



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA DE
APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR
TÉRMICA PARA DESHIDRATAR
ALIMENTOS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

CÉSAR ALBERTO GASGA MORALES

DIRECTOR DE TESIS:

M.I HÉCTOR MIGUEL AVIÑA JIMÉNEZ

Ciudad Universitaria, México D.F 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: M.I Norberto Chargoy Del Valle
SECRETARIO: M.I José Esteban Barrios Bonilla
VOCAL: M.I Héctor Miguel Aviña Jiménez
1ER SUPLENTE: DR. Martín Salinas Vázquez
2DO SUPLENTE: DR. Armando Rojas Morín

TUTOR DE TESIS

M.I Héctor Miguel Aviña Jiménez

FIRMA

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS.

RESUMEN

Durante las últimas décadas se ha comenzado a considerar la incorporación parcial y/o total de diferentes fuentes de transformación de energía renovable, desde los pequeños consumidores hasta las grandes empresas industriales, con el fin de disminuir su dependencia de los combustibles fósiles cada vez más encarecidos.

Sin embargo, esta transición se ha hecho en algunos casos de manera lenta, ya que los avances tecnológicos no han permitido que dichas tecnologías, compitan con las formas convencionales de operación.

En este trabajo se pretende mostrar, la factibilidad de la incorporación de sistemas solares térmicos a un proceso de deshidratación el cual es llevado a cabo con gas natural o gas LP.

El proyecto de deshidratación surge desde el ya extinto grupo IMPULSA IV, perteneciente al Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM) y retomado por el actual grupo del Instituto de Ingeniería Desalación y Energías Alternas (IIDEA) del mismo instituto.

Sin embargo, en ambos proyectos se enfocó en suplir con energía geotérmica dicho equipo, estando dependiente el tipo de producto que se podía deshidratar, ya que se enfocaba a regiones y puntos específicos en donde se tuviera acceso a esta fuente de energía.

Siendo favorables los resultados obtenidos, surgió la encomienda de ahora probar si era posible la incorporación de otras fuentes renovables ha dicho proceso, en este caso se enfocó en energía solar térmica con lo cual nos permitía seleccionar que tipo de producto se podía deshidratar.

Para tal hecho, primero se examinó la factibilidad técnica, es decir, enfocar el proyecto hacia un producto que reportara un alto índice de mermas en la producción y empaqueo y que se tuviera un alto valor comercial. Eligiendo el mango, ya que este producto colocó a México como el principal exportador a nivel mundial, sin embargo durante dicha etapa se tiene un enorme volumen de pérdidas del recurso ya que este no puede presentar etapas de maduración para su comercialización lo que causa que se deseche. Una vez seleccionada la materia prima, siguió la evaluación de zonas en las que podría colocar el deshidratador solar, así se evaluó el recurso solar y se seleccionó la tecnología apropiada. Se dimensionó y se encontraron los puntos simples de operación con el software TRNSYS.

Para la factibilidad económica se compararon distintas Fracciones Solares Anuales (FSA) en el sitio elegido, con el fin de encontrar aquella que resultara más rentable, para ello se obtuvo la Relación Beneficio Costo (B/C), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Tiempo de Retorno (TR) y el Valor Presente Neto (VPN), quedando este último como el factor principal ya que se buscaba la FSA con la que se tuvieran mayores ingresos al final del periodo de vida útil.

OBJETIVOS

Objetivos generales

Evaluar la factibilidad técnica y económica de un tipo de tecnología solar térmica para aplicarla a un proceso de deshidratación de alimentos (mango), mediante el análisis de diversos equipos que existen en la industria solar térmica.

Objetivos específicos

- ✚ Mostrar un panorama de las tecnologías existentes en el ramo de la energía solar térmica, así como enfocarlo a una aplicación directa.
- ✚ Seleccionar y analizar la factibilidad técnica de la tecnología solar térmica más conveniente para aplicarla a un proceso de deshidratación de alimentos (mango).
- ✚ Ubicar y dimensionar un sitio probable para la instalación de la planta deshidratadora, a fin de tener una configuración que permita su aplicación.
- ✚ Determinar los parámetros y condiciones de operación para optimizar el dimensionamiento del sistema solar térmico.
- ✚ Formular la viabilidad económica de usar tecnología solar térmica para deshidratar mango.

ÍNDICE

<i>JURADO ASIGNADO</i>	I
<i>AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS</i>	II
RESUMEN	III
OBJETIVOS	IV
Objetivos generales	IV
Objetivos específicos	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	IX
NOMENCLATURA	XI
LETRAS GRIEGAS	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO 1.- ENERGÍA SOLAR	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 El Sol y la dispersión de la radiación solar en el mundo.....	1
1.1.2 Potencial, medición y estimación de la radiación solar.	2
1.2 TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA SOLAR.....	4
1.2.1 Breve historia de la evolución de la tecnología solar térmica.....	4
1.2.2 Estado actual de la tecnología.....	7
1.3 USOS DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	13
1.3.1 Aplicaciones de baja temperatura.....	13
1.3.2 Aplicaciones de media temperatura.....	14
1.3.3 Aplicaciones de alta temperatura.....	14
1.4 RECURSO SOLAR EN MÉXICO Y EN EL MUNDO	14
1.4.1 Radiación incidente en la República Mexicana.....	14
1.4.2 Ejemplos en aprovechamiento de energía solar	16
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1	18

CAPÍTULO 2.- PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS.....	19
2.1 DESHIDRATACIÓN.....	19
2.1.1 ¿Qué es la deshidratación?.....	19
2.1.2 Uso de los productos deshidratados	20
2.1.3 Consumo de alimentos deshidratados en México y en el mundo	20
2.2 MECANISMOS Y MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN	22
2.2.1 Parámetros del proceso de secado.....	22
2.2.2 Proceso de deshidratación.....	24
2.2.3 Métodos de deshidratación.....	26
2.2.4 Equipos usados en la deshidratación.....	27
2.3 OPCIONES ENERGÉTICAS	29
2.3.1 Deshidratado con tecnología solar.....	29
2.4 EJEMPLO DEL SECADO DE FRUTAS.....	29
2.4.1 Mango	29
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2.....	33
CAPÍTULO 3.- EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR	34
3.1 PROPUESTAS DE UBICACIÓN DE LA PLANTA DESHIDRATADORA Y MAGNITUD DEL RECURSO SOLAR	34
3.1.1 Proceso de selección de la ubicación de la fábrica deshidratadora.....	34
3.1.2 Geometría y estimación de la radiación.....	36
3.2 CARGA TÉRMICA DEL PROCESO PARA DESHIDRATAR MANGO.....	39
3.3 EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CAPTACIÓN SOLAR.....	41
3.3.1 Evaluación térmica y dimensiones del campo solar.....	41
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3	48
CAPÍTULO 4.- PROPUESTA DE ACOPLAMIENTO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA SOLAR	49
4.1 SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR.....	49
4.1.1 Parámetros de selección del sistema solar.....	49
4.1.2 Forma de operación de los colectores y selección final.....	49
4.2 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	51

4.2.1	Ubicación y configuración de los paneles solares.....	51
4.2.2	Diseño de la tubería.....	52
4.2.3	Cálculo de la bomba.....	55
4.2.4	Vaso de expansión.....	56
4.2.5	Termo tanque y el sistema de aislamiento.....	57
4.3	SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA SOLAR.....	60
4.3.1	Simulación con TRNSYS y METEONORM.....	60
4.4	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	67
4.4.1	Parámetros de la evaluación económica.....	67
4.4.2	Combustibles para la comparación y costos de la inversión inicial.....	68
4.4.4	Resultados del análisis económico y comparación de distintas FSA.....	70
	CONCLUSIONES CAPÍTULO 4.....	76
	CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES GENERALES.....	76
	ANEXOS.....	78
	Anexo 1 Contenido de humedad y temperatura máxima tolerable en alimentos.....	79
	Anexo 2 Pretratamientos usados en la industria alimenticia.....	80
	Anexo 3 Localidades de México con mayores pérdidas en la cosecha de mango en 2012.....	81
	Anexo 4. Datos técnicos de los captadores y cotizaciones.....	83
	Anexo 5. Tablas de operación y dimensionado del campo solar.....	87
	Anexo 6. Pérdida de carga.....	89
	Anexo 7. Desarrollo para obtener la T_T durante la recirculación y el proceso.....	89
	Anexo 8. Resultados de dimensionamiento final.....	92
	Anexo 9. Simulación Dinámica TRNSYS.....	94
	Anexo 10. Plantillas del análisis económico.....	96
	BIBLIOGRAFÍA.....	98
	LIBROS.....	98
	TESIS CONSULTADA.....	98
	ARTÍCULOS.....	99
	PÁGINAS DE INTERNET.....	99

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. 1 Componentes de la radiación solar.	1
Figura 1. 2 Distribución de la radiación solar en la atmósfera terrestre.	2
Figura 1. 3 Dimensiones Sol - Tierra.	3
Figura 1. 4 Radiación Anual Global Horizontal.	3
Figura 1. 5 Caja caliente diseñada por Horace Saussure.	4
Figura 1. 6 Turbina de Mouchet en la exposición internacional de Paris de 1878.	5
Figura 1. 7 Casas chinas con colectores solares planos.	6
Figura 1. 8 Clasificación de la energía solar - térmica.	7
Figura 1. 9 Composición básica de un colector de placa plana.	8
Figura 1. 10 Colector solar de tubo evacuado.	9
Figura 1. 11 Colector parabólico compuesto (CPC)	10
Figura 1. 12 Concentrador Cilindro Parabólico.	10
Figura 1. 13 Concentrador FLC en la planta Puerto Errado 1 en Murcia.	11
Figura 1. 14 Sistema de Disco Parabólico.	12
Figura 1. 15 Despliegue de un campo de helióstatos alrededor de un receptor central.	13
Figura 1. 16 Esquema básico para una instalación solar térmica: A) ACS, B) Refrigeración.	13
Figura 1. 17 izq.) Esquema de una instalación de media temperatura, der.) Horno solar de alto flujo radiativo.	14
Figura 1. 18 Mapa de isolíneas de la Republica Mexicana.	15
Figura 1. 19 Mapas satelital de irradiación solar anual total de México.	16
Figura 1. 20 Mapa de irradiación anual total para Europa.	16
Figura 1. 21 Límite de las zonas climáticas.	17

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Ejemplo de alimentos deshidratados.	20
Figura 2. 2 Consumo de frutas deshidratadas en 2010.	21
Figura 2. 3 Curvas de secado.	25
Figura 2. 4 Clasificación de los equipos deshidratadores.	27
Figura 2. 5 Principales estados productores de mango y temporalidad en 2012.	31
Figura 2. 6 Importación de mango por parte de EUA en 2009.	32

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 Plantilla de producción agrícola por estados.	35
Figura 3. 2 Selección de los municipios.	35
Figura 3. 3 izq.) Mapa de municipios productores, der.) Zonas posibles (plantas deshidratadoras).	36
Figura 3. 4 Variación anual de la declinación.	37
Figura 3. 5 Ángulos solares.	38
Figura 3. 6 Curva de eficiencia.	42
Figura 3. 7 Curvas de eficiencia para los tres tipos de captadores en la Zona 1.	43

CAPÍTULO 4

Figura 4. 1 Ubicación geográfica posible de la zona 1.....	51
Figura 4. 2 Configuración del sistema solar térmico.....	51
Figura 4. 3 Colectores por ramal, izq) Paralelo, der) Serie-Paralelo.....	52
Figura 4. 4 Muestra de la colocación de los paneles (retorno invertido).....	52
Figura 4. 5 Esquema de 1/4 del arreglo de colectores.....	61
Figura 4. 6 Tsal para un tanque de .26 [m ³].....	62
Figura 4. 7 Selección de la hora de inicio de la recirculación, sup) 7 am, inf) 7:30 am.....	63
Figura 4. 8 Energía anual aportada por el auxiliar.....	64
Figura 4. 9 Gráfica de B/C y Tiempo de retorno vs FSA. sup) GLP, inf) GN.....	74

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1. 1 Ranking de países que utilizan energía solar para producción de electricidad.....	6
Tabla 1. 2 Colectores de energía solar.....	8
Tabla 1. 3 Intervalos de radiación de las zonas climáticas en España.....	17

CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1 Flujo de fruta deshidratada en México.....	22
Tabla 2. 2 Usos de los equipos deshidratadores.....	28
Tabla 2. 3 Valor nutrimental del mango.....	30
Tabla 2. 4 Variedades de mango en México.....	30

