CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S. C. POSGRADO

Tesis que como Requisito para obtener el Grado de Maestría en Ciencias en Energías Solar Fototérmica presenta:

"DISEÑO Y APLICACIÓN DE COLECTORES SOLARES TIPO PARABÓLICO"

ALUMNOS:

ING. JOSÉ AGUIRRE REYES

ING. RUFINO DEMILLON PASCUAL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. DANIEL SAUCEDA CARVAJAL

IXMIQUILPAN, HGO. OCTUBRE DE 2012.

I AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme dar un paso mas en mi crecimiento profesional el cual es un eslabón y orgullo terminarlo de manera satisfactoria "Porque al hombre que le agrada, Dios le da sabiduría, ciencia y gozo, Eclesiastés 2:26"

Agradezco de igual forma el apoyo incondicional de mi esposa Claudia, que estuvo impulsándome a lograr este objetivo con sus palabras de aliento y visión profesional, gracias por ser como eres esposa, se cumple que detrás de un gran hombre hay una gran mujer.

A mis hijos por ser la fuerza que me impulse a crecer en el área profesional, me alienta a serles un ejemplo en la parte académica y en los valores, cada sonrisa de Daira Eunice, Abdi Naomi y Luis Francisco son el motivo de mi esfuerzo de superación continua.

No puedo dejar de mencionar a mis padres María Pascual González y Francisco Demillón Hernández que me dieron los estudios básicos hasta nivel licenciatura, cada gota de sudor, de esfuerzo, de trabajo y de apoyo moral nunca olvidare mientras tenga vida, estaré agradecido por ellos, gracias por ser unos extraordinarios padres.

A la CGUT y UTVM que tuvieron a bien proponerme para llevar esta proceso de formación, y que de una u otra forma estuvieron presentes, se les agradece, con esta formación contribuiré con mejores herramientas en la formación de mejores profesionistas y aportar mi conocimiento para el desarrollo de México.

Al CIMAV por el gran profesionalismos como centro de investigación, son un orgullo para México, que permite el figurar a México en el ámbito de la investigación a nivel internacional, así como contribuir en la formación de nuevos profesionista con un enfoque diferente, ante los nuevos retos del desarrollo sustentable que requiere nuestro país, gracias por permitirme formar parte de ella en mi formación profesional.

Mi director de tesis Dr. Daniel Sauceda gracias por su apoyo incondicional y dándome las pautas a seguir y todas las facilidades para lograr culminar de manera satisfactoria mi tesis y ser como un amigo en este proceso.

A todos lo que contribuyeron de manera directo o indirecta para llegar hasta este punto, les agradezco por todo.

RUFINO DEMILLÓN PASCUAL

Dedicatoria

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio de posgrado.

Mis padres Marcos y Socorro, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron. Mamá y papá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te los debo a ustedes.

Mi esposa e hijos, Eva, Adrianita y Pepito, por quererme mucho que es lo más importante, me impulsaron con su cariño a lograr mis objetivos.

Mis hermanos Marcos, Gerardo, Mario, Griselda, Ma. Del Socorro y Fernando, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho; así como a todos sus hijos y esposos(as) de ustedes.

Mis catedráticos y asesores de tesis, por su gran apoyo y motivación para la culminación del plan de estudios de la maestría y para la elaboración de esta tesis.

Las instituciones CGUT, UTVM, CIMAV, CONACYT, pero principalmente a las personas a cargo de ellas, por haberme brindado la oportunidad de realizar y concluir satisfactoriamente estudios de posgrado, con esta formación contribuiré de manera más eficiente para el desarrollo sustentable de los lugares donde me encuentre.

Todos aquellos familiares y amigos que contribuyeron al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

Atte. José Aguirre Reyes

INDICE

I AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS **II**

II INDICE DE ILUSTRACIONES **VI**

III INDICE DE TABLAS **VIII**

IV RESUMEN **9**

V INTRODUCCIÓN **12**

Panorama Energético Mundial **12**

Panorama Energético Nacional **14**

Problemática de la energía convencional **15**

La energía solar como fuente primaria para varios procesos **17**

Hipótesis **19**

Objetivo general **19**

Objetivo especifico **19**

VI MATERIALES Y MÉTODOS **20**

MARCO TEÓRICO **20**
Energía solar 20
Concentradores Solares 27
Concentradores Cilíndricos Parabólico 28
Características de un concentrador solar 31
Ventajas y desventaja de los concentradores solares 36

Procedimiento Experimental **38**
Obtención de una base de datos de la irradiación solar en la localidad del Nith Ixmiquilpan, Hgo. a partir de los Software de METEONORM y TRNSYS 38
Análisis de la base de datos en EXCEL 43

Aplicaciones concentradores según el grado de inclinación de los concentradores **52**

Metodología de análisis para el diseño de un concentrador solar **54**
Calculo de la razón de concentración 55

Diseño de apertura para el concentrador solar 58
Analisis del balance de energía 62
Cálculo de la energía que se puede almacenar con el aceite térmico mobiltherm 603 62
Calculando el área del concentrador (A) 63

VII DESGLOSE FINANCIERO 67

VIII CONCLUSIONES: 69

IX SUGERENCIAS 70

X ANEXOS 71

Insolación media global de algunos lugares de importantes en México 71

Irradiancia de la localidad en cuestión 72

Características del aceite térmico MOBILTHERM 603 76

Unidades de conversión más importantes para el desarrollo de la presente tesis 78

Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI 79

XI GLOSARIO 80

XII BIBLIOGRAFÍA 82

II INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tendencia del crecimiento en la producción energética a nivel mundial 12
Ilustración 2 Consumo total mundial de energía por sector 2008..... 13
Ilustración 3 Tendencia de la producción energética de México en sus diferentes fuentes 14
Ilustración 4 Tendencia de la producción energética vs el consumo interno de energía .. 15
Ilustración 5. Consumo energético nacional total por sector 2009..... 15
Ilustración 6 Irradiación solar promedio en la republica mexicana en kWh/m^2.dia..... 18
Ilustración 7. Irradiación solar global anual de Hidalgo 18
Ilustración 8. Flujo energético sobre la atmósfera de la tierra (Carlos Castellanos, David Flores, Cristian Heredia, Leonardo Moncada, Iván Reysancho, 2009)..... 21
Ilustración 9. Representación esquemática del espectro de la radiación fuera de la atmosfera terrestre y las pérdidas de energía a su paso por la atmósfera 22
Ilustración 10. Posición de la Tierra sobre su órbita..... 24
Ilustración 11. Movimiento de la tierra respecto al sol..... 25
Ilustración 12 oblicuidad de la elíptica y su valor en los solsticios..... 26
Ilustración 13 Coordenadas geográficas..... 26
Ilustración 14. Relaciones de entre la razón de concentración y temperatura de operación de un absorbedor..... 28
Ilustración 15 Concentrador solara parabólico 31
Ilustración 16. Eficiencia vs. temperatura de un colector cilindrico- parabólico..... 37
Ilustración 17. Introducción de características previas a creación de un lugar deseado a analizar..... 39
Ilustración 18. Captura de datos geográficos en METEONORM..... 39
Ilustración 19. Configuración de formato de salida de la base de datos generado y su corrida..... 40
Ilustración 20. Programación en TRNSYS para obtener información legible en Excel para su análisis..... 40
Ilustración 21. Configuración para la salida de parámetros de cuatro planos inclinados .. 41
Ilustración 22 Configuración para la salida de datos en los 4 planos definidos, con la radiación total, radiación directa y radiación difusa 42
Ilustración 23. Configuración del Type 65a para la obtención de la radiación total, directa y difusa en dos planos (horizontal y de la latitud -1/2 de la latitud) y de manera similar en la Type 65a-2 (latitud y latitud + ½ de la latitud)..... 43
Ilustración 24 Configuración del periodo de tiempo..... 43
Ilustración 25. Radiación total promedio mensual en el plano horizontal..... 44
Ilustración 26. Radiación directa promedio mensual en el plano horizontal..... 44
Ilustración 27. Radiación total diaria promedio mensual en el plano de la latitud - 1/2 de la latitud..... 44
Ilustración 28. Radiación directa diaria promedio mensual en el plano inclinado de latitud - 1/2 de la latitud 44
Ilustración 29. Radiación total diaria promedio mensual con en plano inclinado a la latitud 45
Ilustración 30. Radiación directa diaria promedio mensual con en plano inclinado a la latitud..... 45
Ilustración 31. Radiación total diaria promedio mensual en el plano inclinado de latitud + 1/2 de la latitud 45

Ilustración 32. Radiación directa diaria promedio mensual en el plano inclinado de latitud + 1/2 de la latitud 45
Ilustración 33. Radiación TOTAL promedio diario mensual en varios planos inclinados (Fuente: Meteonorm y TRNSYS) 47
Ilustración 34. Radiación DIRECTA promedio diario mensual en varios planos inclinados (Fuente: Meteonorm y TRNSYS) 47
Ilustración 35. Esquema de radiación solar total (directa + la difusa), W/m^2..... 48
Ilustración 36. Radiación directa promedio anual según el plano inclinado 49
Ilustración 37. Insolación total diaria promedio mensual, según el plano inclinado, Wh/m^{2}día 51
Ilustración 38. Energía solar diaria disponible promedio mensual según el plano inclinado, Wh/m^{2}día 51
Ilustración 39 Eficiencia térmica función de la temperatura de operación del receptor con el índice de concentración como parámetro: supuesto 500 W/m2 de radiación directa normal, temperatura ambiente 27ºC y un receptor que se comporta como cuerpo negro (α = ε = 1)..... 55
Ilustración 40. Lamina Galvanizada Lisa en calibres 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 en anchos de 3 y 4 pies y largos de 10 pies..... 55
Ilustración 41 Secciones de la lamina galvanizada rolada en tres bloques de metro cada uno 56
Ilustración 43. Apertura de la placa para el concentrador 58
Ilustración 44 Factores que afecta el diámetro del absorbedor. 60
Ilustración 45. Parámetros requeridos para dimensionamiento del absorbedor 60
Ilustración 45. Esquema de diseño del concentrador parabólico propuesto desde varios esquemas de la estructura..... 61
Ilustración 46. Tanque de almacenamiento térmico con aceite térmico MOBILTHERM 603 63
Ilustración 47. Conversiones útiles para radiación 78

III INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencial de reducción de uso de energías convencionales y su impacto al medio ambiente, por m^2 de concentradores solares 10
Tabla 2. Poderes caloríficos de los combustibles (guía metodológica de conversión de Unidades OLADE-2004) 11
Tabla 3. Emisiones equivalentes por tipo de fuente de energéticas (IPCC) 11
Tabla 4 Distribución espectral de la radiación solar 21
Tabla 5. Materiales utilizados en el almacenamiento para sistemas solares de concentración de media y alta temperatura (Fuente: Winter et al., 1990)..... 35
Tabla 6 Datos geográficos de las localidades principales de Ixmiquilpan..... 38
Tabla 7 Configuración del Type 57 41
Tabla 8 Esquema para la conversión de unidades con el TYPE 57 (se selecciona Table Nb. For Imput 17, input 1 es la al unidad de ingreso y output 2 que es la salida como lo marca la presente tabla) 42
Tabla 9. Radiación total (directa + directa) máxima promedio mensual según plano, W/m^2 46
Tabla 10. Radiación directa máxima promedio mensual según plano, W/m^2 46
Tabla 11. Insolación total (directa + difusa) disponible diaria promedio mensual, Wh/m^{2}día 49
Tabla 12. Insolación disponible de la radiación directa, Wh/m^{2}día 50
Tabla 13. Energía anual disponible a partir de la irradiancia solar (kWh/m^{2}año) 52
Tabla 14. Cotización del sistema de concentración solar 67
Tabla 15. Insolación global media inclinación a la latitud en México en kWh/m^2-día 71
Tabla 16. Irradiancias totales máximas detectadas en el plano horizontal, W/m^2 72
Tabla 17. Irradiancia directa máximas detectadas en el plano horizontal, W/m^2 73
Tabla 18. Irradiancias totales máximas detectadas en el plano inclinado a la latitud, W/m^2 74
Tabla 19. Irradiancias directas máximas detectadas en el plano inclinado a la latitud, W/m^2 75
Tabla 20. Emisiones por tipo de combustible convencional 79

IV RESUMEN

La energía esta presente en todo los ámbitos de la materia, desde nivel subatómicas (El espín (del inglés spin 'giro, girar') o momento angular intrínseco se refiere a una propiedad física de las partículas subatómicas) como a nivel macroscópico (energía utilizada por el hombre para varios procesos de transformación). La primera ley de la termodinámica afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede cambiar de una forma a otra, puede adoptar distintas formas convertibles directa o indirectamente unas en otras: energía electromagnética, energía potencial, energía eléctrica, energía química, energía cinética, energía calorífica, entre otras. El proceso de transformación de la energía mas utilizado por el hombre es el aprovechamiento del poder calorífico de los hidrocarburos para realizar varios procesos a su favor, para liberar la energía de los hidrocarburos se logra por medio de reacciones químicas en el proceso de combustión.

La combustión de derivados de hidrocarburos (gas natural, gas LP, diesel, bunker, etc.) y biocombustibles, así como el uso de la energía eléctrica, son medios mas utilizados por el hombre para obtener energía en forma de calor, para varias aplicaciones, estas pueden ser a baja, media o alta temperatura. Estos procesos son convencionales y poco sustentables para depender totalmente de ellos.

El uso de una energía solar como fuente primaria para el calentamiento de baja, media y alta temperatura, es una opción viable, por la abundancia en todo el territorio nacional, considerando que se tiene un promedio de radiación solar de 5 kWh/día/m^2 (Pag 10 doc. Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México), pero en algunas regiones del país se llega a valores de 6 kWh/día/m^2, en el estado de Hidalgo de 4.95 a 5.70 kWh/día/m^2 (Comisión Estatal de Energía de Hidalgo) y en el Valle del Mezquital tiene un potencial de 5.05 kWh/día/m^2 en el plano horizontal según los análisis realizados en el presente trabajo el cual 59% es radiación directa y 41% es difusa. Se deriva de que hay mucho potencial para aprovechar la radiación solar como fuente primaria para procesos que requieren energía calorífica a media y alta temperatura.

Los concentradores cilíndricos parabólico (CCP) solares es una tecnología que nos permite absorber la radiación directa del sol, para transferirlo a un medio de transferencia de calor (aceite térmico, glicol u otro liquido) y almacenar el calor o aplicarlo directamente en algún proceso a media o alta temperatura. Existen varios prototipos en el mercado, sin embargo se propone realizar un diseño propio para la particularidad de la zona del Valle del Mezquital y así lograr contribuir al proceso de la transición energética que requiere nuestro país.

Los concentradores de tipo parabólico tienen un prometedor nivel de aplicación, con un nivel de eficiencia muy interesante, sin embargo la energía aprovechada es la radiación directa.

El proceso de absorción de la energía solar depende de la reflexión de la superficie reflectora del cilindro parabólico, del tubo absorbedor y de transferencia de calor (glicol o aceite térmico), este lo puede transferir a un medio de almacenamiento de calor como un termotanque a un temperatura considerable, para que se utilice en alguna aplicación que se crea conveniente o de manera directa a un proceso.

El presente trabajo busca impulsar el uso de la energía solar para procesos de calentamiento a media y alta temperatura en el hogar, microindustrias, PYMES y en la gran industria, y ser parte del crecimiento sustentable del país, con tecnologías apropiadas para cada aplicación, y que técnica y económicamente sean factibles por su operatividad y rentabilidad económica, para ir supliendo de manera parcial o total a la tecnología convencional.

Uno de los aportes importantes es reducir las emisiones de CO_2, al aprovechar la radiación directa en el plano inclinado a la latitud (20º29'), para temperaturas del orden de 150ºC, con una eficiencia del 50% del concentrador solar, equivale a un potencial energético aprovechable de 568 kWh/m^2/año. El planteamiento nos da el potencial en la reducción de uso de fuentes energéticas convencionales como se muestra en la Tabla 1, ambas respaldadas por los valores estándares nacionales e internacionales de las fuentes energéticas mostradas en la Tabla 2 y Tabla 3 que son parámetros necesarios para lograr llegar a estos resultados.

Tabla 1. Potencial de reducción de uso de energías convencionales y su impacto al medio ambiente, por m^2 de concentradores solares

Combustible	Reducción del consumo energético por año	Unidades	Reducción de emisiones, kg de CO_2 / m^{2}año
Gas Natural	63.3	m^3	113.5863
Gas LP	87.1	l	127.70784
Combustóleo	50.9	l	156.76956
Diesel	56.8	l	150.01578
Electricidad	568.5	kWh	370.71885

Los poderes caloríficos de algunos combustibles más usados son los mostrados en la Tabla 2 y las emisiones de CO_2 que emite por el uso de fuentes energéticas convencionales se pueden ver en la Tabla 3.

Tabla 2. Poderes caloríficos de los combustibles (guía metodológica de conversión de Unidades OLADE-2004)

Combustible	Poderes Caloríficos
Gas Natural kJ/m^3	32,326.00
Gas LP MJ/lt	23.49
Combustóleo MJ/lt	40.20
Diesel MJ/lt	36.03

Tabla 3. Emisiones equivalentes por tipo de fuente de energéticas (IPCC)

Fuente energética	Ton CO_2 /TJ
Carbón	93.7
Combustóleo	76.6
Diesel	73.3
Gas L.P.	62.4
Gas Natural	55.5
Leña	108.5
Energía Eléctrica (Ton CO_2/kWh)	0.0006521*

*Fuente: Análisis de GEI por ATPAE

V INTRODUCCIÓN

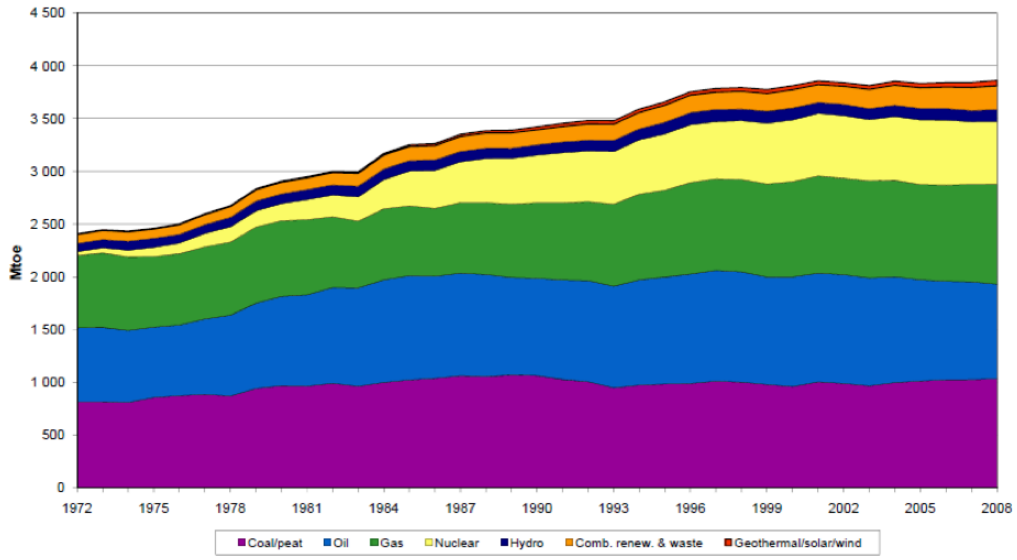
La energía es la capacidad que poseen los cuerpos para producir trabajo, que nos permite ver, oír, movernos, vivir, etc., todo lo que "ocurre" en nuestro universo es una u otra forma de energía. La energía es vital para la existencia de la vida y para el desarrollo de nuestra civilización.

La energía que utiliza el ser humano para varios procesos de transformación a nivel mundial es creciente en el tiempo, implicando una demanda creciente debido al crecimiento poblacional y a la búsqueda de mayor confort del ser humano.

Panorama Energético Mundial

El esquema de producción energética a nivel mundial esta basado principalmente por carbón/turba, petróleo y sus derivados, nuclear, hidro (agua), combinación de reciclados y rellenos, geotermia/solar/eólico (ver Ilustración 1). La mayor parte de la energía primaria proviene de los hidrocarburos y el carbón, estas fuentes energéticas requiere de un proceso de combustión para liberar su poder calorífico, en este proceso se liberara Gases de Efecto Invernadero (GEI) causante de la aceleración del calentamiento global, con sus consecuencias desastrosas (tornados, inundaciones, lluvia acida, sequías, climas extremosos, enfermedades).

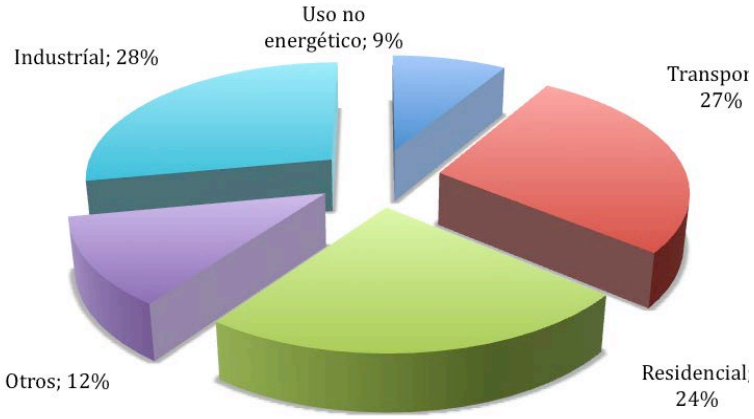
Ilustración 1 Tendencia del crecimiento en la producción energética a nivel mundial[1]



El esquema de consumo energético a nivel mundial respecto al 2008 se distribuye con 28% en el sector industrial, 27% en el sector transporte, 24% en el sector residencial, 12% otros y 9% uso no energético como se visualiza en la Ilustración 2.

[1] Fuente: International Energy Agency (IEA) OECD30

Ilustración 2 Consumo total mundial de energía por sector 2008[2]



El sector industrial consume la mayor parte de la energía a nivel mundial, con una participación de 28.0% del total. Este sector mostró una variación de 2.8% respecto a 2007, impulsada por el crecimiento en la demanda de carbón, el cual representó 27.5% de la energía utilizada en el sector, y de electricidad, cuya participación fue de 25.7%.

El transporte, segundo sector en importancia, aumentó su consumo 0.4% anual. Este crecimiento marginal se vio motivado por la caída de 0.3% en la demanda de petrolíferos, los cuales representaron 93.5% del consumo. Cabe destacar que el uso de biomasa en este sector mostró un crecimiento de 34.9%.

El consumo en el sector residencial creció 2.5% anual. 39.8% del cual correspondió a biomasa, 20.7% a gas natural y 19.6% a electricidad. Estos tres energéticos mostraron crecimientos de 1.6%, 2.2% y 3.2%, respectivamente.

Los sectores comercial y públicos, englobados en otros en la Ilustración 2, mostraron el mayor dinamismo a nivel mundial, con una variación de 3.6% de 2007 a 2008. Los aumentos observados en el consumo de electricidad, gas y carbón, impulsaron en gran medida el incremento en la demanda de estos sectores. El sector agropecuario y pesca disminuyó su demanda 6.7% anual, originado principalmente por el menor uso de petrolíferos y gas natural (Fuente: Balance Nacional de Energía 2009 México).

Si se continúa con el perfil crecimiento del consumo de energía a nivel mundial en 2030 será un 60% superior al del año 2002. Los combustibles fósiles continuarán abasteciendo la mayor parte de la demanda de energía mundial, cubriendo en 2030 el 82% de la demanda primaria.

En 2008, el 43% de las emisiones de CO_2 provenientes de la combustión de combustibles fueron producidas por carbón, 37% por petróleo y 20% por gas.

[2] Fuente: International Energy Agency (IEA) OECD30

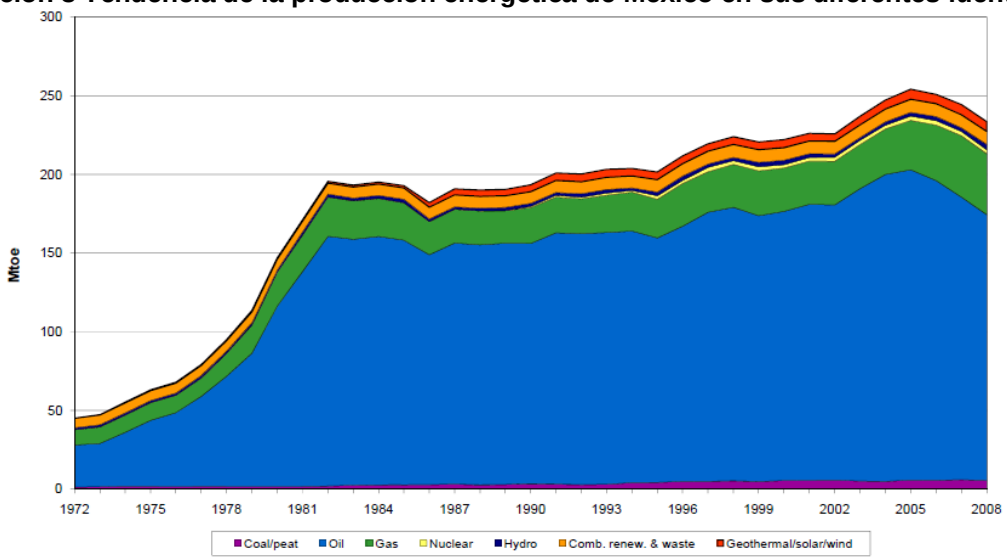
El sistema de producción de energía actual basado en energías no renovable, así como de tecnologías ineficientes, son insostenibles a mediano plazo, debido al la disminución de las reservas internacionales y los efectos nocivos al medio ambiente.

Si se continúa con la tendencia de crecimiento actual, para el año 2030 se estima que la demanda de energía y las emisiones de CO_2 serán 60% más elevadas que las que tenemos actualmente. La transición hacia las fuentes renovables de energía es necesaria para continuar con un desarrollo sostenible para nuestro medio ambiente y de nuestra civilización.

Panorama Energético Nacional

La producción de energía primaria a nivel nacional tiene una tendencia creciente en el tiempo hasta 2005, posterior a ello la producción decreció, por lo tanto es un punto critico que hay que considerar, debido a que es directamente proporcional a la producción de hidrocarburos, por la gran dependencia de los mismos como se puede visualizar en la Ilustración 3.

