

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN COLECTOR SOLAR EN SISTEMAS DE DESTILACIÓN ALCOHÓLICA MEDIANTE EL MODELO DE SIMULACIÓN TRNSYS

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Presenta: Mauro Vázquez Jahuey

> ASESOR: Dr. Ricardo Beltrán Chacón

CHIHUAHUA, CHIH.

Octubre, 2017

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por el día a día, por todo.

Mi familia por llenarme de motivos para querer ser mejor en todos los aspectos de mi vida.

A la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital y a la CGUT por la oportunidad que me brindaron de cursar mis estudios de maestría en Energías Renovables.

RECONOCIMIENTOS

Al CIMAV, por el valioso aporte de conocimiento técnico-científico a lo largo del tiempo que curse la maestría.

A todos mis profesores de la maestría en Energías Renovables, por su amistad y su disponibilidad incondicional en mi formación profesional.

A mi director de tesis Dr. Ricardo Beltrán Chacón por su amistad y su apoyo.

RESUMEN

En este proyecto se analizaron las condiciones para la implementación de un sistema de calefacción solar CPC en un destilador, para la separación de etanol del fermento de agave (pulque) en pequeñas unidades de producción pulquera del Valle del Mezquital, con la finalidad de minimizar los gastos de producción por uso de combustibles.

La evaluación de las condiciones de operación del colector solar CPC en el sistema de destilación alcohólica, para determinar la factibilidad técnica de su implementación en procesos de recuperación de etanol, se efectuó mediante simulación, a través del Software TRNSYS.

La radiación solar en el Valle del Mezquital presenta niveles más altos que en otras regiones del país, con rangos que pueden llegar hasta los 772 w/m², por esta razón es factible la implementación de un sistema de calentamiento termo solar con fines de destilación de alcohol.

De acuerdo a la información obtenida en el TRNSYS sobre las temperaturas que puede alcanzar un tanque de calentamiento con una capacidad de 300 lts., se determinó que solo se requiere de un colector CPC para lograr abastecer la demanda térmica requerida (80 °C) a excepción de algunas temporadas durante el año, por lo que no tiene caso aumentar más colectores en serie, además de que la eficiencia térmica que puede obtenerse no es significativamente mayor.

RECONOCIMIENTOS iii LISTA DE TABLAS viii INTRODUCCIÓN 2 CAPITULO I 3 1.1. Antecedentes 3 1.2. Delimitación del problema 4 1.3. Justificación 5 1.4 Hipótesis 6 1.5. Objetivo General 6 1.5. Objetivos Particulares: 6 CAPÍTULO I 7 2.1.1 Energía solar 7 2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación direta 12 Irradiación direta 13 2.1.4. Medición de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores concentradores 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de esparación del aclool etilico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30
LISTA DE TABLAS
INTRODUCCIÓN. 2 CAPITULO I 3 1.1. Antecedentes 3 1.2. Delimitación del problema 4 1.3 Justificación 5 1.4 Hipótesis 6 1.5. Objetivo General 6 1.5. Objetivos Particulares: 6 CAPÍTULO II. 7 2.1 MARCO TEÓRICO. 7 2.1.1. Energía solar 7 2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación directa 12 Irradiación difusa. 13 2.1.4. Medición de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores concentradores 20 2.2.3 Colectores concentradores 20 2.2.3 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C2H5OH). 29 2.4.1 Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2 Propiedades físicas del pulque. 30
CAPITULO I 3 1.1. Antecedentes 3 1.2. Delimitación del problema 4 1.3 Justificación 5 1.4. Hipótesis 6 1.5. Objetivo General 6 1.5. Objetivos Particulares: 6 CAPÍTULO II. 7 2.1 MARCO TEÓRICO 7 2.1.1. Energía solar 7 2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación directa 12 Irradiación directa 13 2.1.4. Medición de la radiación solar 13 2.1.5. Análisis de la radiación solar 13 2.1.4. Medición de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2. Colectores solares 16 2.2. 1. Colector de placa plana 18 2.2.2. Colectores concentradores 20 2.2.3. Colectores concentradores 22 2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1. Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentad
1.1. Antecedentes 3 1.2. Delimitación del problema 4 1.3 Justificación 5 1.4 Hipótesis. 6 1.5. Objetivo General 6 1.5. Objetivos Particulares: 6 CAPÍTULO II. 7 2.1 MARCO TEÓRICO 7 2.1.1. Energía solar 7 2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación difusa 13 2.1.4. Medición de la radiación solar 12 Irradiación difusa 13 2.1.5 Análisis de la radiación solar 13 2.1.6 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque 30
1.2. Delimitacion del problema 4 1.3 Justificación 5 1.4 Hipótesis 6 1.5. Objetivo General 6 1.5. Objetivos Particulares: 6 CAPÍTULO II. 7 2.1 MARCO TEÓRICO 7 2.1.1. Energía solar 7 2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación directa 12 Irradiación directa 13 2.1.4. Medición de la radiación solar 13 2.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH). 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30
1.3 Justificación 5 1.4 Hipótesis. 6 1.5. Objetivo General 6 1.5. Objetivos Particulares: 6 CAPÍTULO II. 7 2.1 MARCO TEÓRICO. 7 2.1.1. Energía solar 7 2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación directa 12 Irradiación difusa. 13 2.1.4. Medición de la radiación solar 13 2.1.5 Análisis de la radiación solar 13 2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores concentradores 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.4.1 Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colector de etanol (C_2H_5OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque 30
1.4 Hipótesis61.5. Objetivo General61.5. Objetivos Particulares:6CAPÍTULO II.72.1 MARCO TEÓRICO72.1.1. Energía solar72.1.3. Radiación solar12Irradiación directa12Irradiación directa132.1.4. Medición de la radiación solar132.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital152.2 Colectores solares162.2.1 Colector de placa plana182.2.2 Colectores de Tubos Evacuados202.3. Colectores concentradores222.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar252.3 Consideraciones generales del diseño282.4. Producción de etanol (C_2H_5OH)292.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados.292.4.2. Propiedades físicas del pulque30CAPITULO III32
1.5. Objetivo General61.5. Objetivos Particulares:6CAPÍTULO II.72.1 MARCO TEÓRICO72.1.1. Energía solar72.1.3. Radiación solar12Irradiación directa12Irradiación difusa.132.1.4. Medición de la radiación solar132.1.5. Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital152.2. Colectores solares162.2.1 Colector de placa plana182.2.2 Colectores de Tubos Evacuados202.3.3 Colectores concentradores222.4.1 Colectores generales del diseño282.4. Producción de etanol (C2H5OH)292.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados.292.4.2. Propiedades físicas del pulque30CAPITULO III32
1.5. Objetivos Particulares:
CAPÍTULO II. 7 2.1 MARCO TEÓRICO. 7 2.1.1. Energía solar 7 2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación directa 12 Irradiación difusa 13 2.1.4. Medición de la radiación solar 13 2.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores concentradores 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III 32
2.1 MARCO TEÓRICO.72.1.1. Energía solar72.1.3. Radiación solar12Irradiación directa12Irradiación difusa.132.1.4. Medición de la radiación solar en el Valle del Mezquital152.2 Colectores solares162.2.1 Colector de placa plana182.2.2 Colectores concentradores202.2.3 Colectores concentradores222.2.4. 1 Colectores concentradores con seguimiento solar252.3 Consideraciones generales del diseño282.4. 1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados.292.4.2. Propiedades físicas del pulque.30CAPITULO III32
2.1.1. Energía solar72.1.3. Radiación solar12Irradiación directa12Irradiación difusa132.1.4. Medición de la radiación solar132.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital152.2 Colectores solares162.2.1 Colector de placa plana182.2.2 Colectores de Tubos Evacuados202.2.3 Colectores concentradores222.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs)242.2.4.1 Colectores generales del diseño282.4. Producción de etanol (C2H5OH)292.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados.292.4.2. Propiedades físicas del pulque.30CAPITULO III32
2.1.3. Radiación solar 12 Irradiación directa 12 Irradiación difusa 13 2.1.4. Medición de la radiación solar 13 2.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30
Irradiación directa 12 Irradiación difusa 13 2.1.4. Medición de la radiación solar 13 2.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III 32
Irradiación difusa
2.1.4. Medición de la radiación solar 13 2.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4.1 Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30
2.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital 15 2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
2.2 Colectores solares 16 2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
2.2.1 Colector de placa plana 18 2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados 20 2.2.3 Colectores concentradores 22 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
2.2.2 Collectores concentradores 22 2.2.3 Colectores concentradores Compuestos (CPCs) 24 2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs) 24 2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar 25 2.3 Consideraciones generales del diseño 28 2.4. Producción de etanol (C2H5OH) 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
 2.3 Consideraciones generales del diseño
2.4. Producción de etanol (C ₂ H ₅ OH). 29 2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque. 30 CAPITULO III
2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados. 29 2.4.2. Propiedades físicas del pulque
2.4.2. Propiedades físicas del pulque
CAPITULO III
3.1 METODOLOGIA 32
3 1 2 Establecimiento de los componentes para la operación del TRNSVS con
el colector CPC
3.1.3. Unión de las secciones de los módulos colectores y sus partes38
3.2. RESULTADOS
Radiación solar sobre la zona del valle del mezquital
Eficiencia Térmica del colector solar43
3.3 CONCLUSIONES
3.4 BIBLIOGRAFIA
3.5 GLOSARIO DE TÉRMINOS