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Ubicación posible de los centros de deshidratación.....	36
Tabla 3. 2 Irradiación diaria mensual en las zonas posibles.....	37
Tabla 3. 3 Irradiación diaria mensual en una superficie inclinada en cada zona posible.....	38
Tabla 3. 4 Parámetros locales.....	39
Tabla 3. 5 Calor para deshidratar en cada etapa.....	40
Tabla 3. 6 Demanda energética mensual diaria en cada zona probable.....	41
Tabla 3. 7 Temperatura del agua de la red en cada zona.....	42
Tabla 3. 8 Datos técnicos de los captadores solares.....	42
Tabla 3. 9 Eficiencia de los colectores en cada zona con una Tsal=70°C.....	43
Tabla 3. 10 Dimensión inicial del campo de colectores.....	44
Tabla 3. 11 Horas de operación en cada zona posible.....	46
Tabla 3. 12 Dimensionamiento del campo solar con el método f-Chart.....	46
Tabla 3. 13 Dimensionamiento por cada zona posible.....	47

CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1 Sistemas solares térmicos por zona.....	50
Tabla 4. 2 Arreglo de los colectores, sup) Paralelo, inf) Serie	52
Tabla 4. 3 Resultados para el circuito primario en Paralelo.....	53
Tabla 4. 4 Resultados para el circuito primario en Serie- Paralelo	54
Tabla 4. 5 Pérdida de carga en los accesorios, sup) Paralelo, inf) Serie-Paralelo.....	55
Tabla 4. 6 Datos y cálculo de la bomba sup) Paralelo, inf)Serie-paralelo	56
Tabla 4. 7 Vaso de expansión, sup.)Paralelo, inf.)Serie-paralelo.....	57
Tabla 4. 8 Espesor del aislamiento en tuberías	59
Tabla 4. 9 Espesor del aislante K-FLEX ST.....	60
Tabla 4. 10 Selección del volumen del tanque.....	62
Tabla 4. 11 Costo de inicio de la recirculación.....	63
Tabla 4. 12 Simulación anual del sistema solar-térmico.....	64
Tabla 4. 13 Aporte real del sistema.	64
Tabla 4. 14 Caudal óptimo de operación.....	65
Tabla 4. 15 Comportamiento anual de la instalación solar térmica.....	65
Tabla 4. 16 Comportamiento anual del arreglo en serie-paralelo.	66
Tabla 4. 17 Comportamiento del arreglo serie paralelo para 60 [l/hrm ²].....	66
Tabla 4. 18 FS mensual para 160 captadores.....	66
Tabla 4. 19 Inversión por FSA.....	70
Tabla 4. 20 Consumo eléctrico anual	70
Tabla 4. 21 Comportamiento de la FSA 100% con respecto al GLP	70
Tabla 4. 22 Conducta de una FSA 100% con GN	71
Tabla 4. 23 Comportamiento de una FSA 99% y GLP	72
Tabla 4. 24 Desarrollo de una FSA 99% y GN	72
Tabla 4. 25 Resultados para diferentes FSA y GLP	73
Tabla 4. 26 Resultados para distintas FSA y GN.....	73
Tabla 4. 27 VPN incorporando bonos de CO2, sup)GLP, inf)GN	75

NOMENCLATURA

$(F_R')/F_R$	Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador
$Pdc_{unitaria}$	Pérdidas unitarias [mmca]
V_T	Volumen en las tuberías
V_t	Volumen del vaso de expansión
$\Delta H_{paneles}$	Pérdida de carga en un panel
Δt	Periodo de tiempo
ΔH	Longitud de la tubería
$^{\circ}C$	Grados centígrados
a_1	Coefficiente de pérdidas lineal
a_2	Coefficiente de pérdidas cuadrático
A_a	Área de absorción
C	Caudal [m^3/h]
$Ce\%$	Coefficiente de expansión del agua
$C_{p_{al}}$	Calor específico del alimento
D	Diámetro exterior del tubo [mm]
D	Diámetro nominal
d	Distancia entre filas
D_i	Diámetro interno
e_{ais}	Espesor de aislamiento [mm]
$F_R' (\tau\alpha)$	Factor adimensional
$F_R' U_L$	Factor de pérdida a_1
G	Irradiancia solar
GSC	Constante solar
H	Irradiación anual

h_{captador}	Distancia mínima entre filas de captadores
H_{min}	Altura mínima
h	horas
J	Factor para tubos metálicos
k_1	Factor de corrección por almacenamiento
k_2	Factor de corrección por temperaturas
k_a	Modificador del ángulo de incidencia
L	Largo del captador
$\text{long}T$	Longitud de la tubería [m]
$m_{(H_2O)}$	Masa de agua a evaporar
m_p	Masa del producto en fresco
n	Día del año
N_c	Número de colectores
N_p	Número de paneles
P_{bar}	Presión barométrica
P_f	Presión absoluta final del vaso de expansión
P_i	Presión absoluta inicial del vaso de
P_{manins}	Presión manométrica de la instalación
P_v	Presión de la válvula de seguridad
Q	Caudal [l/h]
Q_{des}	Calor para deshidratar
Q_{sat}	Calor de saturación
Q_{ST}	Calor total para deshidratar
Sc	Superficie del campo colector
S_{ss}	Superficie del sistema solar

T_a	Temperatura ambiente
T_{am}	Temperatura mínima del agua
T_{ar}	Temperatura del agua de red
T_{ent}	Temperatura de entrada del fluido al colector
T_m	Temperatura media del fluido
T_{sal}	Temperatura de salida del fluido en el colector
T_{sat}	Temperatura de saturación
v	Velocidad del agua
V	Volumen de acumulación
V_A	Volumen de acumulación
V_p	Volumen en todos los paneles
W	Ancho del captador
W_b	Potencia de la bomba requerida
X_{cr}	Punto crítico de humedad
X_{eq}	Humedad de equilibrio
X_f	Humedad de la fruta al final de cada etapa
X_i	Humedad de la fruta al inicio de cada etapa
ΔP_{total}	Pérdida de carga total
η_b	eficiencia de la bomba
ρ	Densidad del líquido a mover

ABREVIATURAS

ACS	Agua caliente sanitaria
ASNM	Altura sobre el nivel del mar
CIDEM	Centro de Investigación y Desarrollo del estado de Michoacán.
CPC	Colector parabólico compuesto
CTC	Colector cilindro seguidor
D1, D2	Magnitudes adimensionales
DEmes	Demanda energética en el mes
EAmes	Energía mensual absorbida por los captadores
Eaux	Energía auxiliar total
Eauxm	Energía auxiliar mensual
Eauxmax	Energía auxiliar máxima en el mes
Eauxpro	Energía auxiliar durante el proceso
EPmes	Pérdidas del colector durante el mes
Es	Energía solar incidente durante el proceso
ETC	Colector de tubo evacuado
EUmes	Energía útil mensual
Eus	Energía solar útil en el proceso
E _{USH}	Energía solar útil horaria
E _{sm}	Energía solar útil mensual
E _{UT}	Energía útil total mensual
FAO	Organización de las naciones unidas para la alimentación
fmes	Fracción solar mensual
FPC	Colector de placa plana
FSA	Fracción Solar Anual

HFC	Campo colector de heliostato
IER	Instituto de Energías Renovables
IIUNAM	Instituto de Ingeniería de la UNAM
LFR	Colector lineal Fresnel
NMX001 2005	Norma Oficial Mexicana para calentadores solares NMX-ES-001-NORMEX-
PDR	Reflector de disco parabólico
PTC	Colector parabólico seguidor
SES	Sistemas de Energía Stirling
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América

LETRAS GRIEGAS

e_{ref}	Espesor de referencia
λ_{ref}	Conductividad térmica de referencia,
α	Ángulo de altitud solar
β	Ángulo de inclinación del colector
γ	Ángulo azimutal superficial
γ_{sol}	Ángulo azimutal solar
η -	Eficiencia del captador
η_0	Eficiencia óptica
η_{sis}	Eficiencia del sistema
θ	Ángulo de incidencia
θ_z	Ángulo zenith
λ	Conductividad térmica del nuevo material

INTRODUCCIÓN

Se evaluó la factibilidad técnica y económica para distintas aportaciones solares en función de la selección de una tecnología y la demanda de a cubrir para el proceso de deshidratación de mango. La forma en cómo se realizó el trabajo se explica de la siguiente manera.

En el capítulo 1, se estudió el aprovechamiento de la energía solar, también se planteó el estado actual del uso de este recurso en México y en el mundo para conocer su crecimiento.

En el capítulo 2, se mostraron los aspectos básicos del proceso de deshidratación, haciendo notar la importancia de dicho proceso en el ámbito alimenticio, para que de esta manera se pueda dar un marco general del alcance que tiene a nivel mundial.

Así se podrán visualizar los parámetros involucrados en dicho proceso, las opciones energéticas, y el desarrollo tecnológico en esta área.

Dentro del capítulo 3, se dan los criterios de selección para la ubicación de una planta deshidratadora, en el caso particular del mango, la cual, cubra en un principio las pérdidas sufridas en la cosecha de la materia prima, así como cuantificar el recurso solar.

También se expuso el análisis y la evaluación de la tecnología solar a usarse en dicha planta, con lo cual se seleccionó con base en el rendimiento térmico de los equipos.

Ya en el capítulo 4, se muestran las cualidades de cada uno de los equipos de captación solar elegidos, a fin de que cubran las necesidades de operación del sistema en cada una de las 8 zonas posibles restantes. Así se obtiene la tecnología más adecuada a usarse.

Una vez seleccionado el equipo solar, se llevó a cabo el diseño de los componentes de la instalación para una localidad en específico, así se realizó la simulación del sistema y se mencionaron las sugerencias de corrección. Finalmente se presentará la viabilidad económica de dicho sistema.

Por último en el capítulo 5 se tienen las conclusiones generales, así como las recomendaciones para mejorar dicho sistema, con base en incorporar otro tipo de fuentes renovable junto al aporte solar.

CAPÍTULO 1.- ENERGÍA SOLAR

En el presente capítulo se estudiará el aprovechamiento de la energía solar, desde sus inicios hasta la tecnología actual, enfocada al aprovechamiento de la energía solar térmica, también se planteará el estado actual del uso de este recurso en México y en el mundo para conocer su crecimiento.

Se presentan las bases de este estudio, la importancia del aprovechamiento de la energía solar térmica, así como los factores del uso de este recurso, dando un panorama de las tecnologías existentes.

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 El Sol y la dispersión de la radiación solar en el mundo.

El Sol es una estrella situada en el centro de nuestro sistema planetario, compuesto en el 75% de hidrógeno, 24% de helio y con trazas de los elementos más pesados, en su interior con 18 millones de grados centígrados se halla un reactor nuclear que transforma hidrógeno en helio mediante fusión. Cada segundo el Sol pierde 4 millones de toneladas de masa que expulsa en forma de energía, estas partículas, los fotones, los cuales tardan un millón de años en alcanzar la superficie solar, recorren 150 millones de kilómetros hasta la tierra en 8 minutos y 20 segundos en la llamada luz solar.¹ La cual tiene una composición de 8% radiación ultravioleta, (longitud de onda menor a $0.39\mu\text{m}$), 46% es luz visible (0.39 a $0.78\mu\text{m}$) y 46% de radiación infrarroja (longitud de onda mayor a $0.78\mu\text{m}$) (Ver Figura 1.1.)



Figura 1. 1 Componentes de la radiación solar.²

De esta radiación que llega a la atmosfera terrestre solo la mitad alcanza la superficie de la tierra, en los niveles superiores de la atmosfera se absorbe la mayor parte de la energía ultravioleta, otra parte vuelve al espacio por difusión, reflexión y refracción, por último el restante es absorbido por el vapor de agua y otros componentes de la atmosfera, como se muestra en la Figura 1.2.

¹ Serie Documental "Viaje por el universo", capítulo 1 "El Sol".

² Serie Documental Española "Energías Renovables", capítulo 1 "Energía Solar".