Ilustración 3 Tendencia de la producción energética de México en sus diferentes fuentes[3]

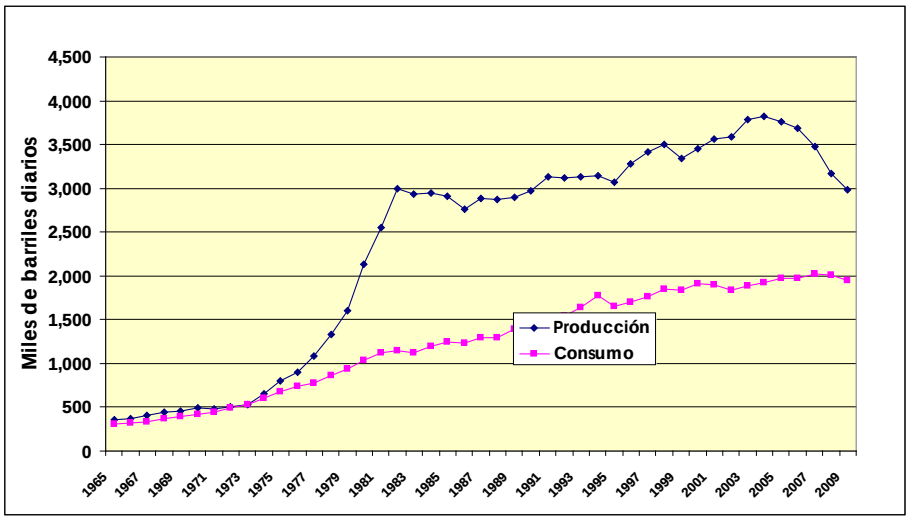


La situación que prevalece en México respecto a la producción y demanda energética está contrastando (ver Ilustración 4), debido a que la producción va decreciendo después del 2005 y la demanda continua con una tendencia creciente. Si se continúa con esta tendencia se llegará a un punto de intersección de ambas tendencias, lo que significa que México podría tener un déficit energético a corto o mediano plazo, lo que implica que tendríamos que importar energéticos (primordialmente hidrocarburos).

[3] Fuente: International Energy Agency (IEA)

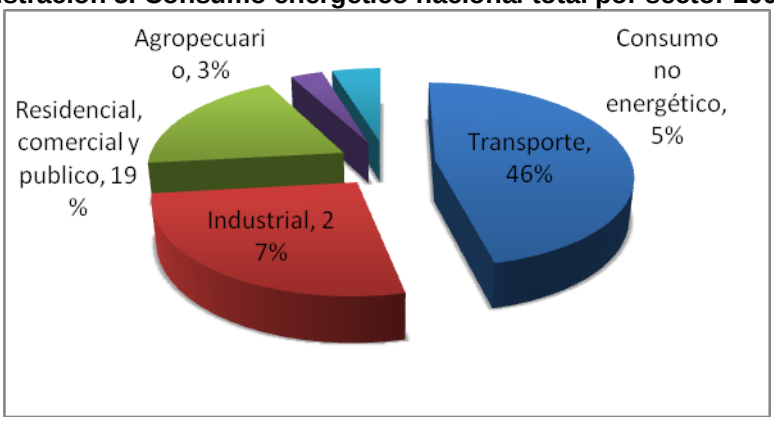
Las fuentes de energías convencionales declinaran por su naturaleza no renovable, ante tal situación tenemos la enmienda de buscar fuentes alternas de energía.

Ilustración 4 Tendencia de la producción energética vs el consumo interno de energía[4]



El consumo total de energía fue de 4,568.1 PJ[5] en el año 2009 a nivel nacional, el cual se distribuyo en el sector transporte con 46%, el industrial con 27%, residencial, comercial y publico (19%) y 3% en el sector agropecuario (ver Ilustración 5), lo que implico un aporte de 95% del consumo final total, el resto (5%) se le considera como consumo no energético.

Ilustración 5. Consumo energético nacional total por sector 2009[6]



Problemática de la energía convencional

La energía convencional no es sostenible principalmente por la reducción de las reservas y por los efectos negativos al medio ambiente, ante tal circunstancia se

[4] Fuente: BP, Statistical Review of World Energy 2010
[5] Pentajoules
[6] Fuente: Balance Nacional de Energía 2009

debe impulsar el uso de energías alternas amigables con el medio ambiente para suplir de energía primaria para el desarrollo de la humanidad. Con energía sustentable se evitará degradar nuestro entorno, al disminuir la emisión de contaminantes principalmente los Gases de Efecto Invernadero (GEI) vapor de agua, metano, CH_4, óxidos de nitrógeno, ozono, refrigerantes y sobre todo el que tiene mayor participación es dióxido de carbono, ver Tabla 3.

Los efectos de la contaminación han propiciado el cambio climático con sus consecuencias como:

- Fríos extremos,
- Sequías
- Ondas de calor mas intensos
- Huracanes mas intensos
- Lluvia acida
- Incremento del nivel del mar
- Derretimiento de los casquetes polares
- Incendios Forestales
- Enfermedades fuera de lo común
- etc.

La comunidad internacional ha realizado esfuerzos importantes para la protección del medio ambiente a través de reuniones importantes como el protocolo de Montreal, protocolo de Kyoto, Reunión de Río, etc., planteando líneas de acción que mitiguen o reviertan dichas consecuencias, algunas de ellas son:

- La promoción de la utilización de energías limpias (área que contribuiremos)
- El fomento al desarrollo de las mejores tecnologías apoyando proyectos que contemplen la mejora de la eficiencia energética,
- Minimización de las emisiones de gases de efecto invernadero en las actividades principales
- La sensibilización y formación en buenas prácticas orientadas a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
- El apoyo y la participación en iniciativas relacionadas con la lucha contra el cambio climático (foros, congresos, cursos, premios, etc.)
- El seguimiento de determinadas emisiones de gases de efecto invernadero
- La protección de la flora y fauna,
- Impulso a programas de producción limpia en la industria, etc.

La participación de México en los Foros Internacionales siempre ha sido comprometida. México se sumó al esfuerzo internacional para mitigar el Cambio Climático Global en el año 1993 al adherirse a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático y ratificar el Protocolo Kyoto en el año 2000. En esta misma dirección, en enero del 2004 se creó el Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de Gases de Efecto Invernadero, autoridad nacional designada para la gestión de proyectos dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Este esfuerzo permitirá reducir la emisión

de gases de efecto invernadero y al mismo tiempo atraerá recursos adicionales para la promoción de energías renovables y eficiencia energética, provenientes del comercio internacional de bonos de carbono (Doc. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México).

La energía solar como fuente primaria para varios procesos

La transformación de la radiación solar es la fuente primordial de las tecnologías renovables ya que el viento, mareas, caudales de ríos e incluso biomasa son resultado de la potencia proveniente del Sol. (Maxwell, et al. 1994, Norman Z. Shilling 2003)

La energía solar presenta dos características específicas muy importantes que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales: dispersión e intermitencia.

Evidentemente, la energía solar es una forma de energía que presenta gran dispersión, ya que su densidad, en condiciones muy favorables, difícilmente alcanza 1kW/m^2, valor que queda muy por debajo de las densidades con las que se trabaja usualmente en ingeniería. Esto significa que para obtener densidades energéticas elevadas se necesitan, o bien grandes superficies de captación, o sistemas de concentración de los rayos solares.

Por otro lado, la otra característica específica de la energía solar es su intermitencia. Esto hace que, a la par que se desarrollan instalaciones captadoras de energía, es necesario investigar los correspondientes sistemas de almacenamiento de la energía captada.

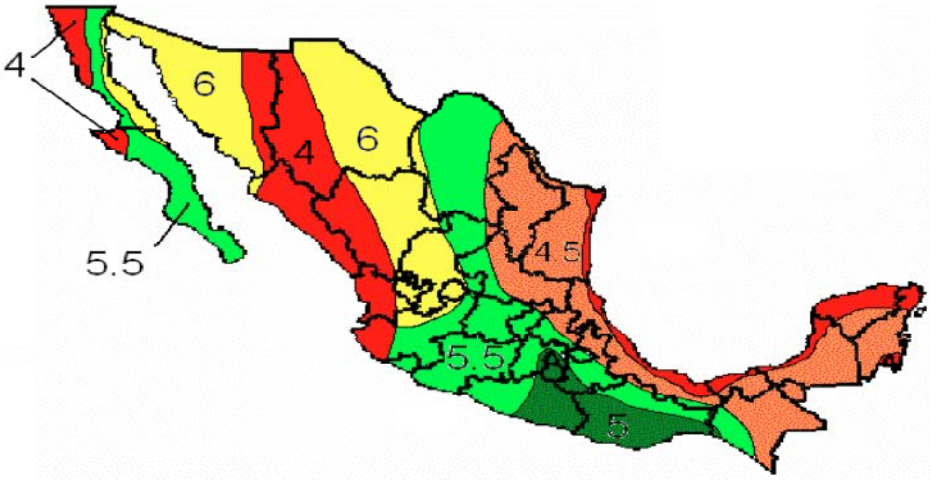
Los sistemas activos se basan de la captación de la radiación solar por medio de un elemento de unas determinadas características, denominado colector.

Según las características del colector, el aprovechamiento de la energía solar se puede acometer bajo dos puntos de vista bien diferenciados: la conversión térmica, o la conversión eléctrica (efecto fotovoltaico).

A su vez, la conversión térmica se basa en tres técnicas que difieren entre sí en función de la temperatura; de temperaturas bajas, medias y altas, según si la captación sea directa, de bajo índice de concentración o de alto índice de concentración, respectivamente.

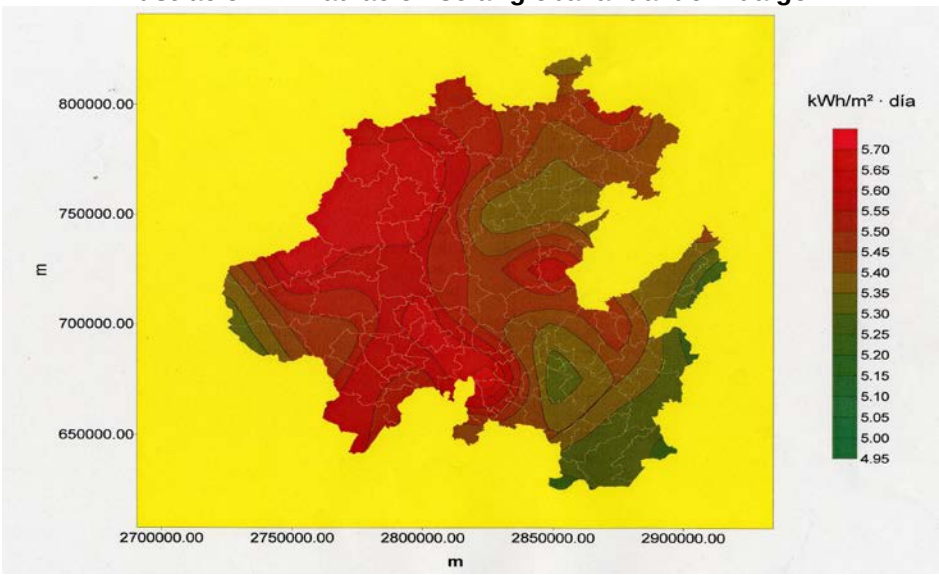
México tiene un buen nivel de Irradiación solar que oscila de 4 a 6 kWh/m^2.día (ver Ilustración 6), por lo que podemos aprovechar esta energía disponible para varias aplicaciones no tiene costo y no contamina al medio ambiente.

Ilustración 6 Irradiación solar promedio en la republica mexicana en kWh/m^2.dia[7]



El estado de Hidalgo es una zona con altos índices de radiación solar (4.95 a 5.70 kWh/m^2.día) como se ve en la Ilustración 7 y con condiciones meteorológicas favorables para el aprovechamiento de la energía solar, en sus modalidades de: "térmica" y "fotovoltaica".

Ilustración 7. Irradiación solar global anual de Hidalgo[8]



Las necesidades energéticas son amplias y el potencial de energía solar disponible es técnica y económicamente factible para su explotación en varios rubros, con un esquema amigable con el medio ambiente.

Ante tal contexto es claro que tener sistemas de concentración solar, es una oportunidad importante para contribuir en suplir la demanda energética de nuestra

[7] Fuente: Ponencia del CIE de la UNAM
[8] FUENTE: COMISION ESTATAL DE ENERGIA

civilización, en la mitigación de emisiones de CO_2 y lograr ser competitivos a nivel internacional.

Hipótesis

Los requerimientos energéticos en varios sectores son muy grandes, en los párrafos anteriores se visualiza que los mayores consumidores son el sector transporte, sector industrial y sector residencial.

El aporte que se espera con este trabajo es aprovechar la insolación (los mas altos al promedio mundial anual) que tiene el país, para aplicarlos en el sector industrial y sector residencial, para calentamiento directo, precalentamiento de agua, o generación de vapor para el sector residencial ó industrial, con esquema mas versátil. Con estas aplicaciones podremos contribuir en la mitigación de emisiones de CO_2 producidos por la quema de hidrocarburos para procesos de transferencia de calor, reducir costos operativos e incrementar la competitividad de la PYMES, industrias ó sector residencial.

La necesidad energética en sistemas a media y alta temperatura en las PYMES, industria o sector residencial, puede ser suplida de manera parcial o completa, por medio de la energía solar con concentradores cilíndricos parabólicos (CCP), analizando previamente los aspectos técnico y económico.

Objetivo general

Diseñar colectores solares tipo parabólico para aplicación en procesos de media y alta temperatura en el sector residencial e industrial.

Objetivo especifico

Caracterizar la radiación solar en la localidad de Nith, Ixmiquilpan, Hgo con su latitud, altitud y longitud con la ayuda del software del Meteonorm, TRNSYS y Excel

Diseñar un calentador solar tipo parabólico demostrando su rentabilidad económica, considerando el aceite térmico como medio de transporte y transferencia de energía térmica hacia un tanque aislado térmicamente como medio de almacenamiento de calor.

Justificar su aplicación en el sector residencial y sector industrial como medio de calentamiento, o precalentamiento de diferentes procesos de media y alta temperatura

VI MATERIALES Y MÉTODOS

Para aplicar una tecnología de energía renovable, en primer lugar, es indispensable conocer las características de la energía primaria a utilizar. En el presente estudio nuestra energía primaria es la radiación solar efectiva que existe en nuestra zona y a partir de ello ver la viabilidad y rentabilidad en cada una de sus aplicaciones.

Consecutivamente conocer cuales son los principios de operación de un concentrador solar dentro de sus características, ventajas y desventajas.

Las aplicaciones más rentables en el aprovechamiento de energía solar son los sistemas de calentamiento solar de baja, media y alta temperatura, dentro del ramo residencial y el ramo industrial, sin descartar otras posibles aplicaciones.

MARCO TEÓRICO

Energía solar

Nuestra civilización necesita una fuente de energía para continuar con el esquema de desarrollo, sin embargo es urgente que las fuentes de energía sean puras, inagotables, seguras, fácilmente accesibles y gratuitas para todos. Tenemos que tal fuente de energía es "El sol"

Los datos más interesantes acerca del Sol son los siguientes:

- El Sol = Estrella = Horno Nuclear.
- Su diámetro es 1,400,000 km.
- Su Masa es 300,000 veces la masa de la tierra.
- Su temperatura superficial es de 5,600ºK
- Su vida estimada es de 5,000 millones de años.
- La distancia Tierra - Sol es de 150 millones de km.
- La luz solar tarda 8 minutos en llegar a la tierra.
- la radiación que emite llega a nuestro planeta a una velocidad de 300,000 km/s
- El Sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión que se llevan a cabo en su núcleo.

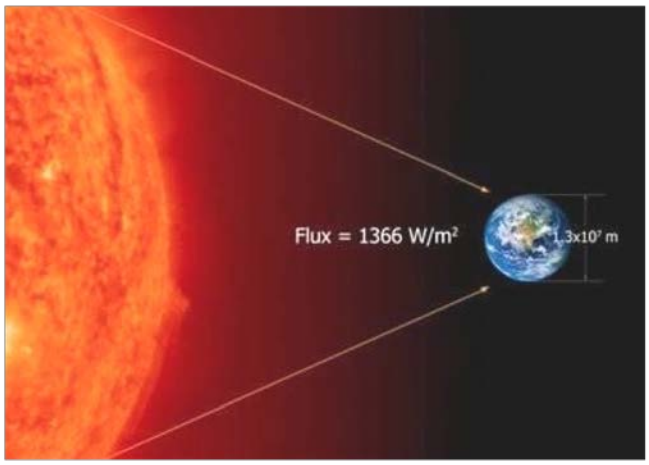
Cuando los rayos del Sol llegan perpendicularmente a una superficie se puede aprovecharse la mayor cantidad de radiación; por eso, la cantidad de radiación que recibe nuestro planeta depende de la inclinación de los rayos solares.

La radiación que llega a la tierra es variable y dichos cambios depende de varios aspectos como el movimiento de rotación de la tierra, movimiento de traslación, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud principalmente, la cuales deben conocerse para saber para saber la cantidad de radiación que puede

aprovecharse en cada lugar del planeta. En otras palabras la radiación solar no es una constante sino que cambia según las estaciones del año, las condiciones atmosféricas, hora del día, altitud y la latitud de cada región.

Pese a lo anterior, para fines prácticos se considera el límite superior de nuestra atmósfera una radiación promedio por unidad de tiempo por cada m^2, que se denomina constante solar. El valor de esta constante es igual 1,366 W/m^2. Esto quiere decir que en le borde de la atmósfera, a cada m^2 le llegan 1,367W de potencia solar. Si consideramos la mitad de la superficie de la tierra (porcentaje donde recibe la radiación, la otra parte esta de noche) existe una potencia total y energía equivalente a $1.73x10^{14}$ kW y una energía de $15x10^{17}$ kWh/año fuera de la atmósfera, la cual varía en un 0,2% en un período de 30 años, equivale a 10,000 veces el consumo mundial de energía, al cabo de un año, equivaldría a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles del mundo.

Ilustración 8. Flujo energético sobre la atmósfera de la tierra (Carlos Castellanos, David Flores, Cristian Heredia, Leonardo Moncada, Iván Reysancho, 2009)



La energía total que el Sol envía por unidad de tiempo sobre la superficie de área sin atmósfera, es igual a 1,373 W/m^2. Esta radiación tiene una distribución espectral que va desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, y el valor energético de cada zona es de 7% o 96 W/m^2 para el ultravioleta; de 47,3% o 650 W/m^2, para el visible; y de 45,7% o 627 W/m^2 para el infrarrojo. En la Tabla 4 se expresan estos valores.

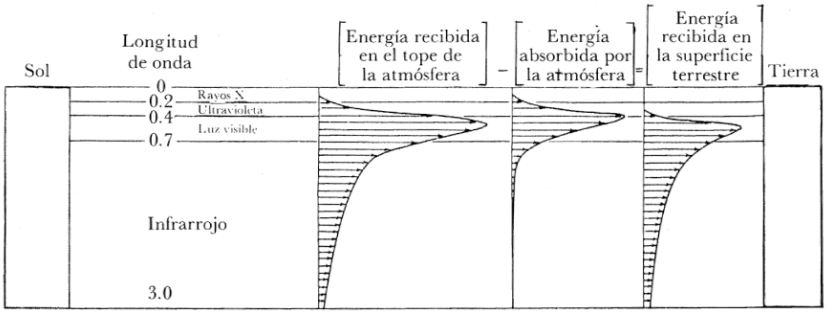
Tabla 4 Distribución espectral de la radiación solar[9]

Radiación	Zona de longitud de onda (nm)	Contenido (%)
ULTRAVIOLETA	0,00-0,38	7,0
VISIBLE	0,38-0,78	47,3
INFRARROJO	0,78-inf.	45,7
TOTAL	0,00-inf.	100,0

[9] Manual para el calculo y diseño de calentadores solares (Luis Bérriz Pérez y Manuel Álvarez González)

Dicha radiación atraviesa la atmosfera y llega en un día despejado a nivel de mar y a la superficie distribuido en 4% de rayos ultravioleta, 46% de la radiación visible y 50% de radiación infrarrojo ver Ilustración 9.

Ilustración 9. Representación esquemática del espectro de la radiación fuera de la atmosfera terrestre y las pérdidas de energía a su paso por la atmósfera[10]



Aunque fuera de la atmósfera, la intensidad de radiación oscila entre 1,300 y 1,400 W/m^2, las pérdidas en la atmósfera por absorción, reflexión y dispersión la reducen un 30%.

Del 100% de las pérdidas de radiación solar del límite superior de la atmósfera a las superficie de la tierra se distribuye de la siguiente manera:

- 43.4% por reflexión en la capa superior de la atmósfera
- 11.3% por difusión de aerosoles[11]
- 11.2% por reflexión del suelo terrestre
- 32.1% por absorción de las distintas capas de l atmósfera

Si las condiciones climatológicas son buenas podemos llegar a tener 1000 W/m2, aunque si las condiciones son pésimas podemos tener sólo 50 W/m2, por eso estamos obligados a utilizar superficies de captación grandes.

La radiación (directa y difusa) que recibe cada punto de Tierra varía dependiendo del periodo del año, hora solar, altitud, latitud, longitud y condiciones meteorológicas de cada zona. Por ello, hablar de un balance global resulta una aproximación de la radiación promedio anual que recibe la superficie terrestre, que permite darse una idea de lo que sucede.

La radiación total que llega a la superficie terrestre se distribuye en dos tipos de radiación la directa ya la difusa en la siguiente proporción:

- 66% es radiación directa
- 34% llega indirectamente, como radiación que se difunde en la atmósfera y se denomina por ello radiación difusa.

[10] Fuente: Libro de la ciencia /114 para todos
[11] Pequeñas gotas de líquido que permanecen suspendidas en el aire

El aprovechamiento activo se puede regir bajo dos puntos de vista bien diferenciados: la conversión térmica o aprovechamiento del calor contenido en la radiación solar, y la conversión eléctrica o aprovechamiento de la energía luminosa (fotones), para generar directamente energía eléctrica (efecto fotovoltaico).

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera, de modo que es necesario manejar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación.

Los movimientos de la Tierra

La Tierra, al igual que el resto de los planetas y de acuerdo con la primera ley de Kepler, gira en torno al Sol describiendo una órbita elíptica con dicho astro situado en uno de sus focos. El eje mayor de esta elipse se denomina línea de los ápsides, siendo sus extremos el **perihelio**, punto de la órbita terrestre más próximo al Sol, y el **Afelio**, punto más alejado. En la Ilustración 10 aparecen representados estos puntos. El plano que contiene la órbita de la Tierra se denomina plano de la eclíptica.

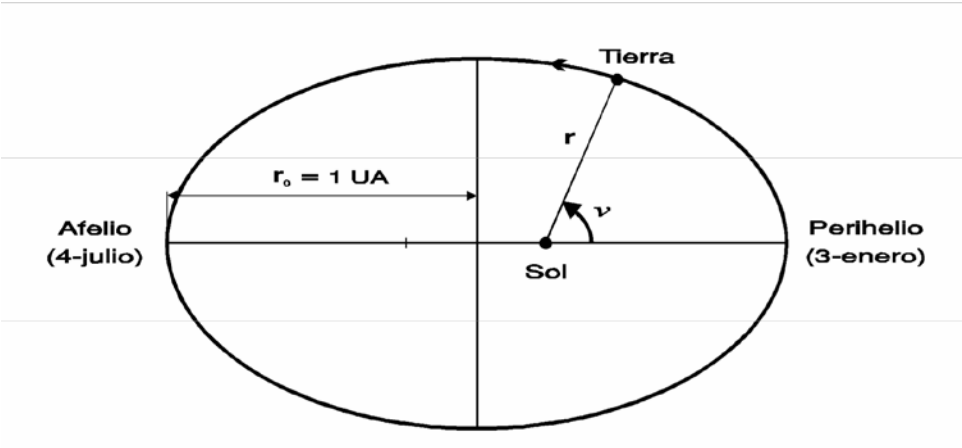
La distancia media de la Tierra al Sol, r_o, define una unidad de longitud denominada unidad astronómica, UA, cuyo valor es

$$r_o = 1.495979 \times 10^8 \text{ km} = 1\text{UA}$$

La excentricidad de la elipse, es tan pequeña, que la órbita terrestre podría asimilarse a una circunferencia. No obstante, a lo largo del año, la distancia Tierra-Sol, varía apreciablemente entre un valor mínimo de 98.3% en el paso por el **perihelio** (aproximadamente el día 3 de enero), y un valor máximo de 101.7 % en el paso por el **afelio** (aproximadamente el 4 de julio). Estas variaciones originan una oscilación anual de un ± 3 % en la cantidad de radiación solar recibida por la Tierra.

El período orbital de la Tierra o intervalo de tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos por el mismo punto de la órbita, define el denominado año sidéreo, y tiene una duración de 365.25636 días.

Ilustración 10. Posición de la Tierra sobre su órbita



Movimiento de traslación

El movimiento orbital de la Tierra no es uniforme. La velocidad lineal media es de unos 29,8 km/s, siendo máxima en el **perihelio** y mínima en el **afelio**. Este movimiento viene determinado por la segunda ley de Kepler o ley de las áreas, según la cual el radio vector que une el Sol con un planeta, barre áreas iguales en tiempos iguales esto es, la velocidad areolar es constante.

A efectos prácticos, interesa conocer la distancia Tierra-Sol un día cualquiera del año. Las expresiones prácticas más usadas son las siguientes:

$E_0 = 1{,}000110 + 0{,}034221 \cos \Gamma + 0{,}001280 \operatorname{sen} \Gamma + 0{,}000719 \cos 2\Gamma + 0{,}000077 \operatorname{sen} 2\Gamma$

o bien,

$E_0 = 1 + 0{,}033 \cos (2n\pi/365)$

donde:

$E_0 = (r_o / r)^2$ siendo r la distancia Tierra-Sol el día n del año a partir del 1 de Enero, r_o la distancia media Tierra-Sol ya definida y

$\Gamma = 2\pi(n-1)/365$ es el ángulo del día, en radianes.

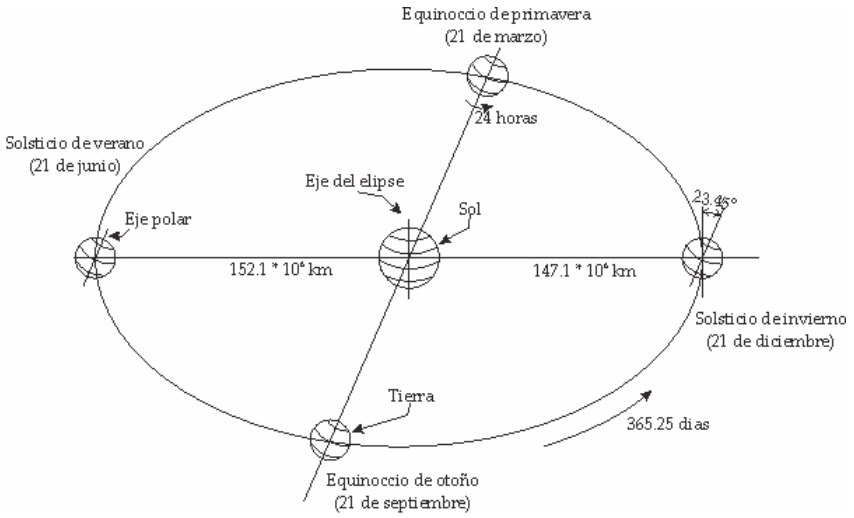
Movimiento de rotación

Simultáneamente al movimiento de traslación descrito, la Tierra gira sobre un eje que pasa por los polos, en un movimiento de rotación que puede suponerse perfectamente uniforme. El período de rotación de la Tierra, es decir, el tiempo que tarda en dar una vuelta completa sobre sí misma, es ligeramente inferior a un día, exactamente 23 h 56 min 4,099 s. El plano normal al eje de rotación que pasaría por el centro de gravedad de la Tierra se denomina plano ecuatorial o plano del ecuador.

