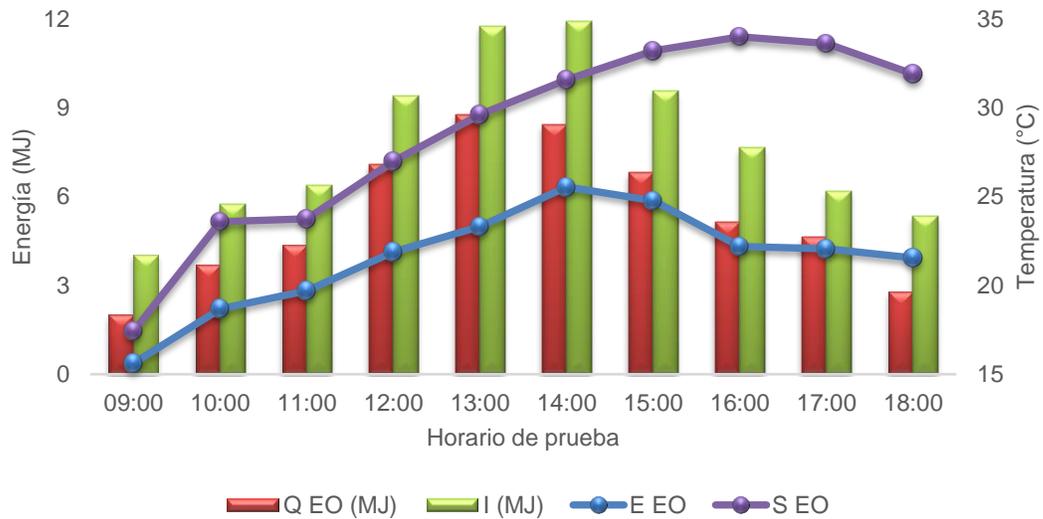


Figura 45. Prueba del día con mayor transformación de energía (6 de noviembre).

#### 4.6.3. Pérdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica

Tabla 25. Pérdidas en colectores (6 de noviembre).

Parte del sistema	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	4:00 p.m.	6:00 p.m.	Totales por elemento
<b>Tubería 2m</b>	156.10	284.49	345.29	452.43	487.06	1725.37
<b>Tanque</b>	68.18	119.30	170.49	139.10	103.30	600.38
<b>Tubería 6m</b>	435.21	644.24	937.51	767.81	564.39	3349.16
<b>Pérdidas por hora</b>	659.49	1048.03	1453.29	1359.35	1154.75	<b>5674.90</b>

Las pérdidas calculadas corresponden a  $5674.9 W = 20.24 MJ$ .

En la Figura 46 se muestra la comparación de energía para este día.

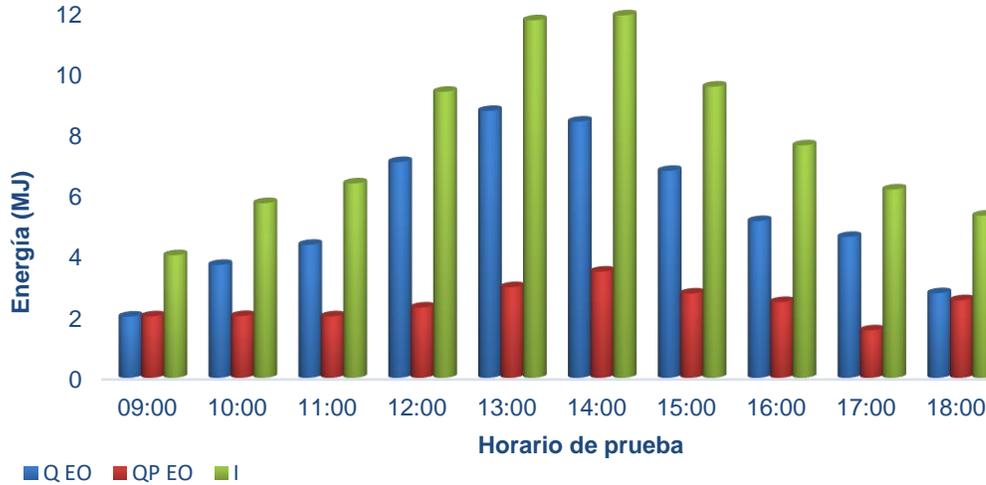


Figura 46. Energía acumulada, pérdidas y captada (6 noviembre).

4.6.4. Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía

Tabla 26. Eficiencia de los CCP (6 de noviembre).

Hora	Q NS (MJ)	Q EO (MJ)	I (MJ)	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta$ NS (%)	$\eta$ EO (%)
09:00	0.65	2.01	4.66	5.856	2.75	8.52
10:00	0.89	3.71	6.52	5.856	2.65	11.04
11:00	1.09	4.37	9.42	5.856	2.91	11.68
12:00	2.08	7.09	10.82	5.856	3.78	12.88
13:00	2.44	8.77	11.79	5.856	3.55	12.75
14:00	2.27	8.42	17.69	5.856	3.25	12.07
15:00	1.65	6.80	10.98	5.856	2.94	12.13
16:00	1.11	5.15	6.49	5.856	2.48	11.51
17:00	1.07	4.63	3.99	5.856	2.95	12.77
18:00	0.73	2.78	1.48	5.856	0.35	3.88

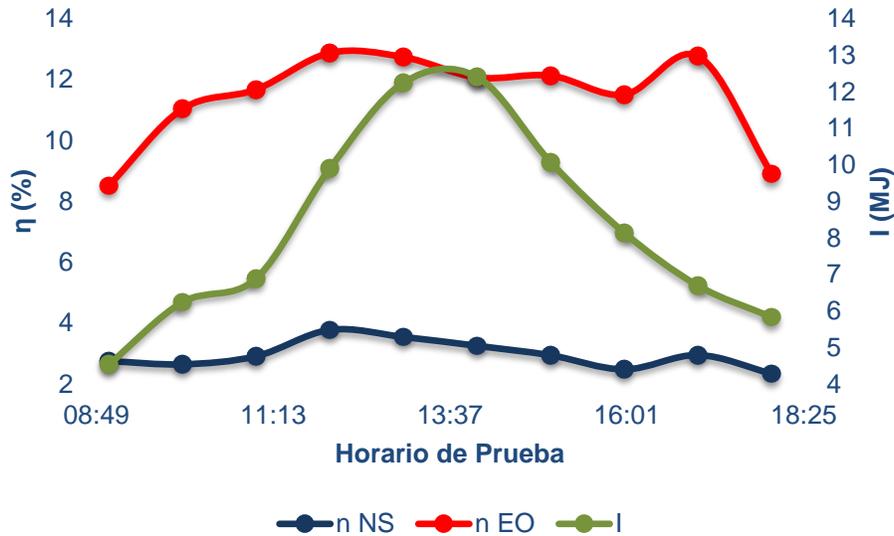


Figura 47. Eficiencia Térmica en los CCP (6 de noviembre)

4.6.5. Comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los CCP y el uso de gas LP para el calentamiento de agua.

El consumo de gas LP equivalente a este mes, sería:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = \frac{396.85 \text{ MJ}}{45.72 \text{ MJ/kg}}$$

$$m = 8.68 \text{ kg de gas LP}$$

El cálculo de emisiones entonces sería:

$$Emisiones[tCO_{2e}] = (FEG) * (Consumo de gas LP[kg])$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = \left( 2.926 \text{ kg de } \frac{CO_2}{\text{kg de gas LP}} \right) * (8.68 \text{ kg de gas LP})$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = 25.39 \text{ tCO}_{2e}$$



4.7. Séptimo mes de prueba, diciembre 2018.

4.7.1. Escenario con mayor porcentaje de energía transformada.

En la Figura 48 se muestra la evaluación durante el mes de diciembre en donde se observa que el escenario con mayor porcentaje de energía transformada es el E-O con seguimiento, generando 413.25 MJ acumulados en el mes.