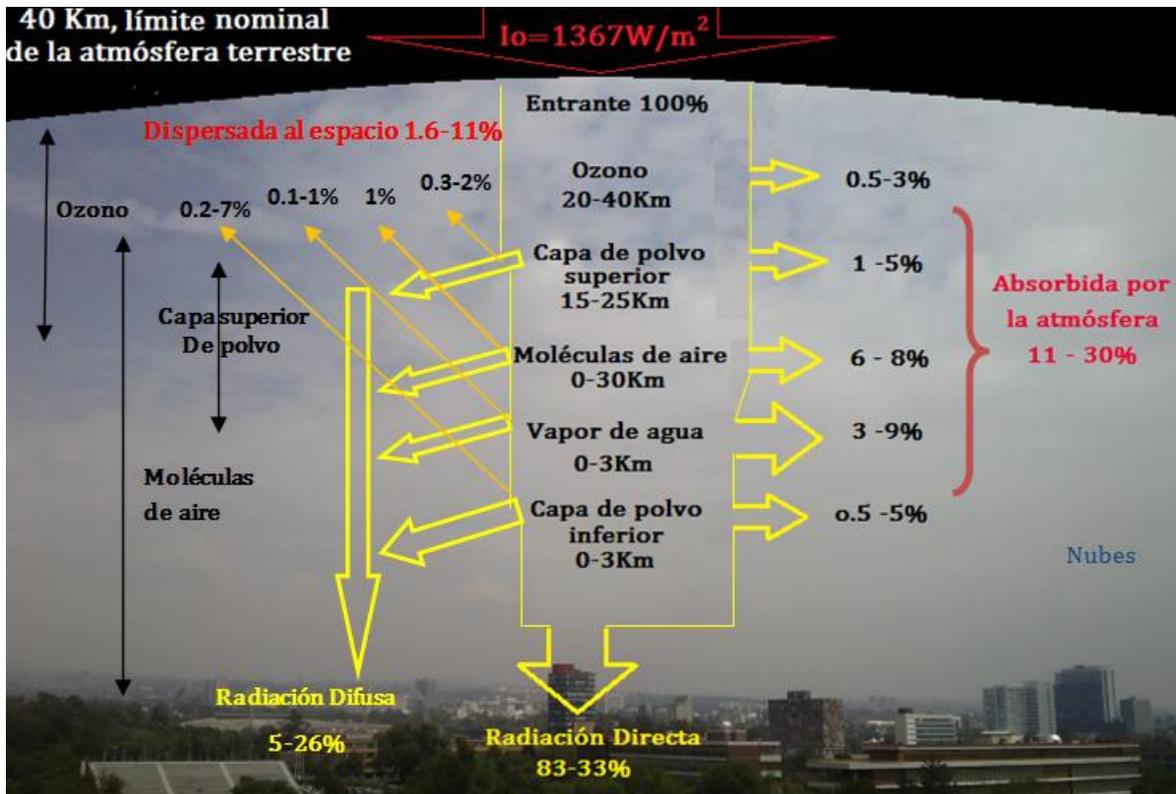


Figura 1. 2 Distribución de la radiación solar en la atmósfera terrestre.

Como consecuencia de esta dispersión provocada por la atmosfera, se obtienen tres formas de encontrar a la radiación solar, la primera se denomina radiación directa (G_B) y es la parte de la radiación total que no sufre un cambio en su dirección durante el recorrido a la superficie terrestre, sin en cambio aquella radiación que es dispersada por las nubes, recibe el nombre de radiación difusa (G_D) esté tipo de radiación es la que está presente durante los días nublados ya que es reflejada por las nubes sin que este la presencia directa del sol, por último, se considera que el suelo y el medio en general puede reflejar cierta cantidad de radiación directa la cual tampoco tiene una dirección preferente, denominada radiación reflejada (G_G).

1.1.2 Potencial, medición y estimación de la radiación solar.

La energía despedida por el Sol es del orden de $3.8 \times 10^{20} \text{ MW}$, de la cual sólo una pequeña fracción llega a la tierra igual a $1.7 \times 10^{14} \text{ KW}$, aun así, de acuerdo a las estimaciones realizadas se considera que 84 minutos de exposición de radiación sobre la tierra es igual a la demanda energética en el mundo por un año.³ Si bien existe una variación en la cantidad de energía proveniente del Sol, debido a que la tierra tiene una órbita elíptica, a la temperatura y diámetro del Sol, está energía se toma como una constante, en la llamada constante solar (G_{sc}), la cual de acuerdo a las mediciones tiene un valor de 1367 W/m^2 .⁴ Como consecuencia

³ Kalogirou Soteris. Solar energy engineering: processes and systems, First Edition, 2009.

⁴ The National Aeronautics and Space Administration's (NASA).

de la órbita terrestre y de la inclinación que tiene la tierra con respecto al eje polar igual a 23.5° (ver Figura 1.3), a la topografía de la zona y el clima, cada región de la tierra recibe una cierta cantidad de radiación solar, ajustando para cada día del año la radiación recibida del sol, se obtiene la radiación extraterrestre (G_{ON}), entendiéndose como la cantidad de radiación solar que podría ser recibida en ausencia de la atmósfera:

$$G_{ON} = G_{SC} \left(1 + .033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \text{ Donde: } n = \text{ día del año} \quad (1)$$

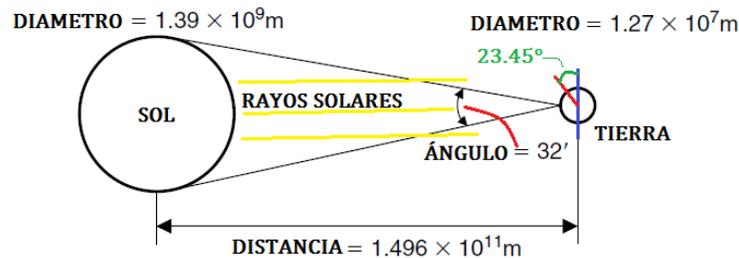


Figura 1. 3 Dimensiones Sol - Tierra.

Debido a los factores antes mencionados, la cantidad de radiación solar que incide en la superficie terrestre, disminuye por debajo de la mitad del valor de la radiación extraterrestre. En la Figura 1.4, se observa el comportamiento de radiación solar en el mundo, en la cual se aprecia como disminuye la cantidad de radiación solar recibida hacia los polos (color morado) y e incrementándose en el ecuador (color amarillo).

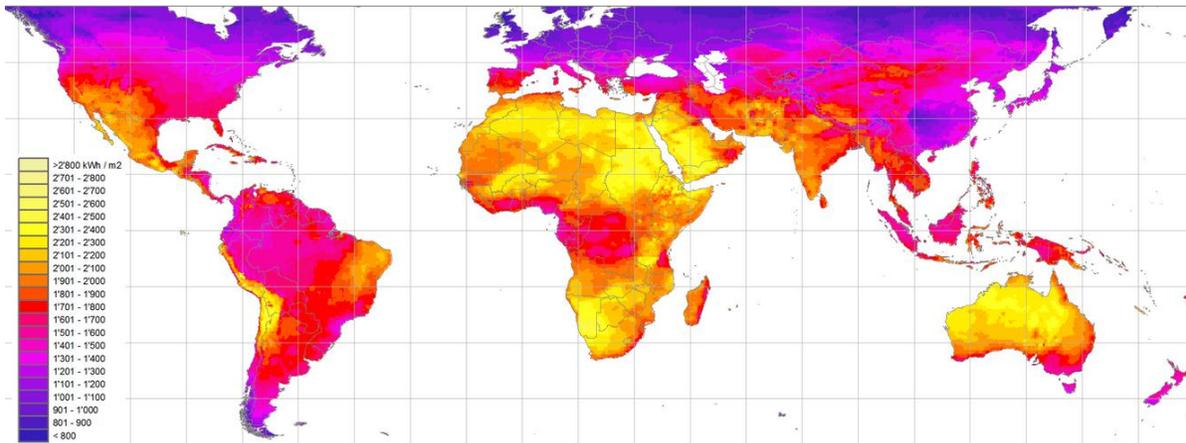


Figura 1. 4 Radiación Anual Global Horizontal.⁵

Algunos de los instrumentos que se utilizan para medir la radiación solar que incide en alguna superficie de interés son los piroheliómetros los cuales miden exclusivamente la radiación solar directa por lo que tienen un sistema de movimiento de relojería que los hace seguir al Sol, el segundo equipo usado es el piranómetro que puede medir la radiación directa y difusa pero que se instala de manera fija, sin embargo no todos los centros de monitoreo cuentan con ellos y las mediciones en un lapso de tiempo corto no reflejan un comportamiento

⁵ Meteonorm database of meteotest (www.Meteonorm.com)

continuo, así como la calibración de los mismos instrumentos que en ocasiones dan valores menores de potencia calorífica o eléctrica.

Es por eso que se han elaborado una serie de métodos de medición, basados en condiciones meteorológicas como la nubosidad (menos efectivo), temperatura, humedad relativa, días lluviosos, días de asoleamiento y horas de insolación, que dan un valor de radiación total promedio, ya sea mensual u horaria, y apoyados en ajustes por regresión se puede estimar los componentes de dicha radiación.

1.2 TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA SOLAR.

1.2.1 Breve historia de la evolución de la tecnología solar térmica.

Es difícil mencionar una fecha en la que se haya comenzado a utilizar la energía proveniente del Sol por los seres humanos, de acuerdo con los registros históricos, el secado de frutos y granos para preservar la comida fue de los primeros métodos en los que se usó la energía del Sol, también se podría mencionar la orientación hacia el sur de las casas de los antiguos griegos que favorecían la disminución en la dependencia en los combustibles como carbón y madera, otro ejemplo serían los baños romanos que retenían el calor por medio de ventanas transparentes de vidrio que permanecían cerradas.

De igual forma la desalación solar descrita por Aristóteles hacía el año 400 A.C. y reportada por Alejandro de Afrodisias en el 200 D.C., pero el caso más recordado en el que la energía solar fue usada mediante un concentrador es el de los espejos de Siracusa por Arquímedes para hundir los barcos romanos que querían invadirlos.

No fue sino hasta 1767, cuando Horace Saussure, naturalista suizo que implementó las llamadas cajas calientes (ver Figura 1.5), prototipos de los colectores solares planos, con los cuales se alcanzaron temperaturas superiores a los 100°C.

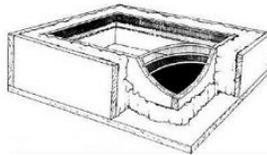


Figura 1.5 Caja caliente diseñada por Horace Saussure

Cabe mencionar que muchas de las primeras aplicaciones se realizaron con colectores concentradores, tal es el caso del químico Francés Lavoisier en 1774 quien construyó un concentrador con el cual logró fundir platino a 1760°, antes que el E. W. Tschirnhaus y Jacques Cassini utilizaron concentradores para secar porcelana y fundir hierro respectivamente.

Durante el siglo XIX se enfocó en obtener energía mecánica a través de energía térmica y Auguste Mouchot construyó la primera máquina de vapor activada por el Sol, la cual era una canal de sección parabólica que concentraba los rayos del sol en un tubo de cobre, generando vapor el cual se entregaba en un depósito metálico situado en la parte superior.

Posteriormente durante la exposición internacional de París de 1878, mostró una turbina que operaba con energía solar y con la cual podía obtener hielo, que se muestra en la Figura 1.6.

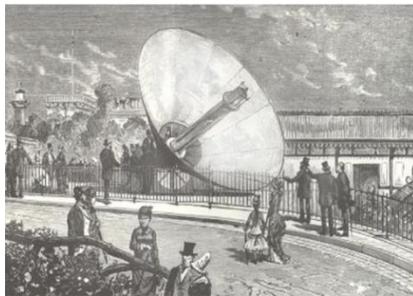


Figura 1. 6 Turbina de Mouchet en la exposición internacional de Paris de 1878.

Una serie de inventos siguió a los antes mencionados, sin embargo los altos costos y el abaratamiento de los combustibles durante esa década no permitió que se lograra un salto en la tecnología, algunas de las patentes de mayor relevancia fueron, en la parte solar térmica el motor de Sol (Stirling Dish) de John Ericsson, el cual usaba el reflector y un absorbedor.

Retomando el colector solar plano, hasta 1891 año en el que Clarence M. Kemp lanzó de manera comercial el calentador solar Climax Solar, siendo el primer colector de calentamiento de agua. A partir de esta patente se obtuvieron mejoras en el diseño que revolucionaron a los colectores planos adicionando tanques de almacenamiento que permitían mantener el agua caliente por más tiempo.

Ya a principios del siglo XX, muchos de los avances en la tecnología se orientó nuevamente a los colectores concentradores, en busca de mover maquinaria y generara electricidad, tal es el caso de los norteamericanos Shuman y Boys, quienes instalaron un par de campos de concentradores parabólicos, primero en Filadelfia y posteriormente en Egipto, obteniendo de 37 a 45 kW, el comienzo de la primera guerra mundial impidió que se continuara con dicho proyecto.

Ya en los años 20's y con el descubrimiento del gas natural así como el petróleo, se pone fin a la industria de calentadores solares, la cual volvería al mercado una década después con el colector solar plano llamado "día y noche", no fue sino hasta la década de los 50's cuando el físico israelí Zvi Harry Tabor hizo uso de los recubrimientos selectivos los cuales vuelen a revolucionar al colector plano y a los colectores concentradores.

Sin embargo con la segunda guerra mundial, se vuelven a abaratar los costos de los combustibles fósiles que propicia que no se empleen en el ámbito industrial los colectores solares, aun así dicho acontecimiento sirvió para comenzar a retomar la investigación y el desarrollo de distintos sistemas de energías renovables, entre ellas la energía solar y poco después, en los años 70's con la guerra del golfo y con un encarecimiento ahora de los combustibles no renovables, países como EU instala plantas solares de generación de energía eléctrica con colectores cilindro parabólico.

China, Japón e India implementan el uso de colectores solares planos para calentamiento de agua habitacional, siendo china la nación con más metros cuadrados en servicio actualmente, ver Figura 1.7 de la ciudad de Pekín.



Figura 1.7 Casas chinas con colectores solares planos.⁶

Así entra Israel y España a la investigación, desarrollo y manufactura de concentradores solares, al grado que España es el líder mundial en generación de energía eléctrica termosolar, desplazando a EU desde el 2004, por medio del aprovechamiento de las NEKL'AS. Hoy en día Alemania está a la cabeza de la producción de electricidad vía radiación solar y su producción podría incrementarse debido a que su gobierno está considerando erradicar las centrales nucleares. En la Tabla 1.1 se listan los diez primeros países que utilizan de energía solar actualmente.