El eje de rotación de la Tierra no es perpendicular al plano de la elíptica. Esto da origen a las estaciones del año invierno, primavera, verano y otoño y a la desigual duración de los días y de las noches. Durante su movimiento de traslación alrededor del Sol, el eje de rotación de la Tierra se desplaza paralelamente a si mismo, conservando prácticamente invariable su dirección en el espacio y formando siempre el mismo ángulo δ con la normal al plano de la elíptica. Este ángulo δ se denomina oblicuidad de la elíptica y su valor es de 23.45º.

Esta oblicuidad permite definir sobre la órbita terrestre algunos puntos singulares. Para ello, se ha de considerar un plano que pasando por el centro geométrico del Sol sea normal al eje de rotación de la Tierra. La intersección de este plano, paralelo al del ecuador, con el plano de la elíptica recibe el nombre de línea de los equinoccios y determina sobre la órbita terrestre dos puntos conocidos como equinoccio de primavera y equinoccio de otoño. Análogamente, la perpendicular trazada en el plano de la elíptica por el centro del Sol a la línea de los equinoccios se llama línea de los solsticios cuya intersección con la órbita terrestre da lugar a otros dos puntos denominados solsticio de invierno y solsticio de verano (ver Ilustración 11). El equinoccio de primavera, también denominado punto vernal, se utiliza frecuentemente en astronomía como punto de referencia, ya que su posición puede determinarse con gran precisión.

Ilustración 11. Movimiento de la tierra respecto al sol

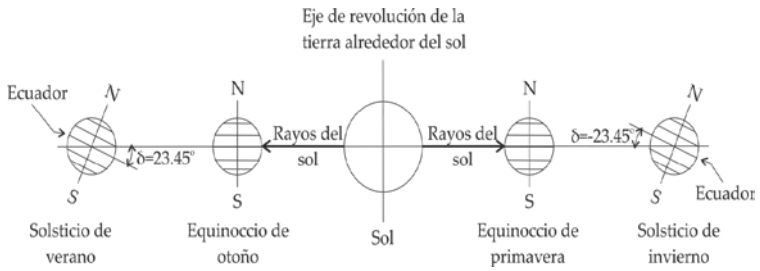


Cuando la Tierra está situada sobre los equinoccios, lo que ocurre aproximadamente los días 21 de marzo y 22 de septiembre, el Sol se encuentra sobre el plano del ecuador y, por consiguiente la duración del día natural de luz es igual a la de la noche en todos los lugares de la Tierra. Hacia el día 21 de junio, fecha del solsticio de verano, el Sol ilumina más directamente el hemisferio norte de la Tierra, donde el Sol alcanza su máxima inclinación respecto al plano del ecuador. Seis meses más tarde, hacia el 22 de diciembre, fecha del solsticio de invierno, la situación anterior se ha invertido, siendo el hemisferio Sur, el más

iluminado. En los solsticios la diferencia entre el día natural de luz y la noche es máxima.

Esta rotación es la causa de la visibilidad o no (día, noche) del Sol desde un determinado lugar de la Tierra y, por tanto, proporciona la definición del tiempo solar en relación con la posición angular relativa observador-Sol.

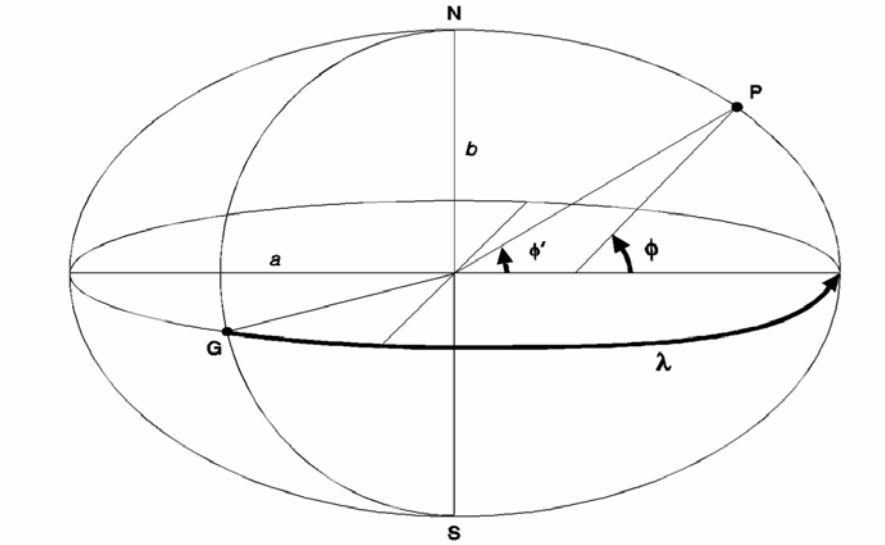
Ilustración 12 oblicuidad de la elíptica y su valor en los solsticios



Ubicación de terrestre

A efectos prácticos se puede tomar la Tierra como una esfera cuyo plano perpendicular al eje determina una circunferencia llamada ecuador terrestre. Los planos que pasan por los polos y que, por consiguiente, son normales al plano del ecuador, se denominan planos meridianos y determinan sobre la esfera terrestre unas circunferencias conocidas como meridianos terrestres. Finalmente, los planos paralelos al ecuador cortan a la esfera terrestre formando circunferencias denominadas paralelos ver Ilustración 13.

Ilustración 13 Coordenadas geográficas



Un punto cualquiera sobre la superficie terrestre queda determinado por sus coordenadas geográficas, que son:

La longitud, λ, definida como el ángulo diedro entre el plano meridiano cero y el plano meridiano que pasa por dicho punto. Se cuenta de 0° a ±180°, positivamente hacia el Este y negativamente hacia el Oeste.

La latitud, ϕ, que se define como el ángulo formado por la normal a la esfera terrestre por dicho punto con el plano del ecuador. Se cuenta de 0° a ±90°, a partir del ecuador, positivamente hacia el Norte y negativamente hacia el Sur.

En la Ilustración 13, se pueden observar ambos ángulos sobre la superficie de la Tierra, representada en forma intencionadamente exagerada de elipsoide. En la realidad es mucho más esférica.

La inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de la eclíptica determina sobre el elipsoide unos paralelos denominados trópicos y círculos polares. En el solsticio de verano, durante el mediodía, los rayos solares caen verticalmente sobre los lugares situados en el trópico de Cáncer, mientras que en el círculo polar antártico el Sol está en el horizonte. Otro tanto sucede, en el solsticio de invierno, con el trópico de Capricornio y el circulo polar ártico (Notas de Radiación Solar para el curso de Solarimetría Ing. Vicente Estrada- Cajical R.).

Concentradores Solares

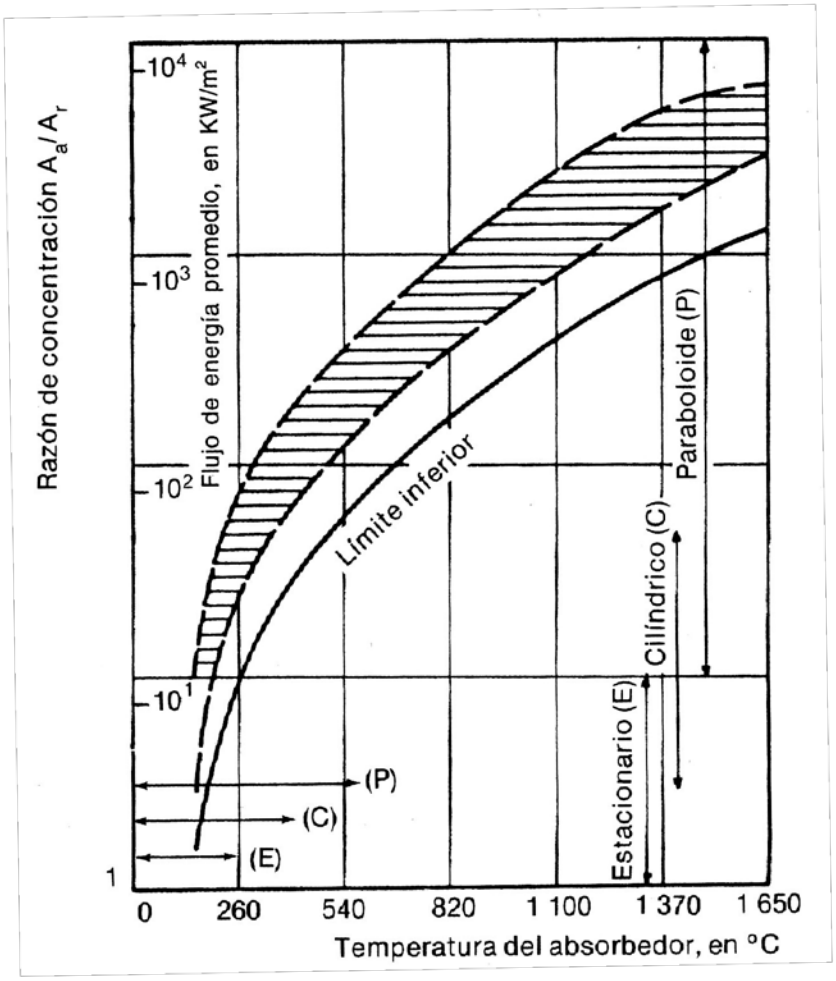
Los sistemas de concentración solar, tienen como finalidad incrementar el flujo de radiación solar sobre los receptores. Los sistemas de concentración, pueden ser reflectores o refractores; pueden formar imagen solar o no formarla; pueden seguir al Sol, tener ajustes periódicos o estar fijos; pueden ser cilíndricos para enfocar sobre una "línea" (concentradores bidimensionales) o circulares para enfocar sobre un "punto" (concentradores tridimensionales).

La radiación difusa puede ser absorbida por el receptor. A este tipo de colectores se les conoce también como "colectores planos con radiación aumentada".

Un concentrador con reflector de sección parabólica, puede ser una superficie cilíndrica con receptor tubular o una superficie de revolución con receptor esférico o hemisférico.

La temperatura que se puede alcanzar con los concentradores solares depende de la razón de concentración y que influye en el tipo de tecnología aplicado, según estudios realizados esta relación se puede ver en la Ilustración 14. En dicha ilustración la curva limite inferior representa las razones de concentración a las cuales las perdidas térmicas son iguales a la energía generada. La región sombreada corresponde a eficiencias de colección de 40 a 60% y representa el intervalo usual de la buena operación. La escala de densidad de flujo promedio de radiación reflejada en el área focal (Ingeniería de la energía solar, Rafael Almanza y Felipe Muñoz).

Ilustración 14. Relaciones de entre la razón de concentración y temperatura de operación de un absorbedor.



Concentradores Cilíndricos Parabólico

Los concentradores Cilíndricos Parabólicos (CCP) son sistemas de espejos que reflejan la radiación solar captada en un área dada hacia un receptor de área menor, concentrado de esta manera la energía recibida. En el receptor, la energía solar es absorbida y transferida en forma de calor hacia un fluido de trabajo (aceites térmicos, agua, aire, sales fundidas), puede ser utilizada de manera inmediata o utilizar un medio de almacenamiento de calor para utilizarlo en el momento que se requiera; sus aplicaciones en forma de energía calorífica puede usarse en procesos de cocción de alimento, generación de vapor, impulso de turbinas a vapor u otras, según sea el caso.

En 1885, el ingeniero francés Carles Tellier, sería una de las primeras personas en desarrollar colectores solares de baja temperatura para impulsar máquinas. Mientras que los motores convencionales empleaban vapor de agua a cierta presión, los desarrollos tecnológicos de Tellier utilizaban vapor presurizado de líquidos con temperaturas de ebullición muy por debajo de la del agua. Tellier instaló un colector solar (Similar a los colectores planos domésticos de ahora) y en

lugar de llenarlos con agua para producir vapor, el fluido de trabajo que escogió fue amoniaco. Después de la exposición solar el obtenía una razón de 300 galones por hora durante las horas más iluminadas del día. El pensó que simplemente añadiendo colectores podría usarse como un sistema industrial. (http://www.beohanasolar.com/solar_power/history_of_solar.html)

En 1907 se patentó por primera vez en Alemania un diseño sobre colectores parabólicos (Parabolic trough collector, PTC), por Dr. Wilhelm Maier (en Aalen) y Adolf Remshardt (en Stuttgart).

En esa misma época, en los comienzos del siglo XX, el ingeniero americano Frank Shumann, se dio cuenta que en los sistemas de captación solar las altas temperaturas favorecían las pérdidas por conducción y convección, además se tenia un elevado costo asociado a los espejos que eran revestidos de plata. Por ello, retomó los estudios con las cajas calientes, afirmando la idea de Saussare y Langley principalmente, de que con estas cajas se podían conseguir temperaturas lo suficientemente altas como para hervir agua (Kalogirou, 2004).

En 1912 la primera planta de canal parabólico fue construida en Meadi, Egipto, para bombeo de agua [ver Mills, 2004;Kalogirou, 2004].

Para incrementar la cantidad de calor producida en los colectores, se sumaron a los colectores una serie de reflectores (espejos de vidrio), y se añadió un mecanismo para ajustar el ángulo de los colectores a su exposición óptima.

Es hasta la década de 1970 que se retoma el verdadero interés en esta tecnología como una clara respuesta a la crisis petrolera por el incremento disparado de los precios de los hidrocarburos. En dicha época tanto el departamento de energía de los Estados Unidos (DOE), así como el Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología, se encargaron de patrocinar en sus respectivos países el desarrollo de una serie de procesos y sistemas de bombeo de agua y calor con concentradores parabólicos (http://www.beohanasolar.com/ solar_power/history_of_solar.html)

Michael W. Edenburn (1976) reportó un análisis de rendimiento teórico de un CCP y lo comparó con resultados experimentales. Tomó en cuenta un tubo absorbedor aislado por un tubo envolvente transparente para disminuir las pérdidas térmicas. El análisis considera las pérdidas por transferencia de calor y la transferencia de energía hacia el fluido de trabajo. Tomó en cuenta las diferentes posibles orientaciones del colector.

En el mismo año Norton Pierce (1976) presentó un trabajo sobre la posibilidad de construir un colector solar eficiente y de bajo costo. Determinó que la precisión óptica y los mecanismos de seguimiento del sol son los factores que aumentan el costo de la tecnología de CCP. También determinó que si se lograra ubicar al tubo absorbedor en el punto focal de manera más o menos constante, con un error aproximado de 6°, podría usar un mecanismo mucho más barato de seguimiento,

basado en un motor que gira a 1 revolución por año. La forma en la que lo demostró, fue ubicando una elipse que tuviera el tamaño suficiente para interceptar los rayos provenientes desde el reflector. El ángulo total de aceptación de un borde del tubo de agua al otro, variaba desde 10° a 17° en las unidades probadas.

La instalación más grande financiada con recursos privados que no produce energía eléctrica, es el sistema industrial de calor de proceso basado en colectores parabólicos con 5,580 m^2, ubicado en Chandler, Arizona y que ha estado operando desde 1983.

De 1984 a 1991, los avances en sistemas de concentración parabólica fueron notables con el desarrollo de una serie de plantas comerciales solares de 15 MW a 80 MW a cargo de Luz Internacional Ltd. Esta compañía desarrolló por muchos años los componentes y sistemas en una instalación en Jerusalén y fue responsable de la construcción y operación de dos instalaciones de calor de proceso en Israel.

Por otra parte se diseñaron nueve plantas por Luz Internacional (Ltd.), con una capacidad total de generación de 354 MW de electricidad son llamadas SEGS (Sistemas de generación solar-eléctrica por sus siglas en inglés) y están operando continuamente en el desierto de Mojave al sur de California. Estas nueve centrales constituye la mayor instalación solar del planeta. Son centrales híbridas, esto es, que producen electricidad a partir de las energía solar y de combustible fósil. La producción a partir de combustible fósil no puede sobrepasar un determinado porcentaje de la producción total para así tener derecho a subvenciones.

El trabajo reportado por Odeh et al. (1998) se compara el funcionamiento de un CCP con dos fluidos de trabajo: Aceite Syltherm 800 y agua. El modelo está basado en la temperatura de pared en lugar de temperatura del líquido, de forma que puede determinarse el rendimiento con cualquier fluido de trabajo. También evaluó los efectos de la emisividad del absorbedor y los efectos internos de convección del fluido de trabajo.

Kalogirou (1995,1997) analizó un sistema de baja presión para generación de vapor, que está basado en el calentamiento de agua en un colector parabólico, para después convertirla en vapor en un recipiente separado. El flujo en el colector, usado en este método con evaporación repentina o "flasheo", se mantiene en fase líquida por lo que no es entonces considerado como un colector.

Los avances más significativos de esta tecnología se reportaron en el "11th Int. Symposium on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Technologies", que fue llevado a cabo del 4 al 6 de septiembre del 2002 en Zurich, Suiza. Se trata de un nuevo colector parabólico que ha sido desarrollado para varias aplicaciones y cuenta con un rango de temperaturas de operación entre 200 y 400 °C . La planta solar fototérmica dispuesta con esta tecnología esta destinada para producir cientos de megawatts (Geyer et al., 2002).

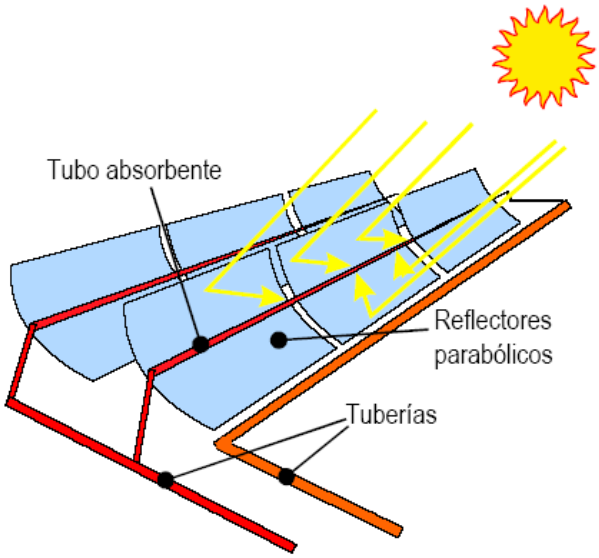
Reduciendo el diámetro del tubo absorbedor para un área de apertura del colector dada, incrementa la eficiencia debido a la reducción de pérdidas de calor y el aumento en la densidad de la energía obtenido con los sistemas de concentración solar permite alcanzar temperaturas suficientemente altas para producir vapor o para procesos donde se requiera la transferencia de calor a alta temperatura con las características adecuadas para ser usado. Por lo tanto, esta tecnología, conocida genéricamente como "CSP o CCP" [Concentrating Solar Power; ISES, 2004; p. 28], se diferencia de la generación convencional, principalmente en la fuente de calor.

Características de un concentrador solar

Existe una gran variedad de colectores concentradores, pero podemos decir que todos ellos pueden clasificarse en dos categorías básicas:

- Los cilíndricos cuya superficie reflectora es parte de un cilindro,
- Los paraboloides que presentan una geometría de paraboloide de revolución.

Ilustración 15 Concentrador solara parabólico



Ambos tipos de colectores, que utilizan únicamente la radiación solar directa, por tal motivo deben orientarse continuamente al sol de manera precisa mediante un mecanismo apropiado. Los componentes básicos de un CCP son:

El concentrador

El concentrador, o sistema óptico, está formado por una estructura metálica de ángulo y solera, la parte reflejante es superficie cilíndricas con una película de reflejante, se busca que sea liviana para que los motores que se utilicen para mover el concentrador sean de una potencia muy pequeña. En la parte superior puede llevar un cristal plano el cual va ha proteger a la parte reflectora de estar en contacto directo con la intemperie con el fin de aumentar su tiempo de vida de la parte reflejante que se tiene estimado que será de 12 a 15 años.

La construcción de la superficie parabólica es normalmente una lámina de metal pulido con sección parabólica, aparte de tener un acabado óptico adecuado, debe ser de buena calidad, mantener sus propiedades por largos períodos de tiempo sin ser deterioradas por el polvo, lluvia y medio ambiente, donde generalmente existen componentes oxidantes y corrosivos.

Esto tipos de colectores usan en su confección materiales altamente reflectivos, tales como papel aluminio, un espejo o acero inoxidable, etc. La energía que aprovecharemos será solo la componente de radiación directa solar que cae sobre el superficie reflector, la radiación directa es reflejada hacia el absorbedor en una línea (en colectores cilíndricos)

Las altas temperaturas generadas por los CCP se logran debido a la concentración de la energía solar por el reflector parabólico. Cuando CCP esta adecuadamente orientado, los rayos solares se reflejan en la superficie parabólica e inciden en una región a lo largo de una ***línea focal*** que corresponde al foco de la sección transversal de la canal parabólica.

El absorbedor

Tiene la función de recolectar los rayos del sol emitidos por el concentrador. Este elemento del sistema esta en la línea focal del canal parabólico, esta asociado con una cubierta y un medio de aislamiento. La línea focal es un tubo metálico cilíndrico, la parte exterior es pintada de negro mate, para disminuir la pérdida de energía en el absorbedor se cubre con un tubo circular de vidrio que tiene como función aislar térmicamente (preferiblemente bajo vacío pero no indispensable). La radiación absorbida es trasformada en energía térmica.

El receptor es comúnmente el recolector de calor el cual lo transfiere al fluido que circula dentro del tubo que transporta el calor hacia un proceso, maquina térmica o acumulador térmico para su utilización.

Las pérdidas térmicas de este sistema, son en su mayor parte debidas a la convección (velocidad del viento) y la radiación emitida en la superficie del absorbedor (temperaturas por arriba de los 400° C).

El Seguidor Solar

Es común que los CCP presenten un sistema motorizado para seguir el movimiento aparente del sol cuando su orientación es norte-sur, pues el concentrador debe obtener el máximo posible de radiación solar directa y formar una imagen del Sol en el absorbedor lineal. Pero también puede tener una orientación este-oeste donde la correcta orientación del colector se lleva a cabo diariamente o en algunos casos dependiendo del tamaño del receptor hasta quincenalmente (Kalogirou, 1996)

El requerimiento de rastreo en conjunto, con el uso de materiales que deben resistir altas temperaturas, eleva el costo y mantenimiento de estos sistemas CCP, hasta el punto en que se restringe su uso a instalaciones de gran escala.

Sistema de fluido térmico

El sistema de fluido térmico es un circuito cerrado de tuberías, deposito de expansión y válvulas por el que circula el aceite térmico.

El objeto del sistema es transferir la energía térmica captada del CCP o campo solar hacia un sistema de almacenamiento térmico o aplicación en algún uso o proceso.

El aceite térmico es calentado por el campo solar es enviado a un intercambiador de calor aceite/agua donde se transfiere su energía térmica al agua para generar vapor sobrecalentado.

De manera global hay varias tecnologías de concentración solar, con aplicaciones diversas a nivel mundial. Los colectores concentradores tienen ciertas ventajas comparados con los colectores planos convencionales:

Acumulador de energía calorífica

Es un medio de almacenamiento térmico (acumulador de energía calorífica), el fluido tiene propiedades térmicas adecuadas, puede ser agua, glicol o algún aceite térmico, y posteriormente utilizada inmediatamente como fuente de calor. El acumulador debe estar aislado térmicamente, con el objetivo de reducir la perdidas por transferencia de calor.

Los sistemas de almacenamiento térmico de la energía se caracterizan porque tanto las entradas energéticas como las salidas del sistema son en forma de energía térmica. Los tipos fundamentales son almacenamiento en calor sensible, en calor de cambio de fase y en calor de recombinación en reacciones termoquímicas reversibles.

El elemento más crítico, desde el punto de vista técnico, de estos sistemas es su densidad energética, interesando altos valores de carga a cumplir la función requerida con un volumen mínimo.

La buena transferencia de calor entre el medio de almacenamiento y el fluido calorífero suele ser otro aspecto clave, así como la estabilidad de dicho material de almacenamiento. Otro elemento a tener en cuenta al diseñar estos sistemas son las pérdidas térmicas al ambiente (buscando minimizar la relación volumen de almacenamiento/ área expuesta al ambiente, los puentes térmicos con la estructura soporte, el aislamiento...); asimismo, es importante la capacidad del medio de almacenamiento para mantener diferencias de temperaturas muy acusadas en partes del medio muy próximas entre sí, es decir, de mantener una buena estratificación térmica.

El volumen de inversión requerido es el que al final decide entre las distintas alternativas técnicas posibles. Aunque los materiales, en general, no son caros, en grandes cantidades se requiere invertir una gran suma para su adquisición. Además, los tanques que contengan dichos materiales representan una parte importante en el coste final de la instalación.

En la Tabla 5 se enumeran los medios de almacenamiento térmico más frecuentes en los sistemas de concentración solares (Tesis análisis y propuestas de sistemas solares de alta exergía que emplean agua como fluido calorífero, Ing. María José Montes, 2008)

Como se observa en la Tabla 5, como medio de almacenamiento se puede utilizar un sólido, un líquido o una combinación de ambos, en algunos sistemas duales. Los materiales líquidos más adecuados, citados en orden ascendente de temperatura de almacenamiento, son el agua, los aceites naturales o sintéticos, las sales fundidas y los metales líquidos.

El almacenamiento puede realizarse en un tanque, en dos tanques o en un sistema multitanque.

Independientemente de esta clasificación, los tipos de almacenamiento pueden ser directos, cuando emplean como fluido de almacenamiento el mismo fluido de trabajo que se emplea en el campo solar, e indirectos, cuando para el almacenamiento se emplea un fluido distinto del fluido de trabajo.