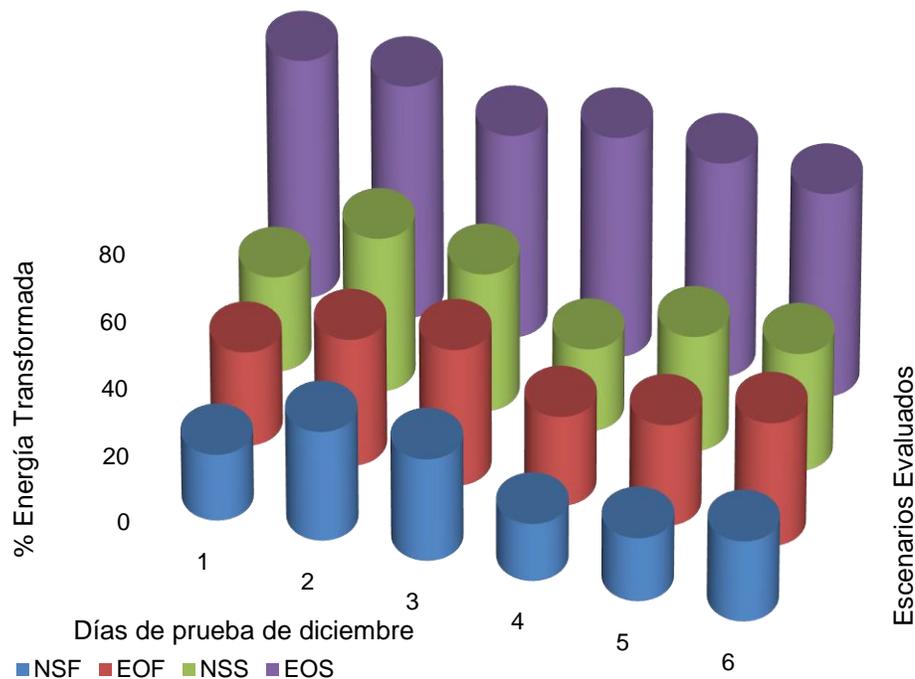


Figura 48. Variación de la temperatura para días de prueba en el mes de diciembre 2018.

4.7.2. Día con mayor generación de energía térmica

En la Figura 49 se muestra el día con mayor acumulación de energía, generando 59.74 MJ con una temperatura máxima de salida de 38.29°C, este escenario



corresponde al día 4 de diciembre.

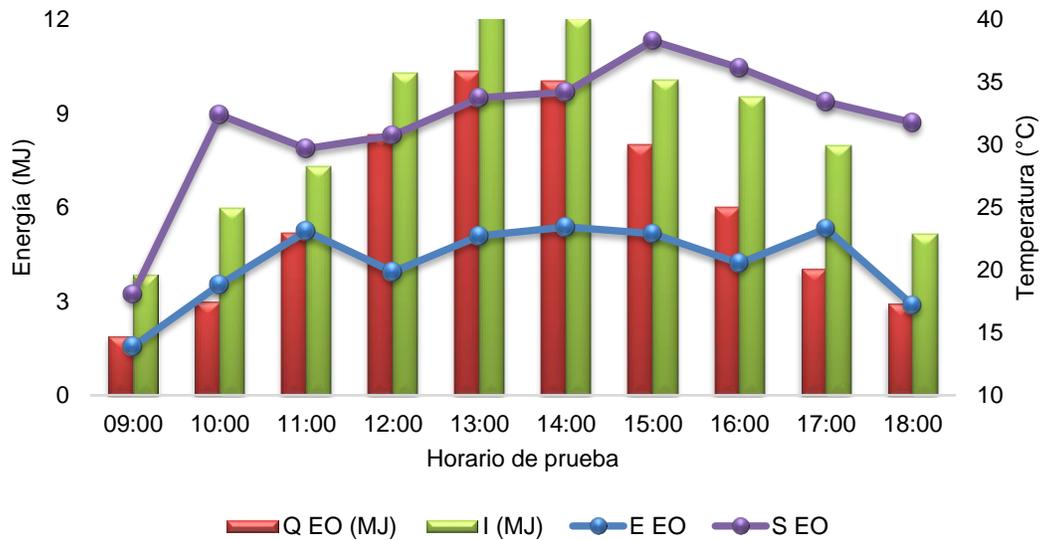


Figura 49. Prueba del día con mayor transformación de energía (4 de diciembre).

4.7.3. Pérdidas obtenidas en el día con mayor generación de energía térmica

Tabla 27. Pérdidas en colectores (4 de diciembre).

Parte del sistema	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m.	4:00 p.m.	6:00 p.m.	Totales por elemento
	1658.3 W	2858.3 W	3347.2 W	2650 W	1427.7 W	
<b>Tubería 2m</b>	150.09	194.39	248.24	361.20	402.03	1355.94
<b>Tanque</b>	96.84	240.23	302.18	293.30	213.83	1146.39
<b>Tubería 6m</b>	318.25	376.85	480.83	699.68	828.78	2704.40
<b>Pérdidas por hora</b>	565.18	811.47	1031.25	1354.18	1444.64	<b>5206.73</b>



Las pérdidas calculadas corresponden a  $5206.73 \text{ W} = 18.74 \text{ MJ}$ .

En la Figura 50 se muestra la comparación de energía para este día.

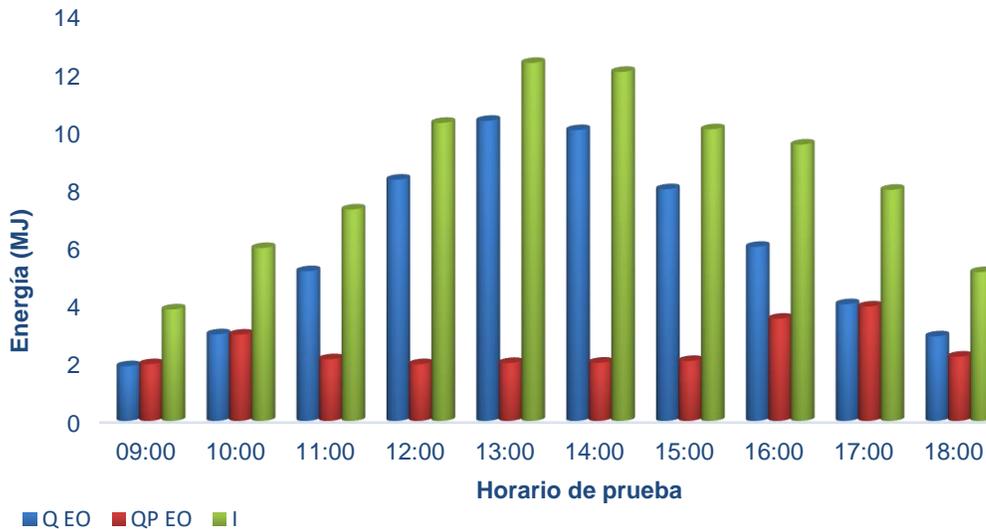


Figura 50. Energía acumulada, pérdidas y captada (4 diciembre).

4.7.4. Eficiencia térmica obtenida en el día con mayor generación de energía

Tabla 28. Eficiencia de los CCP (4 de diciembre).