Tabla 1.1 Ranking de países que utilizan energía solar para producción de electricidad.⁷

País	Generación de Energía Eléctrica [MW]
Alemania	17193
España	3784
Japón	3662
Italia	3484
USA	2528
Republica Checa	1953
Francia	1025
China	893
Bélgica	803
Corea del Sur	655

Tan solo este grupo de países representa el 91% de la generación de electricidad por medio de la energía solar.

⁶ Morada.mx/blog/¿que-es-un-calentador-solar/

⁷ 1bog.org/blog/infographic - top- ten- that-use-solar-energy/

1.2.2 Estado actual de la tecnología.

En la actualidad, la energía solar se usa de dos formas principales, la primera es la potencia térmica solar, en la que el Sol se usa para calentar fluidos, por medio del efecto foto-térmico, los cuales impulsan turbinas y otras máquinas. La segunda es la conversión fotovoltaica (paneles solares), por medio del efecto fotovoltaico en los que la electricidad es producida directamente del sol. Enfocado a los sistemas térmicos se tiene una clasificación de los medios de aprovechamiento de la energía solar, mostrados en la Figura 1.8.



Figura 1. 8 Clasificación de la energía solar - térmica.

Dentro de la energía térmica activa, los equipos de captación de irradiación solar, con base en las temperaturas que pueden alcanzar se clasifican de la siguiente forma: baja temperatura (menor a 100°C), media temperatura (entre 100°C y 200°C) y alta temperatura (mayor a 200°C) temperatura, en la Tabla 1.2 se dan aplicaciones típicas, en función de las temperaturas que alcanzan, así como los movimientos que pueden realizar.

Tabla 1. 2 Colectores de energía solar.⁸

Movimiento	Tipo de colector	Tipo de absorbedor	Relación de concentración ⁹	Rango de temperatura (°C)
Estacionario	Colector de Placa Plana (FPC)	Plato	1	30 - 80
	Colector de Tubo Evacuado (ETC)	Plato	1	50 - 200
Seguidor en un eje	Colector Parabólico Compuesto (CPC)	Tubular	1 - 5	60 - 240
			5 - 15	60 - 300
	Colector Lineal Fresnel (LFR)	Tubular	10 - 40	60 - 250
	Colector Cilindro Seguidor (CTC)	Tubular	15 - 50	60 - 300
Seguidor en dos ejes	Colector Parabólico seguidor (PTC)	Tubular	10 - 85	60 - 400
	Reflector de Disco Parabólico (PDR)	Puntual	600 - 8000	100 - 1500
	Campo Colector de Helióstato (HFC)	Puntual	300 - 1500	150 - 2000

El Colector solar de Placa Plana (FPC), es un intercambiador de calor que usa la radiación solar incidente (directa y difusa) en su superficie, ésta energía después de atravesar una serie de cubiertas (1 a 3), que pueden ser de vidrio o plástico, es absorbida por la placa la cual puede tener un recubrimiento selectivo, una vez almacenada en forma de calor es transferida a los tubos unidos a la placa absorbidora que contienen al fluido de trabajo, el cual puede ser en la mayoría agua, refrigerante o aire. Sus dimensiones están entre 0.80 m a 1.2 m de ancho a 1.80 m a 2.10 m de alto y cuenta con un material aislante en los laterales, tal y como se muestra en la Figura 1.9.

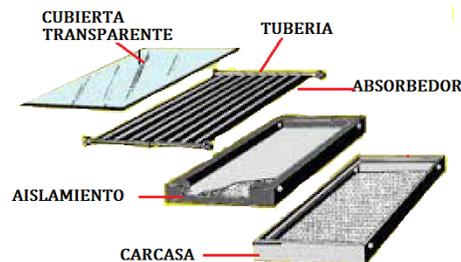


Figura 1. 9 Composición básica de un colector de placa plana.¹⁰

Este tipo de colector no necesita de un mantenimiento continuo y la mayoría de ellos tienen una vida útil de entre 20 y 25 años.

⁸ Kalogirou Soteris. Solar energy engineering: processes and systems, First Edition, 2009.

⁹ Se define como el área de apertura del colector entre el área de su absorbedor.

¹⁰ Klimafadurasal.blogspot.com

El colector de tubos evacuados (ETC), si bien alcanza temperaturas mayores debido a que el absorbedor tiene una capa selectiva parecida a los que usan los colectores concentradores y que se encuentra envuelto por un tubo sellado, no es práctico su uso en sitios en donde las condiciones meteorológicas lleguen a presentar granizo, además debido a que tienen muchas partes para unirse se pueden presentar fugas ver Figura 1.10.



Figura 1. 10 Colector solar de tubo evacuado,¹¹

Una ventaja de estos colectores es la forma cilíndrica la cual permite que la radiación incida en el absorbedor de manera perpendicular en la mayor parte del día, existen dos tecnologías principalmente, la primera llamada de tubo de calor (heat pipe) que usa un fluido de evaporación condensación que una vez que ha absorbido el calor se evapora, sube al condensador y libera el calor latente al fluido caloportador o de manera directa al fluido a calentar. El segundo tipo de tecnología es el de flujo directo, el cual hace pasar al fluido a calentar por la parte interna de los tubos, este sistema tiene tres variantes en su tubería que pueden ser:

- De fluido concéntrico de entrada y salida que usa un tubo de vidrio y una tubería de cobre.
- De tubería de entrada y salida separada.
- De dos tubos de vidrio fundidos en un extremo que son más eficientes en aplicaciones de altas temperaturas.

Colector de Concentrador Parabólico Compuesto (CPC), tienen la capacidad de reflejar toda la radiación incidente dentro de un ángulo dado hacía el receptor que puede ser plano, tubular, angular o bifacial, alcanzando mayores temperaturas por tener un factor de concentración mayor a 1 y siendo menor a 5, puede utilizar la radiación difusa y operar en días lluviosos, se pueden implementar en forma individual o en paneles que serían similares en su forma a los colectores planos véase Figura 1.11.

¹¹ Spanish.alibaba.com



Figura 1. 11 Colector parabólico compuesto (CPC)¹²

Este tipo de colector puede adaptarse con un tubo de vacío como absorbedor para aumentar la temperatura de salida, así como un mecanismo de seguimiento. Su mantenimiento al igual que el colector plano es mínimo.

Los Colectores Parabólicos con Seguidor (PTC) son equipos de media y alta temperatura con un factor de concentración de entre 30 y 90, que están constituidos por un espejo cilíndrico parabólico que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola, pueden operar de manera eficiente hasta un rango de 450°C, en la Figura 1.12 se muestra un PTC con sus componentes principales

El tipo de fluido de trabajo usado depende de que temperatura se quiera alcanzar, con temperaturas moderadas (menor a 200°C) se ocupa agua desmineralizada o una mezcla de Etileno-Glicol, en aplicaciones de alta temperatura (entre 200°C a 450°C) se usa el aceite térmico, por ejemplo a 300°C se elige el Satotherm 55, para 400°C el Monsanto VP-1 o el Syltherm 800, sin embargo sus temperaturas de congelación son 12°C y 40°C respectivamente lo que provoca que se tenga traceado eléctrico en las tuberías. Uno de los limitantes en el uso del agua era que se necesitaban grandes presiones para mantenerla líquida a 350°C, sin embargo se han hecho estudios en la plataforma solar de Almería para obtener la generación directa de vapor y así poder eliminar el intercambiador de calor.



Figura 1. 12 Concentrador Cilindro Parabólico.¹³

¹² Tecnomier.com.mx

Estos sistemas cuentan con un mecanismo seguidor para tener una mayor disponibilidad del recurso solar, debido a sus dimensiones este equipo es muy complejo y generalmente mueve a una serie de módulos, su seguimiento se da con un grado de libertad y se orienta de norte- sur o de este- oeste.

La tecnología del colector cilindro parabólicos es la más desarrollada, debido a su implementación en plantas SEGS, se han puesto al mercado los concentradores Eurotrough y el LS-3, las SEGS presentan actualmente la forma más económica de generar energía eléctrica o vapor a alta presión (375°C y 100 bar), sin embargo no resulta competitiva en muchos de los mercados energéticos si está no tiene incentivos fiscales o apoyo económico que tenga en cuenta sus beneficios ambientales.¹⁴

En la actualidad se ha comenzado a diseñar concentradores de menor tamaño que puedan ser instalados en zonas más pequeñas con una buena eficiencia.

El Colector Fresnel tiene dos variaciones, el colector de lentes Fresnel (FLC) y el Colector lineal Fresnel (LFR), ambos usan la reflexión en espejos para enfocar la radiación solar en un punto de recepción.

Los espejos paralelos enfocan la energía irradiada por el Sol en un tubo, situado 8 m por encima de los espejos, por el cual fluye el agua que se calienta a 450°C, produciendo vapor, el pequeño tamaño de los espejos los hace menos sensibles al viento, en marzo de 2009 el grupo alemán Novatec Biosol puso en marcha la planta Puerto Errado 1 en Murcia con una potencia de 1.4 MW, en la Figura 1.13 se observa el arreglo de estos concentradores.



Figura 1. 13 Concentrador FLC en la planta Puerto Errado 1 en Murcia.¹⁵

El LFR es una absorbedor vertical que en la punta tiene un concentrador, los espejos situados en el suelo reflejar la radiación, estos pueden ser planos o curvos y son más baratos que los reflectores de vidrio parabólicos. Presenta problemas como el sombreado entre módulos lo que lo lleva aumentar su altura.

¹³ Eurotrough, www.sbp.de/en/projects/detail.html?id=1043.

¹⁴ Dr. Manuel Romero Á. Director Plataforma Solar de Almería- CIEMAT, "Energía Solar Termoeléctrica".

¹⁵ www.novatec-biosol.com

El Disco parabólico Reflector (PDR), se componen de un reflector en forma paraboloide de revolución, un receptor ubicado en el foco de dicha paraboloide y un sistema de generación eléctrica compacto que suele ser un motor Stirling o turbina y un generador, véase Figura 1.4.



Figura 1. 14 Sistema de Disco Parabólico.

La radiación solar se refleja en el disco incidiendo en el receptor, el cual convierte la energía térmica en eléctrica, con una eficiencia de hasta 35% y una potencia de 3kW a 30kW. El disco puede ser de una sola membrana o una serie de espejos curvados que forman el disco.

En España el proyecto Aznalcóllar-TH en Sanlúcar la Mayor (Sevilla) por medio de Solúcar Energía es una planta de discos Stirling con tecnología EURODISH, en Francia el proyecto THEMISH costa de cinco discos Stirling de 10KW en Thémis.

El Recibidor central con campo de helióstatos (HFC), se caracteriza por estar formado por un grupo de concentradores individuales (Helióstatos) los cuales reflejan la radiación solar hacia un foco receptor situado en lo alto de una torre, sus órdenes de concentración son de 200 a 1000 y las potencias unitarias de 10 a 200MW, se tienen receptores que utilizan como fluido de trabajo agua-vapor con evaporación, con o sin sobrecalentamiento, de aire, de partículas sólidas, de sodio fundido y en las plantas más modernas se manejan las sales fundidas de alta tecnología que en conjunto con los tanques de almacenamiento permiten tener un almacenamiento de 10 a 12 h, lo que permite sistemas que superan las 4500 horas anuales. El despliegue de la planta está condicionado por las características del terreno, la posición del receptor y el tamaño de la planta, las dos opciones más usadas son el de campo circundante o el campo norte-sur según la latitud del emplazamiento, ver Figura 1.15.

Los helióstatos se componen básicamente de una superficie reflectante, el soporte estructural, el sistema de control y el mecanismo de movimiento (permitiendo moverse en dos ejes). Se usan espejos de vidrio como los usados para concentradores parabólicos o películas poliméricas, su tamaño ronda de los 40 a los 150 m² aunque se han comenzado a retomar los helióstatos pequeños por el abaratamiento de costos.



Figura 1. 15 Despliegue de un campo de heliostatos alrededor de un receptor central.¹⁶

1.3 USOS DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.

1.3.1 Aplicaciones de baja temperatura.

La producción de agua caliente sanitaria (ACS) es la más habitual actualmente, y constituye una tecnología completamente madura y rentable, con una experiencia práctica superior a 50 años. La temperatura de la aplicación (40°C - 60°C) es coincidente con la del sistema solar térmico de captadores planos, por lo que el rendimiento es favorable.

En el caso de piscinas cubiertas se puede contar con una fuente energética de apoyo, en el caso de la climatización de viviendas y las tecnologías de refrigeración se pueden acoplar a un sistema solar las maquinas enfriadoras térmicas, tanto las de absorción como las de adsorción, los procesos de desecación y enfriamiento evaporativo.