Tabla 5. Materiales utilizados en el almacenamiento para sistemas solares de concentración de media y alta temperatura (Fuente: Winter et al., 1990)

Medio de almacenamiento	Temp. (ºC) Caliente	Temp. (ºC) Fría	Densidad media (kg/m^3)	Cond. térmica media (W/m-K)	Capacidad calorífica media (kJ/kg-K)	Capacidad calorífica por unidad de volumen ($kWht/m^3$)	Costes medios por kg ($/kg)	Costes medios por kWht ($/kWht)
Medio sólido								
Arena-Roca-Aceite	200	300	1700	1	1.3	60	0.15	14
Hormigón armado	200	400	2200	1.5	0.85	100	0.05	1
NaCl (sólido)	200	500	2160	7	0.85	150	0.15	1.5
Hierro colado	200	400	7200	37	0.56	160	1	32
Acero colado	200	700	7800	40	0.6	450	5	60
Ladrillos refractarios de sílice	200	700	1820	1.5	1	150	1	7
Ladrillos refractarios de magnesia	200	1200	3000	5	1.15	600	2	6
Medio líquido								
Aceite mineral	200	300	770	0.12	2.6	55	0.3	4.2
Aceite sintético	250	350	900	0.11	2.3	57	3	43
Aceite de silicona	300	400	900	0.1	2.1	52	5	80
Sales de nitrito	250	450	1825	0.57	1.5	152	1	12
Sales de nitrato	265	565	1870	0.52	1.6	250	0.7	5.2
Sales de carbonato	450	850	2100	2	1.8	430	2.4	11
Sodio líquido	270	530	850	71	1.3	80	2	21
Materiales de cambio de fase								
$NaNO_3$	308		2257	0.5	200	125	0.2	3.6
KNO_3	333		2110	0.5	267	156	0.3	4.1
KOH	380		2044	0.5	150	85	1	24
Solución salina - cerámicos (Na_2CO_3-$BaCO_3$ / MgO)	500-850		2600	5	420	300	2	17
NaCl	802		2160	5	520	280	0.15	1.2
Na_2CO_3	854		2533	2	276	194	0.2	2.6
K_2CO_3	897		2290	2	236	150	0.6	9.1

Dentro de los métodos indirectos, existe también la opción de utilizar dos fluidos de características diferentes, uno para cargar el tanque de almacenamiento y el segundo para extraer la energía del mismo; de esta forma, la energía pasaría del primer al segundo fluido a través del almacenamiento en un tercer material.

Ventajas y desventaja de los concentradores solares

Como cualquier sistema se tiene ventajas en ciertos rubros como también desventajas que son importantes considerar para estar en la postura de tomar la decisión mas acertada, como lo es en sistemas de concentración solar de en cilindros parabólico

Las ventajas:

- Se obtienen mayores temperaturas en un colector concentrador para la misma superficie de colección. Esto significa que se puede lograr una mejor eficiencia termodinámica.
- La eficiencia térmica es mayor debido a que el área de pérdida de calor es pequeña comparada con el área de recepción.
- Es económicamente viable el tratamiento de superficies selectivas y la instalación de tubos de vacío para reducir pérdidas de calor.

Las desventajas son:

- Los sistemas de concentración prácticamente no colectan la radiación difusa y sólo aprovechan la radiación solar directa. Por lo tanto, no pueden funcionar en días nublados.
- Se requiere de un sistema de seguimiento del movimiento aparente del Sol, de forma que se intercepte la radiación directa y mejore su eficiencia.
- Las superficies reflectivas pueden perder su reflectancia con el tiempo, además requieren limpieza y mantenimiento periódicos.

Las eficiencias de los CCP se puede estimar en función de estudios ya realizados como nos muestra en Ilustración 16 el cual esta en función de la temperatura alcanzada del tubo absorbedor; se observa que las perdidas a la reflectancia de los espejos es de 15%; estas perdidas no se pueden eliminar, ya que técnicamente sería difícil fabricar espejos baratos con mejores características ópticas. Las perdidas por el factor de forma son las que deben a la conservación de una buena geometría durante la construcción de los cilindros parabólicos; este factor puede empeorar a lo largo del tiempo si la geometría se deforma

Un aspecto muy importante en el funcionamiento de un concentrador es el absorbedor. Como intento inicial para fijar el diámetro del absorbedor, es apropiado tratar de captar toda la energía reflejada por el espejo parabólico. El diámetro del receptor dependerá del tamaño angular del sol, la magnitud del error cometido, el seguimiento, error de curvatura del espejo, irregularidad de la superficie receptora.

Las perdidas térmicas son directamente proporcionales al diámetros del receptor (Trreadwell, 1976); para tener un receptor con el menor diámetro posible y así reducir las perdidas térmicas, es necesario seleccionar un ángulo de borde para el espejo de tal forma que logre minimizar la distancia máxima (r_{max}) de la superficie reflejante del foco. U angulo de 90º minimiza dicha distancia.

Cuando la apertura del concentrdor se conoce, el diametro del receptor se puede calcular tomando en cuenta las características ópticas del espejo.

Una vez que la radiación solar llega al absorbedor es importante que sea captada en la mayor medida posisble, por lo que es necesario cubrir el absorbedor con sustancias de alta absortividad como la mostradas en parte inferior de la Ilustración 16 donde se muestra cómo mejora la eficiencia al usar cromo neglo (absortividad α = 0.92 y emisividad ε = 0.08) (Ingeniería de la energía solar, Rafael Almaza y Felipe Muñoz).

Otro tipo de perdidas importantes en estos concentradores son las debidas a la convención y conducción de calor al medio ambiente, por lo que es necesario reducirlas mediante el encierro del tubo absorbedor dentro de un tubo de vidrio y bajar la presión del espacio intermedio como se observa en la Ilustración 16 (Ingeniería de la energía solar, Rafael Almaza y Felipe Muñoz).

Faltan parámetros necesarios o son incorrectos.
Faltan parámetros necesarios o son incorrectos.

Procedimiento Experimental

Obtención de una base de datos de la irradiación solar en la localidad del Nith Ixmiquilpan, Hgo. a partir de los Software de METEONORM y TRNSYS

Con los antecedentes teóricos se ve en la necesidad de analizar las características particulares de la radiación solar, en la localidad del Nith, Ixmiquilpan, Hidalgo el cual se ubica a una longitud de 99º11' y una latitud de 20º,29', una altitud de 1,740 msnm, en el Valle del Mezquital (ver Tabla 6) con el objetivo de cuantificar el potencial de radiación solar disponible en esta zona.

Tabla 6 Datos geográficos de las localidades principales de Ixmiquilpan[12]

NOMBRE (a)	LATITUD NORTE (b) GRADOS	MINUTOS	LONGITUD OESTE (b) GRADOS	MINUTOS	ALTITUD (b) METROS
IXMIQUILPAN a/	20	29	99	13	1,700
TEPHE, EL	20	26	99	11	1 800
PANALES	20	28	99	16	1 760
MAGUEY BLANCO	20	25	99	10	1 800
DIOS PADRE	20	28	99	12	1 720
ALBERTO, EL	20	25	99	14	1 740
JULIÁN VILLAGRÁN	20	23	99	06	1 920
NITH, EL	20	29	99	11	1 740
TAXADHO	20	26	99	09	1 800
ORIZABITA	20	35	99	12	1 900
SAN JUANICO	20	32	99	14	1 680
DECA, EL	20	28	99	16	1 740
OLIVO, EL	20	36	99	11	2 060
CAPULA	20	30	99	08	1 760

a/ Cabecera Municipal
FUENTE: (a) **INEGI.** Hidalgo. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Tabulados Básicos.
(b) **INEGI.** Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Topográfica, 1:250 000.

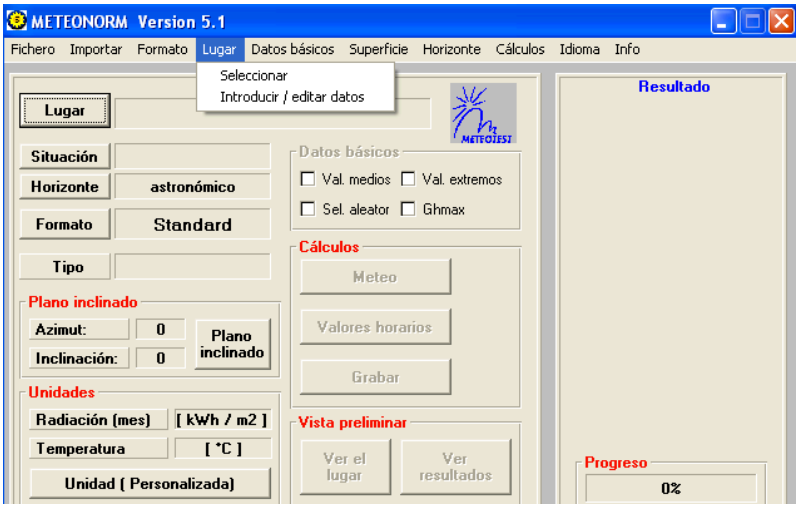
Una base de datos de radiación solar s puede lograr a partir de una estación meteorológica o mediante procedimientos indirectos como el análisis por medio de software, el presente trabajo se usa como herramienta el Software de METEONORM.

Procedimiento

En primer lugar se ejecuta el software Meteonorm, posterior ello se activa la pestaña que dice lugar, insertando los datos básicos que solicita el programa previo a la creación de una base de datos de un lugar deseado (ver Ilustración 17).

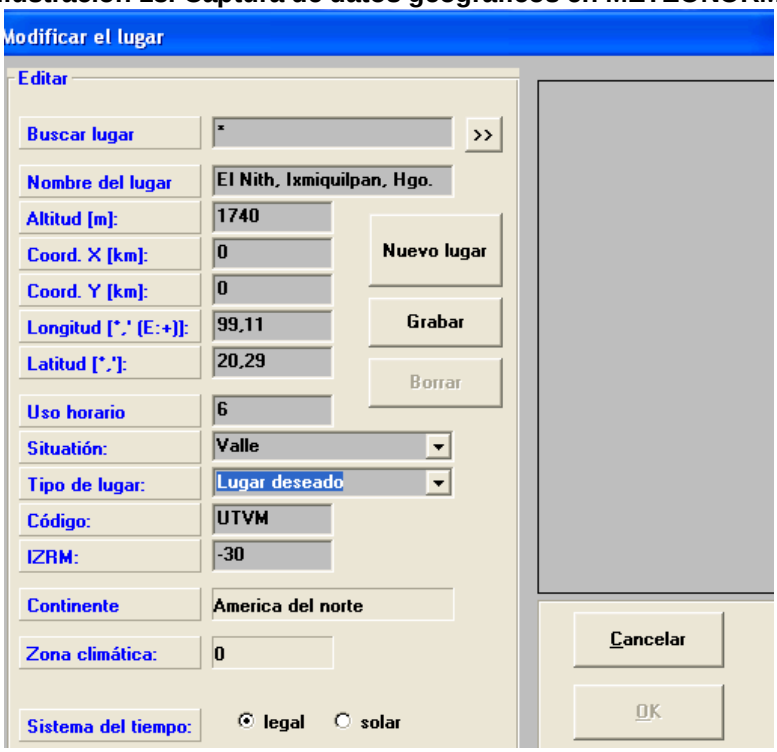
[12] Fuente: INEGI

Ilustración 17. Introducción de características previas a creación de un lugar deseado a analizar



En la segunda etapa se captura los datos geográficos y se crea un lugar deseado para este caso se crea "El Nith, Ixmiquilpan, Hgo" capturados para la corrida del METEONORM

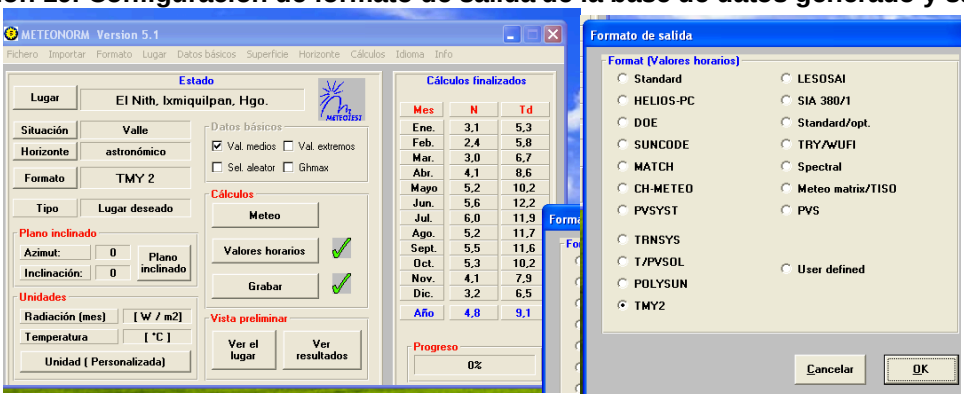
Ilustración 18. Captura de datos geográficos en METEONORM



El tercer paso es obtener la base de datos que genera Meteonorm a partir de los datos asignados se va a la pestaña formato y se selecciona el formato de salida

TMY2 para que lo asimile el software TRNSYS así como el lugar de ubicación del archivo de salida y el nombre asignado para que lo lea TRNSYS al programarlo.

Ilustración 19. Configuración de formato de salida de la base de datos generado y su corrida

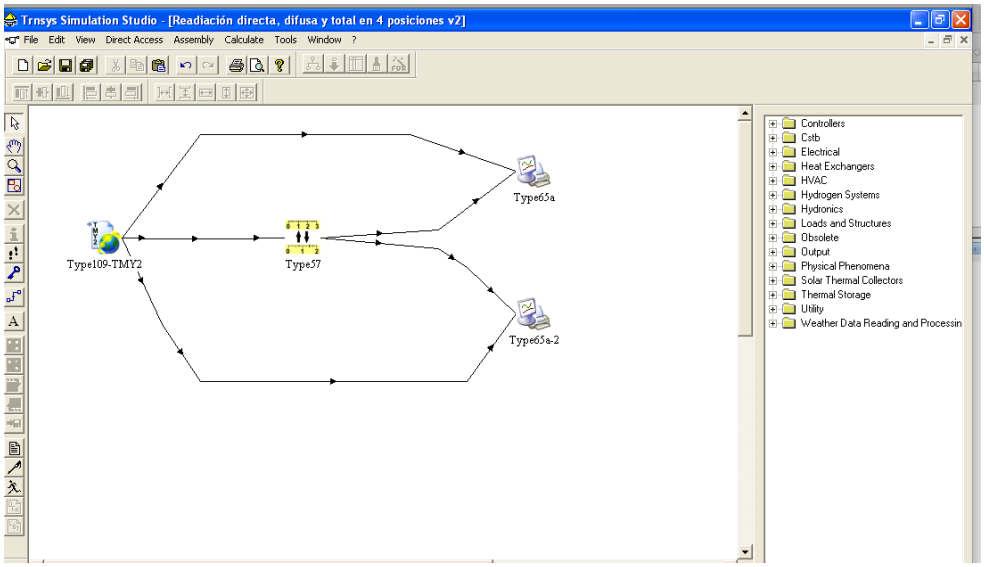


Los valores arrojados para nuestra zona las cuales son la base para conocer el potencial de energía solar existente en la localidad planteada, con sus características horarias, se le asigno el nombre de UTVM_Archivo_Meteor.tm.

Para el análisis de disponibilidad del recurso solar con el análisis de la base de datos generado por Meteonorm se utilizó el programa de TRNSYS con cuatro posibilidades de inclinaciones de los captadores solares.

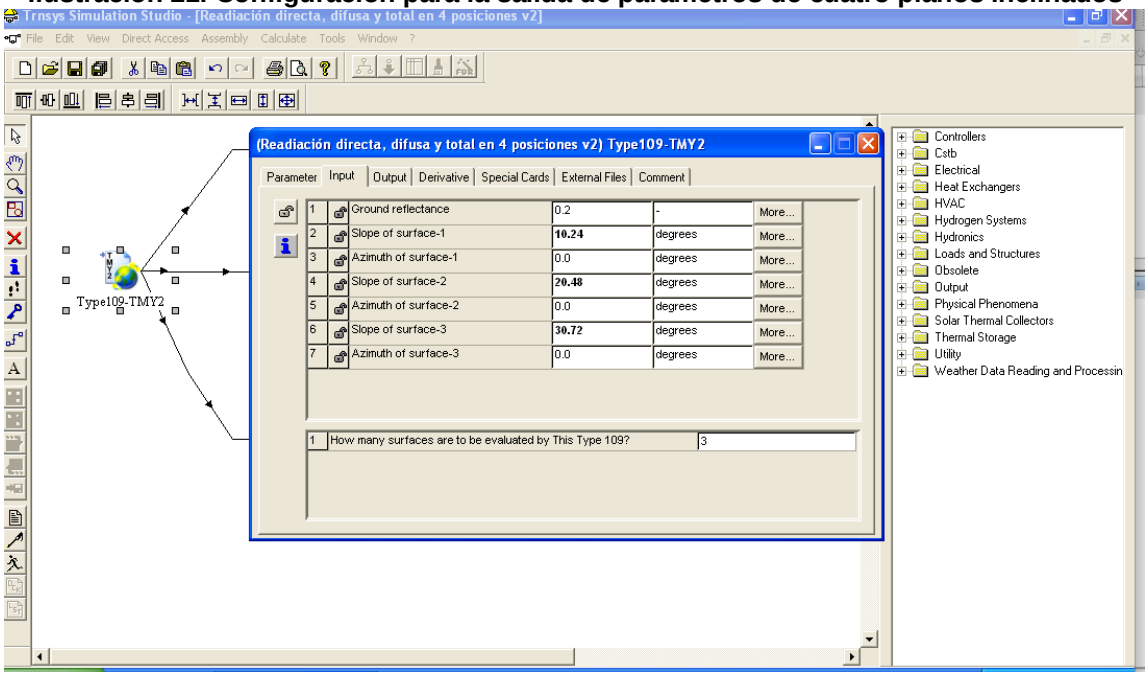
1. Plano horizontal
2. Latitud
3. Latitud +1/2 de la Latitud
4. Latitud – ½ de la Latitud

Ilustración 20. Programación en TRNSYS para obtener información legible en Excel para su análisis



La configuración de los principales elementos programados en TRNSYS se desglosaran en los siguientes pasos.

Ilustración 21. Configuración para la salida de parámetros de cuatro planos inclinados



El Type 109-TMY2 se desglosa en la Ilustración 21, en el plano horizontal por default esta disponible sin necesidad de configurarlo, la latitud (20.48º), latitud + ½ de la latitud y latitud – ½ de la latitud.

El Type 57 solo es un convertidor de unidades de kJ/hr-m^2 a de W/m^2 el cual es una unidad mas común para el análisis de la radiación solar.

Tabla 7 Configuración del Type 57

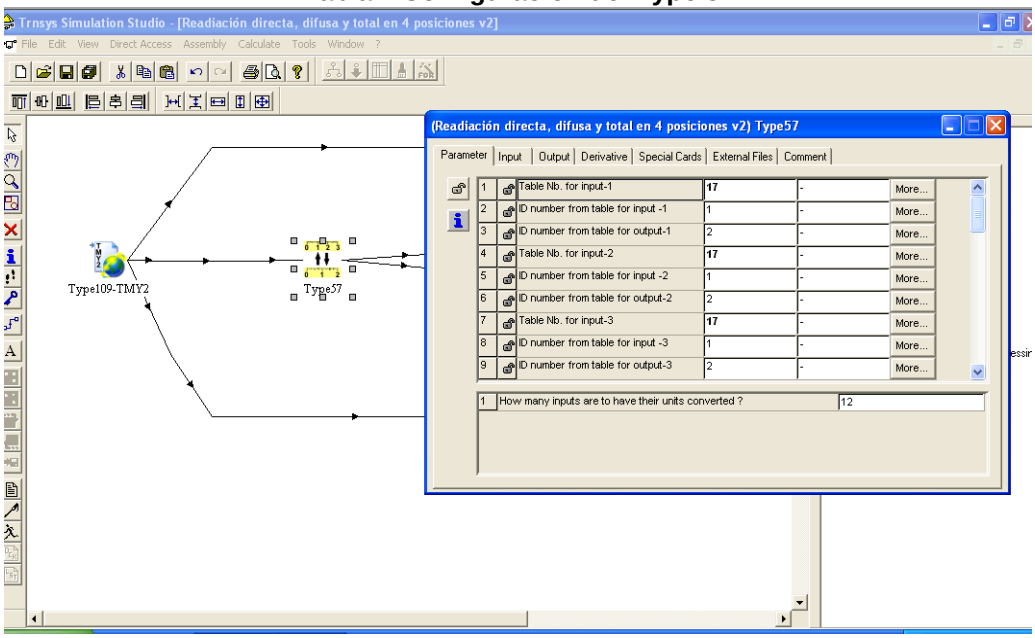
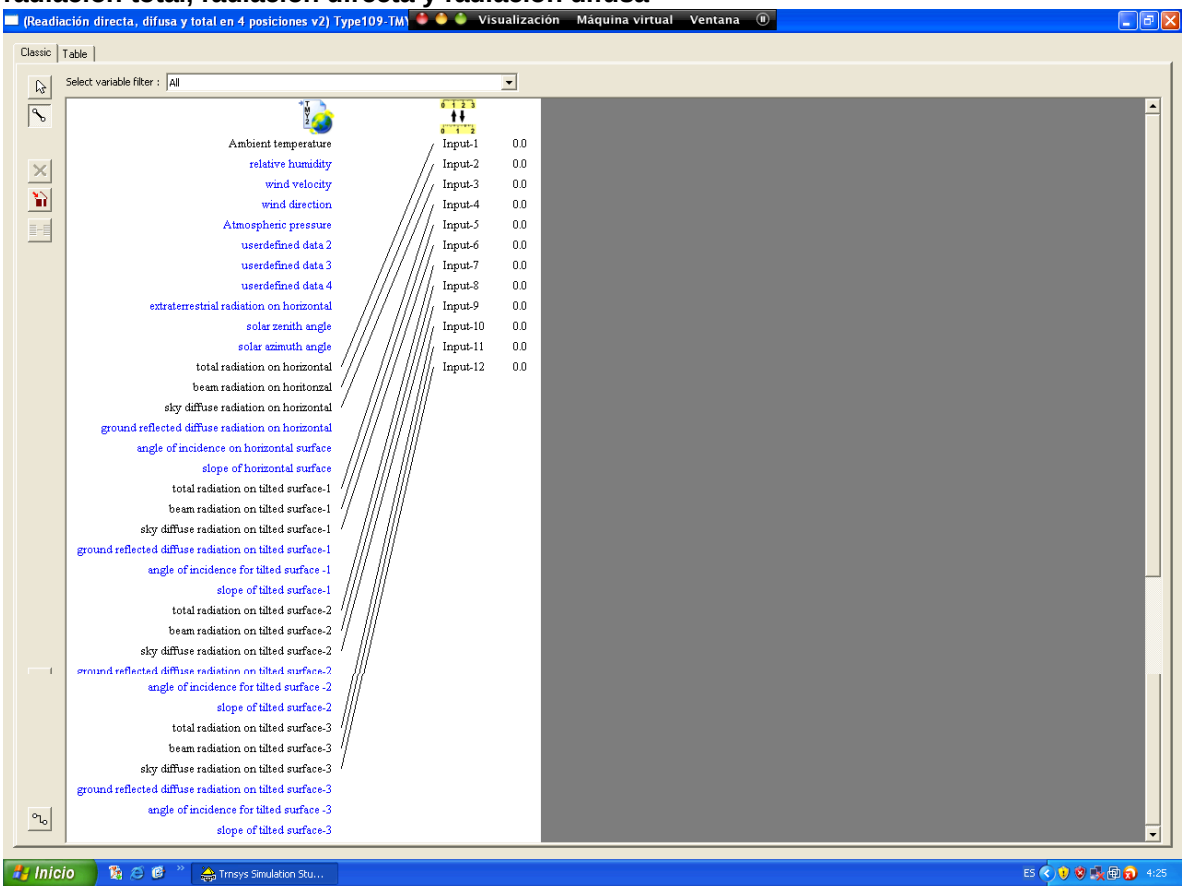


Tabla 8 Esquema para la conversión de unidades con el TYPE 57 (se selecciona Table Nb. For Imput 17, input 1 es la al unidad de ingreso y output 2 que es la salida como lo marca la presente tabla)

# VARIABLE	UNIDAD	NOMBRE VARIABLE	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN	FACTOR DE ADICIÓN
1	kJ/hr-m2	IR1	1	0
2	W/m2	IR2	0.277778	0
3	BTU/hr-ft2	IR3	8.8055 E-02	0

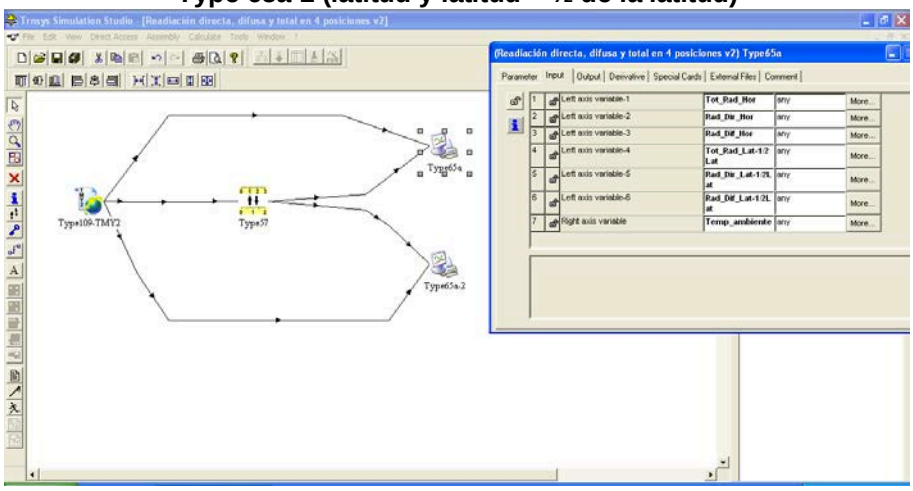
Para exportar información requerida para el análisis se asigna canales de salida para cada parámetro requerido, los datos de salida se configuran como se visualiza en la Ilustración 22.

Ilustración 22 Configuración para la salida de datos en los 4 planos definidos, con la radiación total, radiación directa y radiación difusa



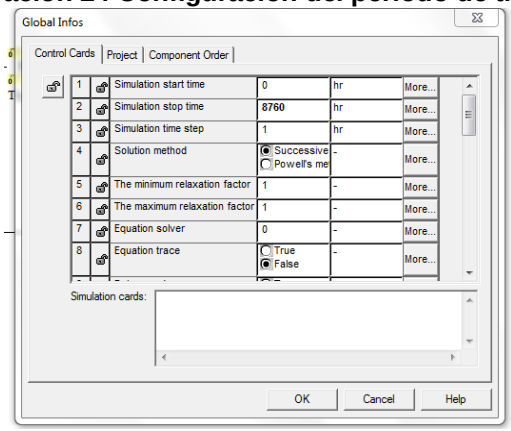
Finalmente el Type 65a es el medio que permite la salida de datos para un segundo proceso de análisis en Excel, este Type se configura según lo que se requiere que arroje su gráfica y en sus base de datos como se observa en la Ilustración 23. Finalmente en la pestaña de *external file* (ver Ilustración 23) se designa en donde se quiere guardar la información, para el análisis en Excel.