Hora	Q NS (MJ)	Q EO (MJ)	I (MJ)	Área (m <sup>2</sup> )	$\eta$ NS (%)	$\eta$ EO (%)
<b>09:00</b>	0.19	1.89	4.66	5.856	0.84	8.38
<b>10:00</b>	0.55	2.99	6.52	5.856	1.57	8.55
<b>11:00</b>	1.09	5.17	9.42	5.856	2.55	12.09
<b>12:00</b>	2.37	8.33	10.82	5.856	3.93	13.82
<b>13:00</b>	3.01	10.36	11.79	5.856	4.16	14.31
<b>14:00</b>	2.85	10.04	17.69	5.856	4.04	14.23
<b>15:00</b>	2.01	8.00	10.98	5.856	3.41	13.57



<b>16:00</b>	1.10	6.01	6.49	5.856	1.97	10.76
<b>17:00</b>	0.89	4.03	3.99	5.856	1.90	8.62
<b>18:00</b>	0.50	2.92	1.48	5.856	1.66	9.70

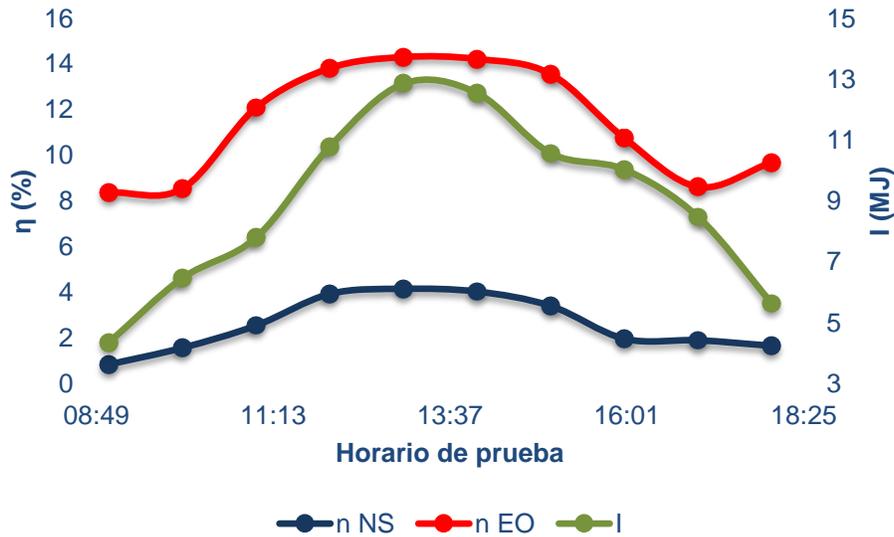


Figura 51. Eficiencia Térmica en los CCP (4 de diciembre)

El consumo de gas LP equivalente a este mes, sería:

$$m = \frac{Q}{\Delta H}$$

$$m = \frac{413.25 \text{ MJ}}{45.72 \text{ MJ/kg}}$$

$$m = 9.03 \text{ kg de gas LP}$$

El cálculo de emisiones entonces sería:

$$\text{Emisiones}[\text{tCO}_2\text{e}] = (\text{FEG}) * (\text{Consumo de gas LP}[\text{kg}])$$



$$Emisiones[tCO_{2e}] = \left( 2.926 \text{ kg de } \frac{CO_2}{\text{kg de gas LP}} \right) * (9.03 \text{ kg de gas LP})$$

$$Emisiones[tCO_{2e}] = 26.44 \text{ tCO}_{2e}$$

#### 4.8. Emisiones de CCP vs Gas LP.

En la Tabla 29 se presenta las estimaciones anuales de tCO<sub>2e</sub> que se emitirían en año por el uso de la planta solar, pero para este ejercicio didáctico solo se supondrá que se emiten  $180.34e^{-3} \text{ tCO}_{2e}$ , siendo esta la séptima parte del cálculo anual; en la Tabla 30 se muestra el cálculo de emisiones suponiendo que se hubiera utilizado gas LP para la generación de energía de este trabajo de tesis.

Tabla 29. Emisiones anuales mediante el uso de CCP.

Partes del Sistema	Emisiones (tCO <sub>2e</sub> )
Actuador lineal	3.27e <sup>-3</sup>
Bomba centrífuga	3.06e <sup>-1</sup>
<b>Total</b>	<b>3.09e<sup>-1</sup></b>

Tabla 30. Emisiones anuales mediante el uso de Gas LP.

Mes	Emisiones (tCO <sub>2e</sub> )
Mayo	3.75
Junio	65.77
Julio	72.09
Agosto	57.43
Septiembre	29.82
Noviembre	25.39
Diciembre	26.44
<b>Total</b>	<b>280.69</b>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



Como se puede apreciar el uso de tecnologías sustentables, en este caso tecnología de concentración solar influye de una manera impactante en la reducción de emisiones contaminantes lo cual produce un impacto positivo en los sistemas de salud ya que se han identificado varios efectos del cambio climático en la salud. El cual si reducimos la emisión de contaminantes a su vez estaríamos reduciendo la malnutrición y sus devastadores efectos en la salud infantil. Por otro lado, otro importante beneficio es la creación de nuevos empleos para este sector ya que, al utilizar equipos o instrumentos para realizar la captación solar, se requerirá personal calificado para instalarlo.



## **CAPITULO V. Conclusiones y Recomendaciones**

### *5.1. Conclusiones*

Con base a los resultados presentados en el capítulo anterior y una vez finalizado el presente trabajo se concluye:

- Tal como se planteó en la hipótesis, la realización de un análisis energético nos indica la orientación más productiva con lo que respecta a generación de energía térmica para esta ubicación en específico, obteniendo *1051.24 MJ* y *1293.33 MJ* para los escenarios N-S y E-O sin movimiento, mientras que para el escenario con seguimiento se obtienen *1834.85 MJ* para N-S y *3280.24 MJ* para E-O lo que representa un *71.72%* de energía transformada; cabe mencionar que los resultados presentados corresponden al periodo de análisis (Mayo – Diciembre 2018).
- En lo que respecta a la orientación E-O los resultados experimentales nos indican que con el sistema de seguimiento el incremento en la captación es *43.44%* más que sin seguimiento ya que este escenario solo transforma un *28.27%* de energía captada, generando *1293.33 MJ*.
- De acuerdo con los datos adquiridos durante la evaluación experimental observamos que la configuración N-S con seguimiento genera *1834.854 MJ* captando alrededor del *63.57%* de energía solar.
- En el análisis térmico, para los PTC orientados Norte – Sur se registró una generación máxima de *35.92 MJ* con una temperatura de salida de *47.5°C*



cuando se encontraban en su posición fija, mientras que cuando se encontraban en seguimiento se registra una generación máxima de 47.93 MJ con una temperatura de salida 57.3°C.

- Con respecto a los CCP E-O en su posición fija se registra una temperatura de salida de 47.8 °C generando 42.97 MJ. y en seguimiento se tiene una temperatura máxima de 94.56 °C con 63.91 MJ.

## 5.2. Recomendaciones

Aunque los CCP son de mantenimiento casi nulo, se recomienda limpiarlos para dejarlos libres de polvo evitando la disminución en la captación y así mantener la eficiencia en el sistema.

Se recomienda realizar la evaluación experimental durante todo el año para contar con datos que nos permitan saber si el comportamiento es el mismo durante ese periodo.

Se recomienda realizar un análisis técnico – económico para determinar las condiciones en las que un sistema solar es competitivo para sustituir la quema de combustible fósil, dependiendo de los precios locales de los energéticos.

Como el sol es una fuente de energía inagotable, el campo de la energía solar fototérmica es tan amplio que los resultados del análisis realizado en este trabajo pueden ser utilizados en otras aplicaciones de generación de calor de proceso.