Hay numerosos ejemplos (ver Figura 1.16 de sistemas solares térmicos) en los que la industria utiliza agua caliente para desarrollar sus actividades, en especial la industria textil, procesos químicos, limpieza y desengrasado de automóviles, limpieza y desinfección de botellas y otros envases, industrias alimenticias, mataderos, suelo radiante para granjas o invernaderos, así como el secado de productos agrícolas.

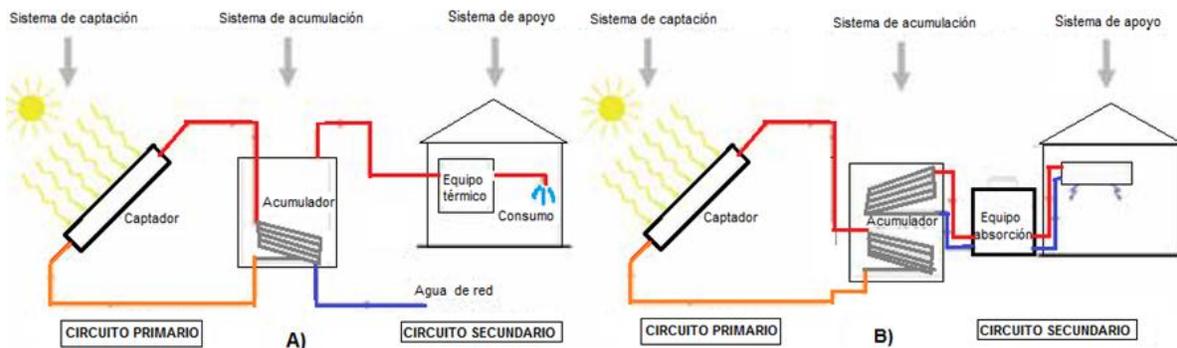


Figura 1. 16 Esquema básico para una instalación solar térmica: A) ACS, B) Refrigeración¹⁷

¹⁶ www.abengoasolar.es

¹⁷ www.sedigas.es

1.3.2 Aplicaciones de media temperatura.

Dentro de esta se consideran dos fundamentalmente:

1. Para procesos industriales que usen vapor a 150°C, se puede mencionar las cocinas solares o los destiladores de agua.
2. Generación de energía eléctrica utilizando un fluido caliente hasta 400°C, conectado a un ciclo termodinámico (ver Figura 1.17 izq.).

1.3.3 Aplicaciones de alta temperatura.

Este tipo de equipos se usa en particular para generar energía eléctrica, por medio de recibidores centrales con heliostatos, los cuales usan sales fundidas, obteniendo vapor a 600°C y 100 bar, de igual manera el uso de un campo de PTC, generación con motor Stirling, otra aplicación que aún sigue en estudio son los hornos solares para fundir metales, se puede ver un ejemplo de esto en la Figura 1.17 der.).

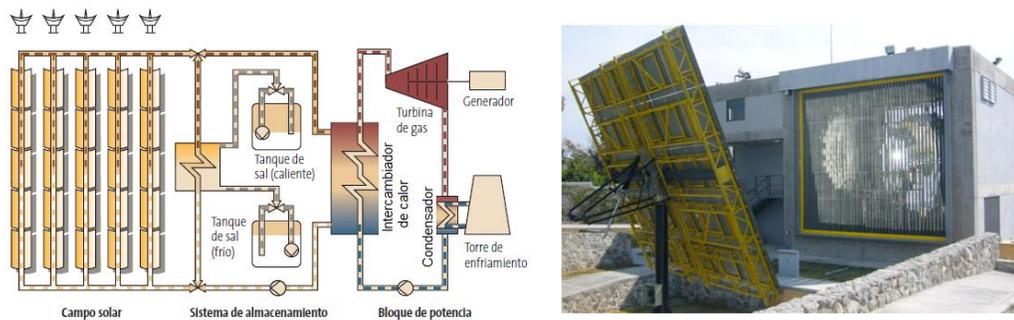


Figura 1.17 izq.) Esquema de una instalación de media temperatura, der.) Horno solar de alto flujo radiativo.¹⁸

1.4 RECURSO SOLAR EN MÉXICO Y EN EL MUNDO

1.4.1 Radiación incidente en la República Mexicana.

De acuerdo con el Instituto de Energías Renovables (IER), las mediciones de radiación solar en México datan de 1911 por el Dr. Ledislaو Gorczyński, posteriormente por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como de diversas instituciones nacionales, no fue hasta 1975 en los trabajos de Almanza y López del Instituto de Ingeniería de la UNAM cuando se presentan los mapas de irradiación mensual diarias promedio mensual y anual en langleyes¹⁹/día (ver Figura 1.18), mediante el uso del método empírico de Jeevananda Reddy.

¹⁸ www.SolarMillennium.de y www.cie.unam.mx

¹⁹ Langley es una unidad para medir la radiación solar o insolación que llega a una superficie de la tierra en un día o en un mes, su equivalente en el SI es $1 \frac{J}{m^2} = 2.4 \times 10^{-5} Ly$, actualmente se usa el $\frac{MJ}{m^2}$

En la actualidad, el uso de software como el de Meteonorm que recaba e interpola datos meteorológicos para calcular la radiación solar, la utilización del procesamiento de imágenes de nubosidad por medio de satélites estacionarios con las cuales es posible lograr resoluciones de 10 a 40 km y en días claros se tienen intervalos de 1 a 5 km, la exactitud es del 10 % cuando existe una estadística de varios años.

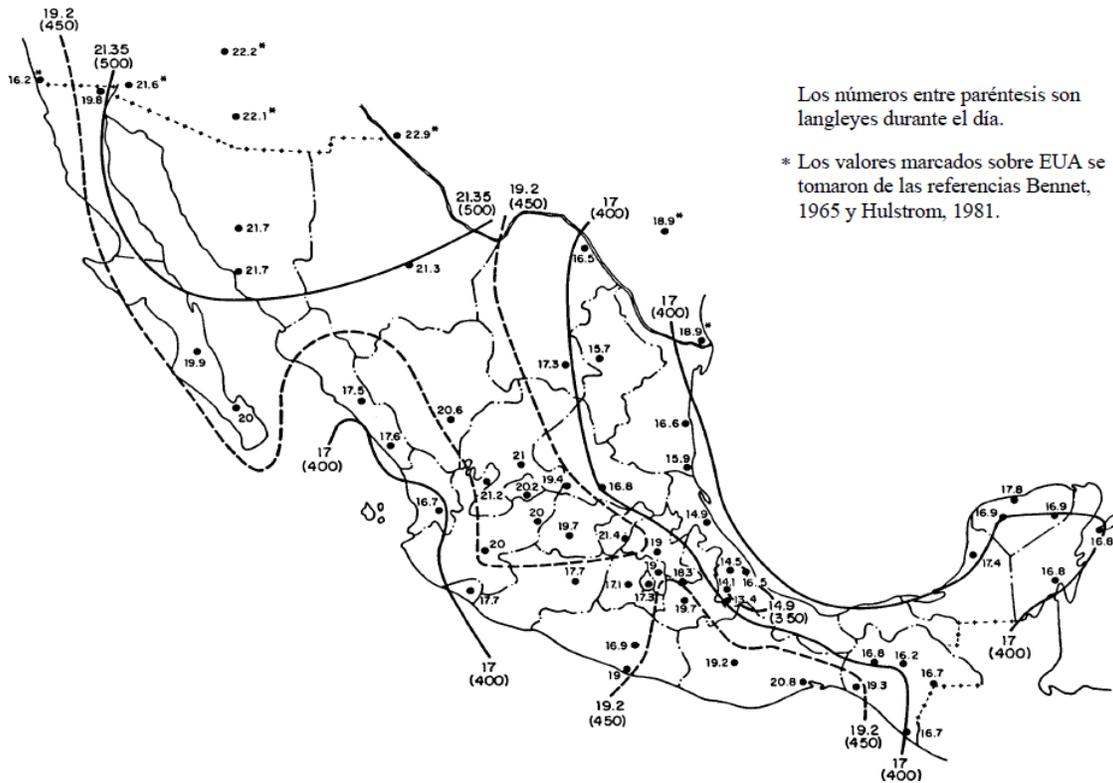


Figura 1. 18 Mapa de isótopos de la República Mexicana.²⁰

En los mapas mostrados (Figura 1.18 con valores en MJ) se observa que las regiones con una mayor irradiación solar en la República Mexicana son Chihuahua, el oriente de Baja California y Sonora con más de 20 MJ/m², otras zonas bien definidas con más de 19.2 MJ/m² al año son Zacatecas, Aguascalientes, Guerrero, Oaxaca, Durango y una parte de Puebla, sin embargo más de la mitad del país recibe 17 MJ/m² en el año, con base en el mapa de la Figura 1.19 elaborado por el software Meneonorm se aprecia que México tiene una alta incidencia solar, volviéndolo un fuerte candidato para aplicaciones solares térmicas y fotovoltaicas .

²⁰ R.Almanza, S.López, "Radiación solar global en la República Mexicana mediante datos de insolación", Instituto de ingeniería UNAM, Octubre de 1975.

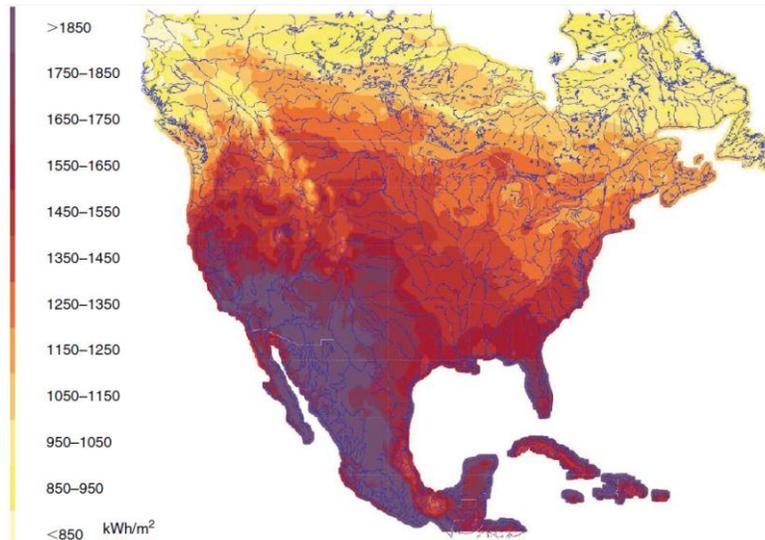


Figura 1. 19 Mapas satelital de irradiación solar anual total de México.²¹

1.4.2 Ejemplos en aprovechamiento de energía solar

Como se mencionó en el apartado 1.2.1, las dos naciones líderes en el uso y la transformación del recurso solar son Alemania y España, que a pesar de contar con una menor radiación solar incidente en sus territorios (ver Figura 1.20), se han dedicado a la investigación y el desarrollo tecnológico en el área solar. Así cuatro naciones más de este grupo de 10 países del Ranking mundial se encuentran en Europa.

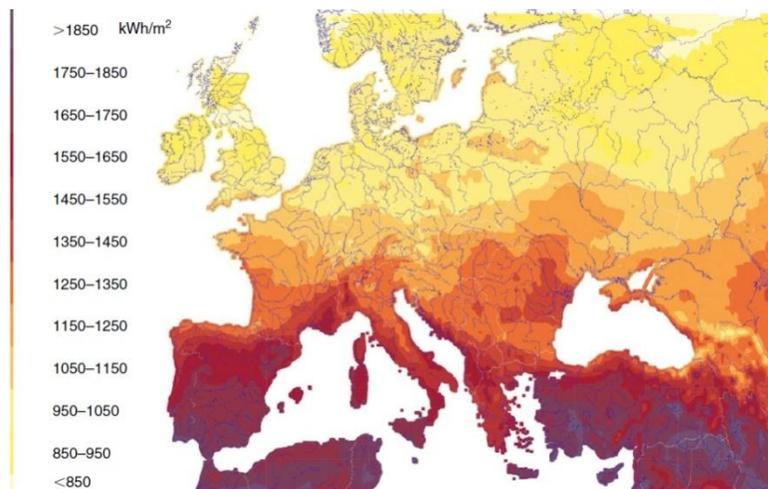


Figura 1. 20 Mapa de irradiación anual total para Europa.²²

²¹ www.meteonorm.com

²²

Como se muestra en el mapa anterior, Alemania, República Checa y Bélgica reciben menos de 1250 kWh/m² y la porción superficial de Francia e Italia con más de 1700 kWh/m² es menor a la sexta parte de su territorio.

En cuanto a España, es el país con el mayor índice de recurso solar en Europa, de acuerdo con el CTE se han definido cinco zonas climáticas (ver Figura 1.21), considerando la radiación solar global media diaria anual incidente sobre una superficie horizontal, los valores promedios de incidencia solar se muestran en la Tabla 1.3.