Ilustración 23. Configuración del Type 65a para la obtención de la radiación total, directa y difusa en dos planos (horizontal y de la latitud -1/2 de la latitud) y de manera similar en la Type 65a-2 (latitud y latitud + ½ de la latitud)



La corrida debe hacerse de la hora 0 a la 8760 horas. Esto se define dando click derecho pantalla en blanco y se define este periodo de lo contrario no abarca todo este periodo como se observa en la Ilustración 24.

Ilustración 24 Configuración del periodo de tiempo



Análisis de la base de datos en EXCEL

Una vez realizada la simulación se procedió a analizar la base de datos en Excel para detallar la radiación, total, directa y difusa, en las diferentes inclinaciones del plano planteadas en los softwares, con ecuaciones, formulas y manejo de base de datos hasta obtener gráficas representativas y resultados finales del potencial disponible en energía solar y sus variantes durante el año.

Los datos se procesan para analizar su comportamiento de irradiancia diaria durante los doce meses del año para el plano en sus 4 posiciones más usuales. Los resultados del análisis de la radiación total respecto a la radiación directa se desglosan en la Ilustración 25, Ilustración 26, Ilustración 27, Ilustración 28, Ilustración 29, Ilustración 30, Ilustración 31 e Ilustración 32

Ilustración 25. Radiación total promedio mensual en el plano horizontal

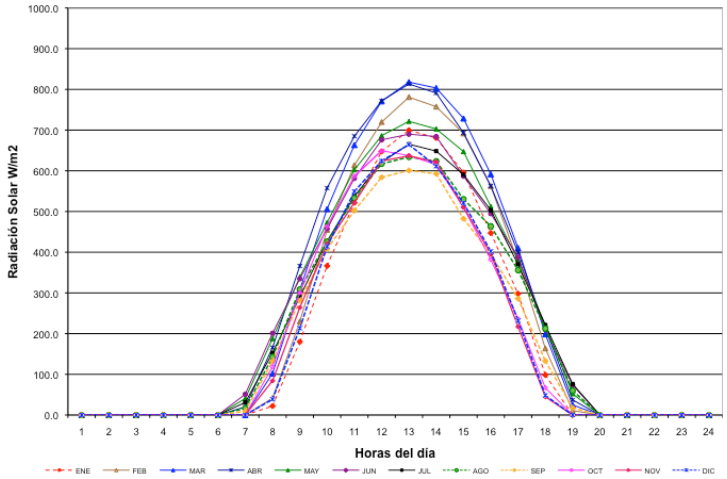


Ilustración 26. Radiación directa promedio mensual en el plano horizontal

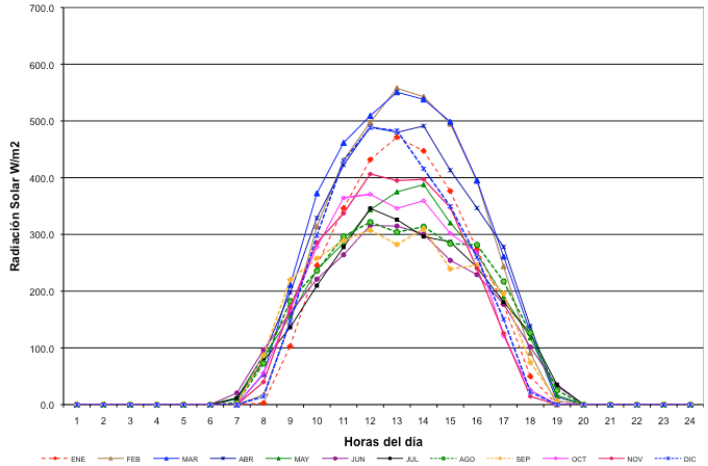


Ilustración 27. Radiación total diaria promedio mensual en el plano de la latitud - 1/2 de la latitud

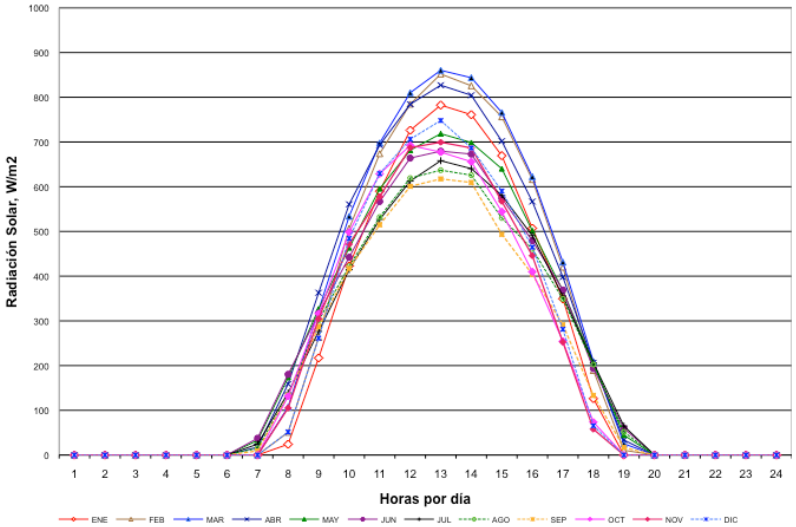


Ilustración 28. Radiación directa diaria promedio mensual en el plano inclinado de latitud - 1/2 de la latitud

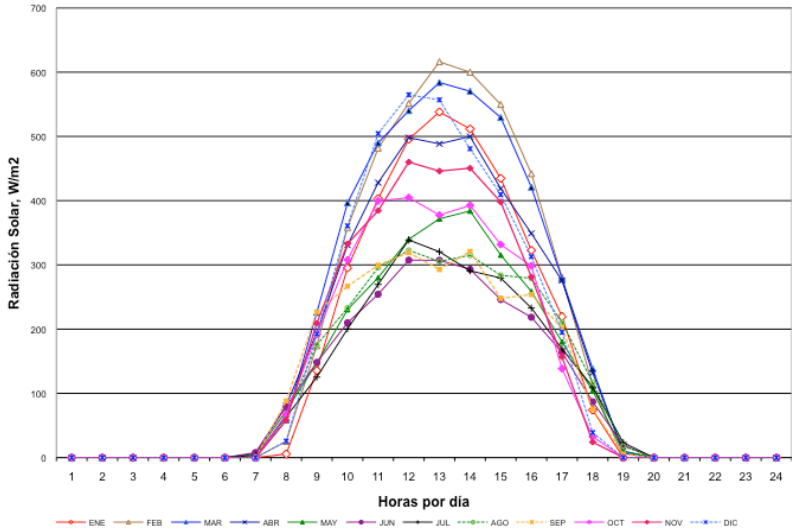


Ilustración 29. Radiación total diaria promedio mensual con en plano inclinado a la latitud

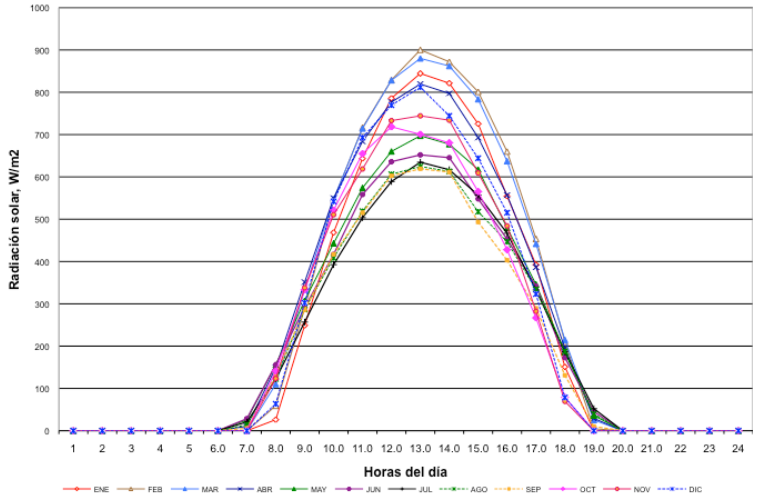


Ilustración 30. Radiación directa diaria promedio mensual con en plano inclinado a la latitud

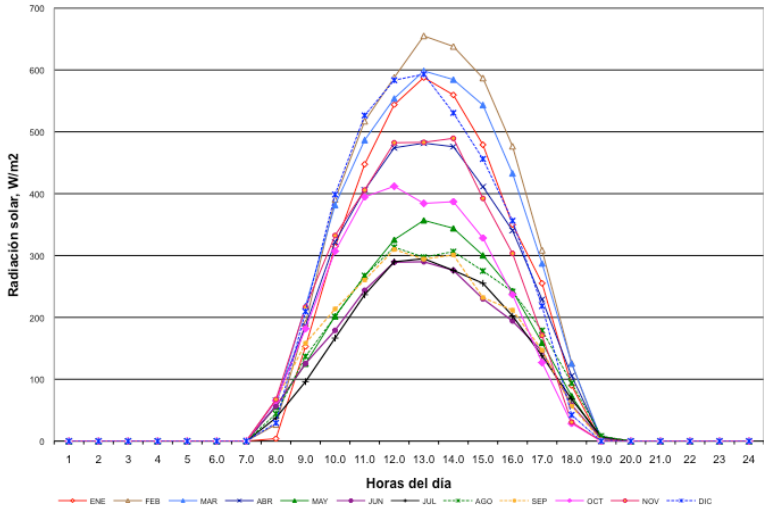


Ilustración 31. Radiación total diaria promedio mensual en el plano inclinado de latitud + 1/2 de la latitud

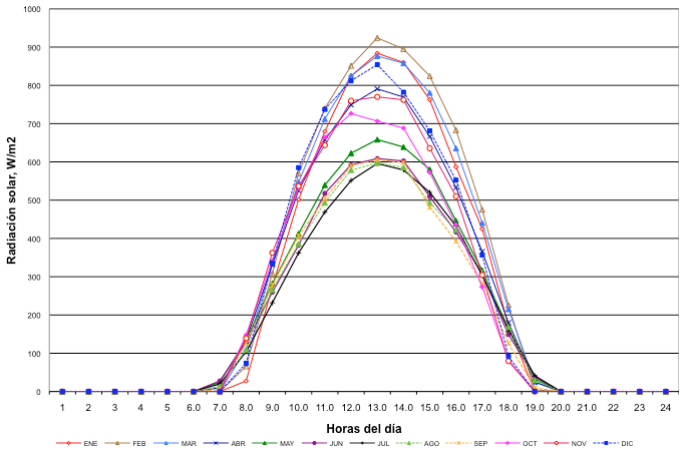
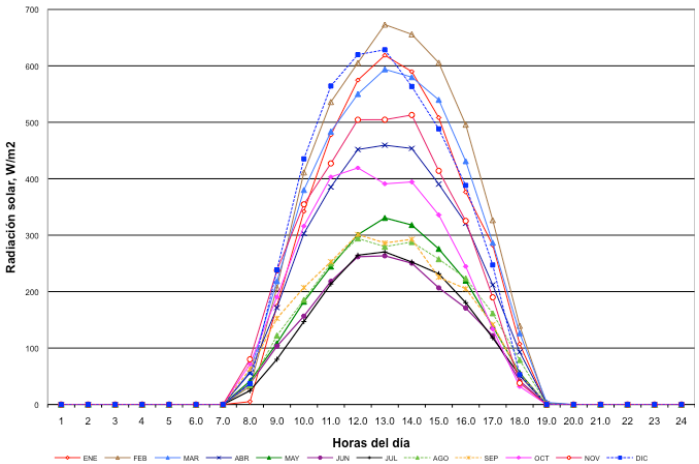


Ilustración 32. Radiación directa diaria promedio mensual en el plano inclinado de latitud + 1/2 de la latitud



La irradiancia total promedio máxima de cada mes a partir de la base de datos se desglosa en la Tabla 9 en el cual las variantes son claras según la inclinación del plano el promedio anual mayor se da en el plano inclinado a la latitud con 797 W/m^2 y la irradiancia directa detectable en la base de datos de cada mes se muestra en la Tabla 10 con un máximo promedio anual de 526 W/m^2 de radiación directa.

Tabla 9. Radiación total (directa + directa) máxima promedio mensual según plano, W/m^2

Irradiancia máxima promedio Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual Max
Plano horizontal	72 2.4	80 8.4	86 1.1	84 2.8	79 4.7	78 0.6	73 4.4	70 6.4	65 2.8	72 8.3	69 3.4	68 6.5	753.6
Plano inclinado Lat-1/2 de la lat	81 2.2	88 4.3	90 7.4	85 8.1	79 0.7	76 7.2	72 4.7	70 9.7	67 2.7	78 1.5	76 8.9	77 7.3	785.7
Plano inclinado Lat	88 0.4	93 6.4	92 9.9	85 1.0	76 6.5	73 4.0	69 6.8	69 5.0	67 5.9	81 4.9	82 4.3	84 7.4	797.5
Plano inclinado Lat + 1/2 de la lat	92 4.7	96 2.9	92 7.5	82 1.7	72 2.8	68 2.1	65 1.6	66 3.4	66 2.3	82 7.1	85 7.8	89 5.3	788.6

Tabla 10. Radiación directa máxima promedio mensual según plano, W/m^2

Irradiancia máxima promedio Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Plano horizontal	527.3	610.7	616.5	532.8	434.7	432.3	401.9	416.9	363.9	454.3	476.0
Plano inclinado Lat-1/2 de la lat	604.7	675.2	654.3	541.6	428.8	418.2	393.0	417.2	377.7	496.5	539.9
Plano inclinado Lat	663.3	718.3	671.2	533.3	409.5	391.3	372.0	404.2	379.6	522.8	586.8
Plano inclinado Lat + 1/2 de la lat	700.7	738.4	666.7	508.2	377.3	352.4	339.1	378.4	369.3	532.5	615.1

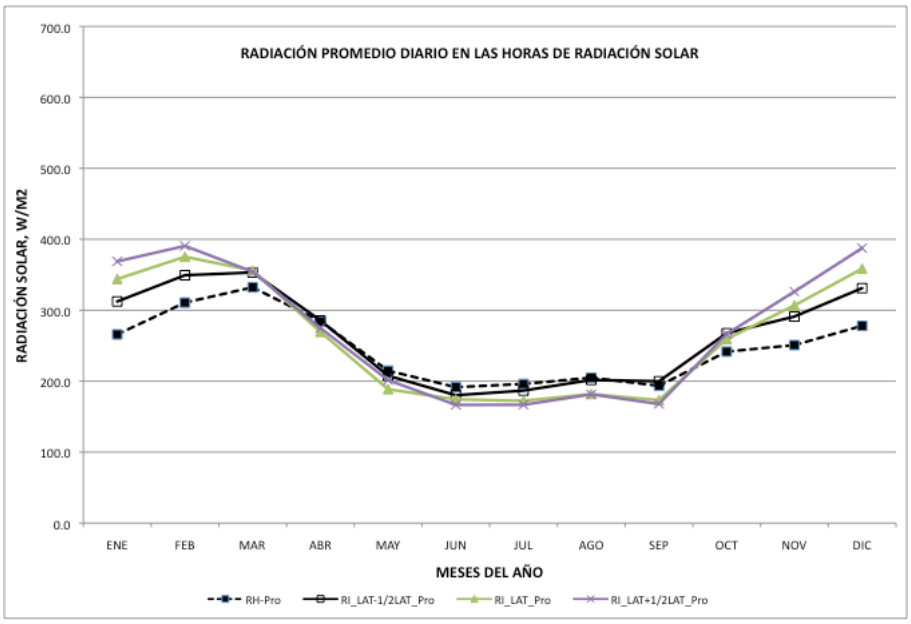
Es importante que a partir de graficas se visualice el comportamiento de la irradiancia solar total promedio, así como la radiación directa promedio W/m^2.

En la Ilustración 33 se muestra el comportamiento de la radiación total promedio diario y su comportamiento durante los meses del año según el plano inclinado, si se tiene el plano a la latitud + ½ de la latitud se puede aprovechar mayor nivel de irradiación durante los meses de enero, febrero, marzo, octubre noviembre y diciembre, el resto de los meses del año en una inclinación de la latitud – ½ de la latitud para lograr mayor aprovechamiento de la irradiancia total.

En la Ilustración 34 se puede ver el comportamiento de la radiación directa según los meses del año y en el plano inclinado en cuestión y tiene un comportamiento similar al de la irradiancia total, solo que aquí los valores son menores, debido a que no se considera la radiación difusa.

Ilustración 33. Radiación *TOTAL* promedio diario mensual en varios planos inclinados (Fuente: Meteonorm y TRNSYS)

Ilustración 34. Radiación *DIRECTA* promedio diario mensual en varios planos inclinados (Fuente: Meteonorm y TRNSYS)



La irradiancia promedio diario es diferente a la que nos marca la literatura, sin embargo esto es por que la literatura solo considera las horas pico (horas de mayor irradiancia) y obtienen el promedio de ellas. En nuestro estudio esta considerando desde la primer hora del alba hasta la puesta del sol que oscila de 11 a 9 horas por día según la base de datos.

Los promedios de irradiancia horaria según plano inclinado se puede visualizar en las gráficas de la Ilustración 35 y la Ilustración 36 su comportamiento es similar a lo mostrado en la literatura por que no se considera el movimiento en los dos ejes sino solo en uno (este - oeste), por tal motivo los valores tiende a ser menor.

El valor pico de la irradiancia normalizada es de 1000 W/m^2, sin embargo en nuestro caso es de un valor pico promedio de 700 W/m^2, este valor se podría incrementar si se tuviese movimiento en los dos ejes.

La radiación directa pico promedio anual se puede visualizar en la Ilustración 36 con un valor pico oscila de 400 a 450 W/m^2

Ilustración 35. Esquema de radiación solar total (directa + la difusa), W/m^2

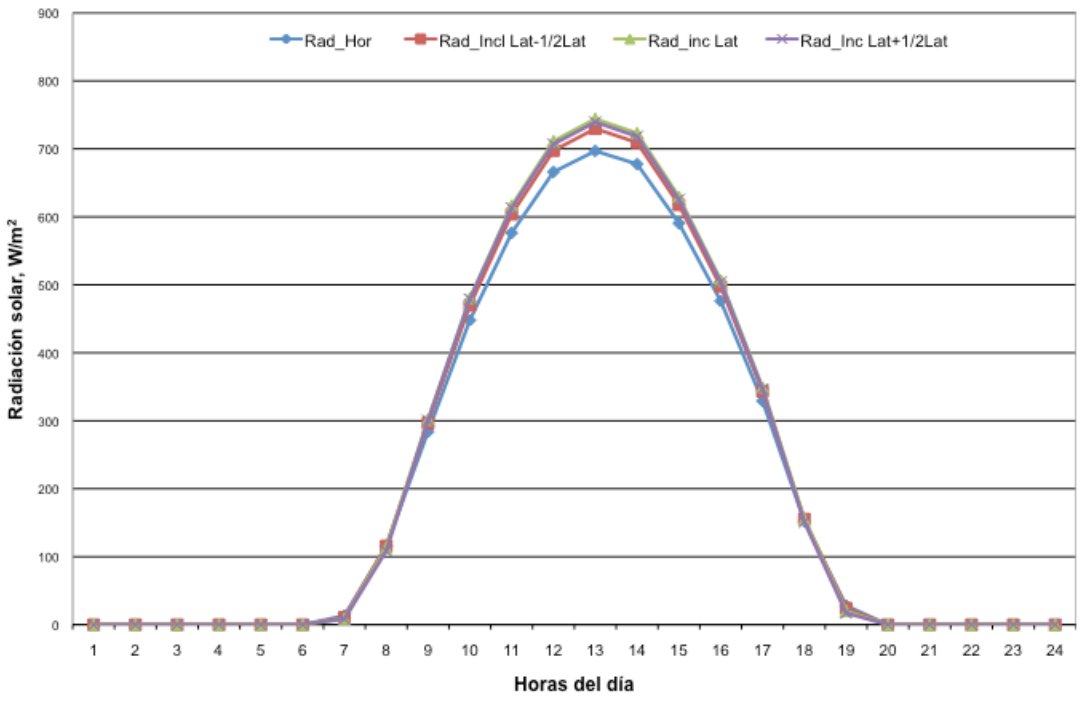
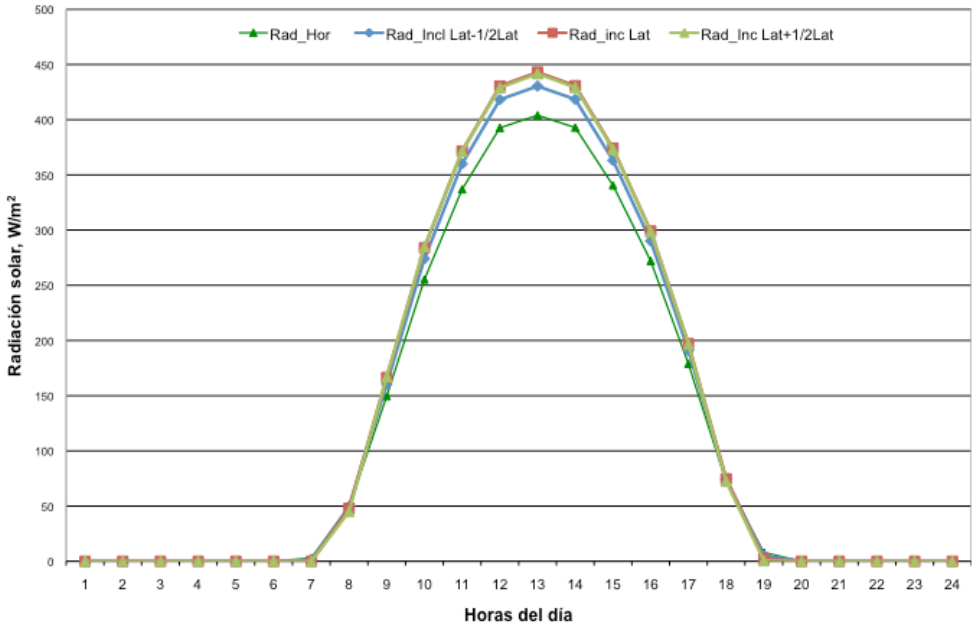


Ilustración 36. Radiación directa promedio anual según el plano inclinado



Con lo considerado en la Tabla 9 y la Tabla 10 y las gráficas de la Ilustración 33 y la Ilustración 34 nos da un panorama de la potencia máxima promedio mensual detectada durante el año y la Ilustración 35 e Ilustración 36 nos da el perfil de la irradiancia durante el día.

Como segunda etapa es importante cuantificar la energía disponible (kilojoule o watthora) por día, mes o año por cada metro de superficie. Por tal motivo analizar el nivel de insolación nos da un panorama de dicho parámetro en Wh/m^{2}día, el cual es la energía primaria aprovechable, sus valores se pueden visualizar en la Tabla 11 para la insolación total por mes, sus valores promedios anuales oscila 5,055 a 5,359 Wh/m^{2}día según el plano inclinado.

En la Tabla 12 se muestra de igual forma la energía disponible considerando solo la radiación directa esta tiene un promedio anual de 2,985 a 3,171 Wh/m^{2}día.

Como se observa, las Tabla 11 y Tabla 12 nos muestra el potencial energético disponible diario según el mes del año, así como su comportamiento según el grado de inclinación del plano.

Tabla 11. Insolación total (directa + difusa) disponible diaria promedio mensual, Wh/m^{2}día

Mes	Plano horizontal	Plano inclinado con lat-1/2lat	Plano inclinado con la latitud	Plano inclinado con lat+1/2lat
Ene	4,556.8	5,176.0	5,661.6	5,997.9
Feb	5,401.9	5,949.0	6,340.3	6,566.5
Mar	5,925.4	6,231.9	6,378.3	6,359.8
Abr	6,076.1	6,115.7	5,998.3	5,738.9
May	5,567.4	5,449.8	5,204.7	4,851.4
Jun	5,429.0	5,235.4	4,945.0	4,540.9

Mes	Plano horizontal	Plano inclinado con lat-1/2lat	Plano inclinado con la latitud	Plano inclinado con lat+1/2lat
Jul	5,134.8	4,989.2	4,731.8	4,373.4
Ago	4,923.6	4,880.2	4,719.9	4,454.2
Sep	4,425.3	4,528.3	4,515.0	4,404.5
Oct	4,565.6	4,882.3	5,088.8	5,170.5
Nov	4,341.3	4,855.5	5,247.2	5,503.9
Dic	4,318.4	4,969.1	5,487.7	5,862.2
Promedio anual	5,055.5	5,271.9	5,359.9	5318.7

Tabla 12. Insolación disponible de la radiación directa, Wh/m^{2}día

Mes	Plano Horizontal	Plano inclinado con lat-1/2lat	Plano inclinado con la latitud	Plano inclinado con lat+1/2lat
Ene	2,924.5	3,435.9	3,783.6	4,056.7
Feb	3,729.2	4,191.9	4,504.1	4,687.3
Mar	3,986.8	4,239.0	4,273.0	4,251.4
Abr	3,696.9	3,712.8	3,502.1	3,298.5
May	2,792.2	2,700.0	2,452.6	2,216.2
Jun	2,490.4	2,342.6	2,091.8	1,832.0
Jul	2,549.0	2,427.4	2,067.6	1,834.0
Ago	2,663.7	2,622.3	2,364.3	2,176.5
Sep	2,515.3	2,598.0	2,251.7	2,181.9
Oct	2,658.0	2,943.6	2,852.7	2,932.1
Nov	2,759.6	3,201.6	3,374.1	3,588.5
Dic	3,058.1	3,642.2	3,943.8	4,263.4
Promedio anual	**2,985.3**	**3,171.5**	**3,121.8**	**3,109.9**

Con los datos mencionados en la Tabla 11 y la Tabla 12 se puede graficar cada una de ellas para visualizar sus comportamiento de cada plano, según el grado de inclinación de cada uno de ellos durante el año. La Ilustración 37 se muestra la insolación total diaria según el mes en un rango de 4,500 a 6,500 Wh/m^{2}dia que son valores similares a los oficialmente se utiliza en los reportes oficiales.

En la Ilustración 38 se muestra el comportamiento de la energía disponible diario considerando en ***radiación directa*** y esta oscilando de 1,800 a 4,700 Wh/m^{2}dia. Se puede visualizar que la radiación directa es mayor en los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre noviembre y diciembre debido a que son los meses de estiaje y hay poca nubosidad en la región del Valle del Mezquital, lo cual concuerda con nuestro clima. El resto de los meses decae drásticamente por que son periodos de mayor precipitación en nuestra zona lo que ocasiona la existencia de nubosidad y propicia que se tenga este perfil de radiación promedio como se visualiza en la gráfica.