## REFERENCIAS

- ABDALLAH, S. y BADRAN, O.O., 2008. Sun tracking system for productivity enhancement of solar still. *Desalination*, vol. 220, no. 1–3, pp. 669–676. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2007.02.047.
- AGUILAR-JIMÉNEZ, J.A., VELÁZQUEZ, N., ACUÑA, A., LÓPEZ-ZAVALA, R. y GONZÁLEZ-URIBE, L.A., 2018. Effect of orientation of a CPC with concentric tube on efficiency. *Applied Thermal Engineering*, vol. 130, pp. 221–229. ISSN 13594311. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.167.
- ANSI/ASHRAE STANDARD 93-2010 (RA 2014), 2014. Métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico de los colectores solares. . S.I.:
- ARREOLA G., R., QUEVEDO, A., CASTRO, M., BRAVO, Á. y REYES, D., 2015. Diseño , construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, no. April 2016, pp. 1715–1727. ISSN 2228-7930.
- BAKOS, G.C., 2006. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. *Renewable Energy*, vol. 31, no. 15, pp. 2411–2421. ISSN 09601481. DOI 10.1016/j.renene.2005.11.008.
- BURKE, E.J., BROWN, S.J., CHRISTIDIS, N., EASTHAM, J., MPELASOKA, F., TICEHURST, C., DYCE, P., ALI, R., KIRBY, M., KHARIN, V. V., ZWIERS, F.W., TILMAN, D., BALZER, C., HILL, J., BEFORT, B.L., GODFRAY, H., BEDDINGTON, J., CRUTE, I., CONFORTI, P., IPCC, DORE, M.H.I., ARNELL, N. y HUNTINGTON, T.G., 2008. *Climate Change 2014 Synthesis Report* [en línea]. S.I.: s.n. ISBN 9789291691234. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169405003215%5Cnhttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378099000175%5Cnhttp://>



[linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160412005000553](http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160412005000553) <http://www.citeulike.org/group/14742/article/88614>.

CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL, 2014. *Cambio Climático, Calentamiento Global y Efecto Invernadero*. 2014. S.l.: s.n.

CHONG, K.K. y WONG, C.W., 2009. General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector. *Solar Energy* [en línea], vol. 83, no. 3, pp. 298–305. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2008.08.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2008.08.003>.

CONRADO, L.S., RODRIGUEZ-PULIDO, A., CALDERON, G., SALGADO CONRADO, L., RODRIGUEZ-PULIDO, A. y CALDERÓN, G., 2017. Thermal performance of parabolic trough solar collectors. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 1345–1359. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2016.09.071.

DOF, 2018. Ley General de Cambio Climático. *DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General de Cambio Climático*. [en línea]. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5531463&fecha=13/07/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5531463&fecha=13/07/2018).

EBAY, 2018. Actuador Lineal. [en línea]. Disponible en: <https://www.ebay.com/itm/Heavy-Duty-1500N-Linear-Actuator-330lbs-Max-Lift-12V-Electric-Motor-for-Auto-Car-/273130344684?oid=222521071025>.

ENERGÍA, C.R. de, 2018. Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional. *28 de mayo 2017* [en línea]. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor\\_de\\_Emisi\\_n\\_del\\_Sector\\_El\\_ctrico\\_Nacional\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_El_ctrico_Nacional_1.pdf).

FERNÁNDEZ-AHUMADA, L.M., CASARES, F.J., RAMÍREZ-FAZ, J. y LÓPEZ-



- LUQUE, R., 2017. Mathematical study of the movement of solar tracking systems based on rational models. *Solar Energy*, vol. 150, pp. 20–29. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2017.04.006.
- GABRIEL, J. y MORENO, P., 2016. Concentrador Solar PDR Con Seguimiento Solar. , vol. 3, no. 9, pp. 99–108.
- GRAJALES, R.B., 2003. *Fenómenos de Transferencia*. 1ra Edició. Manizales Colombia: s.n. ISBN 958-95323-4-9.
- GROUP, A., 2018. Tuvos de vacío. [en línea]. Disponible en: <http://amordadsolar.com/tubos-de-vacio/>.
- HAFEZ, A.Z., ATTIA, A.M., ELTWAB, H.S., ELKOUSY, A.O., AFIFI, A.A., ABDELHAMID, A.G., ABDELQADER, A.N., FATEEN, S.E.K., EL-METWALLY, K.A., SOLIMAN, A. y ISMAIL, I.M., 2018. Design analysis of solar parabolic trough thermal collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, no. January 2017, pp. 1215–1260. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2017.09.010.
- HIDALGO LÓPEZ ARTURO; CONDE LAZARO CARLOS; LÓPEZ BENITO ALFREDO, 2007. INTEGRACIÓN NUMÉRICA. . Madrid, España:
- HOLMAN, J.P., 1998. *TRANSFERENCIA DE CALOR*. 8va Edició. S.I.: Concepción Fernández Madrid. ISBN 844812040X.
- HOUCINE, A., MAATALLAH, T., ALIMI, S. EI y NASRALLAH, S. Ben, 2017. Optical modeling and investigation of sun tracking parabolic trough solar collector basing on Ray Tracing 3Dimensions-4Rays. *Sustainable Cities and Society*, vol. 35, no. August, pp. 786–798. ISSN 22106707. DOI 10.1016/j.scs.2017.08.031.
- HUANG, B.J. y SUN, F.S., 2007. Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector. *Energy Conversion and*



- Management*, vol. 48, no. 4, pp. 1273–1280. ISSN 01968904. DOI 10.1016/j.enconman.2006.09.020.
- INEEC, 2015. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. *18 de mayo de 2018* [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>.
- INEEC, 2018. Datos Abiertos del Gobierno de la República. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)* [en línea]. Disponible en: <https://datos.gob.mx/busca/organization/inecc>.
- KALOGIROU, S.A., 2004. *Solar thermal collectors and applications*. S.I.: s.n. ISBN 3572240646.
- KALOGIROU, S.A., KARELLAS, S., BRAIMAKIS, K., STANCIU, C. y BADESCU, V., 2016. Exergy analysis of solar thermal collectors and processes. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 56, pp. 106–137. ISSN 03601285. DOI 10.1016/j.pecs.2016.05.002.
- LI, L., LI, H., XU, Q. y HUANG, W., 2015. Performance analysis of Azimuth Tracking Fixed Mirror Solar Concentrator. *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 722–732. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2014.10.062.
- LIANG, H., YOU, S. y ZHANG, H., 2016. Comparison of three optical models and analysis of geometric parameters for parabolic trough solar collectors. *Energy*, vol. 96, pp. 37–47. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2015.12.050.
- LÓPEZ A.G., 1985. Sistemas de seguimiento del sol. *Enérgia Solar Fotovoltaica*, vol. Segunda Ed, pp. 96–101.
- LV, Y., SI, P., LIU, X., RONG, X., FENG, Y. y YAN, J., 2016. An optimized model for solar thermal collectors based on concept of effective heat collection. *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 470–475. ISSN 18766102. DOI



10.1016/j.egypro.2016.06.037.

LV, Y., SI, P., RONG, X., YAN, J., FENG, Y. y ZHU, X., 2018. Determination of optimum tilt angle and orientation for solar collectors based on effective solar heat collection. *Applied Energy*, vol. 219, no. November 2017, pp. 11–19. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2018.03.014.

MARTÍNEZ, P.R., 2009. Captador Solar plano. *Energía solar térmica: técnicas para su aprovechamiento (Vol. 4)*. S.l.: s.n., pp. 67.

Medidor de caudal. [en línea], 2018. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-639808565-digiten-g3-4-flujo-de-agua-medidor-de-caudal-medidor-de-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-639808565-digiten-g3-4-flujo-de-agua-medidor-de-caudal-medidor-de-_JM).

MENDOZA, C., 2018. Gases Efecto Invernadero. [en línea]. Disponible en: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/GasesEfect.htm>.

MONREAL, J., 2007. *Diseño de un concentrador solar lineal tipo fresnel de baja entalpía para calor de procesos* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Tesis/7.pdf>.

NACIONES UNIDAS, 2019. Cambio climático. *Cambio Climático* [en línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>.

NATIONAL GEOGRAPHIC, 2018. Calentamiento Global. *2 de noviembre de 2018* [en línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>.

NSENGIYUMVA, W., CHEN, S.G., HU, L. y CHEN, X., 2018. Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, no. August 2017, pp. 250–279. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2017.06.085.