Tabla 1. 3 Intervalos de radiación de las zonas climáticas en España.²³

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13.7$	$H < 3.8$
II	$13.7 \leq H < 15.1$	$3.8 \leq H < 4.2$
III	$15.1 \leq H < 16.6$	$4.2 \leq H < 4.6$
IV	$16.6 \leq H < 18$	$4.6 \leq H < 5$
V	$H \geq 18$	$H \geq 5$

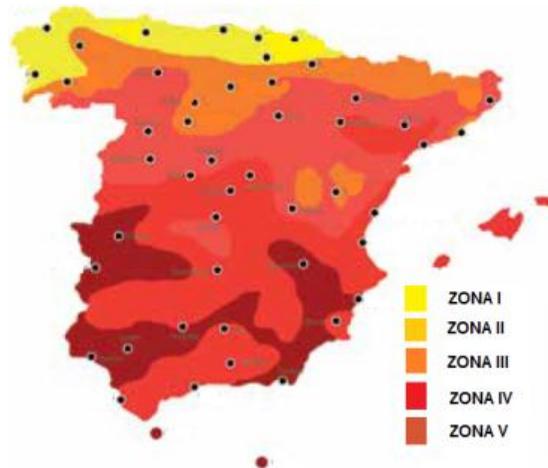


Figura 1. 21 Límite de las zonas climáticas.²⁴

²³ Sedigas, "Aplicaciones sobre la energía solar térmica, febrero 2013"

²⁴

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

Con los datos de irradiación cuantificados desde hace más de 50 años, se ha observado que México tiene un alto potencial del recurso solar para ser usado en procesos térmicos industriales, que dependerán de la normatividad energética existente para dichos procesos, así como un incentivo fiscal gubernamental y también de la industria privada, como es el caso de las empresas solar millennium (España) y el grupo Novatec Biosol (Alemania), de tal forma que impulse su aplicación no solo en el área de generación de energía eléctrica.

Debido al incremento en los precios de los combustibles fósiles se retomó la investigación y desarrollo de sistemas capaces de concentrar y transformar de una manera eficiente el recurso solar, se han diseñado nuevos equipos de concentración, así como materiales que minimicen el costo y aumenten el rendimiento, la elaboración de fluidos de trabajo y procesos como la generación directa de vapor.

Dentro de los sistemas de concentración actualmente usados, los colectores cilindro-parabólico es la tecnología más desarrollada y viable para generar energía eléctrica y de manera directa el disco parabólico con motor Stirling.

CAPÍTULO 2.- PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS

Durante el desarrollo de este capítulo se muestran los aspectos básicos del proceso de deshidratación, haciendo notar la importancia de dicho proceso en el ámbito alimenticio, para que de esta manera se pueda dar un marco general del alcance que tiene a nivel mundial.

Así se sentaran las bases del impacto que tiene en la industria alimenticia, se pueden visualizar los parámetros involucrados en dicho proceso, las opciones energéticas, y el desarrollo tecnológico en esta área.

2.1 DESHIDRATACIÓN

2.1.1 ¿Qué es la deshidratación?

El deshidratado es una operación unitaria importante en muchas industrias alimenticias, en la que se busca la preservación de los alimentos, esto se logra mediante la eliminación del agua contenida en ellos, de esta forma se inhibe el crecimiento de microorganismos, reduce o detiene las reacciones químicas del propio alimento, así como la actividad enzimática. Reduce el volumen del producto en un 50% y el peso del mismo un 80%, haciendo más fácil su transportación y manejo.

Es necesario diferenciar entre secado y deshidratado, el secado es un método tradicional próximo a la desecación natural en el que el producto contiene más de 2.5% de agua base seca, como los frutos secados al Sol y la deshidratación propiamente dicha que es una técnica artificial basada en una corriente de aire caliente bajo condiciones más controladas, en la que como resultado se tiene menos de 2.5% de agua. Sin embargo en este texto se refiere de igual forma al secado o deshidratado.

La técnica de la deshidratación de frutas como se conoce actualmente surge desde hace dos siglos en Italia y España, como consecuencia de la importación de fruta desde África.

El secado a gran escala no fue usado sino hasta principios de la I Guerra Mundial, al necesitar grandes cantidades de alimentos para el ejército, con la depresión de los años treinta no solo en Europa sino en América se realiza el deshidratado doméstico de alimentos.

Durante la II Guerra Mundial en Estados Unidos, más de 160 plantas de deshidratación entraron en operación. En Francia en el año de 1975 se tiene el primer deshidratador artificial, el cual contaba con un control de temperatura de 40°C y un flujo continuo de aire caliente el cual era utilizado para secar rodajas delgadas de frutas y vegetales.

El mercado de frutas tropicales deshidratadas, representa una gran oportunidad tanto para el productor y el empacador, debido a que se puede hacer uso de las mermas que se tienen en el campo y durante el empaque.

2.1.2 Uso de los productos deshidratados

Si bien existen procesos industriales para secar ciertos productos, como la puzolana para los cementos, la aplicación más usada se da en el procesamiento de alimentos.

En este rubro y con un enfoque de comidas rápidas, el principal uso de las hortalizas deshidratadas es como ingredientes en la elaboración de platos preparados, como sopas y otros con mayor valor agregado (arroz y fideos preparados, comidas étnicas, etc.); salsas, colorantes, condimentos, saborizantes y, en general, productos de uso industrial.

A nivel mundial las hortalizas deshidratadas han tenido un crecimiento lento, sin embargo se tiene el surgimiento de nuevos productos que hacen notar un notable desarrollo debido a la innovación y que tienen un mayor valor agregado.

En el caso de las frutas, se tiene preferencia por frutas tropicales deshidratadas como: piña, banana, papaya y mango como una alternativa a “snaks” (ver Figura 2.1) bajos o libres de grasas, los cuales causan un impacto positivo al verlos como un alimento saludable.



Figura 2. 1 Ejemplo de alimentos deshidratados²⁵

Se extiende a una gama de productos como: pescado, carnes, té, café, azúcar, almidones, sopas, comidas precocidas, especias, hierbas, etc.

A nivel internacional los productos más demandados son:

- ✚ Frutas: Mango, piña, banano, papaya, ciruelas, marañones, etc.
- ✚ Hortalizas: Zanahorias, tomates, cebollas, ajos, chiles picantes, y dulces, etc.
- ✚ Hierbas: Aromáticas (cilantro, perejil, apio, mentas, etc.)
- ✚ Infusiones: Rosa de Jamaica, manzanilla, flor de naranja, té de limón, azahares.
- ✚ Especias: Laurel, tomillo, romero, oréganos, etc.

2.1.3 Consumo de alimentos deshidratados en México y en el mundo

Los principales países consumidores de hortalizas deshidratadas en general, son EUA, China y algunos países de la Unión Europea, los que a su vez son los principales productores. En el

²⁵ www.bel-ara.com

caso de las frutas tropicales, siendo el mango, la piña, la papaya y el aguacate el 75% de la producción mundial y que representan el 90% de las exportaciones. Este tipo de fruta se caracteriza debido a que su valor comercial crece más que el promedio del total de las frutas, de acuerdo con datos de la FAO, la tasa de crecimiento anual de las frutas tropicales es del 6%, seguidas por uvas 5.3% y bayas 4.7%..

Con base en los datos de proCHILE y Global Trade Atlas, durante el 2010 las importaciones de frutas deshidratadas crecieron un 9.55% con respecto al 2009 (ver Figura 2.2), lo que significa una suma de \$1,504.87 millones de dólares.

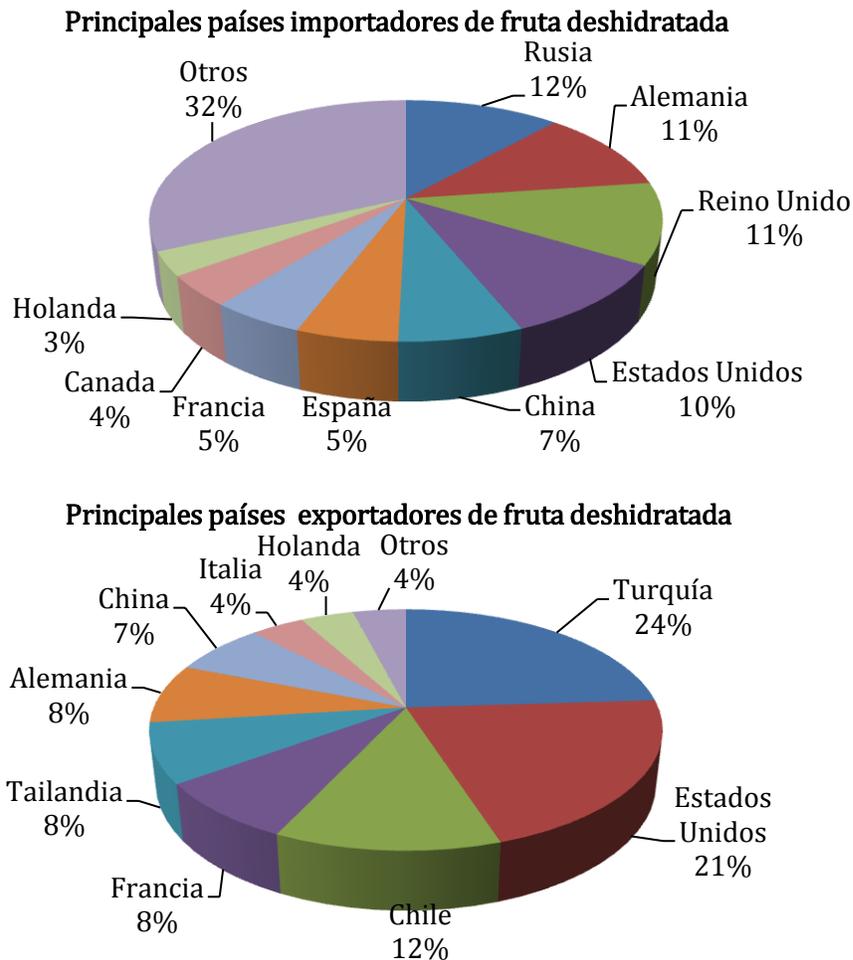


Figura 2. 2 Consumo de frutas deshidratadas en 2010²⁶

Como se observa en la Figura 2.2, Turquía lidero la lista de países exportadoras con embarques por \$294.67 millones de dólares, seguido por EU con \$264 millones de dólares y en tercer lugar Chile con una suma de \$163.81 millones de dólares.

²⁶ Hecha por el autor con base a los datos de Global Trade Atlas.

En cuanto a México, se encuentra ubicado en el puesto número 14 del ranking de países importadores y presenta el incremento interanual más alto de la lista con un 38.97%, seguido por china (38.34%) y Rusia (24.03%).

Tomando los datos de la FAO, para dar un panorama del comercio de frutas deshidratadas en México, se presentan las Tabla 2.1 de exportaciones e importaciones que se realizaron en 2010.

Tabla 2. 1 Flujo de fruta deshidratada en México²⁷

Exportaciones		Importaciones	
País	Toneladas	País	Toneladas
Costa Rica	1	China	571
Rep. Dominicana	2	Guatemala	56
Canadá	20	Argentina	18
Colombia	19	Canadá	279
Alemania	6	Chile	164
EUA	1844	Francia	253
Venezuela	3	Alemania	182
		Perú	2
		Polonia	41
		Tailandia	320
		Turquía	2
		EUA	2376
		Uganda	1

La rama de la industria de la comida deshidratada esta englobada en el grupo de alimento procesado, del cual se tiene informes de la Secretaria de Economía a través de ProMéxico en la cual se estima 156, 815 unidades económicas de industria alimentaria siendo el Estado de México, Puebla, Oaxaca, Distrito Federal y Veracruz los estados que concentran la mayoría de estas industrias.

2.2 MECANISMOS Y MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN

2.2.1 Parámetros del proceso de secado

Antes y durante el proceso de secado, se tienen una serie de parámetros que influyen en la calidad del producto a deshidratar y que enmarcan las limitaciones que puede tener dicho proceso, durante el secado el material sólido presenta dos subprocesos, la transferencia de

²⁷ Hecha por el autor con datos de la FAO del 2010

materia debida al movimiento de la humedad dentro del sólido por su temperatura y contenido de humedad y la transferencia de energía que depende de las condiciones externas, entre ellas están:

Contenido de humedad, en los alimentos el contenido de agua es variado, las carnes tienen entre el 60 al 75%, del 10 al 20% en cereales, para las frutas y hortalizas esta entre el 80 al 90%, en los hongos comestibles ronda los 90 o 95%.

La humedad, es la cantidad de vapor de agua (Kg) que contiene ya sea un kilogramo de aire o sólido seco. Se puede expresar el contenido de humedad en un sólido sobre base seca o base húmeda.