Ilustración 37. Insolación total diaria promedio mensual, según el plano inclinado, Wh/m²día

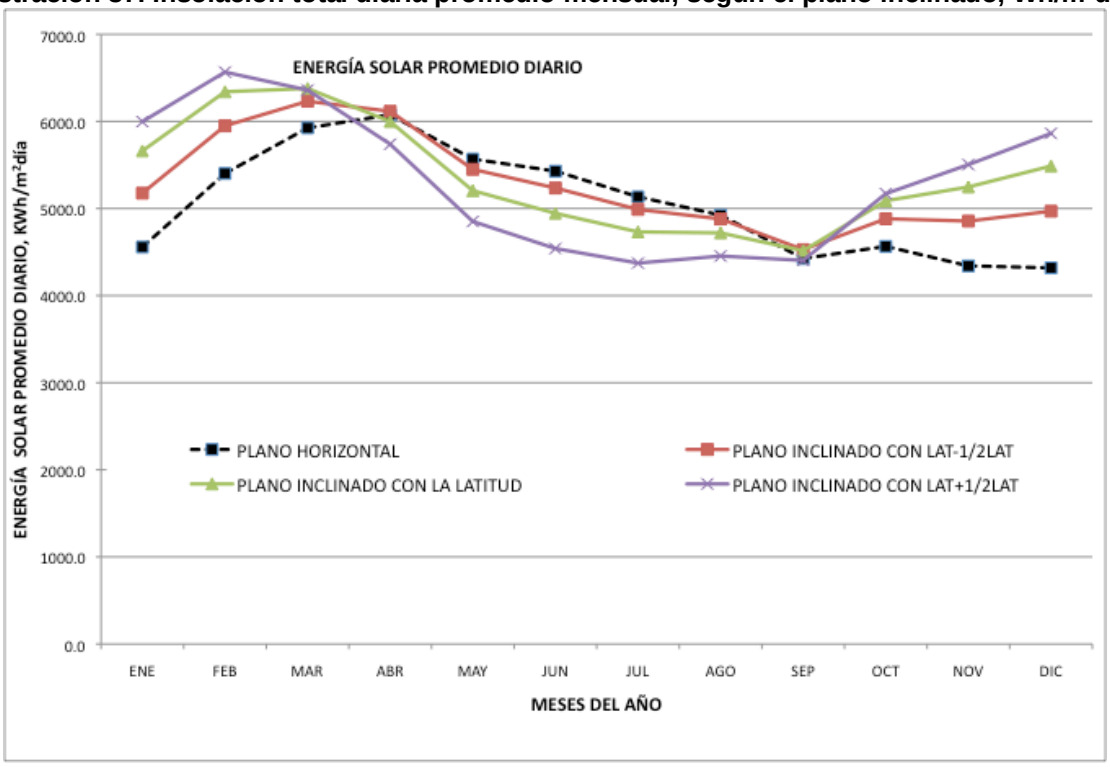
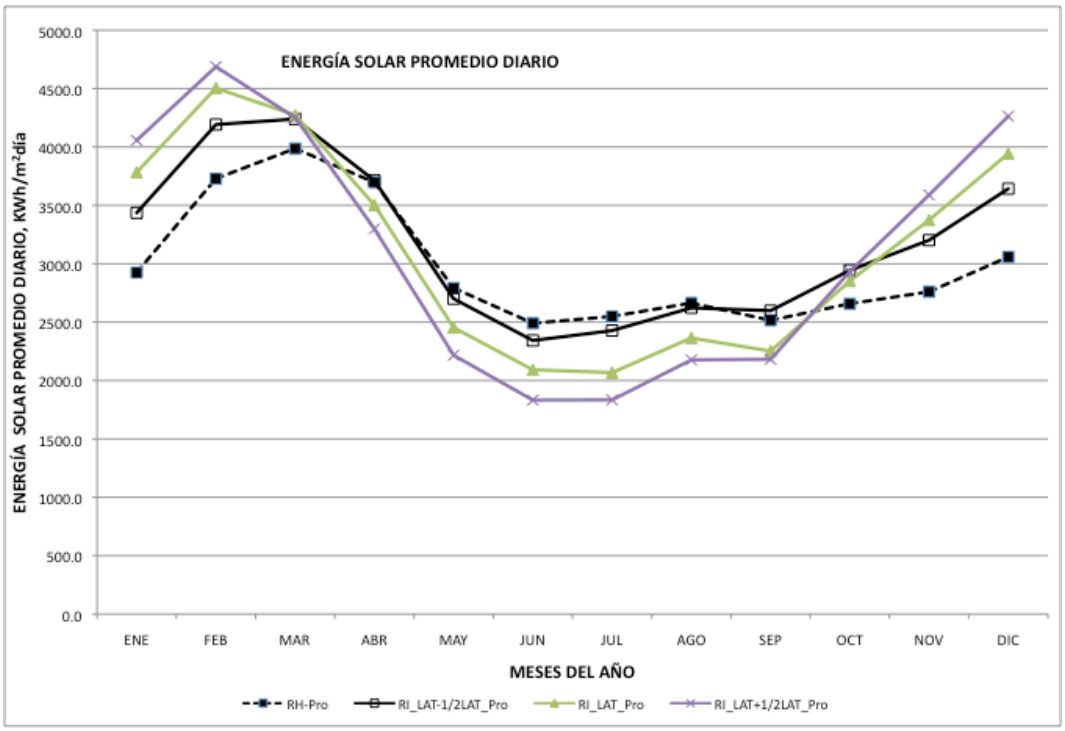


Ilustración 38. Energía solar diaria disponible promedio mensual según el plano inclinado, Wh/m²día



Si se considera la sumatoria de insolación diaria de los 365 días del años según el plano inclinado podemos obtener la energía solar disponible anualmente.

Con el análisis de los datos, la energía anual disponible a partir de la irradiancia solar directa sin considerar la difusa tenemos que en el plano horizontal es de 1,088 kWh/ m^2, que el plano inclinado a la latitud - ½ a la latitud es de 1,155 kWh/m^2, es el mayor detectado según la inclinación del plano, considerando el movimiento en un eje (este-oeste) ver Tabla 13.

A partir de los análisis de datos para la localidad estudiada nos arroja que radiación difusa promedio anual representa un 41% de la radiación total y por ende el 59% es radiación directa.

Tabla 13. Energía anual disponible a partir de la irradiancia solar (kWh/m^2año)

Plano	Insolación disponible (radiación directa), kWh/m^2año		Insolación disponible (radiación difusa), kWh/m^2año		Energía solar disponible (radiación Total), kWh/m^2año
Horizontal	1,088	59%	756	41%	1,844
Inclinado Lat-1/2 Lat	1,155	60%	767	40%	1,923
Inclinado Lat	1,137	58%	818	42%	1,954
Inclinado Lat +1/2 Lat	1,132	58%	807	42%	1,939

La radiación total se puede convertir en energía útil para aplicarlo en calentadores solares de placa plana y sistema fotovoltaicos, su eficiencia dependerá de cada sistema de captación de energía solar.

La radiación directa es la que se puede aprovechar en sistemas de concentración solar (cilindros parabólicos, disco parabólico, fresnel, etc.), se enfatiza la radiación directa debido a que el sistema propuesto opera bajo este principio.

Con los valores cuantificados en energía solar disponible anual y la eficiencia de cada sistema se puede estimar la rentabilidad de cada sistema. La rentabilidad en el aprovechamiento de la energía solar es indispensable para que los proyectos tengan éxito, y que a partir de esta base implementar sistemas con miras a tener un desarrollo sustentable, mitigando de emisiones de GEI por la quema de hidrocarburos.

Aplicaciones concentradores según el grado de inclinación de los concentradores

Superficie a latitud -1/2 de la latitud se recomienda para sistemas de refrigeración por el método de absorción (Tubos evacuados para energía de sistema de absorción solar)

En los periodos de mayor demanda de enfriamiento (Abril a Octubre), La radiación solar en el plano 16 es adecuada para obtener calor útil a través de los tubos evacuados.

Superficie a la inclinado con el valor de la latitud (Sistema fotovoltaico fijo, sin seguimiento solar)

El mayor potencial se obtiene en los meses de marzo, abril, agosto septiembre y octubre. Sin embargo normalmente solo tiene una oscilación de 100 w/m^2 a lo largo del todo el año.

Superficie al valor de la latitud + ½ de la latitud se recomienda para sistemas de calentamiento (Calentador solar placa plana, para calentamiento de agua de uso doméstico, calefacción de hogares)

E mayor recurso solar se obtiene en los meses más fríos, enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre y es cuando requerimos calentamiento de los sistemas.

Las inclinaciones propuestas del plano responden a las necesidades especificas que se requiera en el campo, y así obtener mayor aprovechamiento de la energía si se pretende solo tener un eje en movimiento, reduciendo costos de inversión.

El aplicar concentradores solares tipo parabólico se requiere tener el mayor nivel de aprovechamiento de la radiación directa, ya se busca almacenar la mayor cantidad de energía en un acumulador de calor a base de aceite térmico. Mas sin embargo seria razonable utilizar la inclinación para sistemas de calentamiento si solo se pretende tener movimiento en un eje.

Metodología de análisis para el diseño de un concentrador solar

El diseño de un sistema CCP a partir de las características meteorológicas de la zona Valle del Mezquital, se busca que sea versátil, económico y no necesariamente con eficiencias extremadamente alta, para obtener temperaturas medias para transferencia de calor, para suplir de energía calorífica en aplicaciones como generación de vapor a baja presión a 55.11 psig (3.8 Bar) para ello se requiere una temperatura de 150ºC (423.15ºK), también puede aplicar para calefacción de habitaciones o cocción de algunos alimentos

El aumento de rendimiento tiene un límite, ya que al aumentar la temperatura, las pérdidas crecen. De esta forma, y aunque se intenta que los receptores usados tengan emisividad reducida, existe una temperatura a partir de la cual el rendimiento del sistema en su conjunto disminuye (ver Ilustración 39) (Romero-Álvarez Manuel, Zarza Eduardo, 2007, cap. 21).

Un parámetro muy importante en el diseño de concentradores cilíndricos parabólicos es la razón de concentración la cual nos permite ver la temperatura que se puede alcanzar a partir de esta variable. Se denomina índice de concentración (C) a la relación entre el área del receptor y el área de apertura del concentrador que capta la radiación solar

Donde la razón de concentración C está definida como

$$C = \frac{A_a}{A_r} = \frac{2f * \tan(\frac{\phi_r}{2})}{r_{receptor}}$$

Donde:

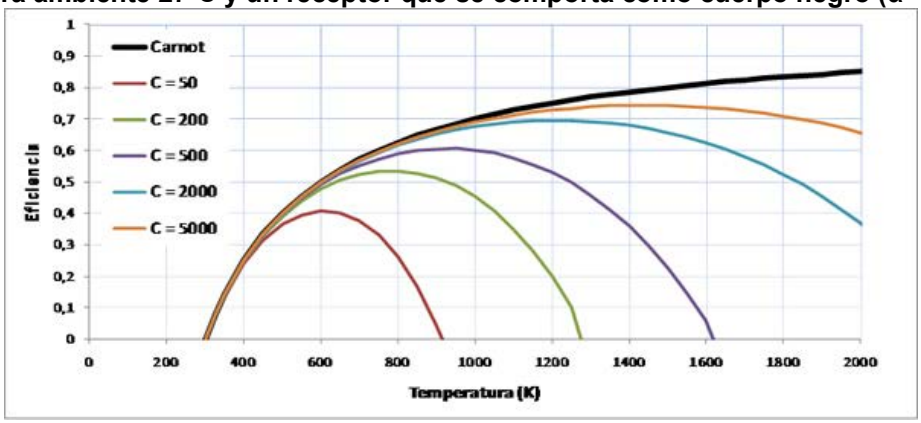
- A_a es el área de apertura
- A_r el área del receptor.

Las pérdidas de un colector plano en el que (A_a / A_r) = 1 crecen al aumentar la temperatura, la ganancia de energía a altas temperaturas es baja. En cambio, en concentradores al aumentar la razón de concentración, A_a/A_r, manteniendo A_a constante, las pérdidas térmicas se reducen, permitiendo alcanzar altas temperaturas. Sin embargo, las pérdidas por reflexión, factor de forma y la no concentración de radiación difusa en los concentradores, reducen la energía absorbida comparada con la que capta un colector plano (Duffie y Beckman, 1974; ver Referencias).

Para colectores planos C = 1 y para concentradores C > 1. Es evidente que entre mayor sea C, más grande será la eficiencia; este tipo de análisis es muy simple, ya que no refleja la reducción en la eficiencia óptica que ocurre debido al uso de espejos o lentes imperfectos.

Así pues, y en la medida que el fluido térmico y las instalaciones lo permitan, los sistemas se hacen funcionar a la temperatura de trabajo óptima. En la Ilustración 39 se puede ver que la mejor eficiencia que podemos alcanzar para tener 150ºC esta en una razón de concentración de 50 la cual es suficiente puede lograrse la meta.

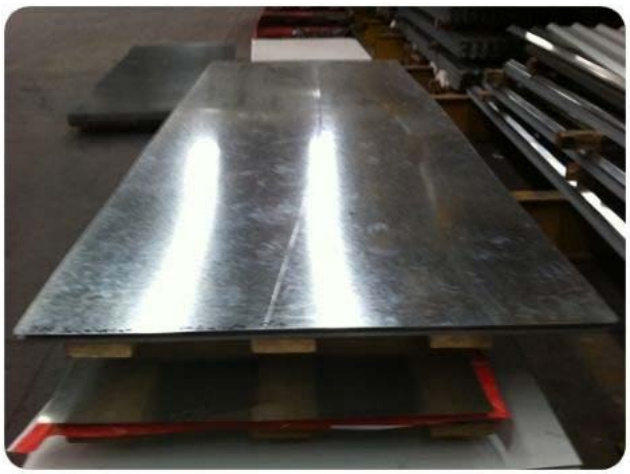
Ilustración 39 Eficiencia térmica función de la temperatura de operación del receptor con el índice de concentración como parámetro: supuesto 500 W/m2 de radiación directa normal, temperatura ambiente 27ºC y un receptor que se comporta como cuerpo negro (α = ε = 1) [13].



Calculo de la razón de concentración

Se trabajara con una lámina galvanizada de con una superficie de 1.2192 m (4pies) x 3.048mts (10 pies) el cual es una medida comercial

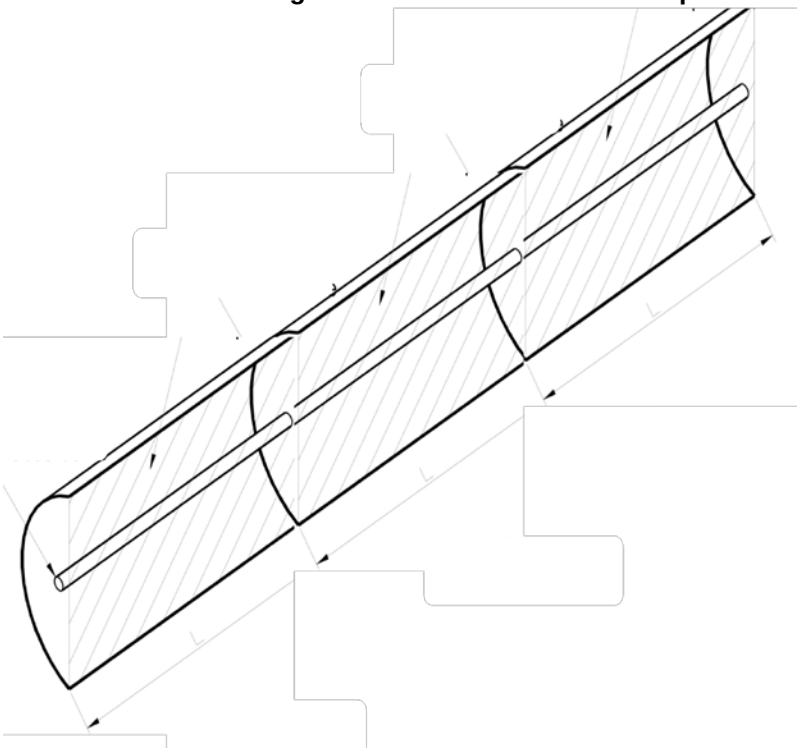
Ilustración 40. Lamina Galvanizada Lisa en calibres 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 en anchos de 3 y 4 pies y largos de 10 pies[14].



[13] Romero-Alvarez Manuel, Zarza Eduardo. "Concentrating Solar Thermal Power". En, Frank Kreith and D. Yogi Goswami (ed.). Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007. Capítulo 21.
[14] http://www.caosa.com.mx/Lámina%20galvanizada.html

Esta lamina se dividirá en tres secciones para poder rolarlo, ya que la roladora que se dispone solo es para dimensiones no mayores a 1 metro de longitud por lo cual se seccionara en tres partes a lo largo y se unirá a un soporte para que sea una solo concentrador de superficie de largo.

Ilustración 41 Secciones de la lamina galvanizada rolada en tres bloques de metro cada uno



Se realiza el diseño de un colector piloto, conociendo claramente cada parte que integra el concentrador solar y que valores haya que calcular utilizando una metodología de cálculo para su desarrollo.
Para evitar confusiones de terminología, la palabra colector se aplica al sistema total incluyendo el receptor y el concentrador. El receptor es donde la radiación se absorbe y se convierte en alguna otra forma de energía; esto incluye al absorbedor, que está asociado con la cubierta, y aislamientos. El concentrador, o sistema óptico, es la parte del colector que direcciona la radiación sobre el receptor. La apertura del concentrador es la abertura a través de la cual la radiación solar entra en el concentrador.

Se estudia el requerimiento energético de un sistema de media o alta temperatura de tal forma que sea suplida por medio de energía solar. El cual se estimara realizando estudio del volumen de aceite calentado y la temperatura que se requiere.

El concentrador, o sistema óptico, está formado por una estructura metálica Tubular tipo zintro con perfil denominado "C-100", lamina lisa galvanizada calibre

20, ángulo y solera, la parte reflejante es de metal con película reflejante la cual la adherimos en la superficie de la parábola, para mover el concentrador se dispone de un eje concéntrico el cual permitirá ubicar el concentrador en posiciones adecuados para hacer más eficiente la captación de los rayos del sol durante el día. El tiempo de vida de la parte reflejante que se tiene estimado que será de 10 a 12 años, manteniendo una limpieza periodica. Las dimensiones del colector son de 1 mts de diámetro X 3.15 mts de largo con un ángulo incidencia de 90°.

El absorbedor está hecho de tubo de cobre tipo K de pared delgada de 2.54 cm de diámetro (1"de Ø), tiene en su exterior una película de pintura negro mate el absorbedor a su vez está cubierto por un tubo circular de vidrio de 6.35 cm de diámetro (2.5" de Ø) que tiene como función aislar termicamente el absorbedor.

El acumulador de calor, tiene una capacidad de 0.200 mt^3 de aceite. El absorbedor y el acumulador están conectados por mangueras flexibles para alta temperatura. En el interior del acumulador, las mangueras y el absorbedor va a fluir un Aceite para transferencia de calor Mobiltherm 603, se aisla termicamente con fibra de vidrio de 2" de espesor y sobre esta se le coloco una lamina galvanizada calibre 20 sujeta con remache pop, sellado con silicón y sujeto con tres cinchos de metal con el objetivo de evitar que la lluvia dañe el aislante de la fibra de vidrio.

El colector va a tener un movimiento axial (movimiento este - oeste, se hara el posible movimiento en el otro eje por lo menos en dso posiciones para incrementar el nivel de aprovechamiento de energía solar en otro eje (norte – sur), con el objetivo de que el colector este perpendicularmente a los rayos del sol. El movimiento de ambos ejes va ha ser controlado por un sistema mecánico. El eje (X) va a estar diseñado para un sistema mecánico que vaya siguiendo la posición de sol de Este a Oeste y el eje (Y) va a estar diseñado por un sistema mecánico para que siga la posición del sol de Norte a Sur.

Donde la razón de concentración C está definida como

$$C = A_a/A_r$$

Debido a que las pérdidas de un colector plano en el que $(A_a / A_r) = 1$

Crecen al aumentar la temperatura, la ganancia de energía a altas temperaturas es baja. En cambio, en concentradores al aumentar la razón de concentración, A_a/A_r, manteniendo A_a constante, las pérdidas térmicas se reducen, permitiendo alcanzar altas temperaturas. Sin embargo, las pérdidas por reflexión, factor de forma y la no concentración de radiación difusa en los concentradores, reducen la energía absorbida comparada con la que capta un colector plano.

Las altas temperaturas es más complicado obtener U_c (ecuación 3) debido a que las pérdidas por radiación son muy importantes y proporcionales a la temperatura elevada a la cuarta potencia.

Cuanto más alta es la temperatura a la cual la energía va a ser entregada en un concentrador, mayor deberá ser la razón de concentración; para lograr esto, la geometría del concentrador necesita ser la más precisa posible, así como del sistema que permite seguir al Sol.

Diseño de apertura para el concentrador solar

Se propone el uso de una tubería de 1 pulgada en el absorbedor con el objetivo de no perder la radiación reflejada por la uniformidad imperfecta de la superficie del reflector parabólico.

Considerando que un aparabola es el conjunto de todos los puntos de un plano que son equidistantes de un punto fijo llamado foco y de una recta fija llamada directriz y que la ecuación de dicha parábola esta regido por la siguiente ecuación:

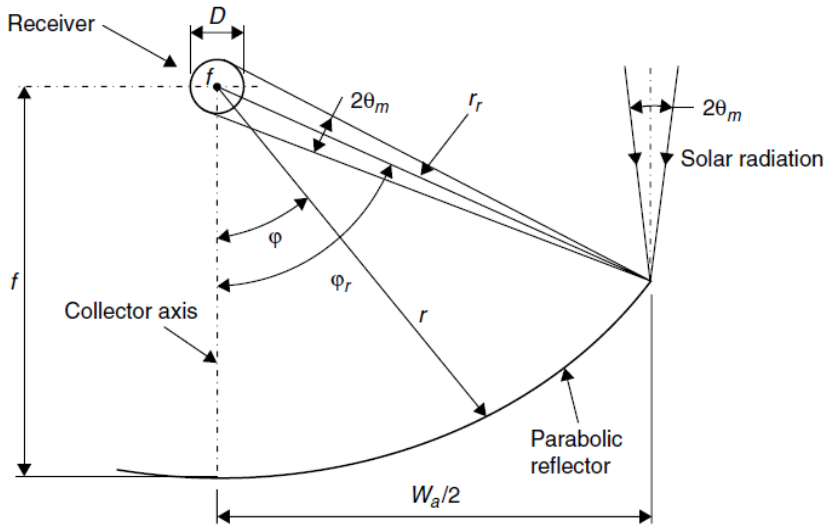
$$y^2 = 4fx$$

Donde:

f= es el foco
x= es valor que va considerando según el rango que se requiera.

Para aplicar esta parábola en un sistema de concentración solar sus variables dependen del material disponible en el mercado, para lo cual el diseño que se plantea se tiene previsto tener una anchura de 1 metro por un longitud de 3.15 metros, se aplicara las ecuaciones pertinentes para ajustarlo al foco requerido para una lamina con una anchura de 1.22 metros por 3.15 metros ver Ilustración 47.

Ilustración 42. Apertura de la placa para el concentrador



$$W_a = 2r_r \sin(\varphi_r)$$

Donde:

r_r = radio de borde
φ_r = angulo de apertura

Se puede conjugar estas variable para lograr alcanzar el metro de anchura para lo cual se realizo prueba y error hasta lograr coincidir según objetivo, se le consideró un foco de 0.55 metros y un ángulo de apertura de 140º

Wa = 2*0.55 m *sen(70º) = 1.03 m

Este resultado cumple con nuestra expectativa.

El radio de borde se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$r_r = \frac{2f}{1 + \cos(\varphi_r)}$$

Sustituyendo valores r_r = 0.82 m.

$$r_r = \frac{2 * 0.55}{1 + \cos(70^o)} = 0.82m$$

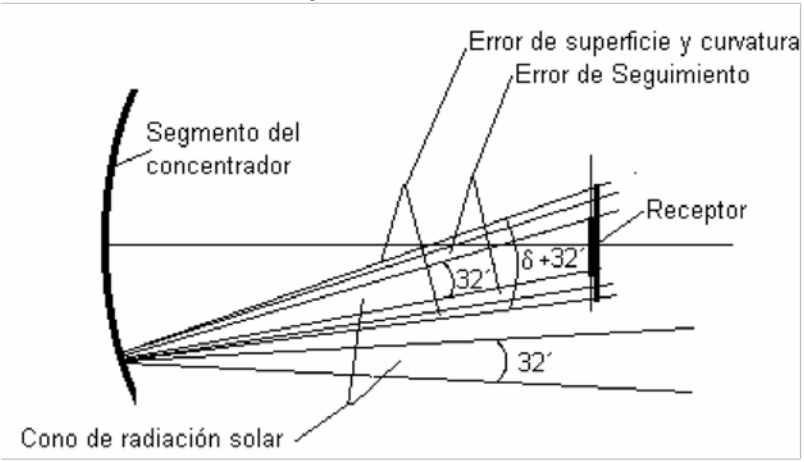
Para justificar el diámetro mínimo requerido del absorbedor se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{Wa * sen(0.267)}{sen(\varphi_r)}$$

$$D = \frac{1.03m * sen(0.267)}{sen(70^o)} = 0.005m = 0.5cm = 0.2''$$

El diámetro calculado es mucho menor a lo que se va asignar, sin embargo hay que considerar otros aspectos adicionales que se deben de tomar en cuenta como lo es error de superficie y curvatura y como error de seguimiento ver Ilustración 43.

Ilustración 43 Factores que afecta el diámetro del absorbedor.



La razón de concentración es un parámetro muy importante ya que nos permite estimar la temperatura que puede alcanzar un sistema, la ecuación que nos permite obtener este valor es:

$$C = \frac{W_a}{\pi D}$$

$$C = \frac{1.03}{\pi * .0054} = 12.9m$$

La razón de concentración esta dentro del limite inferior por lo cual sería bueno reducir el diámetro del tubo absorbedor para incrementar esta razón de concentración y lograr mayores temperaturas.