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Ciclo de producción del agave pulquero y la alternativa de aprovechamiento industrial4
Figura 2-1-1 Estructura del Sol8
Figura 2-1-2 Mapa de radiación solar mundial. Ref. Soluciones solares, (2011) 9
Figura 2-1-3 Mapa de Irradiación Solar, México, kWh/m2 al día10
Figura 2-1-3 Coordenadas geográficas del municipio de Ixmiquilpan11
Figura 2-1-4 Radiación global anual sobre el Valle del Mezquital. (INEGI 2006)12
Figura 2-1-5 Radiación directa y difusa
Figura 2-1-6 Ángulos de posición del sol. Ref. Hermosillo, J., (1995)14
Figura 2-1-7 Asignación de valores en el Software METEONORM16
Figura 2-2-1. Colector solar plano19
Figura 2-2-2 Diagrama esquemático de un tubo colector evacuado
Figura 2-2-3 Colector de tubos evacuados (a) piso reflector difuso (b) reflector CPC
Figura 2-2-4 Tubos integrados CPC. (a) componente interior parabólico. (b) Reflector circular colector de aleta
Figura 2-2-5 a) Panel CPC colector con absorbentes cilíndricos lineales (200-300 °C). b) Concentración puntual alcanzan temperaturas de más de 300ºC22
Figura 2-2-6 Varios tipos de absolvedores de CPCs25
Figura 3-1-1 Secuencia metodológica para la evaluación de la eficiencia de colectores solares en sistemas de destilación
Figura 3-1-3 Esquema del sistema de calentamiento solar. Fuente propia33
Figura 3-1-3 Distribución de la simulación del proceso de destilación en TRNSYS.39
Figura 3-2-1 Radiación solar promedio en el Valle del Mezquital. Ref. Software METEONORM V 5.041
Figura 3-2-2 Comparación entre los meses de mayor y menor radiación41
Figura 3-2-3 Comparación entre los meses de mayor y menor temperatura42

Figura 3-2-4 Radiación total durante 7 días para Septiembre	.42
Figura 3-2-5 Comparación entre las temperaturas de salida del sistema con diferente número de colectores CPCs.	.43
Figura 3-2-6 Comparación entre las temperaturas de salida del colector con diferente numero de colectores CPCs.	.44

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Irradiación solar promedio en México por día 10)
Tabla 2-2 Promedios de Radiación solar en Ixmiquilpan Hidalgo. datos en kWh/m	2 ² 11
Tabla 2-3 Colectores de energía solar18	3
Tabla 2-4 Características típicas del sistema del tubo colector evacuado	l
Tabla 2-5 Rangos de temperatura para varios procesos industriales	3
Tabla 3-3 Datos Mezcla Agua/Glycol. 36	5
Tabla 3-4 Demanda de energía calorífica por unidad de tiempo 38	3

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de energía actual están basados en energías no renovables y tecnologías poco eficientes, son insostenibles a mediano plazo debido a su agotamiento y a graves efectos nocivos al medio ambiente, es necesaria la implementación de nuevas alternativas energéticas que sean sustentables en los diferentes ámbitos de la vida.

La utilización de sistemas de calentamiento solar en los procesos de destilación, tanto industrial como en pequeñas unidades productivas, representa una opción que permitirá una reducción sustancial de los costos de producción y el incremento de la competitividad del bioetanol frente a la gasolina, así como de las bebidas alcohólicas destiladas.

Tradicionalmente se ha consumido el pulque como una bebida alcohólica fermentada por la población Mexicana, debido a su alto contenido de etanol (4-8 % p/p) una vez que ha sido fermentado, la separación del alcohol para su aprovechamiento ya sea como bebida destilada o como combustible representa una opción más que incrementaría los ingresos económicos de los productores de este líquido ancestral.

En el presente estudio se analizó la irradiación sobre la región del valle del mezquital, las características de los principales modelos de colectores solares y se realizó una simulación en el software TRNSYS, para determinar la pertinencia de su implementación en procesos de recuperación de etanol en pequeñas unidades de producción pulquera del Valle del Mezquital.

CAPITULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La separación de las soluciones acuosas diluidas de etanol (C₂H₅OH) ha sido un proceso bastante estudiado y probado industrialmente. Sin embargo, la necesidad de obtener alcohol de fuentes biológicas alternas cumpliendo con los correspondientes estándares de calidad y de reducir los costos energéticos invertidos en su recuperación ha impuesto una serie de retos a la industria y la investigación. Adicionalmente, el impacto ambiental que presentan algunas tecnologías tradicionales de separación ha hecho que la investigación sobre esquemas alternativos y no convencionales sea mucho más intensa (Montoya *et al.*, 2011).

El desarrollo de procesos integrados permitirá una reducción sustancial de los costos de producción y el incremento de la competitividad del bioetanol frente a la gasolina. Por otro lado, la integración de procesos es una condición indispensable para optimizar el proceso de producción de etanol, de tal manera que se consideren como objetivos no sólo la minimización de los costos productivos o la maximización de diferentes indicadores financieros, sino también el mejoramiento de los índices de desempeño ambiental de este proceso (Montoya *et al.*, 2011).

1.2. Delimitación del problema

El proyecto contempla el establecimiento de las condiciones apropiadas para la instalación de un destilador mediante un sistema de calentamiento solar que sea económico, tomando en cuenta la irradiación anual de la región del Valle del Mezquital en donde se propone su implementación. Para la destilación de los sobrantes del comercio del pulque el cual tiene un alto contenido alcohólico (4-8 %) que convencionalmente termina sin ser aprovechada por falta de alternativas para su industrialización (figura 1.2.1), debido a que implica:

- La adquisición de un sistema de destilación acorde a los requerimientos locales y
- Altos costos en insumos energéticos para la operación del sistema de destilación.



Figura 1-1 Ciclo de producción del agave pulquero y la alternativa de aprovechamiento industrial.

1.3 Justificación

El pulque es una bebida alcohólica proveniente de la extracción de jugo del *Agave mexicana* (Maguey pulquero), el cual se consume en todo el centro de México únicamente como producto fermentado. Hasta antes de los años 50's era la bebida alcohólica más consumida en el país, lo que provoco un desarrollo industrial en torno al maguey del cual se beneficiaba una gran parte de los productores locales, pero derivado de una fuerte campaña de desprestigio por parte de la industria cervecera el pulque fue perdiendo aceptación en el mercado nacional, disminuyéndose así su consumo, por lo que los excedentes desaprovechados pueden destinarse a la destilería con diversas finalidades como las bebidas alcohólicas destiladas o los biocombustibles (Ramírez, 2004).