- PIERO ESPINO ROMAN, CARLOS FRANCISCO MONTOYA MEJÍA, ALEJANDRO LIZÁRRAGA LIZÁRRAGA, A.S.G., 2012. Sistema de Seguimiento Solar para la implementación en un colector parabólico utilizado en la deshidratación de frutas. *Congreso Internacional de Investigación*, vol. 4 No. 3, no. November.
- PINO, D.M., ERNESTO, E.C., G, B.S.J., A, J.B.J. y FLORENCIO, S., 2011. DISEÑO DE DISCO COLECTOR SOLAR DE PEQUEÑA MODULARIDAD Derechos Reservados © 2011 , SOMIM. , pp. 214–220.
- PORTO, J.P., 2007. Factores bióticos. *Factores Bióticos* [en línea]. Disponible en: <https://definicion.de/factores-bioticos/>.
- RATISMITH, W., FAVRE, Y., CANAFF, M. y BRIGGS, J., 2017. A non-tracking concentrating collector for solar thermal applications. *Applied Energy*, vol. 200, pp. 39–46. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2017.05.044.
- RATISMITH, W., INTHONGKHUM, A. y BRIGGS, J., 2014. Two non-tracking solar collectors: Design criteria and performance analysis. *Applied Energy*, vol. 131, pp. 201–210. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2014.06.030.
- RECALDE, C., CISNEROS, C., ÁVILA, C. y URQUIZO, G., 2015. Influencia del ángulo de inclinación de los tubos solares evacuados sobre la temperatura del agua. *Informacion Tecnologica*, vol. 26, no. 4, pp. 89–96. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642015000400012.
- ROMMEL, M., 2008. Process Heat Collectors. *IEA SHC-Task 33 and SolarPACES-Task IV: Solar Heat for Industrial Processes*, pp. 58.
- SEMARNAT, 2018. Calculadora RENE. 14 de mayo de 2018 [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>.
- SOLAR, E., 2018. Combate el cambio climático con la energía termosolar. 22 de



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



mayo de 2018 [en línea]. Disponible en: <https://www.estudiosolar.es/combate-el-cambio-climatico-con-la-energia-termsolar/>.

SORIANO, R.G., 2018. *DISPOSITIVO DE MEDICION DE LA ENERGÍA ENTREGADA POR DISPOSITIVOS SOLARES TERMICOS*. S.I.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.

TAGLE, P.D., AGRAZ, A. y RIVERA, C.I., 2016. Study of Applications of Parabolic Trough Solar Collector Technology in Mexican Industry. *Energy Procedia*, vol. 91, pp. 661–667. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2016.06.227.

TAPIA, S.S. y DEL RÍO, J.A.P., 2009. Concentrador parabólico compuesto: Una descripción opto-geométrica. *Revista Mexicana de Física E*, vol. 55, no. 2, pp. 141–153. ISSN 18703542.

TIAN, M., SU, Y., ZHENG, H., PEI, G., LI, G. y RIFFAT, S., 2018. A review on the recent research progress in the compound parabolic concentrator (CPC) for solar energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, no. June 2016, pp. 1272–1296. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2017.09.050.

UNAM, 2014. Plantas Termosolares de Torre Central. . S.I.: s.n., pp. 15–22.

VILLEDA, G., CASTAÑEDA, A., VEGA, J.T. y PINEDA, J., 2011. Seguidor Solar de Dos Ejes para un Horno Solar. *Informacion Tecnologica*, vol. 22, no. 2, pp. 95–106. ISSN 07168756. DOI 10.4067/S0718-07642011000200011.

WANG, Y., ZHU, Y., CHEN, H., ZHANG, X., YANG, L. y LIAO, C., 2015. Performance analysis of a novel sun-tracking CPC heat pipe evacuated tubular collector. *Applied Thermal Engineering*, vol. 87, pp. 381–388. ISSN 13594311. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2015.04.045.

WWF, 2018. Cambio climático. *Cambio climático y energía* [en línea]. Disponible en:



[http://www.wwf.org.mx/que\\_hacemos/cambio\\_climatico\\_y\\_energia/#sthash.8h2I5RA5.dpuf](http://www.wwf.org.mx/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/#sthash.8h2I5RA5.dpuf).

YUNUS, C., & JOHN, C., 2006. TABLA A-3. Propiedades del agua saturada. *Mecánica de Fluidos, fundamentos y aplicaciones*. S.l.: s.n., pp. 888.



## APÉNDICE A.

### A.1. Código para la correlación

```
clc
clear all
close all
load 1_24agosto_12julio
%
plot(Scan,mV_Piranometro, '.', Scan,V_Rad_directa, '.', Scan,V_Rad_difusa, '.'
)
% legend('Piranometro', 'V Directa', 'V Difusa')
% title('Variacion de los voltajes a lo largo del dia')
% figure
% plot(mV_Piranometro,V_Rad_directa, '.')
% title('Dispersion del piranómetro VS celda directa')
% figure
% plot(mV_Piranometro,V_Rad_difusa, '.')
% title('Dispersion del piranómetro VS celda difusa')
z1=[min(V_Rad_directa):0.01:max(V_Rad_directa)];
z2=[min(V_Rad_difusa):0.01:max(V_Rad_difusa)];
polyV_Directa=polyfit(V_Rad_directa,Radiacion,3)
V_Rad_directa_calculada=polyV_Directa(1).*z1.^3+polyV_Directa(2).*z1.^2+p
olyV_Directa(3).*z1+polyV_Directa(4);
polyV_Difusa=polyfit(V_Rad_difusa,Radiacion,2);
V_Rad_difusa_calculada=polyV_Difusa(1).*z2.^2+polyV_Difusa(2).*z2+polyV_D
ifusa(3);

figure
plot(V_Rad_directa,Radiacion, '.', V_Rad_difusa,Radiacion, 'o', z1, V_Rad_dire
cta_calculada, 'r', z2, V_Rad_difusa_calculada, 'k')
title('Dispersion en VOLTAJE del piranómetro VS celda directa y difusa')
legend('Directa', 'Difusa', 'Ajuste Directa', 'Ajuste Difusa')

figure
plot(I_Rad_directa,Radiacion, '.', I_Rad_difusa,Radiacion, 'o')
title('Dispersion en CORRIENTE del piranómetro VS celda directa y
difusa')
legend('Directa', 'Difusa')
% P_directa=V_Rad_directa.*I_Rad_directa;
% P_difusa=V_Rad_difusa.*I_Rad_difusa;

x=[min(P_Rad_directa):0.01:max(P_Rad_directa)];
polyP_Directa=polyfit(P_Rad_directa,Radiacion,1);
```



```
P_Rad_directa_calculada=polyP_Directa(1).*x+polyP_Directa(2);
polyP_Difusa=polyfit(P_Rad_difusa,Radiacion,1);
P_Rad_difusa_calculada=polyP_Difusa(1).*x+polyP_Difusa(2);

figure
plot(P_Rad_directa,Radiacion, '.',P_Rad_difusa,Radiacion, 'o',x,P_Rad_directa_calculada, 'r',x,P_Rad_difusa_calculada, 'k')
title('Dispersion en POTENCIA del piranómetro VS celda directa y difusa')
legend('Directa', 'Difusa', 'Ajuste Directa', 'Ajuste Difusa')

figure
R_Volt_Directa = corrcoef(Radiacion,V_Rad_directa);
R_Corr_Directa = corrcoef(Radiacion,I_Rad_directa);
R_Pot_Directa = corrcoef(Radiacion,P_Rad_directa);

R_Volt_Difusa = corrcoef(Radiacion,V_Rad_difusa);
R_Corr_Difusa = corrcoef(Radiacion,I_Rad_difusa);
R_Pot_Difusa = corrcoef(Radiacion,P_Rad_difusa);

vector=[R_Volt_Directa(2) R_Corr_Directa(2) R_Pot_Directa(2)
R_Volt_Difusa(2) R_Corr_Difusa(2) R_Pot_Difusa(2)];
bar(vector)
grid
set(gca, 'xtickLabel', {'V_Dir', 'I_Dir', 'P_Dir', 'V_Dif', 'I_Dif', 'P_Dif'})
title('Coeficiente de correlacion de Pearson')

figure
P_Rad_directa_calculada1=polyP_Directa(1).*P_Rad_directa+polyP_Directa(2)
;

% plot(Scan,Radiacion, 'r',Scan,P_Rad_directa_calculada1, 'g')
% legend('Medición Piranometro', 'Medición estimada')
% title('Estimación de la radiación directa a partir de la potencia de celda')
% %axis([0 max(Scan) 0 14])
```