Ilustración 44. Parámetros requeridos para dimensionamiento del absorbedor

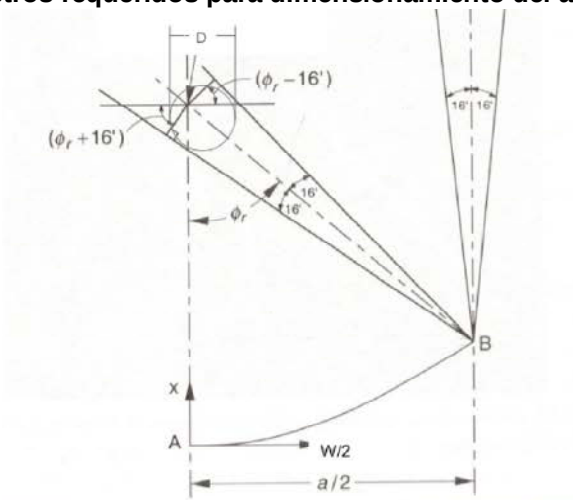
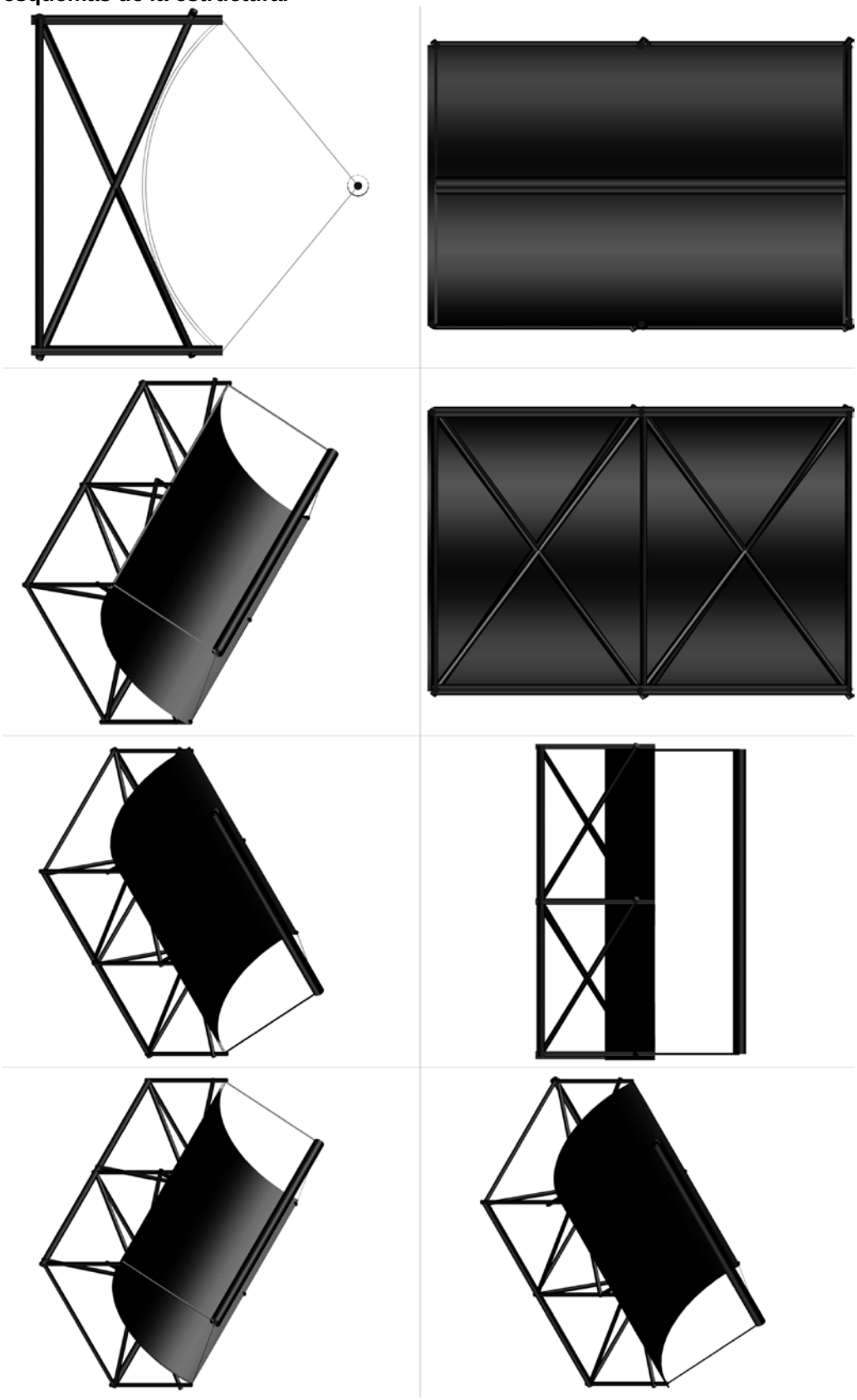


Ilustración 45. Esquema de diseño del concentrador parabólico propuesto desde varios esquemas de la estructura.



Analisis del balance de energía

Con un balance de energía se puede ver cómo, a una temperatura dada, los concentradores son inherentemente más eficientes que los colectores planos. El calor útil entregado al fluido de trabajo está dado por la energía recibida por el absorbedor, menos las pérdidas de calor al medio ambiente, es decir:

$$q_u = q_{abs} - U_c (T_c - T_a) A_r$$

Donde la energía recibida por el absorbedor (q_{abs}) está dada por:

$$q_{abs} = n A_a G_d$$

Siendo

A_a = Área de apertura;
A_r = Área del absorbedor;
G_d = Radiación solar directa incidente sobre el colector;
T_a = Temperatura del aire ambiente, en °C;
T_c = Temperatura del obsorbedor, en °C;
U_c = Coeficiente global de transferencia de calor, y
n = Eficiencia óptica.

Si la eficiencia instantánea del colector es:

$$n_c = \frac{q_u}{G_d A_a}$$

Entonces

$$n_c = \eta - \frac{U_c (T_r - T_a)}{G_d} * \frac{1}{C}$$

Cálculo de la energía que se puede almacenar con el aceite térmico mobiltherm 603

Volumen del intercambiador de calor

V= Volumen del cilindro con medidas: 34.6" (0.8788 m) de longitud, por 21.2" (0.5385 m) de diámetro.

$V = \pi (r^2) (L)$

Donde

$L = 0.8788$ m;
$r = 0.2692$ m;
$\pi = 3.1416$

$V = (3.1416) (.0.0725\ m^2) (0.8788\ m) = 0.200\ m^3$

Ilustración 46. Tanque de almacenamiento térmico con aceite térmico MOBILTHERM 603

Faltan parámetros necesarios o son incorrectos.
Faltan parámetros necesarios o son incorrectos.
Faltan parámetros necesarios o son incorrectos.

0.8788 mts

Calculando Q para 200 lt de Aceite para transferencia de calor Mobiltherm 603

Q = Calor en (Kcal)

$Q = m^* cp^* (T_2 - T_1)$

Donde:

Q = Calor en (Kcal/Kg)
m = Masa (Kg)
Cp = Calor específico del Aceite para transferencia de calor Mobiltherm 603 (KJ/Kg °C)
T_1 = Temperatura ambiente (°C)
T_2 = Temperatura del Absorbedor (°C)

Los valores para el presente análisis
m = 184 kg*
Cp = 2.5 kJ/kg °C*
T1 = 24 °C (297.15°K)
T2 = 150 °C (423.15°K);

*Valores obtenidos de los fabricantes del aceite térmico MOBILTHERM 603

Q = (184 Kg) (2.5 kJ/kg °C) (150 °C – 24 °C)

Q = 54191. 97 kJ = 12952.1917 kcal =15.0534 kW/h

Calculando el área del concentrador (A)

$b = \pi/180° * (R*<A)$

Donde:

R = Radio de la parábola
A= Angulo del segmento circular
b = Perímetro de la parábola

R = 0.55 m
A= 180°

$b = (3.1416/180°) * (0.55\ m*140°) = 1.34\ m$

$A = L\ X\ b$

Donde:

A = Área del concentrador
L = Largo del concentrador
$A = (3.15\ m)\ (1\ m) = 3.15\ m^2$

Energía recibida por el concentrador (P)

$P = A * R_{prom}$

A = Área del concentrador (m^2)
R_{prom} = Radiación directa promedio en la localidad de El Nith Ixmiquilpan, Hgo. (500 W/ m^2)

$A = 3.15\ m^2$
$R_{prom} = 500\ W/\ m^2$

$P = 3.150\ m^2 * 500\ W/\ m^2 = 1{,}5075\ W = 1.5\ kW$

Calculando la eficiencia óptica de un canal parabólico (N)

$N = Q_R * \tau * a * r * F * f_t$

Donde:

f_t = Fracción de la apertura no sombreada por soportes y absorbedor;
F = Error en el seguimiento;
a = Absortancia del absorbedor;
r = factor de forma que depende de los errores en la pendiente del espejo y de la dispersión que sufre la radiación solar directa incidente;
Q_R= Reflejancia del espejo; y
t = Transmitancia de la envolvente del absorbedor.

Los valores considerados para nuestro diseño es:

f_t = 0.91
F = 0.93
a= 0.94
r = 0.95
Q_R= 0.87
t= 0.93

N.= Q_R * t * a * r * F * f_t

N = .87*.91*.93*.94*.95*.93 = 0.6115 (ADIMENSIONAL)

Energía recibida por el absorbedor

Qabs = N * Aa * Gd

Donde:

N = Eficiencia óptica
A_a = Área de apertura
G_d = Radiación promedio incidente sobre el colector

Q_{abs} = 0.6115 * 3.15 m^2 * 500 W/ m^2 = 0.953 kWh/m²

Energía recibida por el absorbedor

Qabs = N * Aa * Gd

Donde
N = eficiencia óptica
A = área de apertura
Gd = radiación promedio incidente sobre el colector

Qabs = 0.5984 * 7.05 * 800 = 3.374Kw/m²

V = 2(3.1416) (r^2) (L)

V = 2(3.1416) (.5625) (2.5) = 8.8350 mts³

Energía recibida por el concentrador

P = A * Rprom

A = área del concentrador
Rprom = radiación promedio en la ciudad de Guadalajara

$P = 7.05 * 500\ W/m^2 = 5.640\ kW/m^2$

VII DESGLOSE FINANCIERO

Esta sección se detallará en el desarrollo de la tesis, debido a que hay que cotizar material y es timar el alcance de la implementación y la tecnología a utilizar.

.

Tabla 14. Cotización del sistema de concentración solar

Nombre	Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario	Sub total
Tubular C-100	Perfil tubular de forma cuadrad, de fierro Zintro, calibre 18 de 1" x 1"	Pza.	6	$ 120.00	$ 720.00
Lamina Galvanizada cal 20	Lámina Lisa de fierro Galvanizado, sus medidas de 1.22 m. De ancho x 3.10 m. De largo	Pza.	1	$ 640.00	$ 640.00
Solera	Solera de fierro de 3/4 " x 1/8" de espesor	Pza.	1	$ 80.00	$ 80.00
Ángulo	Ángulo de fierro de 3/4 " x 1/8" de espesor	Pza.	1	$ 130.00	$ 130.00
Remache Pop	Remache de aluminio de 1/4" 5/32"	Pza.	50	$ 0.50	$ 25.00
Película Reflejante	Película adhesiva reflejante de cromo de 1.22 m de acho x 3.10 m de largo	M²	4	$ 130.00	$ 520.00
Placa de policarbonato	Placa de policarbonato de 1m de acho x 3.10 m de largo	M²	1	$ 350.00	$ 350.00
Tubo de Vidrio	Tubo de vidrio cedula 30, de 1 1/2 " de diámetro interior por 3.10m de largo.	Pza.	1	$ 800.00	$ 800.00
Tubo de Cobre	Tubo de Cobre (Cu) de 1" de diámetro por 3.10 m de largo	Pza.	1	$ 600.00	$ 600.00
Aceite térmico	Aceite térmico para altas temperaturas de 300° C	litro	200	$ 40.00	$ 8,000.00
Soldadura de Bronce	Barra de Soldadura de Bronce de 1/8" por 50 cm de largo	Barra	1	$ 50.00	$ 50.00
Soldadura de Estaño	Soldadura de Estaño de 5/32"	Rollo	1	$ 30.00	$ 30.00
Soldadura de Fierro	Barra de Soldadura para Fierro 3060 de 1/8"	Kg	0.5	$ 45.00	$ 22.50
Coples	Coples para Tubo de Cobre (Cu) de 1" de diámetro	Pza.	5	$ 5.00	$ 25.00
Niples	Niples para Tubo de Cobre (Cu) de 1" de diámetro	Pza.	5	$ 5.00	$ 25.00
Codos	Codos para Tubo de Cobre (Cu) de 1" de diámetro	Pza.	5	$ 5.00	$ 25.00
Aislamiento Térmico	Aislamiento Térmico de fibra de vidrio	M²	5.5	$ 40.00	$ 220.00

Cubierta de Aluminio	Cubierta de Aluminio calibre 20	M²	5.5	$ 40.00	$ 220.00
Cinchos Para Recubrimiento	Cinchos Para Recubrimiento de 1" x 23" de diámetro.	Pza.	3	$ 50.00	$ 150.00
				Total:	**$ 12,042.50**

VIII CONCLUSIONES:

La radiación solar disponible es la base para poder emprender proyectos de implementación con la certeza de que a partir de nuestra energía primeria podemos tener la capacidad de obtener energía util y aprovecharla en procesos de productivos o de sistema sde confort en los hogares se puede visualizar que la disponibilidad de energía en radiación directa es de 1,137 kWh/m^{2}año, consisderamos un aeficiencia de 50% del sistema considerando la mas baja como se visualiza en la Ilustración 16 se puede aprovechar al menos 568 kWh/m^{2}año logrando un redución de algun combustible como pude ser:

- 87 litros de gas LP por año, o
- 50 litros combustóleo por año
- 57 litros de diesel

Esto implica que se puede dejar de emitir al medio ambiente al menos

- 127.7 kg de CO^2/año si es gas LP
- 156.7 kg de CO^2/año si es Combustoleo
- 150.0 kg de CO^2/año si es Diesel
- 370.7 kg de CO^2/año si es Electricidad

Es de gran apoyo conocer como s ecomporta la radiación durante todo el año en la zona analizada ya que implica con dos posiciones basicas durante el año en el eje norte sur, podria incrementar mi rendimiento de concentración solar.

Se concluye que debido a las deformaciones de las superficie reflejante y al ángulo de incidencia diferente a la normal del área de abertura, el área eficiente del concentrador de canal parabólico es solo de 3.05 m² del área total de abertura (3.71 m²), afectando en la disminución del factor de concentración del concentrador cilíndrico parabólico.

La eficiencia óptica obtenida con el tubo absorbente sin el cobertor de vidrio es del 56 %, y con el tubo absorbente con cobertura de vidrio es 73%; es decir el aumento del 17% s debe a que la cobertura de vidrio evita que el calor que emite al tubo absorbente no se pierda al ambiente por el fenómeno transferencia de calor por convección y radiación.

El coeficiente global de perdidas muestra claramente lo dicho anteriormente ya que el tubo absorbente sin cobertura de vidrio tiene un coeficiente global de pérdidas de 31,15 W/m2 ºC, en comparación con el tubo absorbente con cobertura de vidrio el cual tiene un coeficiente global de pérdidas de 16,43 W/m2 ºC, claramente se observa que las pérdidas de calor disminuyen aproximadamente en un 100 %.

La eficiencia térmica obtenida para el concentrador de canal parabólico, con cobertor del tubo de vidrio aumenta en un 17 %.

Para calentar 200 litros Aceite para transferencia de calor Mobiltherm 603, el concentrador de canal parabólico con tubo absorbente con cobertura de vidrio, la calentará casi en las 2/3 partes (660 min) empleado por el mismo concentrador de canal parabólico que no cuenta con la cobertura de vidrio. (1000 min).

IX SUGERENCIAS

Para aumentar la eficiencia del concentrador cilíndrico parabólico se debe mantener en todo momento que la radiación incidente al concentrador sea perpendicular al área de abertura, para ello es conveniente evaluar el sistema con un sistema de seguimiento contínuo de sol.

Uno de los principales factores que se debe tomar en cuenta al construir un concentrador cilíndrico parabólico es la estructura de la misma, ya que es un factor importante para aprovechar la radiación del medio.

Para una mejor utilización del concentrador de canal parabólico, este debe ser construido en mayor longitud o conectarlas en seria varios prototipos sismilares, manteniendo el área de apertura, para la generación de vapor a alta temperatura.

X ANEXOS

Insolación media global de algunos lugares de importantes en México

Tabla 15. Insolación global media inclinación a la latitud en México en kWh/m^2-día[15]

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2	5.6
Baja CaliforniaSur	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
Baja California Sur	S. José del Cabo	5.0	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
Campeche	Campeche	4.8	5.7	6.0	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5.0	4.3	4.4	6.0	5.2
Chiapas	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
Chiapas	Juan Aldama	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	4.5
Chiapas	San Cristóbal	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
Chiapas	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7
Chihuahua	Chihuahua	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6.0	5.2	5.3	8.9	5.9
Chihuahua	Guachochi	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9	6.4
Chihuahua	Cd. Juarez	6.0	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4	6.7
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7	4.5
Coahuila	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8
Colima	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6.0	4.9
D.F.	Tacubaya	5.4	6.0	6.4	5.9	5.3	5.1	4.5	4.9	4.5	4.8	5.2	5.2	4.5	6.4	5.3
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5	5.7
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6	5.6
Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3
Guerrero	Aguas Blancas	5.8	5.9	6.0	5.8	5.8	5.4	5.6	5.8	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	6.0	5.7
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.8	5.2	4.7
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.8	5.4
Jalisco	Colotlan	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	4.0	7.7	5.6
Jalisco	L. de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	4.0	7.2	5.5
Jalisco	Puerto Vallarta	5.2	5.7	6.0	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6.0	5.5
Mexico	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1
Michoacan	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9
Nayarit	Tepic	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	3.9	6.1	4.8
Nuevo Leon	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0	3.0	6.1	4.4
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	4.4	6.0	5.3
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.0	6.6	5.8
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5
Queretaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	4.4	6.9	5.9
QuintanaRoo	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	3.7	5.7	4.7
QuintanaRoo	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	3.8	5.7	4.7
San Luis Potosí	Río Verde	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	3.3	5.8	4.7
San Luis Potosí	San Luis Potosí	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	3.7	6.4	5.4
Sinaloa	Culiacan	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	6.2	4.9
Sinaloa	Los Mochis	4.9	5.4	5.8	5.9	5.8	5.8	5.3	5.5	5.5	5.8	4.9	4.3	4.3	5.9	5.4
Sinaloa	Mazatlan	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9	3.9	5.7	4.9
Sonora	Ciudad Obregón	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.7	6.4	6.5	6.8	7.3	6.0	5.2	5.3	7.26	6.5
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	4.5	7.3	6.0
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	3.9	8.6	6.0
Tamaulipas	Soto la Marina	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	3.2	5.4	4.6
Tamaulipas	Tampico	3.3	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	3.2	6.4	4.5
Tlaxcala	Tlaxcala	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4.0	4.0	5.6	5.1
Veracruz	Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6	3.7
Veracruz	Jalapa	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5.0	4.4	3.7	3.3	3.0	3.0	5.0	4.0
Veracruz	Veracruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1	4.6
Yucatan	Mérida	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7	4.7
Yucatan	Progreso	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0	4.0	5.5	4.9
Yucatan	Valladolid	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	3.1	5.7	4.5
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	4.1	7.8	5.8

[15] Fuentes: Actualización de los Mapas de Irradiación Global solar en la República Mexicana (R. Almanza S., E. Cajigal R., J. Barrientos A. 1997) Reportes de insolación de México. Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999

Irradiancia de la localidad en cuestión

Tabla 16. Irradiancias totales máximas detectadas en el plano horizontal, W/m^2

Día	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	645.0	285.0	888.0	532.0	904.0	838.0	779.7	756.0	945.0	463.0	665.0	821.0
2	773.0	830.0	872.0	533.0	948.0	832.0	515.0	910.0	1087.0	830.0	561.0	833.0
3	762.0	867.0	1003.0	933.0	938.0	865.0	670.0	776.0	687.0	713.0	894.0	813.0
4	835.0	851.0	858.0	844.0	975.0	800.0	622.0	560.0	1114.0	811.0	555.0	844.0
5	797.0	943.0	970.0	881.0	1093.0	721.0	829.0	901.0	909.0	773.0	929.0	889.0
6	695.0	723.0	538.0	1010.0	968.0	1023.0	712.0	682.0	371.0	650.0	927.0	624.0
7	495.0	714.0	843.0	794.0	949.0	802.0	907.0	940.0	420.0	707.0	863.0	615.0
8	840.0	789.0	658.0	861.0	934.0	924.0	534.0	926.0	787.0	580.0	324.0	764.0
9	776.0	656.0	811.0	1061.0	656.0	972.0	762.0	1122.0	862.0	384.0	750.0	688.0
10	726.0	919.0	962.0	1052.0	715.0	889.0	1133.0	948.0	831.0	299.0	732.0	331.0
11	778.0	891.0	742.0	806.0	473.0	923.0	1103.0	290.0	882.0	768.0	657.0	738.0
12	644.0	909.0	541.0	812.0	694.0	745.0	805.0	381.0	752.0	714.0	831.0	771.0
13	720.0	956.0	929.0	969.0	1093.0	686.0	510.0	1005.0	533.0	973.0	353.0	722.0
14	756.0	929.0	1062.0	753.0	975.0	818.0	782.0	649.0	606.0	995.0	801.0	492.0
15	594.0	939.0	994.0	798.0	618.0	574.0	908.0	655.0	818.0	976.0	880.0	508.0
16	609.0	950.0	1051.0	669.0	892.0	622.0	301.0	816.0	822.0	1041.0	861.0	550.0
17	729.0	864.0	983.0	497.0	509.0	737.0	183.0	1048.0	381.0	979.0	857.0	822.0
18	727.0	784.0	992.0	1049.0	773.0	753.0	376.0	280.0	620.0	734.0	885.0	840.0
19	735.0	698.0	952.0	1083.0	438.0	662.0	568.0	508.0	532.0	665.0	676.0	828.0
20	668.0	916.0	928.0	1026.0	652.0	835.0	476.0	761.0	647.0	550.0	598.0	749.0
21	874.0	875.0	988.0	909.0	866.0	790.0	585.0	124.0	516.0	549.0	550.0	556.0
22	892.0	674.0	550.0	908.0	1053.0	619.0	1064.0	906.0	598.0	686.0	640.0	702.0
23	509.0	704.0	494.0	976.0	893.0	506.0	1094.0	333.0	984.0	723.0	759.0	782.0
24	823.0	697.0	832.0	651.0	942.0	1096.0	809.0	613.7	912.0	743.0	693.0	514.0
25	672.0	596.0	845.0	448.0	806.0	872.0	938.0	754.0	843.0	487.0	364.0	436.0
26	658.0	740.0	957.0	471.0	577.0	1061.0	828.0	803.0	338.0	756.0	613.0	296.0
27	573.0	948.0	990.0	1053.0	573.0	497.0	364.0	748.0	101.0	927.0	859.0	559.0
28	813.0	988.0	955.0	978.0	523.0	754.0	915.0	890.0	309.0	971.0	744.0	757.0

29	807.0		1072.0	1088.0	863.0	698.0	914.0	998.0	250.0	448.0	312.0	835.0
30	812.0		858.0	838.0	874.0	505.0	958.0	210.0	126.0	740.0	669.0	833.0
31	658.0		575.0		469.0		823.0	604.0		943.0		770.0
Promedio máximos mensuales	**722.4**	**808.4**	**861.1**	**842.8**	**794.7**	**780.6**	**734.4**	**706.4**	**652.8**	**728.3**	**693.4**	**686.5**
Max-Ext	**892.0**	**988.0**	**1072.0**	**1088.0**	**1093.0**	**1096.0**	**1133.0**	**1122.0**	**1114.0**	**1041.0**	**929.0**	**889.0**

Tabla 17. Irradiancia directa máximas detectadas en el plano horizontal, W/m^2

Día	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	394.0	19.0	678.0	124.0	517.0	503.0	393.8	450.0	625.0	60.0	285.0	740.0
2	686.0	683.1	648.0	100.0	660.0	440.0	122.0	585.0	974.0	630.0	265.0	751.0
3	654.0	769.6	901.0	676.0	608.0	501.0	200.0	385.0	253.0	294.0	763.0	720.0
4	709.0	724.4	581.0	521.0	669.0	413.0	312.0	417.0	998.0	540.0	251.0	717.0
5	658.0	792.0	852.0	539.0	968.9	380.0	536.0	619.0	639.0	438.0	833.0	766.0
6	505.0	448.0	188.0	841.0	633.0	858.0	326.0	288.0	25.0	232.0	806.0	339.0
7	306.0	432.0	471.0	465.0	648.0	363.0	573.0	568.0	58.0	300.0	714.0	336.0
8	754.4	553.0	433.0	508.0	631.0	596.0	127.0	602.0	452.0	222.0	14.0	655.0
9	667.0	372.0	471.0	932.0	175.0	691.0	301.0	1002.8	534.0	18.0	541.0	506.0
10	488.0	827.0	809.0	911.7	276.0	513.0	1009.8	659.0	505.0	11.0	507.0	110.0
11	652.6	764.0	441.0	450.0	56.0	605.0	985.9	11.0	606.0	465.0	355.0	629.4
12	349.0	811.3	283.0	459.0	245.0	302.0	461.0	60.0	406.0	385.0	698.0	674.4
13	503.0	856.2	697.0	630.0	970.0	287.0	203.0	784.0	240.0	827.0	64.0	591.0
14	628.0	835.0	954.0	313.0	644.0	474.0	320.0	183.0	165.0	894.0	656.0	172.0
15	234.0	843.5	863.0	433.0	194.0	114.0	568.6	215.0	489.0	850.0	752.0	150.0
16	365.0	853.7	946.0	245.0	459.0	206.0	12.0	440.0	495.0	912.0	765.0	362.0
17	526.0	672.0	830.0	76.0	76.0	317.0	2.0	909.6	31.0	845.0	737.0	740.0
18	576.0	484.0	847.0	892.0	316.0	532.0	27.0	11.0	276.0	400.0	794.0	748.0
19	551.0	350.0	729.0	959.0	46.0	190.0	144.0	51.0	88.0	396.0	438.0	742.0
20	428.0	809.0	676.0	843.0	237.0	489.0	84.0	414.0	451.0	192.0	248.0	580.0
21	785.0	672.0	825.0	537.4	509.0	366.0	141.0	500.5	151.0	328.0	271.0	380.0
22	794.0	244.0	117.0	528.0	898.0	168.0	935.0	615.0	334.0	393.0	316.0	504.8
23	239.0	429.0	113.0	665.0	534.0	115.0	976.0	22.0	839.0	425.0	613.0	673.0
24	639.	474.	450.	218.	594.	979.	454.0	226.1	692.	416.	430.	167.