Los procesos de destilación requieren de grandes cantidades de recursos energéticos que pueden ser sustituidos por energía termo solar, para calor de proceso industrial.

Los principales problemas a considerar al diseñar un sistema de energía solar para calor de proceso industrial, son la cantidad de energía que se empleara, la temperatura en el cual el calor debe ser entregado durante el proceso, ya que se pueden requerir temperaturas que varían por varias decenas de grados Celsius en las diferentes etapas.

De cualquier forma, es necesario realizar diseño experimental antes de llevar a la práctica un sistema de energía solar que será aplicado a un proceso particular.

1.4 Hipótesis

La evaluación de irradiación solar en la zona de operación y la eficiencia de los parámetros de funcionamiento de un colector solar CPC destinada al calentamiento de un sistema de destilación alcohólica, puede efectuarse con la ayuda del simulador dinámico TRNSYS.

1.5. Objetivo General

Evaluar las condiciones de operación del colector solar CPC en un sistema de destilación alcohólica (C₂H₅OH), para determinar la factibilidad técnica de su implementación en procesos de recuperación de etanol, en pequeñas unidades de producción pulquera del Valle del Mezquital, mediante simulación, a través del Software TRNSYS.

1.5. Objetivos Particulares:

- Evaluar la radiación solar del Valle del Mezquital durante un año, a través de los softwares METEONORM y TRNSYS.
- Evaluar la capacidad de un colector CPC para el abastecimiento de calor en un sistema de destilación alcohólica de efecto simple, mediante simulación TRNSYS.

Determinar la cantidad de colectores en serie que se requieren para producir la cantidad de calor requerida en la destilación de 300 lts. de pulque.

CAPÍTULO II.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1. Energía solar

El Sol es una gran bola de gases de hidrógeno y helio fuertemente comprimidos por su propia gravedad, lo cual genera en su interior alta densidad y temperaturas de varios millones de grados. En estas condiciones ocurre un proceso continuo de termo-fusión nuclear, por el cual núcleos de hidrógeno se fusionan formando helio. En este proceso la masa se transforma en energía. Así, en la fusión de cada kilogramo de hidrógeno se convierte aproximadamente un gramo de masa, liberándose una energía de nueve millones de millones de Joules (J). En los 5000 millones de años de vida que lleva el Sol, ya ha quemado aproximadamente la mitad de su combustible nuclear, de modo que aún le quedan otros 5000 millones de años por alumbrar.



Figura 2-1-1 Estructura del Sol.

La energía generada continuamente en el interior del Sol es absorbida por las zonas exteriores que conforman la fotósfera. Esta capa, de la cual proviene la luz solar que observamos nosotros en la Tierra, tiene un espesor inferior a una milésima parte del radio solar y su temperatura media es de unos 5500 °C. La fotósfera juega un rol similar al de la pantalla incandescente de una estufa. De ella proviene la radiación térmica que nos llega a nosotros (Grasi *et al.,* 2004).

La fotósfera emite ondas electromagnéticas en un amplio rango de frecuencias, no sólo en el rango visible (desde el color rojo al violeta), sino también en los rangos no visibles para el ojo humano, como son el infrarrojo, el ultravioleta, los rayos X y los rayos gama. La mayor intensidad emitida corresponde al rango visible (lo cual no es casualidad) y disminuye para frecuencias mayores y menores, siguiendo una ley de distribución espectral similar a la que emite un horno a 5500 grados Celsius (Ley de Planck).

2.1.2. La constante solar (Gsc)

Es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. Se acepta el valor de Gsc = 1353 W/m² (1940 cal. cm². min-1). En la Figura 2-1-2 se puede apreciar la variación de la radiación solar mundial dependiendo de la zona que recibe dicha radiación. Se puede observar que la zona media del mapa es la que recibe mucho más radiación solar que las zonas superior e inferior.



Figura 2-1-2 Mapa de radiación solar mundial. Ref. Soluciones solares, (2011)

México tiene un buen nivel de Irradiación solar que oscila de 5 kWh/m² día, ver Figura 2-1-3, por lo que podemos aprovechar esta energía disponible para varias aplicaciones no tiene costo y no contamina al medio ambiente (Almanza *et al.*, 1992).



Figura 2-1-3 Mapa de Irradiación Solar, México, kWh/m2 al día. Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas IIE.

Regiones con Insolación Normal Directa entre 6 y 7 kWh/m² por día (valor muy bueno): Sinaloa, Nayarit, Durango, sur de Zacatecas, Aguascalientes, Guerrero, una parte de Michoacán, una parte de Jalisco, Colima, Querétaro, el este de Hidalgo (IIE 2010).

Las coordenadas geográficas del municipio de Ixmiquilpan son las que se muestran en la figura 2-1-3.



Figura 2-1-3 Coordenadas geográficas del municipio de Ixmiquilpan. Fuente. Elevación de modelo de NASA GEOS-4

Respecto al estado de Hidalgo es una zona con altos índices de radiación solar (4.95 a 5.70 kWh/m².día) como se ve en la tabla 2-2 y con condiciones meteorológicas favorables para el aprovechamiento de la energía solar, en sus modalidades de: "térmica" y "fotovoltaica" como se muestra en la figura 2-1-4.

Tabla 2-2 Promedios de Radiación solar en Ixmiquilpan Hidalgo. datos en kWh/m ²													
Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
ixmiquilpan	4.9	5.7	6.14	6.1	5.57	4.7	4.1	4.1	4.3	4.4	4.2	4.3	4.89
Directa	1.0	1.19	1.63	2.07	2.39	2.46	2.42	2.32	2.13	1.79	1.43	1.13	1.83
Difusa	7.3	7.66	6.89	5.85	4.55	3.19	2.49	2.52	3.31	4.23	5	6.15	4.91
Global	6.8	6.9	6.46	6.04	5.54	4.7	4.15	4	4.38	4.79	5.22	5.69	5.38

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctrica, 2014.



Figura 2-1-4 Radiación global anual sobre el Valle del Mezquital. (INEGI 2006)

2.1.3. Radiación solar

La irradiación solar que incide sobre la tierra se divide en:

Irradiación directa

Es la componente del flujo radiactivo solar que incide sobre una superficie unidad y que no ha sido dispersada por la atmósfera. Esta componente tiene en cada instante una dirección perfectamente definida que coincide con la dirección de propagación del flujo solar, ver Figura 2-1-5 (Huezo y Moran, 2012).

Irradiación difusa

Es la componente del flujo radiactivo solar que incide sobre una superficie unidad, cuya dirección de propagación ha sido modificada por dispersión en la atmósfera. A diferencia con la irradiancia directa, esta radiación llega a la superficie desde cualquier región del hemisferio (Huezo y Moran, 2012).



Figura 2-1-5 Radiación directa y difusa

2.1.4. Medición de la radiación solar

El dispositivo más común para medir la radiación solar es el pyranómetro, algunas veces llamado radiómetro o solarímetro, el cual mide la radiación solar global, compuesta de radiación solar directa y de la radiación dispersada (difusa). Un porcentaje significativo de radiación medida es directa, la cual toma un valor máximo cuando ésta incide perpendicularmente sobre el sensor. En un día claro la radiación global medida se incrementa desde cero cuando el sol sale, alcanza un máximo al medio día y decrece a cero nuevamente cuando el sol se oculta. En cualquier momento, las nubes pueden interceptar el sol y la energía decrece a valores bajos fenómeno que puede apreciarse en la Figura 2-1-5 (Huezo y Moran, 2012). Cada día, el Sol, para un observador situado en la Tierra, sigue una trayectoria circular a través del firmamento, alcanzando su punto más alto al mediodía. Por otra parte, esta trayectoria circular aparente se mueve hacia puntos más altos en el firmamento a medida que el invierno trascurre y llega el verano. Durante el verano, el amanecer acontece más temprano, y el atardecer más tarde. Dado que los movimientos de la Tierra y el Sol son relativos entre sí, suponiendo que la tierra esta fija en el espacio, que el sol describe un movimiento virtual alrededor de esta, y que el origen de coordenadas se localiza en el lugar de interés situado en la tierra. Desde este punto de vista, el Sol está restringido a moverse con dos grados de libertad en la esfera celeste. En consecuencia, su posición en el firmamento queda descrita mediante dos variables angulares: la altura solar y el acimut solar. Como se muestra en la Figura 2-1-6, la primera de estas variables define el ángulo que la visual al Sol forma con el horizonte, en tanto que la segunda define la desviación que tienen los rayos del Sol con respecto al sur verdadero (Hermosillo, 1995).