## A.2. Coeficiente de Pearson

En la Figura A.1 se muestran los coeficientes de Pearson de todas las variables registradas en el código, pero debido a la certeza del coeficiente se utiliza la variable denominada Potencia, ya que es la que nos arroja un índice mayor a 0.9

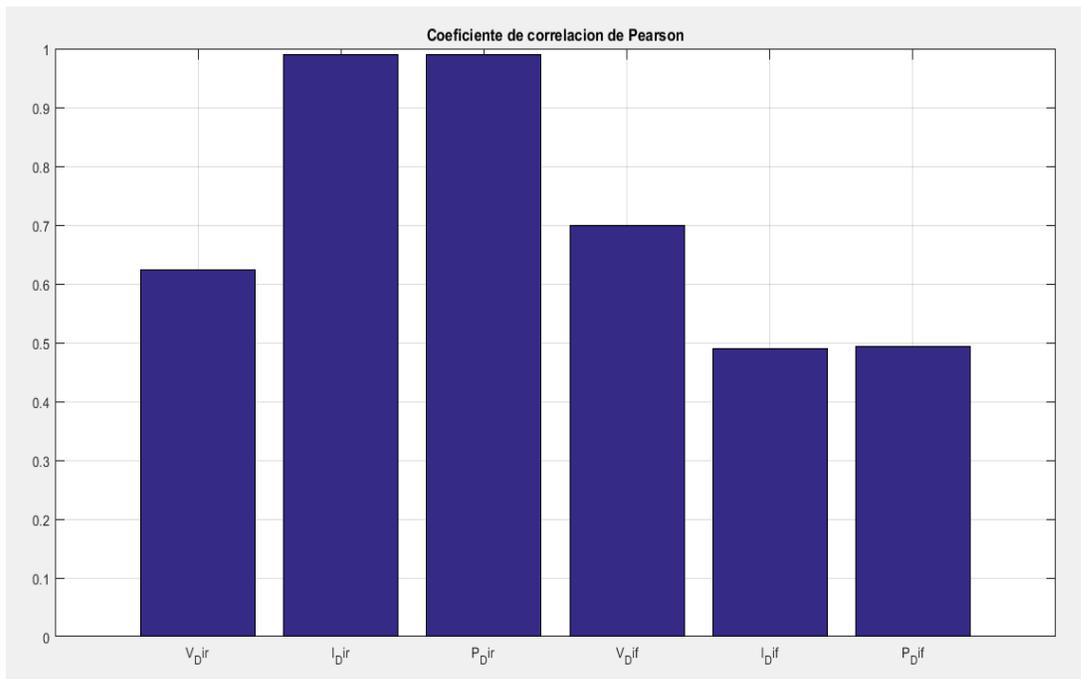


Figura A. 1. Coeficientes de Pearson

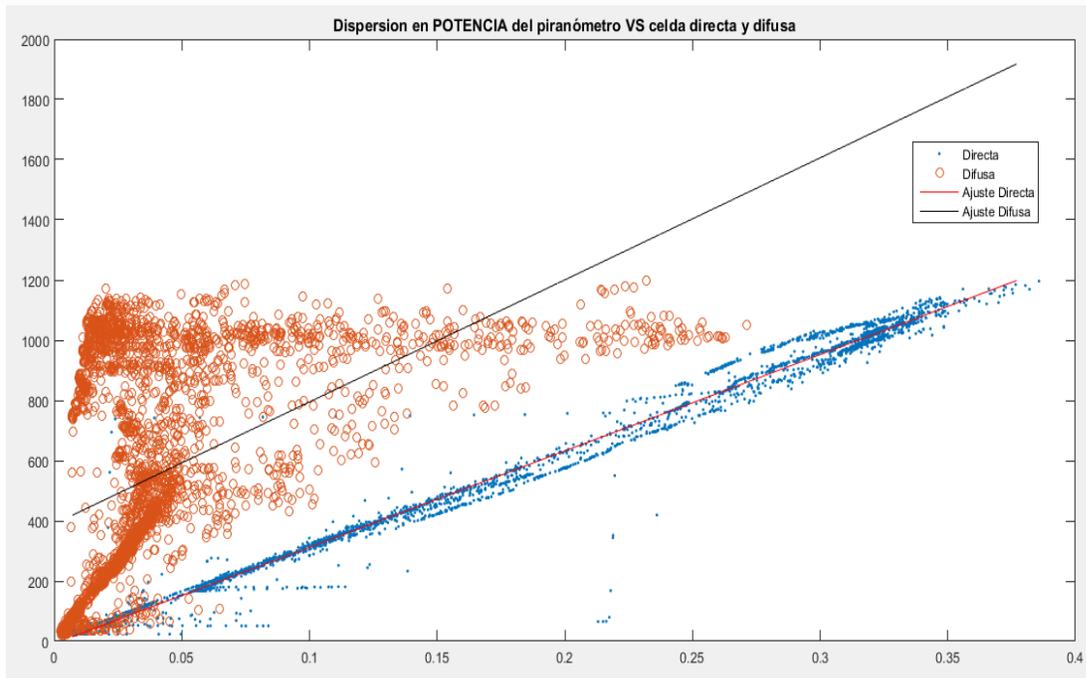


Figura A. 2. Correlación entre Potencia y Piranómetro

La Figura A.2. nos muestra cual es el comportamiento entre los datos tomados con el piranómetro y la relación de potencia obtenida entre las celdas de referencia que se utilizaron durante toda la experimentación, claramente podemos observar que el valor de la potencia de las celdas expuestas a la radiación directa es más confiable y precisa con respecto al valor de potencia difusa obtenida con las celdas que se encontraban tomando el valor de radiación difusa en la experimentación, es por ello que se toma el valor de potencia directa para la correlación con el piranómetro. Esta es otra pequeña aportación al presente trabajo, ya que no se pudo contar con un piranómetro desde el inicio de la experimentación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



## APÉNDICE B.



### Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional

Con fundamento en el Artículo 12 del Reglamento de la Ley de Transición Energética, que a la letra dice:

*Artículo 12. La CRE estimará de forma anual el factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional, con base en las metodologías que emita la Secretaría en términos del artículo anterior y remitirá la propuesta de dicho factor a la SEMARNAT antes del 30 de enero de cada año, para que ésta emita su opinión dentro de los diez días hábiles siguientes a la recepción de dicha propuesta.*

*En caso de no recibir la opinión dentro del plazo a que se refiere el párrafo anterior, se entenderá que la SEMARNAT está de acuerdo con la propuesta. Transcurrido el plazo para emitir dicha opinión, la CRE podrá continuar con los trámites correspondientes para que el factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional sea publicado antes del 28 de febrero de cada año."*

Habiendo recibido la opinión de SEMARNAT sin comentarios al cálculo realizado, la Comisión Reguladora de Energía, procede a publicar el Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional para 2017:

**Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional, 2017:**

**0.582 toneladas de CO<sub>2</sub> / MWh**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



## ANEXO A. REDES TEMÁTICAS CONACYT



Temixco, Mor., a 19 de septiembre de 2017

### Red de Energía Solar

**M.C. Isabel Bazán Barojas**  
Estudiante  
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas  
Presente

Para dar seguimiento a los trabajos que se llevarán a cabo en el marco de este proyecto y al reconocer su gran experiencia en el campo de la Energía Solar, nos permitimos enviarle esta carta invitación para que asista a nuestra Reunión Temática de Grupos de Interés programada para el 1, 2 y 3 de octubre del presente, la cual tendrá sede en el Hotel Malibú ubicado en Av. Vallarta 3993 Col. Don Bosco Vallarta CP. 45049, Zapopan Jalisco. Le recordamos que la Red cubre hospedaje de las noches del 1 y 2 de octubre, y los alimentos de la cena del 1ro; desayuno, comida y cena del 2do y desayuno del 3 de octubre.