- ✚ Base húmeda.- al contenido en kilogramos de humedad por kilogramo de sólido seco más húmedo

$$M = \frac{m - m_s}{m} \quad (2)$$

- ✚ Base seca.- es el kilogramo de humedad por kilogramo de sólido seco.

$$M = \frac{m - m_s}{m_s} \quad (3)$$

Donde:

m: masa total del producto

m_s: masa seca del producto

En los alimentos se presentan dos tipos de humedad, siendo:

- ✚ Humedad de equilibrio.- Este es el mínimo contenido de humedad en la cual un material puede ser teóricamente ser secado (también llamado contenido mínimo de humedad higroscópico).
- ✚ Humedad ligada.- Es la humedad mínima del sólido necesaria para que este deje de comportarse como higroscópico²⁸, contenida dentro de las paredes celulares, pequeños capilares o grietas.

Durante el proceso de secado se tienen dos tipos de humedad, relacionados con el aire ambiente y el mismo proceso:

- ✚ Humedad relativa.- Es la relación entre la presión parcial de vapor y la tensión de vapor a la misma temperatura.
- ✚ Humedad absoluta.- Es la relación entre el peso de vapor y el peso de gas contenido en una masa gaseosa.

²⁸ Higroscópico.- es la capacidad de algunas sustancias de absorber humedad del medio circundante, puede contener humedad ligada.

De la cantidad de humedad dependerá la cantidad de calor requerido para el proceso, el tiempo de permanencia del producto en el secadero, la temperatura de humidificación y las dimensiones del secador.

Temperatura del aire atmosférico (combinación entre aire seco y vapor de agua), este parámetro a medida que se va incrementando, facilita la eliminación de la humedad dentro del sólido. Se utiliza tanto la temperatura de bulbo seco (temperatura del aire atmosférico real), como la temperatura de bulbo húmedo.

Si la temperatura del aire es alta y su humedad relativa es baja se corre el riesgo de que la humedad en la superficie del alimento se elimine más rápido de lo que se difunde el agua del interior hacia la superficie, lo que ocasiona la formación de costras.

Velocidad del aire, está tiene dos funciones primordiales, la primera es transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el alimento para facilitar su evaporación y la segunda es que ayuda a transportar la humedad. El flujo de aire es importante, un flujo turbulento es más eficiente que uno laminar, a nivel industrial se emplean velocidades de aire de entre 1.5 a 2.5 m/s.

Presión de vapor, se considera que es la suma de la presión ejercida por el air seco más la presión de la masa de vapor, en este caso, cuando el aire atmosférico con determinada humedad entra en contacto con la superficie del sólido, se presenta una tendencia al equilibrio entre la superficie y el aire, causando la evaporación de una parte del agua en la superficie hasta que el aire se satura y se iguala la presión de vapor.

Área de superficie, normalmente se hacen rebanadas de los alimentos, ya que entre mayor sea el área expuesta del producto, mayor será la transferencia de calor y masa, lo cual aumenta la velocidad de secado, también se busca que sean delgadas para facilitar la migración del agua del interior hacia la superficie.

Pretratamientos, el proceso posterior a la recolección del producto es de preparación, para evitar que esté sufra de un cambio indeseado durante el proceso de deshidratado, ya sea en su color, forma o sabor como consecuencia de la eliminación del agua, para evitar dichos cambios o mejorar su calidad se realizan procesos físicos y/o químicos. Algunos de estos pretratamientos se presentan en el anexo 2.

2.2.2 Proceso de deshidratación

En el mecanismo de deshidratación se busca que en la transferencia de calor se logre alcanzar el calor latente de evaporación, lo cual permita que el alimento sea atravesado por el agua que contiene o el vapor y de esta manera lo abandone.

De forma común se usa aire, el cual ha sido calentado, el aumentarle su temperatura y disminuir su humedad relativa le permite arrastrar la humedad de los alimentos. A medida que se aumenta su velocidad, aumenta el coeficiente de transferencia de calor y su

movimiento constante retira al aire que se ha saturado (con la humedad de los alimentos) y que ha entrado en equilibrio con la superficie del alimento húmedo.

Hacia el interior de los alimentos, la humedad se desplaza ya sea por difusión de vapor o agua, o hidrodinámicamente por flujo capilar.

Durante dicha técnica se tiene el siguiente comportamiento, descrito en las curvas de deshidratación, la primera curva se obtiene al graficar el tiempo de secado vs el contenido de humedad (ya sea humedad ligada o humedad total), ver Figura 2.3 (A) y la segunda curva es obtenida al graficar el contenido de humedad contra la velocidad de secado, Figura 2.3 (B).

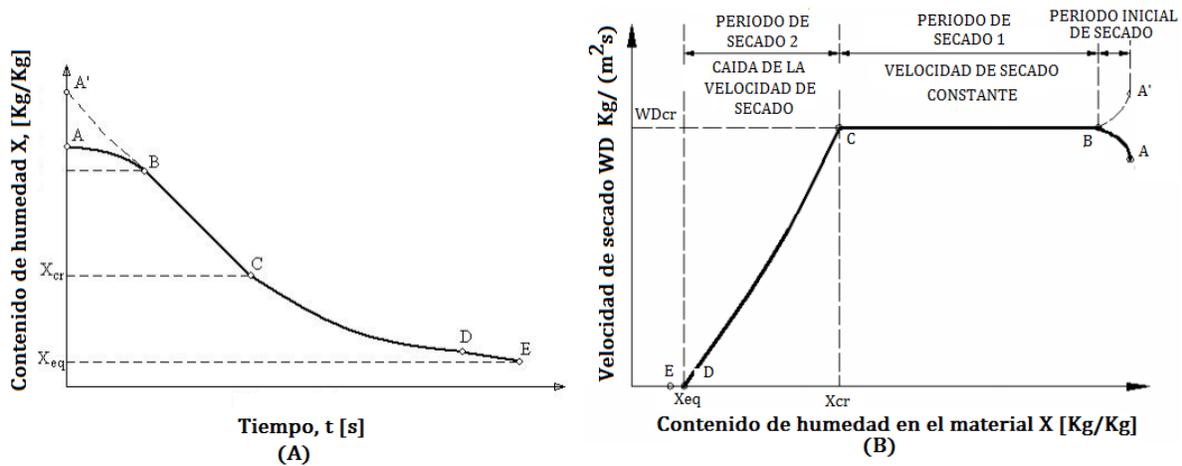


Figura 2. 3 Curvas de secado²⁹

Se tienen varias etapas en el proceso de secado, siendo la velocidad de secado creciente, la velocidad constante y velocidad decreciente las principales, en las cuales los tiempos son diferentes.

La primera fase del secado (A-B) es un corto periodo transitorio (habitualmente despreciable) durante el cual la temperatura del producto aumenta al igual que su velocidad de secado, la segunda fase (velocidad constante B-C) se presenta en la superficie debido a que el contenido de humedad en el producto es mayor que el contenido de humedad higroscópico, siendo la velocidad de secado casi constante ya que la intensidad del secado es igual a la intensidad de evaporación en la superficie libre del líquido, así el producto se encuentra saturado de humedad a una temperatura casi constante y aproximadamente igual a la temperatura de bulbo húmedo³⁰, formando una película delgada llamada humedad no ligada³¹, la extracción de humedad en este periodo depende principalmente de las condiciones del aire circundante y es prácticamente independiente de la naturaleza del producto, en los

²⁹ G. Nonhebel, A. A. H. Moss, El secado de sólidos en la industria química, Edit. Reverte, 1979, Barcelona.

³⁰ Es la temperatura que se alcanza al poner en contacto una pequeña cantidad de agua con una corriente continua de gas en condiciones de estado estable.

³¹ En un material higroscópico, es aquella humedad en exceso por encima de la humedad de equilibrio.

materiales no higroscópicos todo el proceso de secado tiene lugar en el periodo de velocidad constante.

Una vez que la capa superficial del líquido está completamente evaporada y el contenido de humedad es menor que la humedad higroscópica, la velocidad de secado decrece, este punto es llamado punto crítico de humedad X_{cr} .

Posteriormente se presenta la tercera etapa (C-E), en la cual la resistencia interna del material se hace más importante, dificultando el paso de la humedad, debido a que ya no están presentes las condiciones de saturación en la superficie y se tiene la eliminación de la humedad interna. Este periodo depende de la difusión de humedad del interior del producto hacia la superficie, el cual está dividido en dos subperiodos decrecientes, en el primero de ellos (C-D) se tiene el secado de la superficie no saturada y en el segundo periodo decreciente (D-E) la difusión de la humedad a la superficie se hace más lenta, ambos subperiodos dependen del contenido de humedad inicial del material.

2.2.3 Métodos de deshidratación

Existen varios métodos de deshidratación usados en la industria, entre ellos están:

Deshidratación por aire, para realizarse es necesario que la presión de vapor de agua la cual rodea al producto a deshidratar sea significativamente inferior a que su presión parcial saturada a la temperatura de trabajo. En sus fases iniciales se hace pasar un elevado flujo de aire que se reduce conforme avanza el producto a deshidratar, normalmente se usan velocidades de 3 a 10 metros por segundo, temperaturas de bulbo húmedo menores a 50°C y de 90 a 100°C en el bulbo seco.

Deshidratación por rocío (spray), usados para productos líquidos que requieren de un ventilador, un sistema de calentamiento y un atomizador, en este proceso el producto líquido se dispersa en forma de una pulverización atomizada en una contracorriente de aire seco y caliente, así las pequeñas gotas son secadas y caen en el fondo del equipo, su principal ventaja es debida a su rapidez.

Deshidratación osmótica, es uno de los métodos más eficientes energéticamente, ya que deshidrata sin temperaturas, se basa en la difusión del agua en una membrana permeable, inducida al sumergir la fruta (pulpa) en una solución que contenga una mayor concentración de azúcar que la misma fruta. Sin embargo esta técnica no conserva la mayoría de los nutrientes, aunado a que el tiempo del proceso es bastante largo.

Deshidratación por liofilización (congelación), usada en la industria del café instantáneo, leche en polvo, frutas, entre otras, se trata del uso de un ambiente de baja presión y temperatura, por debajo del punto triple del agua, con la cual se sublima el hielo, compuesta por una fase de sobrecongelación, desecación primaria y una desecación secundaria.

Deshidrocongelación, es un método compuesto por una primera etapa de deshidratación en la cual se pierde la mitad del agua del producto, seguido por una rápida congelación. Se reduce el

tiempo de deshidratación y rehidratación sin embargo el producto final presenta arrugas, lo cual hace que sea más usado en productos industriales.

Deshidratación al vacío, utiliza presiones bajas causando la evaporación del agua, en el cual la transferencia de calor se da por conducción y radiación, la calidad de los productos obtenidos es comparable con la liofilización y se usa en vegetales.

2.2.4 Equipos usados en la deshidratación.

El tipo de secadores usados depende del producto a deshidratar, sin embargo se pueden clasificar ya sea:

- ✚ Según el método de transmisión de calor a los sólidos húmedos.
- ✚ De acuerdo a las características de manejo y de las propiedades físicas del alimento a deshidratar.
- ✚ En base al equipo en el que se realiza el secado.

En general se muestra un diagrama por medio de la Figura 2.4 con una clasificación con base en la transmisión de calor englobando el tipo de equipo así como sus características principales.

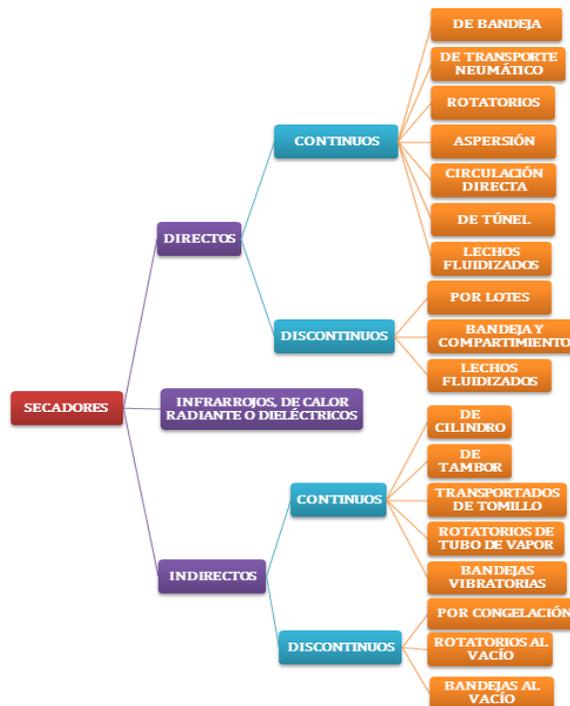


Figura 2. 4 Clasificación de los equipos deshidratadores³²

³² Hecha por el autor, si se quiere saber más acerca de uno de estos equipos revisar la primera referencia en la parte de tesis consultadas.

Los secadores directos, son aquellos en los que los gases calientes están en contacto con el material a deshidratar, eliminando la humedad y transportándola hacia afuera, mediante convección.

En cuanto a los secadores indirectos, la transmisión de calor se hace por conducción usando una pared metálica expuesta en uno de sus lados por gas, agua o aceite caliente.