Figura 2-1-6 Ángulos de posición del sol. Ref. Hermosillo, J., (1995)

El cálculo preciso de estas variables depende fundamentalmente de tres parámetros: la latitud del lugar (Φ), la declinación (δ) y el ángulo horario (ω). La latitud queda definida mediante el ángulo que determina el lugar de interés sobre la Tierra, con respecto al plano del ecuador, este ángulo es positivo cuando se mide hacia el norte del ecuador, y negativo cuando lo es hacia el sur de este. La declinación define la posición angular del Sol al medio día solar, es decir, en el momento en que el Sol está más alto en el firmamento con respecto al plano del Ecuador (Hermosillo, 1995).

2.1.5 Análisis de la radiación solar en el Valle del Mezquital

Para el presente estudio se analizó la radiación solar en la zona del Valle del Mezquital, y de manera particular en el municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo el cual se ubica a una longitud de 99°11' y una latitud de 20°,29', una altitud de 1740 msnm y considerado como un valle. Para dicho análisis, se utiliza el Software METEONORM.

En primer lugar se ejecuta el software, posteriormente se activa la pestaña que dice lugar y se insertan los datos geográficos básicos que solicita el programa para la creación del lugar deseado (ver figura 2.1.7).

Para obtener la base de datos que genera METEONORM a partir de los datos asignados se accede a la pestaña formato y se selecciona la opción de salida **TMY2** para que sea compatible con el software TRNSYS así como el lugar de ubicación del archivo de salida y el nombre asignado para que lo lea TRNSYS al programarlo.

Editar		Bern-Bollwerk
Buscar lugar	* >>	IXMIQUILPAN Ixmiguilpan, Hidalgo
Nombre del lugar	IXMIQUILPAN	Lugano PayerneM
Altitud [m]:	2000	Schaan_EW Thun
Coord. X [km]:	0 Nuevo lugar	Zürich
Coord. Y [km]:	0	
Longitud [*,* (E:+)]:	-99.13 Grabar	
Latitud [*,']:	20.29 Rowar	
Uso horario	6	
Situatión:	Valle 🗸	
Tipo de lugar:	Lugar deseado 🛛 👻	
Código:	IXMI	
IZRM:	-30	
Continente	America del norte	
Zona climática:	503	<u>C</u> ancelar
		OK
Sistema del tiempo:	⊙ legal 🔿 solar	<u>U</u> K

Figura 2-1-7 Asignación de valores en el Software METEONORM.

Para el análisis de disponibilidad del recurso solar generado en METEONORM se utilizó el programa de TRNSYS.

2.2 Colectores solares

Los colectores de energía solar son tipos especiales de intercambiadores de calor que transforman la energía de radiación solar en energía térmica y dicha energía la transfieren a un medio de transporte.

Los procesos de conversión térmica proporcionan la energía necesaria para calentar o enfriar espacios, calentamiento de agua doméstica, generación de potencia, destilación y otros procesos de calentamiento (ASHARE, 1999).

El principal componente de cualquier sistema de energía solar es el colector o captador solar, un dispositivo que absorbe la radiación solar entrante,

la convierte en calor, y la transfiere a un fluido térmico (por lo general agua, aceite o aire) que fluye a través del colector.

La energía solar recogida se transporta mediante el fluido que circula hasta un tanque de almacenamiento de energía térmica, de la que pueden extraerse para uso nocturno o en días nublados, o bien se puede aplicar de manera directa (ASHARE, 1999).

Clasificación de los colectores solares

- Sistemas de Baja Temperatura: Alcanzan, aproximadamente, los 70° C mediante colectores solares planos. Utilizados para aplicaciones domésticas, como agua caliente, calefacción, etc.
- Sistemas de Media Temperatura: Hasta los 300° C, mediante colectores de concentración, reciben la radiación debidamente concentrada en unos dispositivos para tal efecto. Sus aplicaciones se centran en procesos industriales y para la producción de electricidad.
- Sistemas de alta temperatura: Se utilizan dispositivos que consiguen la concentración en un punto de la radiación, alcanzando temperaturas superiores a los 350º C. La aplicación principal es la obtención de vapor.

Por el sistema de captación pueden clasificarse en dos tipos: no concentradores o estacionarios y de concentración, ver tabla 2-3.

Un colector concentrador tiene una área para interceptar la radiación solar es mayor que el área del receptor donde se absorbe la radiación solar, es decir, es capaz de aumentar el flujo de radiación, lo que los hace adecuados para aplicaciones de alta temperatura.

La concentración se refiere al aumento o magnificación de la energía solar en el receptor del sistema. Es la relación entre el área de captación dividida por el área del receptor (conocida como concentración geométrica).

Tabla 2-3 Colectores de energía solar.						
Mecanismo	Tipo de colector	Tipo de absorción	Radio de concentración	Rango de temperatura		
	Colector de placa plana	De piso	1	30-80		
Estacionarios	Colector de tubos evacuados	De piso	1	50-200		
	Colector parabólico	tubular	1-5	60-240		
	concentrado (CPC)		5-15	60-300		
Seguimiento	Reflector lineal fresnel (LFR)	tubular	10-40	60-250		
axial.	Colector de canal cilíndrico (CTC)	tubular	15-50	60-300		
	Colector de canal parabólico (CTC)	tubular	10-85	60-400		
Seguimiento	Reflector parabólico de disco (PDR)	Punto	600-2000	100-1500		
de doble eje.	Colector de campo heliostatico (HFC)	Punto	300-1500	150-2000		

Nota: el radio de concentración se define como el área de apertura dividida entre el área del colector.

Para el presente análisis se consideraron los colectores solares que pueden abastecer el sistema de destilación tomando como referencia un rango de temperatura de entre 80 y 90 °C, que corresponde a la temperatura de destilación del etanol. Por lo que se presentan las principales características de tres de tipos de colectores estacionarios: de placa plana, Colector de tubos evacuados y colector parabólico concentrado (CPC), los cuales se describen a continuación.

2.2.1 Colector de placa plana

Consiste en un panel metálico plano que presenta una superficie absorbente de radiación solar. Se coloca sobre una estructura protectora (caja de madera o chapa galvanizada). En la parte superior se coloca una lámina de vidrio y por la parte inferior y los laterales tienen material aislante, como se muestra en la Figura 2-2-1.



Figura 2-2-1. Colector solar plano.

Básicamente los colectores planos están formados por:

- Cubierta transparente
- Placa o aletas de metal
- Tubos
- Caja
- Aislante térmico

La cubierta transparente (generalmente vidrio) se encarga de producir un efecto invernadero dentro del colector, porque permite la entrada de la radiación solar incidente (de onda corta) impidiendo la salida de la energía de la placa al calentarse (de onda larga).

Las placas o aletas de metal generalmente son de una aleación de cobre ya que este material ofrece buena transmisión de calor, durabilidad y de fácil trabajo. Su función es aumentar la superficie de absorción de calor.

Los pequeños tubos son por donde circula el agua mientras se calienta. Suelen estar soldados sobre una placa metálica negra o en su defecto tienen aletas soldadas sobre sus bordes.

La caja es el soporte de todos los demás componentes. Suele ser de chapa galvanizada, ya que este material es económico y resistente a los fenómenos climáticos.

2.2.2 Colectores de Tubos Evacuados

Los colectores de calor solar de tubos al vacío (CTE) funcionan de manera diferente que los colectores planos disponibles en el mercado. Estos colectores solares consisten en un tubo de calor dentro de un tubo sellado al vacío, como se muestra en la **Figura 2.2.2.1**.



Figura 2-2-2 Diagrama esquemático de un tubo colector evacuado.