Asimismo, agradecemos sinceramente su interés por participar en las actividades de esta Red.

A continuación, presentamos el orden del día

Domingo 1 de octubre  
18:00 a 18:30 Bienvenida y presentación de los asistentes  
19:00 a 19:30 Presentación de GIZ sobre estudio de Mapas de Ruta Industria Solar  
19:30 a 20:00 Presentación de resultados de las sesiones de GI pasadas  
20:00 a 20:30 Cena

Lunes 2 de octubre  
08:00 a 08:30 Desayuno  
09:00 a 13:30 Sesión de Formulación de proyectos por GI

- Energía Solar para Comunidades Sustentables
- Energía Solar para el Futuro
- Energía Solar FV para la Industria
- Energía Solar FT para la Industria

14:00 a 15:30 Comida  
15:30 a 19:30 Sesión de Formulación de proyectos por GI

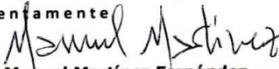
- Energía Solar para Comunidades Sustentables
- Energía Solar para el Futuro
- Energía Solar FV para la Industria
- Energía Solar FT para la Industria

20:00 a 20:30 Cena

Martes 3 de octubre  
08:00 a 08:30 Desayuno  
09:00 a 11:00 Presentación de Proyectos por Grupo de Interés  
11:00 Cierre de sesión de trabajo  
Salida del hotel

Sin otro particular, quedamos a sus órdenes para cualquier duda al respecto.

Atentamente

  
**Dr. Manuel Martínez Fernández**  
Responsable Técnico



RED SUMAS  $\Sigma^+$

"Sustentabilidad energética,  
Medioambiente y Sociedad"



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Instituto de  
Investigación en  
Ciencias  
Básicas y  
Aplicadas



## RED TEMÁTICA SUMAS

A través de la

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
y el Cuerpo Académico:

UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"

OTORGA EL PRESENTE

### RECONOCIMIENTO

A

### ISABEL BAZAN BAROJAS

Por ser miembro Activo de la Red Temática Conacyt de  
Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad  
"Red SUMAS"

**Proyecto 281101**

Durante el periodo Enero a diciembre de 2017

  
**Dr. Antonio Rodríguez Martínez**  
Responsable Técnico de la Red  
SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 21 de Noviembre de 2017



**CONACYT**  
Redes Temáticas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Red de Energía Solar

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**



Temixco, Mor., a 31 de agosto de 2018

**Isabel Bazán Barojas**

**Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas**

**Presente**

Buscando crear una industria solar más competitiva, la Red Temática de Energía Solar le extiende una cordial invitación a la segunda reunión de **Grupos de Interés 2018**, la cual se llevará a cabo los días **06 y 07 de septiembre**, en el hotel **Fiesta Americana Reforma**, Ciudad de México. Esta reunión tiene como objetivo unir a personalidades tanto de la industria como de la academia, en un espacio que propicie el diálogo uno a uno para la generación de proyectos colaborativos.

Agradecemos su interés y participación en las actividades de la Red de Energía Solar.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

**Atentamente**

**Dra. Karla G. Cedano Villavicencio**

**Responsable Técnica**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**



RED SUMAS  $\Sigma^+$   
"Sustentabilidad energética,  
Medioambiente y Sociedad"



## RED TEMÁTICA SUMAS

A través de la

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
y el Cuerpo Académico:

UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"

OTORGA EL PRESENTE

### RECONOCIMIENTO

A

### ISABEL BAZÁN BAROJAS

Por ser miembro Activo de la Red Temática conacyt de  
Sustentabilidad Energética, Medio Ambiente y Sociedad  
"Red SUMAS"

**Proyecto 293876**

Durante el periodo Enero a Diciembre de 2018

**Dr. Antonio Rodríguez Martínez**  
Responsable Técnico de la Red  
SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 18 de Noviembre de 2018





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

## ANEXO B. PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS

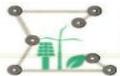


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



SEMANA DE LA SUSTENTABILIDAD  
CIICAp UAEM 2017

5° Coloquio  
SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA  
ELPATRIALCOR VOLAR



RED SUMAS Σ+  
TALLERES

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS



EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS OTORGA EL PRESENTE RECONOCIMIENTO A:



*Isabel Bazan Baroja*

Por su participación en la mesa redonda llamada  
"Arquitectura Sustentable"  
en la SEMANA DE LA SUSTENTABILIDAD CIICAp UAEM 2017



CENTRO DE INVESTIGACIÓN  
EN INGENIERÍA Y CIENCIAS  
APLICADAS

Dr. Pedro Antonio Márquez Aguilar

DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Cuernavaca, Morelos a 26 de Mayo de 2017





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS



RED SUMAS  $\Sigma^+$   
TALLERES  
"Sustentabilidad energética,  
Medioambiente y Sociedad"

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
a través del Cuerpo Académico:  
**UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"**

Otorgan el Presente **RECONOCIMIENTO** a:

**ISABEL BAZÁN BAROJAS**

Por su participación  
En el

**" 5° Coloquio Sustentabilidad energética Climatización Solar en la  
Semana de Sustentabilidad CIICAp-UAEM "**

Llevado a cabo del 22 al 26 de Mayo del 2017 en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

**Dr. Antonio Rodríguez Martínez**  
Responsable Técnico de la Red SUMAS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**



EL IM  
RE

Ing.

MEDIO AMB  
EMPRE  
MATERIAS PRIMAS

RECURSOS NATURALES  
CALENTA  
SUSTEN





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**



OTORG

**ISABEL**

POR SU PARTICIPACIÓN  
**FORO INTERNACIONAL**

SANTIAGO DE

  
**ENRIQUE ARIAS VELASCO**  
PRESIDENTE COMITÉ ORGANIZADOR  
FIEM

**QUERÉTARO**  
ESTÁ EN NOSOTROS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS



UNIVERSIDAD OLMECA

*Rojz de sabiduría*

La Universidad Olmeca A. C. otorga la presente

# Constancia

*A: Isabel Bazán Barojas*

Por su participación como expositor en la modalidad de presentación de poster al 1er Encuentro Internacional sobre Energías Renovables y Sustentabilidad, llevado a cabo del 25 al 27 de abril de 2018.