	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
25	365.0	286.0	532.0	76.0	393.0	530.0	635.0	339.0	513.0	114.0	36.0	177.0
26	436.0	376.0	732.0	75.0	173.0	929.0	483.0	468.0	12.0	463.0	260.0	13.0
27	238.0	831.0	802.0	892.9	145.0	102.0	29.0	328.0	11.0	832.0	731.0	378.0
28	615.0	888.0	671.0	649.0	97.0	406.0	551.0	581.0	19.0	865.0	572.0	650.0
29	598.0		963.0	962.0	507.0	308.0	580.0	810.0	3.0	99.0	144.0	745.8
30	672.0		496.0	462.0	487.0	292.0	581.0	4.0	31.5	438.0	420.0	745.7
31	332.0		114.0		110.0		386.0	377.0		799.0		674.0
Promedio máximos mensuales	**527.3**	**610.7**	**616.5**	**532.8**	**434.7**	**432.3**	**401.9**	**416.9**	**363.9**	**454.3**	**476.0**	**520.6**
Max-Ext	**794.0**	**888.0**	**963.0**	**962.0**	**970.0**	**979.0**	**1009.8**	**1002.8**	**998.0**	**912.0**	**833.0**	**766.0**

Tabla 18. Irradiancias totales máximas detectadas en el plano inclinado a la latitud, W/m²

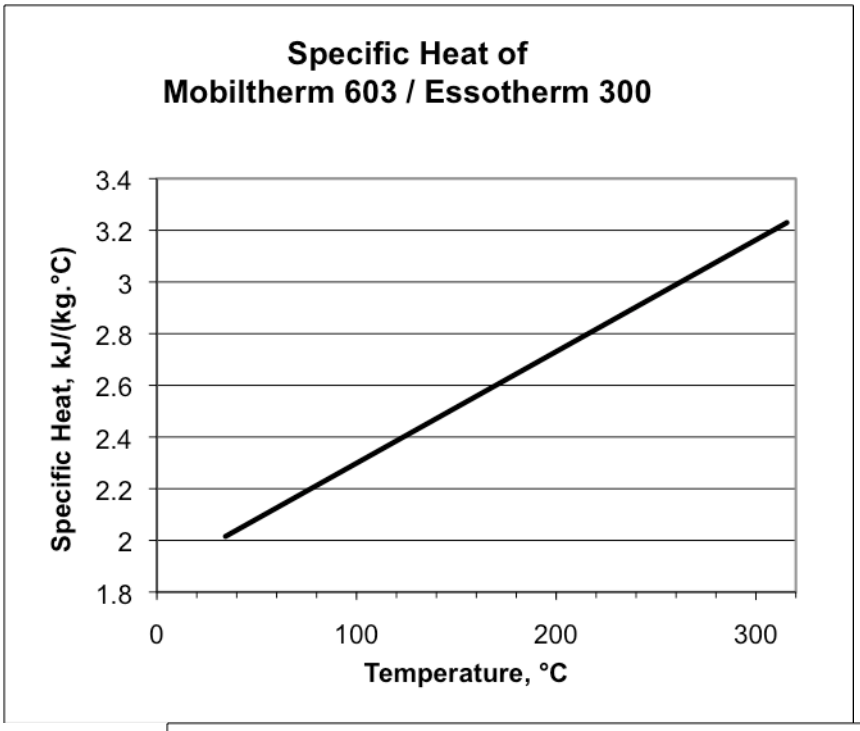
Día	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	796.0	296.9	1,004.3	545.7	895.9	795.1	733.9	722.0	965.6	473.1	757.5	1,025.2
2	968.4	993.6	976.9	533.8	931.8	792.0	487.3	887.3	1,107.7	910.8	635.2	1,041.3
3	950.6	1,037.6	1,124.7	971.3	926.9	819.5	636.9	755.4	704.5	772.7	1,055.8	1,009.6
4	1,037.7	1,010.8	954.8	879.5	954.4	757.8	569.5	508.5	1,140.3	892.6	640.8	1,045.7
5	993.8	1,123.3	1,078.4	918.4	1,057.6	672.6	763.2	882.6	937.2	852.3	1,107.5	1,105.0
6	858.1	851.9	573.3	1,041.8	943.6	956.4	675.3	666.1	367.9	704.4	1,096.4	751.7
7	607.2	838.4	929.6	820.5	925.1	761.0	853.8	920.4	417.7	770.1	1,033.0	748.3
8	1,050.9	927.5	716.6	890.0	907.9	871.1	501.8	904.5	818.9	630.9	320.0	952.6
9	966.1	764.7	893.1	1,082.1	640.0	913.2	724.7	1,087.8	902.1	375.6	897.8	857.4
10	886.9	1,086.1	1,055.2	1,069.1	696.1	836.1	1,056.2	928.5	869.8	287.6	874.1	353.5
11	967.3	1,042.9	813.6	828.0	455.4	866.0	1,029.3	274.4	927.4	860.4	775.1	927.3
12	776.4	1,066.9	569.1	831.1	673.9	706.4	755.5	363.9	783.5	785.3	1,004.3	967.3
13	882.2	1,120.1	1,019.9	984.9	1,043.8	648.1	482.3	984.2	547.8	1,098.4	354.7	904.6
14	937.8	1,086.3	1,156.7	764.1	939.0	760.5	744.0	636.9	622.9	1,125.7	968.9	560.7
15	694.8	1,095.1	1,075.8	811.5	594.8	545.4	865.8	644.0	865.4	1,099.3	1,062.0	581.6
16	744.6	1,105.3	1,139.3	677.4	862.8	589.6	283.9	812.5	871.6	1,178.9	1,042.3	697.1
17	892.6	1,005.6	1,054.7	488.2	487.4	698.0	172.5	1,028.6	381.1	1,107.3	1,039.5	1,038.1
18	887.7	901.4	1,063.3	1,045.4	743.0	677.7	360.1	265.3	648.5	829.3	1,082.9	1,059.0
19	901.9	784.5	1,030.9	1,081.1	416.7	628.4	540.1	495.6	539.0	758.8	821.3	1,045.3
20	814.0	1,054.1	998.2	1,026.5	626.7	784.0	451.9	755.9	679.7	594.4	697.9	946.6
21	1,074.0	1,008.2	1,060.3	917.7	830.3	746.8	562.1	120.9	523.2	629.7	655.9	703.5
22	1,092.6	746.3	559.2	914.6	990.7	585.3	1,003.0	913.5	609.8	784.4	757.8	875.2
23	569.2	802.4	503.8	975.0	857.7	474.8	1,033.5	325.2	1,048.0	829.4	935.3	980.5
24	1,004.0	791.3	884.9	644.1	898.8	1,015.0	779.5	609.8	987.0	850.0	840.8	591.5
25	798.0	665.3	899.0	436.9	768.5	823.0	898.4	758.7	913.5	529.7	385.5	525.4
26	776.2	828.0	1,016.9	458.8	552.1	982.3	795.2	813.3	326.0	872.0	720.0	293.8
27	665.8	1,069.8	1,045.2	1,030.2	542.8	466.7	343.9	757.0	98.4	1,082.9	1,055.3	667.6
28	982.6	1,115.6	1,008.9	965.6	498.1	711.9	885.7	908.9	311.1	1,135.4	925.9	947.9
29	971.5		1,124.6	1,064.2	819.5	660.4	883.7	1,009.6	237.3	474.1	365.3	1,051.8
30	978.5		905.2	832.6	833.4	474.6	929.0	198.1	122.8	860.0	820.1	1,049.2
31	764.0		589.8		446.2		799.5	604.8		1,104.8		966.0

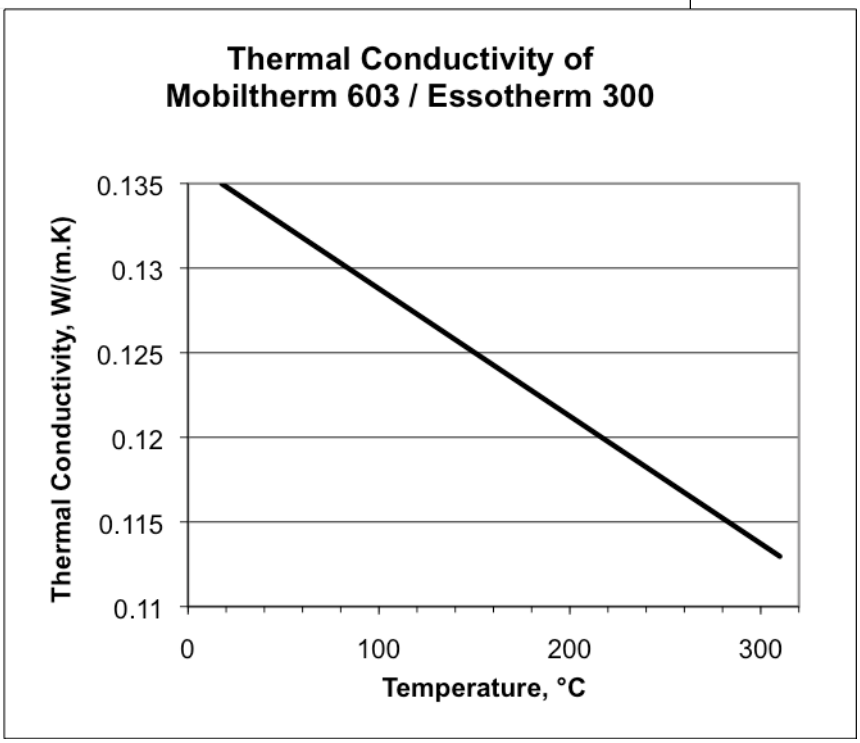
Día	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio máximos mensuales	**880.4**	**936.4**	**929.9**	**851.0**	**766.5**	**734.0**	**696.8**	**695.0**	**675.9**	**814.9**	**824.3**	**847.4**
Max-Ext	**1,092.6**	**1,123.3**	**1,156.7**	**1,082.1**	**1,057.6**	**1,015.0**	**1,056.2**	**1,087.8**	**1,140.3**	**1,178.9**	**1,107.5**	**1,105.0**

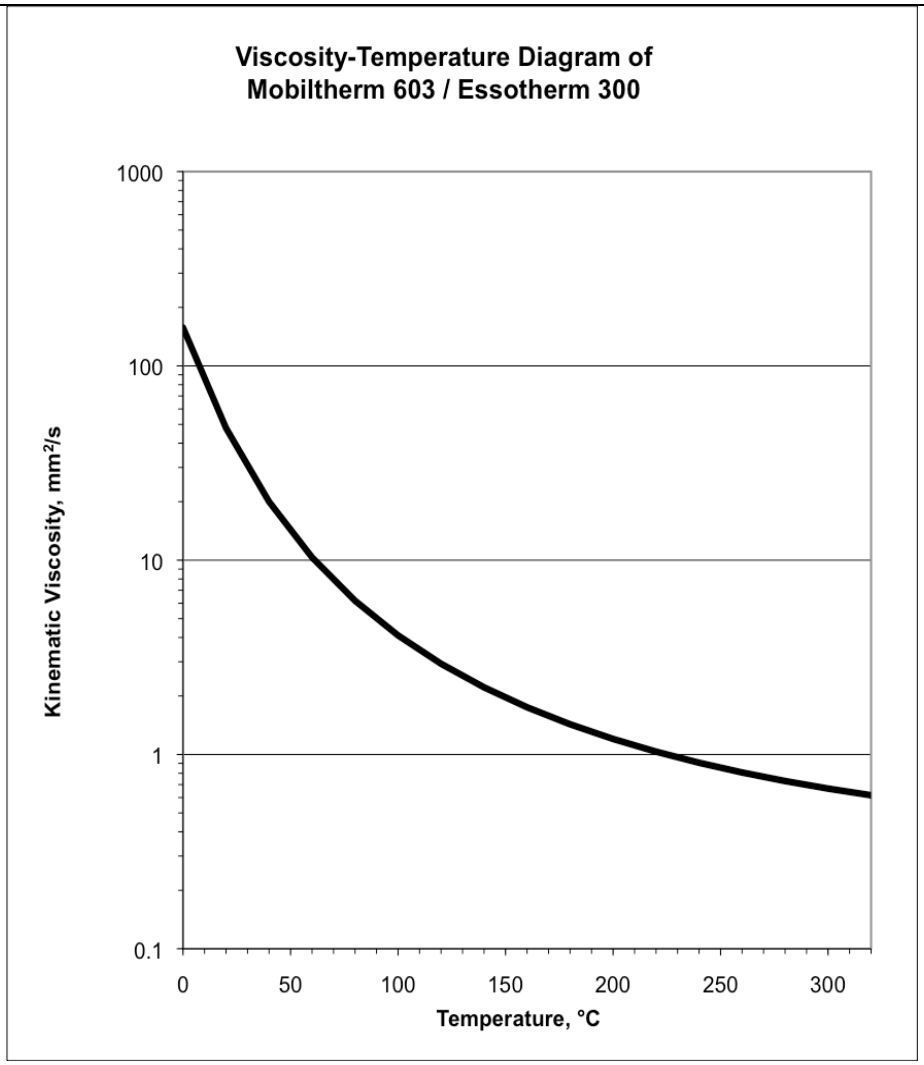
Tabla 19. Irradiancias directas máximas detectadas en el plano inclinado a la latitud, W/m²

Día	Ene	Feb	mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	504.6	23.7	766.6	129.1	502.3	458.0	360.1	419.5	634.5	65.8	338.7	930.8
2	873.7	825.7	732.6	102.8	637.6	407.7	105.4	554.7	991.1	695.7	334.2	945.8
3	828.8	928.1	1,013.3	699.1	580.5	462.0	184.3	355.0	253.8	324.1	913.8	913.0
4	897.8	872.8	651.6	537.4	644.2	380.6	274.5	367.6	1,020.5	600.0	307.3	905.0
5	840.2	950.8	952.4	551.9	934.0	343.5	482.1	590.2	653.9	486.0	999.4	967.8
6	644.2	537.3	222.7	862.9	609.1	788.2	293.4	275.1	25.7	258.2	972.2	431.4
7	425.0	516.2	523.7	473.4	613.7	335.1	525.7	545.3	59.7	334.9	863.2	428.0
8	951.5	659.3	490.3	519.0	603.0	539.6	114.5	580.2	464.6	249.7	17.0	829.8
9	843.2	447.4	522.9	950.9	167.5	634.6	278.4	968.3	552.2	20.2	657.0	660.6
10	614.1	982.3	892.7	928.0	262.8	470.0	934.7	636.3	523.6	12.4	617.1	172.1
11	820.2	905.3	486.7	454.0	53.2	553.9	913.4	9.5	630.0	525.0	434.4	804.5
12	438.1	957.9	315.1	463.9	232.5	278.0	420.8	56.5	419.8	439.3	850.4	856.8
13	630.5	1,008.5	762.6	636.7	922.0	262.5	177.0	762.9	248.9	939.0	83.8	756.6
14	793.6	982.0	1,041.0	315.1	611.2	428.0	296.5	171.2	172.9	1,015.0	802.5	237.1
15	320.6	988.4	939.1	434.4	180.8	104.4	525.4	209.2	513.8	970.5	921.7	190.9
16	464.2	998.0	1,026.7	245.4	434.2	168.4	11.0	430.0	521.5	1,040.9	943.1	475.6
17	655.5	783.5	898.4	65.8	71.5	267.4	1.9	890.9	32.7	970.2	906.8	942.2
18	723.4	563.4	914.4	891.0	296.7	464.9	25.2	10.4	291.5	459.8	978.8	952.6
19	690.8	426.6	785.0	955.8	32.9	174.6	122.4	48.5	93.5	462.0	544.7	945.1
20	535.7	936.9	726.0	835.9	212.9	446.4	74.0	405.0	479.9	228.1	309.0	744.7
21	971.8	775.5	883.6	533.2	476.3	328.0	131.7	491.0	161.3	391.1	343.3	500.5
22	981.2	280.8	125.0	522.7	842.3	153.3	874.7	609.0	358.7	460.7	394.1	651.9
23	321.6	496.2	120.3	656.9	500.2	96.8	916.4	21.8	900.9	496.0	767.7	857.3
24	786.7	554.7	478.1	212.1	553.6	899.4	424.3	222.6	745.1	485.8	536.9	212.7
25	449.4	331.6	563.0	72.2	365.4	483.8	597.9	337.5	553.6	134.8	47.2	233.3
26	552.2	428.6	772.9	58.7	158.2	853.7	452.7	463.2	13.0	549.1	324.8	16.5
27	298.2	944.0	845.5	874.6	132.8	91.4	26.4	328.6	12.0	976.9	919.2	517.7
28	751.3	1,006.0	705.6	632.7	67.6	364.0	521.1	579.8	20.7	1,018.2	721.8	826.9
29	729.0		1,010.0	938.3	469.2	270.0	548.2	814.4	3.3	133.0	222.3	948.4
30	817.5		518.9	446.2	452.6	231.4	551.2	4.0	34.5	518.1	530.5	947.7
31	406.4		119.0		72.4		366.8	373.0		947.4		856.1
Promedio máximos mensuales	**663.3**	**718.3**	**671.2**	**533.3**	**409.5**	**391.3**	**372.0**	**404.2**	**379.6**	**522.8**	**586.8**	**666.4**
Max-Ext	**981.2**	**1,008.5**	**1,041.0**	**955.8**	**934.0**	**899.4**	**934.7**	**968.3**	**1,020.5**	**1,040.9**	**999.4**	**967.8**

Características del aceite térmico MOBILTHERM 603






Viscosity-Temperature Diagram of
Mobiltherm 603 / Essotherm 300
Kinematic Viscosity, mm²/s
1000
100
10
1
0.1
0
50
100
150
200
250
300
Temperature, °C

Unidades de conversión más importantes para el desarrollo de la presente tesis

Ilustración 47. Conversiones útiles para radiación

Masa:

1 ton	=	1000 kg	1kg	=	1000 gr

Conversión a unidas de EEUU

1 oz	=	28.35 g	1 lb	=	0.4536 kg

Tiempo:

1 a	=	365.25 días	1 día	=	24 h
1 h	=	60 min	1 min	=	60 s

Temperatura termodinámica:

Las diferencias de temperaturas hay que darlas Kelvin K. Si se trata de una temperatura fija se habla en grados Celsius C.

1 °K	$\overset{1}{=}$	1 °C

Conversión a las medidas de EEUU

Farenheid °F	=	(°C x 1.8) + 32
Celsius °C	=	(°F - 32) : 1,8

TABLA NUMERO 20
(CONVERSION DE °C A °F)

Presión:

1 Kpa	=	1000 Pa

Conversión a otras unidades

14 Psi	=	1 Bar	=	100 Kpa	=	10 m columna de agua

Unidades de energía:

(Unidades de trabajo)

1 kw/h	=	1000 w/h	1 MJ	=	1.000.000 J
1 kw/h	=	3.6 MJ	1 MJ	=	0.278 kw/h

Conversión a otras unidades

1 KJ	=	1 kw/h	1 HP/h	=	0.7355 kw/h
1 Btu	=	1.055 kw/h	1 kcal	=	4.187 kw/h

Poder calorífico:

Poder calorífico por kilogramo

Diesel	=	11.7 kWh
Bunker	=	11.2 kWh
Gasolina	=	11.5 kWh
Madera seca	=	3.7 kWh
Carbon de madera	=	9.3 kWh
Butano	=	13.6 kWh
Propano	=	13.8 kWh

Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI

Tabla 20. Emisiones por tipo de combustible convencional

Combustible	tC/TJ	tCO_2/TJ
FÓSILES LÍQUIDOS		
Petróleo crudo	20.0	72.6
Orimulsión	22.0	79.9
Líquidos de gas natural	17.2	62.4
Gasolina	18.9	68.6
Queroseno para a. de reacción	19.5	70.8
Otros t. de queroseno	19.6	71.1
P. de esquisto bituminoso	20.0	72.6
Diesel (Gasóleo fuelóleo)	20.2	73.3
Combustóleo (Fuelóleo residual)	21.1	76.6
Gas L.P.	17.2	62.4
Etano	16.8	61.0
Nafta [a]	20.0	72.6
Asfalto	22.0	79.9
Lubricantes [a]	20.0	72.6
Coque de petróleo	27.5	99.8
Materias primas de refinería [a]	20.0	72.6
Gas de refinería [b]	18.2	66.1
Otros productos del petróleo [a]	20.0	72.6
FÓSILES SÓLIDOS		
Antracita	26.8	97.3
Carbón de coque	25.8	93.7
Otro carbón bituminoso	25.8	93.7
Carbón sub bituminoso	26.2	95.1
Lignito	27.6	100.2
Esquisto bituminoso	29.1	105.6
Turba	28.9	104.9
Bq. de lignito y prensadas [a]	25.8	93.7
Gas de horno de coque	29.5	107.1
Gas de horno de coque [b]	13.0	47.2
Gas de alto horno [b]	66.0	239.6
FÓSILES GASEOSOS		
Gas natural (seco)	15.3	55.5
BIOMASA		
Biomasa sólida	29.9	108.5
Biomasa Líquida	20.0	72.6
Gas de biomasa	30.6	111.1

valor es un valor por defecto hasta que se determine un FEC específico. Por lo que respecta al gas de bi
se basa en el supuesto de que el 50% del carbono contenido en la biomasa se convierte en metano y qu
emite como CO_2. Las emisiones de CO_2 procedentes del gas de biomasa no deben incluirse en los inven
les. Si no ocurre combustión del biogas liberado, 50% del contenido de carbono deberá incluirse como n
npleará en los cálculo sectoriales.

XI GLOSARIO

Irradiancia, H: Valor instantáneo de la Intensidad luminosa: potencia luminosa recibida en un captador de un metro cuadrado de área. (Unidades: Watt / metro^2)
Símbolo: W/m^2
Insolación: Es valor acumulado de la irradiancia en un tiempo dado. Si la unidad de medición para el tiempo es la "hora" (h), la insolación se mide en Watt por hora entre metro cuadrado
Símbolo: W-h / m^2

Radiación directa, la que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa. Generalmente se usa el subíndice "b" para indicar radiación directa, por el término que se utiliza en ingles: beam (haz, rayo).

La radiación difusa es la que se recibe del Sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la Luna. Suele utilizarse el subíndice "d" para la radiación difusa.

Radiación total, la suma de las radiaciones directa y difusa que se reciben sobre una superficie. Por ejemplo, sobre una pared o una ventana, incide la radiación directa del Sol, la difundida por las nubes y por el cielo y, además, puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto frente a la pared o ventana. Un caso particular, pero de mucho interés practico en el estudio de la energía solar, es el medir la radiación total sobre una superficie horizontal "viendo" hacia arriba. En este caso puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce también como radiación global. Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa.
Colector Solar: Dispositivo que absorbe la radiación solar y transfiere su energía a un fluido
Concentrador: Dispositivo que concentra la componente directa de la radiación Solar sobre un absorbedor
Absorbedor: Componente de un dispositivo solar que tiene como función de captar y retener la mayor cantidad de radiación solar.
Área del absorbedor: Área que recibe la radiación concentrada.
Razón de concentración: Se define como el cociente entre el área de apertura colectora y el área del absorbedor.
Angulo de aceptancia: Amplitud de la zona angular dentro de la cual la radiación es captada por el absorbedor de un concentrador. Por ejemplo, el valor mínimo de aceptación es del orden de ½º y se debe al tamaño finito del sol, mientras que un colector plano tiene un ángulo de aceptación de 180º.
Eje de Concentrador: Línea que pasa por el foco y su vértice.
Angulo de borde: Angulo formado por el eje de un concentrador (tipo parabólico) y la línea imaginaria que va desde su borde al punto focal.

Absortancia: Razón de la radiación solar absorbida a la radiación incidente.

Emitancia: Razón de radiación emitida por la superficie de un cuerpo a la radiación emitida por un radiador perfecto a la misma temperatura.

Eficiencia óptica de un colector: Razón de la energía captada por el colector solar a la energía solar incidente sobre el colector.

Helióstato: Dispositivo que sirve para reflejar la componente directa de la radiación solar sobre un blanco fijo.

Reflectancia: Razón de la radiación reflejada de un material a la radiación incidente sobre el mismo.

Reflectancia Especular: Esta consiste cuando una fracción de la energía entrante incide sobre un espejo con un ángulo de incidencia particular, entonces ésta es reflejada dentro de cierto ángulo sólido que estará centrado alrededor de un rayo saliente con un ángulo igual al de incidencia respecto de la normal.

Factor de forma: Razón de la energía (radiación) incidente sobre un absorbedor a la radiación incidente sobre el área de apertura del concentrador

Transmitancia: Razón de la energía radiante transmitida por un material dado a la energía solar incidente

Eficiencia óptica de un colector: Razón de la radiación que recibe la apertura de un colector ideal en dirección al sol a la que es eventualmente absorbida por el absorbedora de un colector real que puede no estar dirigido directamente hacia el sol. Esta eficiencia depende de la reflectancia del espejo, transmitancia de la envolvente que puede existir sobre el absorbedor, absortividad del absorbedor, factor de forma del sistema concentrador y del ángulo de incidencia de los rayos hacia el absorbedor.

XII BIBLIOGRAFÍA

- Balance Nacional de Energía 2008 y 2009
- Tesis "Colector de Canal Parabólico para la Generación Directa de Vapor para Calor de Proceso"
- Comisión Estatal de Energía del gobierno del Estado de Hidalgo
- Proyectos realizados en Centroamérica respecto a eficiencia en sistemas de vapor.
- Pagina web de CONUEE
- TALLER SOBRE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS PARA APOYO DE PROGRAMAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL
- BM-SENER-USAID
- Material del "Taller sobre identificación y evaluación de proyectos para apoyo de programas de electrificación rural" BM-SENER-USAID, CIE-UNAM
- Ponencia sobre Análisis óptico térmico de concentradores solares Mtro. Daniel Sauceda
- Guía para el desarrollo de proyectos de Bombeo de agua con energía fotovoltaica (volumen 1 libro de consulta) FIRCO, Sandia National Laboratories (SNL) y el Southwest Technology Development Institute (SWTDI)
- Notas de Radiación Solar "PARA EL CURSO DE SOLARIMETRÍA XXXIII SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR" 29 de septiembre al 3 de octubre de 2009 GUADALAJARA, JAL. ING. VICENTE ESTRADA-CAJIGAL R.
- Visión a Largo Plazo Sobre la Utilización de las Energías Renovables en México Energía Solar, Documento preparado para la Dirección General de Desarrollo Tecnológico de la Subsecretaría de Planeación y Desarrollo Tecnológico de la SENER, Coordinador General: Dr. Pablo Mulás del Pozo Mayo 2005