Los CTE han demostrado que la combinación de una superficie selectiva y un supresor eficaz de la convección puede dar un buen funcionamiento con temperaturas altas. El vacío reduce las pérdidas por convección y conducción, así que estos colectores pueden funcionar en temperaturas más altas que los colectores planos.

Utilizan una pequeña cantidad de líquido que cambia de fase líquidovapor (ejemplo, metanol) para trasportar el calor en un ciclo de evaporacióncondensación. Porque no hay evaporación o condensación posible sobre la temperatura de cambio de fase el CTE ofrece la protección inherente contra la congelación y el recalentamiento.

Las características típicas de un CTE se muestran en la Tabla 2-2-3. En el mercado exhiben muchas formas del receptor y es posible encontrar CTE acoplados a CPC.



Figura 2-2-3 Colector de tubos evacuados (a) reflector difuso de piso, (b) reflector CPC

Tabla 2-4 Características ti	picas del sistema	del tubo colector	evacuado.
------------------------------	-------------------	-------------------	-----------

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro del tubo	65 mm.
Espesor del vidrio	1.6 mm.
Longitud del colector	1965 mm
Material del plato de absorción	Cobre
Revestimiento	Selectivo.
Área de absorción	0.1 m ²

Otro tipo de colector es el parabólico compuesto integrado (CPCI). Es un colector evacuado en el cual, en la parte inferior del tubo de cristal, está fijo un material reflexivo (Winston et al., 1999). En este caso, se utiliza un reflector del CPC, **Figura 2-2-4 a**, o un reflector cilíndrico, **Figura 2-2-4 b**. Este último tiene un costo de fabricación muy bajo. De esta manera, el colector combina en una sola unidad las ventajas del aislamiento del vacío y de la concentración sin seguimiento solar (Grass et al., 2000).



Figura 2-2-4 Tubos integrados CPC. (a) componente interior parabólico. (b) Reflector circular colector de aleta.

2.2.3 Colectores concentradores

En estos tipos de colectores se utilizan espejos que concentran la radiación solar sobre un foco determinado a través de una línea denominada eje focal, donde se ubica el receptor.



Figura 2-2-5 a) Panel CPC colector con absorbentes cilíndricos lineales (200-300 °C). b) Concentración puntual alcanzan temperaturas de más de 300°C.

Los concentradores pueden ser reflectores o refractores, cilíndricos o parabólicos, y pueden ser continuos o divididos en segmentos. Los receptores pueden ser convexos, planos, cilíndricos, o cóncavos y pueden ser o no cubiertos con películas selectivas y pueden o no estar protegidos por vidrio de alta pureza.

Las temperaturas de los sistemas de energía solar se pueden aumentar disminuyendo el área del receptor y reducir así las pérdidas de calor. La temperatura alcanzada por estos sistemas está muy por encima de los colectores de placa plana. La concentración se logra interponiendo un dispositivo óptico entre la fuente de radiación y la superficie de absorción de energía. Los concentradores ofrecen grandes ventajas sobre los que no cuentan con concentración (Kalogirou, 1994a).

Las razones de concentración, es decir, el cociente entre la abertura del concentrador (o área de captación) y el área del receptor, pueden variar por diferentes órdenes de la magnitud, desde unas cuantas unidades hasta valores del orden de 10,000.

En los sistemas de concentración se requiere alta precisión en el seguimiento y alta calidad del sistema óptico.

Las ventajas principales son:

- El fluido operante puede alcanzar más temperatura que un sistema de placa plana con la misma superficie de captación de energía solar. Esto significa que se tiene una disponibilidad termodinámica más alta.
- Se logran temperaturas para hacer funcionar dispositivos termoiónicos, termodinámicos, u otros de alta temperatura.

- La eficacia térmica es mayor debido a que se reducen las pérdidas de calor concerniente al área del receptor.
- El costo-beneficio es mayor en los colectores de concentración.
- Debido al área relativamente pequeña del receptor, el tratamiento superficial selectivo y el aislamiento de vacío para reducir las pérdidas de calor y mejorar la eficacia del colector son económicamente viables.

Sus desventajas son:

- Los sistemas del concentrador no recogen radiación difusa.
- Se requiere cierta forma de sistema de seguimiento solar para permitir operar el colector de concentración.
- Las superficies reflectoras solares pueden perder su reflexión con el tiempo y pueden requerir la limpieza periódica y restauración.
- Los costos de inversión y mantenimiento son mayores.

2.2.4. Concentradores Parabólicos Compuestos (CPCs)

Los colectores parabólicos compuestos (CPC) no forman una imagen bien definida del sol en el receptor. Tienen la capacidad de reflejar toda la radiación incidente dentro de los límites del receptor. La necesidad de mover el concentrador para dar cabida a la orientación al cambio de la posición solar se puede reducir mediante el uso de CPCs, ver Figura 2-2-4 (Winston, 1974).

Los CPCs pueden aceptar la radiación solar entrante a través de una amplia gama de ángulos. Mediante el uso de múltiples reflexiones internas, la radiación que entra a la abertura en el ángulo de aceptación de colección encuentra su camino a la <u>superficie de absorción</u> del receptor situado en la parte inferior del colector.

Se han diseñado dos tipos básicos de colectores CPCs: simétrica y asimétrica. Suelen emplear dos tipos de receptores: el tipo aleta con un tubo y receptores tubulares. El tipo de aleta puede ser plana, bifaciales, o de cuña, como se muestra en la Figura 2-2-5 para el tipo simétrico, y puede ser de un solo canal o multicanal.



Figura 2-2-6 Varios tipos de absorvedores de CPCs

Los CPCs deben tener un espacio entre el receptor y el reflector para evitar que el reflector actúe como aleta y conduzca el calor fuera del receptor. Esto resulta más importante para los de receptor plano.

Para los usos de alta temperatura se puede utilizar un CPC con seguimiento, éste puede ser poco preciso e incluso intermitente, puesto que la razón de concentración es generalmente pequeña y la radiación se puede recoger y concentrar por una o más reflexiones en las superficies parabólicas.

2.2.4.1 Colectores concentradores con seguimiento solar

El movimiento del sol se puede seguir por dos métodos.

El primero es el método *altazimuth*, que requiere el dispositivo de seguimiento dar vuelta en **altitud y acimut**, cuando éste método se realiza

correctamente permite al concentrador seguir el sol exactamente. Los colectores solares paraboloidales utilizan generalmente este sistema.

El segundo es un eje de seguimiento, en el cual el colector sigue el sol en una sola dirección, de Este al Oeste o de Norte a Sur. Los colectores parabólicos de canal utilizan generalmente este sistema. Estos sistemas requieren ajuste continuo y exacto para compensar los cambios en la altitud solar del sol. El seguimiento de tipo ecuatorial, el eje de rotación se encuentra fijo y es paralelo al eje de rotación de la tierra.

La luz reflejada o refractada se concentra en una zona focal, así se aumenta el flujo de energía en el receptor.

Los concentradores también se pueden clasificar en los que forman una imagen bien definida del sol y aquellos que no forma una imagen definida (como el caso del CPC).

Los colectores que forman una imagen definida en el receptor son:

- Concentrador de canal parabólico.
- Reflector lineal tipo Fresnel.
- Plato parabólico.
- Receptor de torre central.

Balance de energía en los CPCs

El balance de energía en un CPC 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:

$$\mathbf{q}_{u} = \mathbf{q}_{abs} - \mathbf{U}_{c} (\mathbf{T}_{c} - \mathbf{T}_{a}) \mathbf{A}_{r}$$
 Ecuación 1.4

26

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

 $q_{abs} = \eta A_a G_d$ Ecuación 1.5

Siendo: A_a área de apertura;

- Ar 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
- η Eficiencia óptica.

Si la eficiencia instantánea de los colectores está dado por:

$$\eta_c = \frac{q_c}{G_d A_a}$$
 Ecuación 1.6

Entonces:

$$\eta_c = \eta_o - \frac{U_c (T_c - T_a)}{G_d} \frac{1}{C}$$
 Ecuación 1.7

Selección de colector solar.