Ing. Naúr Ávila Estrada  
*Director Académico de Ingenierías y Tecnologías*

*Villahermosa, Tabasco, abril de 2018*



## CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



La Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
a través del  
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

*Isabel Barzán Barajas,*  
*Rosenberg J. Romero Domínguez*

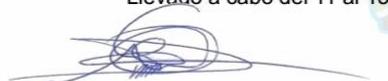
Por presentar el trabajo titulado “Análisis energético de dos configuraciones de escenarios con y sin seguimiento solar vía fotovoltaica para un prototipo de CCP’S”

En la Sesión de Carteles

De la

**Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018**

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

  
Dr. Antonio Rodríguez Martínez  
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





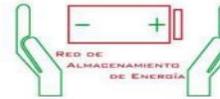
RED TEMÁTICA DE  
**BIOENERGÍA**



Red Mexicana de  
**Bioenergía**



RED SUMAS  $\Sigma^+$   
"Sustentabilidad Energética,  
Medioambiente y Sociedad"



RED DE  
ALMACENAMIENTO  
DE ENERGÍA



Red de Energía Solar



RED MUJERES  
EJECUTIVA FOMENTO Y ENERGÍA RESISTENTE

Otorga la presente constancia

A: **Isabel Bazán Barojas**

Por su asistencia a la Reunión  
Nacional de Redes de Energía 2018



Reunión de Redes  
**de Energía**  
2018

Dr. Antonio Rodríguez Martínez / Responsable de la RED SUMAS

Dr. Julio César Sacramento Rivero / Responsable Técnico RTB

Reunión de Redes de Energía : 24 al 28 de Septiembre del 2018

Cuernavaca Morelos, México



**ANEXO C. CURSOS Y TALLERES**



**Ingeniería y Recursos Ambientales,**  
**S.A. de C.V.**

Otorga la presente

**CONSTANCIA**

A: **Bazán Barojas Isabel**

Por haber concluido satisfactoriamente el curso:

**“ELABORACIÓN DE PLANES DE RESPUESTA A EMERGENCIAS QUIMICAS EXTERNAS”**

Que se realizó el 17 y 24 de Marzo de 2017 con una duración de 4 horas en el *Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas*, de la *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, México.

---

**Ing. Isaías Ramos Aguilar**

Especialista en seguridad, riesgo y atención a emergencias



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



RED SUMAS  $\Sigma^+$   
TALLERES  
"Sustentabilidad energética,  
Medioambiente y Sociedad"

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
a través del Cuerpo Académico:  
**UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"**

Otorgan el Presente **RECONOCIMIENTO** a:

**ISABEL BAZÁN BAROJAS**

Por su participación en el curso

**Análisis de Ciclo de Vida SIMAPRO**

En el la

**Semana de Sustentabilidad CIICAp-UAEM 2017 "**

Llevado a cabo del 22 al 26 de Mayo del 2017 en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

**Dr. Antonio Rodríguez Martínez**  
Responsable Técnico de la Red SUMAS





**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



RED SUMAS  $\Sigma^+$   
TALLERES  
"Sustentabilidad energética,  
Medioambiente y Sociedad"

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
a través del Cuerpo Académico:  
**UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"**

Otorgan el Presente **RECONOCIMIENTO** a:

**ISABEL BAZÁN BAROJAS**

Por su participación en el curso

**Taller Básico de uso de Software Origin**

En el la

**Semana de Sustentabilidad CIICAp-UAEM 2017 "**

Llevado a cabo del 22 al 26 de Mayo del 2017 en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

**Dr. Antonio Rodríguez Martínez**  
Responsable Técnico de la Red SUMAS



SEMARCO  
HEBES TEMÁTICAS  
CONACYT 2017  
Pro. Inv. 2011 001  
MÉXICO



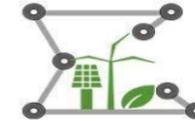


**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



**RED SUMAS  $\Sigma^+$**   
**TALLERES**  
"Sustentabilidad energética,  
Medioambiente y Sociedad"

La Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
El Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,  
a través del Cuerpo Académico:  
**UAEMOR-100 "Sustentabilidad Energética y Medio Ambiente"**

Otorgan el Presente **RECONOCIMIENTO** a:

**ISABEL BAZÁN BAROJAS**

Por su participación en el curso

**Simulación de Procesos Sustentables con TRNSYS**

En el la

**Semana de Sustentabilidad CIICAp-UAEM 2017 "**

Llevado a cabo del 22 al 26 de Mayo del 2017 en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

**Dr. Antonio Rodríguez Martínez**  
Responsable Técnico de la Red SUMAS





**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



La Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
a través del  
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

**Isabel Bazán Barojas**

Por su participación en el curso

Engineering Equation Solver (EES) de una  
duración de 2 h dentro de los Talleres de la Red SUMAS

En la

**Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018**

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

Dr. Antonio Rodríguez Martínez  
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





La Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
a través del  
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Otorga el presente reconocimiento a:

**Isabel Bazán Barojas**

Por su participación en el curso

Program Transient Systems Simulation (TRNSYS) de una  
duración de 2 h dentro de lo Talleres de la Red SUMAS

En la

**Semana de la Sustentabilidad Energética CIICAp – UAEM 2018**

Llevado a cabo del 11 al 15 de Junio del presente en el auditorio Dr. Javier Sánchez Mondragón del CIICAp

Dr. Antonio Rodríguez Martínez  
Responsable Técnico de la Red SUMAS

Cuernavaca, Morelos a 28 de Junio de 2018





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

## VOTOS APROBATORIOS

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS  
Coordinación de Posgrado en Sustentabilidad Energética

"2019, a 100 años del asesinato del General Emiliano Zapata Salazar"

Cuernavaca, Morelos, a 22 de Enero de 2019.

**DR. DIEGO SEURET JIMÉNEZ**  
COORDINADOR DEL POSGRADO EN  
SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA  
P R E S E N T E

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la TESIS titulada "Análisis Energético de dos configuraciones con y sin seguimiento para prototipos de colectores cilindro-parabólicos" que presenta la alumna Isabel Bazán Barojas, para obtener el título de Maestría en Sustentabilidad Energética.

Nos permitimos informarle que nuestro voto es:

NOMBRE	DICTAMEN	FIRMA
DR. ANTONIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ	Aprobatorio	
DR. JESÚS CEREZO ROMÁN	Aprobatorio	
DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ	Aprobatorio	
DRA. HELENA CABAL CUESTA		
DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ	Aprobatorio	

PLAZO PARA LA REVISIÓN 20 DÍAS HÁBILES (A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO)

NOTA. POR CUESTION DE REGLAMENTACIÓN LE SOLICITAMOS NO EXCEDER EL PLAZO SEÑALADO, DE LO CONTRARIO LE AGRADECEMOS SU ATENCIÓN Y NUESTRA INVITACIÓN SERÁ CANCELADA.

DSJ\*MLGE/nmc

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209.  
Tel. (777) 329 70 00, Ext. 6212 / correo: merle.garcia@uaem.mx

Una universidad de excelencia

UA  
EM

RECTORÍA  
2017-2023





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Instituto de  
Investigación en  
Ciencias  
Básicas y  
Aplicadas

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS  
Posgrado en Sustentabilidad Energética



"1919-2019: en memoria del General Emiliano Zapata Salazar"

Cuernavaca, Morelos, a 22 de Enero de 2019.

**DR. DIEGO SEURET JIMÉNEZ**  
COORDINADOR DEL POSGRADO EN  
SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA  
P R E S E N T E

Atendiendo a la solicitud para emitir DICTAMEN sobre la revisión de la TESIS titulada "Análisis Energético de dos configuraciones con y sin seguimiento para prototipos de colectores cilindro-parabólicos" que presenta la alumna Isabel Bazán Barojas, para obtener el título de Maestría en Sustentabilidad Energética.

Nos permitimos informarle que nuestro voto es:

NOMBRE	DICTAMEN	FIRMA
DR. ANTONIO RODRÍGUEZ MARTÍNEZ		
DR. JESÚS CEREZO ROMÁN		
DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ		
DRA. HELENA CABAL CUESTA	APROBADO	
DR. ROSENBERG JAVIER ROMERO DOMÍNGUEZ		

PLAZO PARA LA REVISIÓN 20 DÍAS HÁBILES (A PARTIR DE LA FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO)

NOTA. POR CUESTION DE REGLAMENTACIÓN LE SOLICITAMOS NO EXCEDER EL PLAZO SEÑALADO, DE LO CONTRARIO LE AGRADECEMOS SU ATENCIÓN Y NUESTRA INVITACIÓN SERÁ CANCELADA.

DSJ\*MLGE/nmc

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209.  
Tel. (777) 329 70 00, Ext. 6212 /

**UA  
EM**

Una universidad de excelencia

RECTORÍA  
2017-2023



Instituto de  
Investigación en  
Ciencias  
Básicas y  
Aplicadas