Considerando las características de cada tipo de colector descrito anteriormente se eligió utilizar el colector parabólico concentrado (CPC), por las siguientes razones:

- La energía que abastece es la requerida para la temperatura de destilación del etanol.
- Es de un costo menor a los sistemas de seguimiento de ata eficiencia.

- Requiere mantenimiento mínimo.
- No utiliza energía extra (como lo hacen los seguidores para seguir el movimiento del sol).

2.3 Consideraciones generales del diseño

Los procesos industriales más importantes en los que se puede usar energía solar de mediana temperatura son: esterilización, pasteurización, secado (granos, frutas, maderas), hidrolización, **destilación**, evaporación, lavado y limpieza, y polimerización. Algo de los procesos más importantes y de la gama de las temperaturas requeridas para cada uno se muestra en Tabla 2-5 (Kalogirou, 2004).

Tabla 2-5 Rangos de temperatura para varios procesos industriales.					
Industria	Procesos	Temperatura (°C)			
	Pasteurización	60-80			
	Esterilización	100-120			
Industria láctea.	Secado	120-180			
	Concentradores	60-80			
	Boiler alimentador de agua	60-80			
	Esterilización	110-120			
Preparación de	Pasteurización	60-80			
alimentos	Alimentos cocinados	60-90			
	Limpieza	60-90			

2.4. Producción de etanol (C₂H₅OH).

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases.

En vez de introducir una nueva sustancia en la mezcla, con el fin de obtener la segunda fase (como se hace en la absorción o desorción de gases) la nueva fase se crea por evaporación o condensaci6n a partir de la solución original.

La destilación alcohólica consiste en la separación del alcohol etílico casi siempre de una solución con agua y sólidos disueltos, como es el caso del pulque, que regular mente presenta una fracción de entre 3 y 6 % de alcohol disuelto (Treybal, 1985).

2.4.1. Procesos de Separación del alcohol etílico en mostos fermentados.

La separación y recuperación del alcohol etílico (C₂H₅OH) producido a partir de diferentes materias primas se hace prácticamente de la misma manera. La concentración de alcohol en los caldos de cultivo resultantes de los procesos de fermentación oscila entre 2,5 y 10% (v/v), por lo que es necesario concentrar el etanol hasta valores mayores a 40% (v/v) para su consumo como bebida destilada y hasta 99% (v/v) para obtener así alcohol anhidro (deshidratado), que es el utilizado en calidad de aditivo para la gasolina, ya que la presencia de agua en el EtOH puede conllevar a fallas durante la combustión en el motor (Wyman, 1994).

La primera etapa para la obtención de alcohol anhidro es la destilación convencional que eleva la concentración de EtOH en el caldo hasta un 45-50% (v/v). Luego se puede obtener un destilado con una concentración de 90-92%

(v/v) mediante una columna de rectificación (Wooley et al., 1999b). Debido a las propiedades físico-químicas de las mezclas alcohol-agua, es imposible retirar completamente el agua a presión atmosférica como consecuencia de la formación de una mezcla azeotrópica que implica la obtención de mezclas con un máximo de 95,6% en peso de EtOH, por lo que son necesarios procesos de separación no convencionales.

En este caso la temperatura de ebullición normal del agua es 100 °C y la del etanol 78,3 °C y la mezcla azeotrópica etanol-agua tiene una temperatura de ebullición mínima de 78 °C; esta mezcla azeotrópica tiene una fracción molar de etanol igual a ($XC_2H_5OH = 0,97$), es decir, que por destilación fraccionada a la presión atmosférica no puede obtenerse etanol puro, sino que siempre se obtiene un alcohol de un 97 por ciento (%) de pureza, aproximadamente.

Entre los procesos de separación no convencionales se cuenta la destilación a bajas presiones, la destilación azeotrópica, la destilación extractiva, la adsorción y la pervaporación La destilación a vacío hace uso del cambio en el equilibrio de fases a presiones inferiores a la atmosférica, lo que conlleva a la desaparición del azeótropo por debajo de los 6 kPa. Pero para obtener un producto de alta pureza es necesario utilizar torres con gran número de etapas (por encima de 40) y con altas relaciones de reflujo, con elevados costos de capital y energéticos debido al mantenimiento del vacío en columnas con gran cantidad de platos (Montoya et al., 2005).

2.4.2. Propiedades físicas del pulque.

Unas de las principales características del pulque son sin lugar a dudas sus variaciones en cuanto a componentes físicos y químicos, los cuales dependen de múltiples factores como: la variedad de maguey, el estado de fermentación, las condiciones climatológicas, entre otros, por lo que no es posible ofrecer un dato exacto para los cálculos requeridos en el presente estudio, a continuación se presenta los datos reportados por Ramírez (2004) con el objetivo de lograr información más confiable para el análisis.

Parámetro	Rango		
°Brix	1.5	3	
Densidad (g/cm ³)	1.014	1.021	
Índice de refracción	1.294	1.334	
Grado alcohólico v/v	4.3	5.4	

Tabla 2-6 Propiedades físicas del pulque.

Fuente. Ramírez 2004 Y UTVM.

CAPITULO III

3.1. METODOLOGIA

La técnica de investigación a emplearse es mediante la simulación con el software METEONORM y TRANSYS, que permite conocer de forma teórica la eficiencia térmica del colector solar bajo diferentes condiciones de operación, con el propósito de identificar su eficiencia y utilidad.

El proceso se efectúa en 5 etapas principales las cuales se describen a continuación en la figura 3-1-1:



Figura 3-1-1 Secuencia metodológica para la evaluación de la eficiencia de colectores solares en sistemas de destilación.

En el TRNSYS se registraron los parámetros del flujo del fluido caloportador, temperatura de entrada y salida al colector, temperatura ambiente, temperatura del tanque con calefactor y la radiación solar; éstos parámetros nos permiten determinar experimentalmente el coeficiente global de pérdidas térmicas y la eficiencia instantánea. Los datos han sido procesados y analizados en Excel.

3.1.2. Establecimiento de los componentes para la operación del TRNSYS con el colector solar

La configuración de los campos colectores se modeló con varios componentes que representan a cada uno de los partes analizadas, a partir de la adaptación de una propuesta tomada de Patiño, 2008., con los componentes que se muestran en la tabla 3.3.1 y se describen detalladamente.



Figura 3-1-3 Esquema del sistema de calentamiento solar. Fuente propia

COMPONENTE	NUM	TIPO	UNIDADES.
Datos meteorológicos	2	Type 109-TMY2	Radiación
Bomba	12	Type 3b	Kg/hr.
Colector	13	Type 74	Kj/m².hr
Tanque de destilación	33	Type 60h	Kg/hr.
Conversor de unidades.	17	Type 57	kJ/hr-m ² a W/m ²
Control	14	Type 2	Temperatura/flujo
	29	Type 65 a	A Excel
	7	Type 65d	Graficador 1
Exportador de archivos	10	Type 65d-2	Graficador 2
	20	Type 65d-3	Graficador 3
	21	Type 65d-4	Graficador 4
Consumo	8	Type 14	Kg/hr.
Desviador de flujo condensador	19	Type 11h	
Desviador de flujo	18	Type 11b	
Psicrómetro	16	Туре 33е	
Impresora	23	Type 25 a	
	26	Type 25 a-2	
	28	Type 25 a-3	

Tabla 3-1 Componentes de sistema colector en el TRNSYS

Colector solar parabólico concentrado (CPC)

Para el caso propuesto se definirán las condiciones del dimensionado (número de colectores, volumen de acumulación, etc.), basados en la demanda de temperatura asumida.

Como una primera aproximación, se asumirá una inclinación de los colectores de 30°. Asimismo, se asume que la azotea a utilizar permite la orientación de los colectores hacia el ecuador, es decir, el azimuth de los colectores es 0°.

Las características del sistema del colector CPC se muestran en la Tabla 3-2.

PARÁMETRO	VALOR/TIPO		
Margen de temperatura del colector.	90°C		
Superficie reflexiva.	acrílico cromado		
Material del receptor.	Acero		
Apertura del colector.	2.3 m.		
Tratamiento de la superficie del receptor.	Níquel negro selectivo.		
Absorbancia.	0.97		
Emitancia (80°C).	0.18		
Taza de evapotranspiración.	0.96		
Diámetro lateral del absorbente exterior.	50.80 mm		
Orientación del colector.	Eje en dirección N-S		
Modo de seguimiento.	E-W horizontal.		

Tabla 3-2 Características del sistema colector parabólico alimentado.

Para poder determinar los criterios necesarios del colector para alcanzar determinada fracción solar debe asumirse un valor de pérdidas globales (debido a pérdidas térmicas del tanque de acumulación, cañerías, etc.) y una eficiencia del intercambiador de calor a utilizar. Se asume aquí un 39% de pérdidas globales, y una eficiencia del intercambiador de 61%. Asimismo, se supone que se definió una fracción solar deseada del orden del 55%.

Tanque de destilación.

Se consideró inicialmente un volumen de 300 lts., tomando en cuenta algunos datos de las cantidades de mosto de las que se podría disponer sin embargo este factor será reconsiderado una vez que se determine la eficiencia del sistema de calentamiento y considerando la economía del proceso. Por esta razón vamos a simular los comportamientos de un tanque de 300 lts.

Fluido caloportador

Por el interior del tubo receptor circulara el fluido de trabajo. El tipo de fluido que se utiliza en los CPC depende de la temperatura máxima de operación. Si las temperaturas que se desean son moderadas (<100°C), se puede utilizar agua desmineralizada, o una mezcla con Etileno-Glicol, como fluido de trabajo. En cambio, se utiliza aceite sintético en aquellas aplicaciones donde se desean temperaturas más altas (200°C<T<450°C). La explicación de este hecho estriba en que para temperaturas altas las tuberías estarían sometidas a elevadas presiones si el fluido de trabajo es agua, porque para evitar que se evapore el agua es necesario mantenerla en todo momento a una presión superior a la de saturación correspondiente a la temperatura máxima que alcance el agua en los colectores solares. Esto significa que si queremos tener agua caliente a 315ºC a la salida de los colectores, la presión en el circuito tendrá que ser superior a 100 bar. En cambio, puesto que la presión de vapor del aceite a altas temperaturas es mucho menor que la del agua, podemos calentar aceite sin tener que mantener el circuito presurizado a más de 10 o 15 bar (Silva, 2005).

La mezcla del fluido será la que el sistema TRNSYS propone de consigna tomando como referencia el calor especifico mostrados en la tabla 3-3.

Tabla 3-3 Datos Mezcla Agua/Glycol.						
% del	Temperatura	Temperatura	Densidad	Calor	Conductividad	
volumen de	activa	[°C]	[kg/m³]	especifico	térmica	
la mezcla	mínima [°C]			[Kj/kg.K]	[W/m.k]	

		22	1050	0.00	0.400
		-20	1050	3.68	0.420
		0	1045	3.72	0.425
		20	1036	3.77	0.429
		40	1025	3.82	0.433
75	-20	60	1012	3.88	0.437
		80	997	3.94	0.441
		100	982	4.00	0.445

Fuente. Patiño (2008).

Bomba de circulación.

Como en el caso que estamos tratando donde el captador solar se encuentra en una parte alta y el intercambiador está ubicado en una parte baja, la circulación del fluido caloportador entre los captadores y el intercambiador no puede realizarse mediante flujo natural, ya que la parte más caliente (captador) está situado en el punto más alto de la instalación y no hay ninguna fuerza natural que haga subir el agua fría del intercambiador que se encuentra en el punto más bajo.

Demanda energética

La propuesta del proceso consiste en destilar en las horas de mayor irradiación solar durante un día con lo que se posibilita un aprovechamiento energético óptimo que no será posible durante los horarios de poca incidencia de irradiación, por lo que se establece los horarios de las 10 am hasta las 16 pm. con un volumen de destilación de 300 lts/hr, para lo cual se requiere una temperatura de 80 °C, considerando que la temperatura promedio del mosto corresponde a la del medio ambiente de 25 °C.

De acuerdo a la ecuación de demanda térmica que establece que la cantidad de calor (Q) requerida para cambiar la temperatura de una sustancia es proporcional a la masa (m) de la sustancia y al cambio de temperatura (Δ T), como se muestra a continuación y la capacidad calorífica del agua es de 4190 J/kg°C.

$$\mathbf{Q} = \mathbf{m} \mathbf{c} \Delta \mathbf{T} \qquad \text{Ecuación 1.9}$$

Q= (300 kg)*(4190 J/kg°C)*(55 °C)

Q= <u>66,621,000 J</u>

Con esta relación se requerirían 66,621,000 J/hr para incrementar la temperatura del mosto de destilación a la temperatura deseada por lo que en esta simulación se asumen las siguientes condiciones de destilación:

Tabla 3-4 Demanda de energía calorífica por unidad de tiempo					
	Hora del día	Volumen de	Demanda		
		destilación	En J		
1	11:00 am a 17:00 pm	300 lt.	66,621,000 J		

3.1.3. Unión de las secciones de los módulos colectores y sus partes

Una vez que se identificaron los componentes del sistema de destilación solar, se procedió a la unión de los componentes y la asignación de valores para lograr una simulación adecuada, la forma de acomodo se muestra en la Figura 3-1-3.



Figura 3-1-3 Distribución de la simulación del proceso de destilación en TRNSYS.

3.2. RESULTADOS

Para el cálculo de la eficiencia y pérdidas de energía en el colector solar se realizó el análisis que se detalla a continuación:

Radiación solar sobre la zona del valle del mezquital.

Los resultados de la radiación solar sobre el valle del mezquital obtenidos con el Software METEONORM establecen la relación anual de la radiación global horizontal, difusa horizontal y directa normal en W/m², como se presenta en la tabla 3-5.

La radiación solar durante el año tiende a ser mayor entre los meses de Febrero y Abril con una radiación global por arriba de los 772 w/m², por otra parte Septiembre registra menor promedio de irradiación teniendo con menos de 600 w/m² como puede observarse en la Figura 3-2-1, de igual modo se comparan los meses de mayor y de menor radiación solar como se muestra en la Figura 3-2-2 y 3-2-3.

Mes	lrr mRa gl hrz.	ld	IrrmRad df hrz.	IrrmRad dr hrz.	Irr dr normal.	Temperatura del aire.
Ene.	638.1		219.9	418.29	594.1	19
Feb.	<mark>731.7</mark>		196.1	535.79	687.96	20
Mar.	<mark>772.2</mark>		248.5	523.77	602	22
Abr.	<mark>770.7</mark>		341.4	429.27	456.37	24
May	666.1		320.06	346.03	358.74	24
Jun.	662.3		266.2	396.13	411.63	22
Jul.	613.5		292.5	320.97	335.68	21
Ago.	615		288.5	326.48	345.26	21
Sept.	586.9		293.3	293.77	322.2	21
Oct.	630.1		281.3	348.65	413.06	21
Nov.	628.5		204.9	423.6	559.63	20
Dic.	614.7		202.4	412.2	595.06	19
Año	660.8		262.9	397.9	473.47	21.1
Irr mRad-gl hrz. Irradiación media de la radiación global horizontal					al horizontal	
Irr mRad	Irr mRad df hrz. Irradiación media de la radiación difusa horizontal				sa horizontal	
Irr mRad	rr mRad dr hrz. Irradiación media de la radiación directa horizonta			cta horizontal		
Irr dr nor	Irr dr normal. Irradiación de la radiación directa normal				mal	

Tabla 3-5 Radiación solar sobre Ixmiquilpan Hgo. en [W / m^2]



Figura 3-2-1 Radiación solar promedio en el Valle del Mezquital. Ref. Software METEONORM V 5.0.



Figura 3-2-2 Comparación entre los meses de mayor y menor radiación.



Figura 3-2-3 Comparación entre los meses de mayor y menor temperatura.

Para efectos de determinar la eficiencia operativa del sistema de destilación solar se establece el análisis durante los primeros 7 días del mes de septiembre por considerarse como el mes de menor radiación por lo que podrá asumirse que en cualquier otra época del año la eficiencia deberá ser mayor.

La radiación mínima durante el mes de septiembre se encuentra por debajo de los 3000 kj/hr.m² y la máxima sobre los 4000 kj/hr.m², como puede observarse en la Figura 3-2-4.



Figura 3-2-4 Radiación total durante 7 días para Septiembre.

Eficiencia Térmica del colector solar

Los resultados de la eficiencia del sistema de destilación obtenidos con el Software TRNSYS establecen la cantidad de calor y la temperatura que aporta el sistema con diferente número de colectores CPCs sobre una concentración constante de mosto como se observa en la Figura 3-2-5.



Tiempo en hr. Figura 3-2-5 Comparación entre las temperaturas de salida del sistema con diferente número de colectores CPCs.



Tiempo en hr.

Figura 3-2-6 Comparación entre las temperaturas de salida del colector con diferente número de colectores CPCs.

En la Figura 3-2-6 se observa que con respecto al número de colectores propuestos, el sistema alcanza condiciones muy cercanas a la requerida para lograr el punto de ebullición de un volumen de 300 lts., de mosto fermentado, con las siguientes variaciones:

1 colector.- La temperatura del flujo del colector se mantiene por debajo de los 79 °C.

2 a 4 colectores.- Las variaciones de temperatura se mantienen entre los 82 y los 79 °C, sin representar diferencias significativas entre las tres.

3.3 CONCLUSIONES

Con la ayuda de los softwares METEONORM y TRNSYS, se pudo establecer que la radiación solar en el Valle del Mezquital presenta niveles más altos que en otras regiones del país, con rangos que pueden llegar hasta los 772 w/m², en contraste los niveles mínimos registrados desciende hasta 600 w/m², por esta razón es posible concluir que es factible la implementación de un sistema de calentamiento termo solar con fines de destilación de alcohol.

Por medio de la simulación TRANSYS, se concluye que el Colector Parabólico Concentrado (CPC), cumple con los requerimientos para abastecer la demanda calorífica del sistema de destilación propuesto, alcanzando rangos de entre 70 y 200 °C de temperatura en líquidos como los mostos fermentados, con lo que los 80 °C que se requieren se cubren perfectamente, por lo que es posible obtener alcohol a partir del pulque usando energía solar, para minimizar los costos económicos y ambientales por combustibles no renovables.

De acuerdo a la información obtenida en el TRNSYS sobre las temperaturas que puede alcanzar un tanque de calentamiento con una capacidad de 300 lts., se determinó que con solo un módulo colector CPC, se logra abastecer la demanda térmica requerida (80 °C) a excepción de algunas temporadas durante el año, por lo que no tiene caso aumentar más colectores en serie, además de que la eficiencia térmica que puede obtenerse no es significativamente mayor.

3.4 BIBLIOGRAFIA

Libros:

Treybal Robert. E. (1980). Operaciones de Transferencia de Masa (2^{da} ed), editorial McGraw-Hil, 1980. EU p 378 – 379.

Rico, José; Cruz, García (1988), Energía Solar, (1^{ra} ed), Ed. EUDEMA S.A.

Henley, E.J.; Seader, J. D. (1998). Operaciones de Separación por etapas de equilibrio en ingeniería química. (2^{da} ed), Editorial Reverté.

Foust, A.; Wenzel, L.; Clump, C.; Maus, L.; Andersen, L. B. (1980). *Principles of Unit Operations.* (2^{da} ed), John Wiley & Sons editores.

McCabe, W.; Smith, J.; Harriott, P. (2007) *Operaciones unitarias en ingeniería química* (7^{ma} ed), Editorial McGraw Hill.

Geankoplis, C. J. (1998) *Procesos de transporte y operaciones unitarias.* (3^{ra} ed), Editorial Cecsa.

Wankat, P. (2008) Ingeniería de procesos de separación. (2^{da} ed), Editorial Prentice Hall.

Kister, H. (1992). Distillation Design. Editorial McGraw Hill.

King, J. (1988). Procesos de separación. Editorial Reverté. Edición en español.

Perry R., H.; Green, D. W.; Maloney, J. O. (1998). Manual del Ingeniero Químico. Sexta Edición. Editorial McGraw Hill.

ASHRAE (1999). "Methods of testing to determine the Thermal Performance of solar Collector ", Ney York, N.Y

INEGI. (1992). Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 134 p.

Documentos en línea:

NASA GEOS-4

http://gmao.gsfc.nasa.gov/GEOS

Instituto de Investigaciones Eléctricas.

http://vmwl1.iie.org.mx/sitioIIE/sitio/indice.php

Glosario de términos de energía solar.

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/solar/bp_solar_spain/STAGING/l ocal_assets/downloads_pdfs/g/Glosario_Terminos_es.pdf.

Energía solar: Definiciones y conceptos (2009).

http://www.articuloz.com/ciencia-articulos/energia-solar-definiciones-yconceptos-i-661922.html.

Versión demo de Sistema solares TRNSYS (2014).

http://trnsys.com

■ Partes de Documentos o de Simposium y Congresos:

Montoya et al., (2011). Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana. En XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES), Lima, Peru 14 - 19.11.2011

Dos documentos de un sólo autor:

Silva Pérez Manuel (2005). Aprovechamiento de la energía solar en media y alta temperatura. Sistemas termosolares de concentración,

Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos, Grupo de Termodinámica y Energías Renovables.

Almanza, R., Estrada, V., y Barrientos, J. (1992). Actualización de los Mapas de Irradiación Global en la República Mexicana. Series del Instituto de Ingeniería No. 543, UNAM.

Grasi, H. *et al;* (2004). Word in Transition. Towards Sustainable Energy Systems. Eaethscan, London.

Maxwell, et. al., (1994). Measures of Renewable Energy, National Renewable Energy Laboratory, Jan.

Kalogirou (1994). Lloyd S., Ward J., Design and performance characteristics of a parabolictrough, solar-collector system, Applied Energy, Vol. 47.

Kalogirou, (2004). Solar thermal collectors and applications, Progress in energy and combustion, science, Vol. 30.

Jesús Fernando Hinojosa Palafox. Curso concentradores solares, ANES

Hermosillo, Juan (1995). Notas del curso: energía solar. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Dpto. Proc. Tecnológicos Ind. Div. Ingeniería. Tlaquepaque, Jalisco.

Tesis:

Huezo, F., Moran J. (2012). Diseño, Construcción Y Validación de un Destilador Solar Para uso en los Laboratorios de la Planta Piloto de la Escuela De Ingeniería Química. (Tesis de Ingeniería en Química, Universidad de el Salvador, 2012).

Patiño, M. (2008). Diseño y Cálculo de una Instalación Solar Térmica para a.c.s. en una Empresa de 200 Personas. (Tesis de Ingeniería Técnica Industrial Especialidad Mecánica, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2008).

Ramírez R. (2004). El maguey y el pulque: Memorias de tradición convertidas en Historia 1884-1993. (Tesis de Licenciatura en Historia, Benemérita Universidad de Puebla, México, 2004).

Baños Serrano. (1994). "Diseño, construcción y pruebas de un sistema experimental de generación de vapor a baja presión utilizando energía solar" (Tesis UES, ES 1994).

3.5 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Absorbedor: Componente de un dispositivo solar que tiene como función de captar y retener la mayor cantidad de radiación solar.

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

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.

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.

Área del absorbedor: Área que recibe la radiación concentrada.

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.

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 absorbe.

Eje de Concentrador: Línea que pasa por el foco y su vértice.

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.

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

Grados °Brix: unidad de medición de la concentración de sólidos disueltos en una solución, puede interpretarse como concentración de azúcares.

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

Irradiancia, H: Valor instantáneo de la Intensidad Iuminosa: potencia Iuminosa recibida en un captador de un metro cuadrado de área. (Unidades: Watt / metro²). Símbolo: W/m²

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 / m²

Razón de concentración: Se define como el cociente entre el área de apertura colectora y el área del absorbedor.

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.

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