Los dos tipos generales pueden ser a su vez continuos o discontinuos, los secadores intermitentes, llamados por lote, se recomiendan en procesos en los que la velocidad de secado debe variarse durante el proceso de secado, permitiendo un mayor control del producto pero una menor producción. En el caso de los continuos, el producto a secar entra a una tasa de alimentación, obteniendo una mayor producción pero un costo más alto.

En la Tabla 2.2 se muestran los tipos de secadores con base en la obtención de calor, así como sus respectivas aplicaciones.

Tabla 2. 2 Usos de los equipos deshidratadores.³³

TIPO		APLICACIONES PRINCIPALES
Secadores Directos	Horno	Para lúpulo, malta y rodajas de fruta
	Cabina	Frutas y vegetales
	Bandeja o compartimentos	
	Túnel	
	Cinta continua	Sólidos granulares
	Tolva	Sirve en la adecuación del secado
	Lecho fluidizado	Sólidos granulares
	Neumático	Usado en productos sólidos y de equipo secundario para el lecho y la atomización
	Rotatorio	Tratamiento de semillas
	Atomización	Leche, extractos de levadura, derivados de huevo
Secadores Indirectos	Tambor, rodillos y película	Para sustancias líquidas o puré
	Vacío	Jugos de fruta concentrados
Otros	Infrarrojo	Pasta de pan, almidones y especies
	Congelación	Alimentos sensibles al calor

³³ Hecha por el autor con datos de www.fiagro.org.sv

2.3 OPCIONES ENERGÉTICAS

2.3.1 Deshidratado con tecnología solar.

Las empresas deshidratadoras, trabajan mediante combustibles fósiles principalmente con gas LP o natural como fuente de energía para los procesos industriales de deshidratación, una de las variantes que se ha utilizado en menor medida es la energía solar, la cual mediante el uso de captadores solares en su mayoría de placa plana, ya sea que calienten agua como fluido de trabajo o el mismo aire (secador solar indirecto), que entra a los deshidratadores sin que la radiación solar toque al producto, o en otro caso la cámara sirve para contener la materia prima y absorber de manera directa la radiación solar (secador directo), el secador mixto es el resultado de una cámara previa en la que se calienta el aire y una segunda cámara que permite el contacto de la radiación solar con él producto.

En el secador solar indirecto se tiene la ventaja de que el control del proceso es más fácil y en el cual el integrar una fuente auxiliar de energía es más simple, permitiendo la manipulación del producto durante la carga y descarga del mismo, sin embargo se necesita una mayor cantidad de aire a mayor temperatura que a comparación de los secadores directos o mixtos

En los secadores solares directos, la radiación es absorbida por el alimento a deshidratar, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para provocar la evaporación del agua, causada por el aumento en la presión de vapor en la superficie ya que está absorbe la radiación solar, acelerando el secado.

En el caso de los secadores mixtos, la combinación del secador y la cámara los hace más económicos para el caso de los secadores de menor tamaño, que usualmente funcionan con circulación natural del aire, pero se tiene poca confiabilidad del control del proceso y en ocasiones la radiación solar destruye compuestos orgánicos en la materia prima.

2.4 EJEMPLO DEL SECADO DE FRUTAS

2.4.1 Mango

El mango (*Magnifera indica L*), es un fruto carnoso de forma oval, de 5 a 20 cm de longitud de color verdoso, amarillento o rojizo de sabor dulce, tiene un hueso grande rodeado por una cubierta leñosa. Es rico en vitaminas A y C, fibras, anti-oxidantes y minerales, son bajos en calorías, grasas y sodio, tienen un valor calórico de 62 a 64 calorías/100g de pulpa. En la Tabla 2.3 se muestra parte de su valor nutrimental por cada 100g de parte comestible.

Es el quinto lugar de los productos frutícolas más comercializados en el mundo y existen más de mil variedades de mango. En México se cultivan ocho variedades bien definidas y algunas aun no clasificadas, en la Tabla 2.4 se muestra su aportación en la producción por variedad.

Tabla 2. 3 Valor nutrimental del mango.³⁴

Componentes	Valor medio de la materia fresca
Agua (g)	81,8
Carbohidratos (g)	16,4
Fibra(g)	0,7
Vitamina A (U.I)	1100
Proteínas (g)	0,5
Ácido ascórbico (mg)	80
Fósforo (mg)	14
Calcio (mg)	10
Hierro (mg)	0,4
Grasa (mg)	0,1
Niacina (mg)	0,04
Tiamina (mg)	0,04
Riboflavina (mg)	0,07

Tabla 2. 4 Variedades de mango en México.³⁵

Variedad	Estacionalidad y participación %	Variedad	Estacionalidad y participación %
 Aulafo	Enero - Agosto 25.4	 Kent	Mayo-Agosto 11.3
 Manila	Enero-Agosto 19.8	 Criollo	Febrero-Mayo 7
 Tommy/Atkins	Marzo-Julio 13.2	 Otros	6.3
 Haden	Febrero-Julio 11.5	 Keitt	Junio-Octubre 4.5

México es el sexto productor a nivel mundial y durante en 2012 fue el primer lugar mundial en exportaciones, registrando 290, 479 toneladas con un valor de \$192 millones de dólares.

Durante el 2008, de acuerdo a las cifras presentadas por la FAO, se produjeron 82.7 millones de toneladas de fruta tropical de la cual, el mango represento el 40% de la producción mundial (31.5 millones de toneladas), seguido por la piña (25%), la papaya (10%) y el aguacate (4%).

³⁴ "Monografía del mango", Coveca, Veracruz a 31 de marzo de 2011.

³⁵ www.siap.gob.mx, Disemina, #76, México D.F a 7 de mayo de 2012.

En el ámbito nacional el mango ocupa el segundo lugar en superficie sembrada de fruta con 186,819.56 hectáreas, con una producción de 1, 465, 190.35 toneladas, por detrás de la naranja y el séptimo con mayor valor de producción reportando en 2012 un total de \$4,109,935.53 millones de pesos.

Se cultivó en 23 estados de la República Mexicana de los cuales, con datos del SIAP-SAGARPA, Guerrero, Nayarit, Sinaloa, Chiapas, Oaxaca y Michoacán produjeron el 85.46% del mango nacional en 2012, ver Figura 2.5 en la cual se muestra la participación por estados, seguida de la temporalidad y la producción en toneladas.

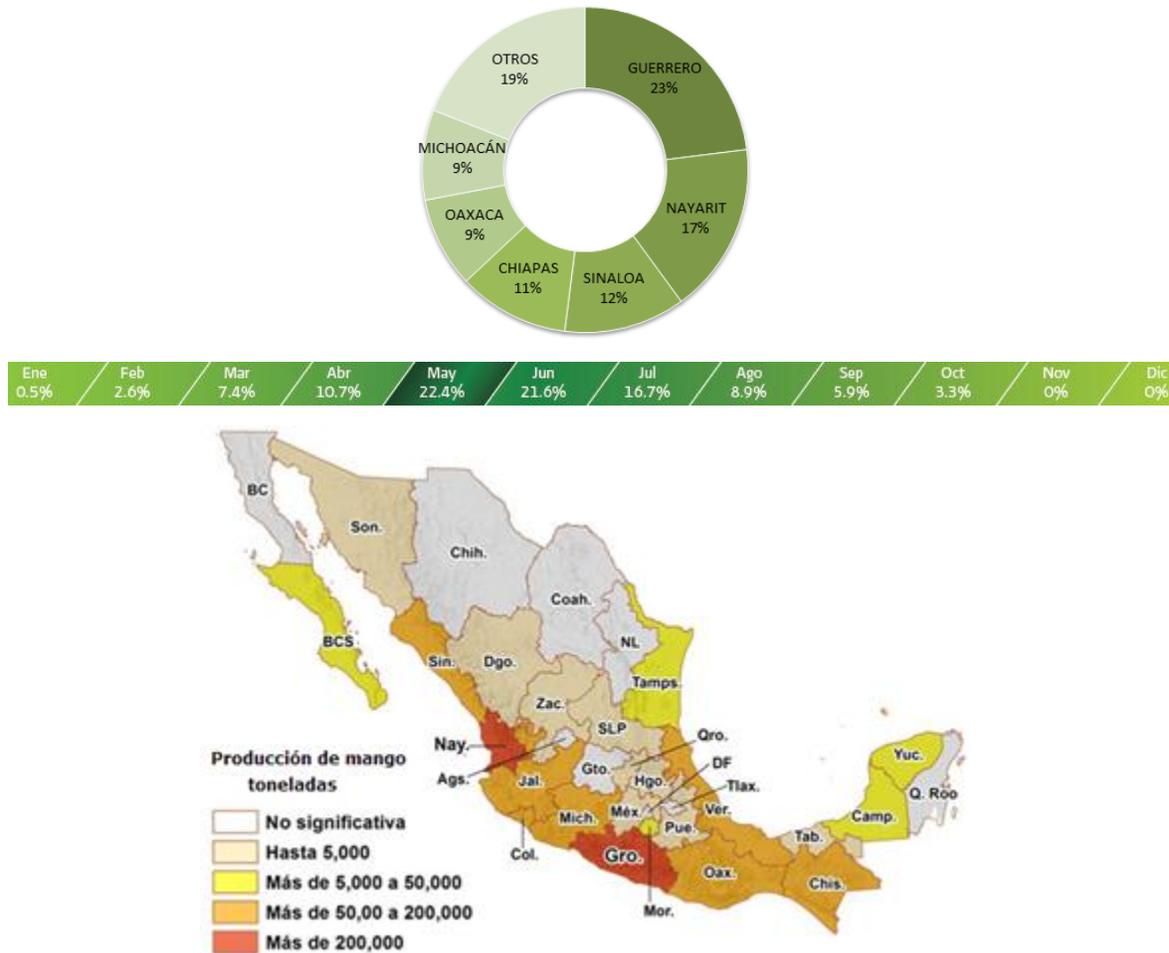


Figura 2. 5 Principales estados productores de mango y temporalidad en 2012³⁶

No obstante de acuerdo a algunas investigaciones desarrolladas por el CIDEM, el 40% de la producción hortofrutícola se pierde por carencias en el transporte e instalaciones de mercado, plagas, estados de maduración de la fruta, sobreproducción y bajos precios que no justifican la recolección de la fruta. Uno de estos ejemplos es el caso del municipio de Gabriel Zamora en Michoacán, en donde se tiran dos toneladas de mango diariamente, las cuales no cumplen los

³⁶ Datos del SIAP y mapa extraído de www.siap.gob.mx

parámetros requeridos para la exportación en una empacadora siendo que hay 15 en el valle de Apatzingán.

Por eso, otra opción para el uso del mango maduro es el proceso de deshidratado y tomando en cuenta las exportaciones de EUA y la cercanía geográfica, con datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), durante el periodo de 2005 a 2009 los preparados y conservas de mango tuvieron un tasa de crecimiento de 17.6% mientras que en los mangos frescos fue solo de 2.5%, en la Figura 2.7 se muestran las importaciones realizadas por EUA durante el 2009.

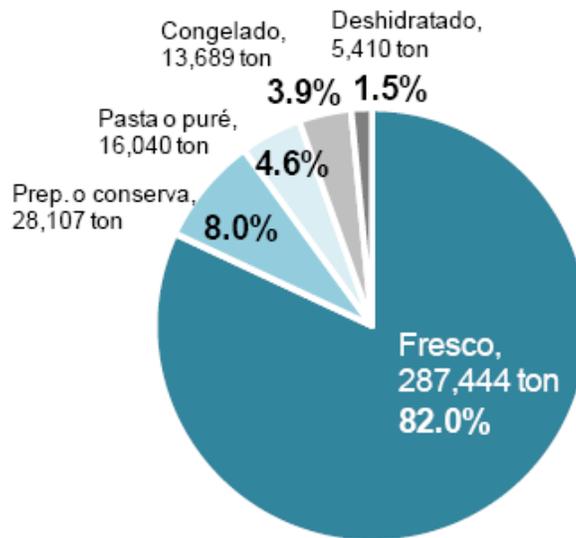


Figura 2. 6 Importación de mango por parte de EUA en 2009.

Sin embargo el precio del mango deshidratado durante el 2009 fue el más alto de todos los conceptos, reportando \$7,174.5 dólares por tonelada con lo cual rebasa en 9.5 veces el precio del mango fresco y en 4.5 veces al mango congelado.

Esta es una gran oportunidad para México por su cercanía a EUA ya que este es el principal consumidor de fruta tropical deshidratada.

La USDA reporta que en el ámbito de mango deshidratado México es el tercer proveedor de EUA con una participación del 16.5%, solo detrás de Filipinas (55.4%) y Tailandia (26.4%).

Para producir un kilogramo de mango deshidratado es necesario un promedio de 10 kg de mango fresco con un precio en el mercado entre los \$50.00 y \$300.00 pesos.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2

Durante este capítulo se ha observado que el mercado de alimentos deshidratados, en particular de la fruta seca crece cada vez más, dentro y fuera de México, de esta forma el implementar una aplicación como el deshidratador solar ya no solo es para subsanar pérdidas de cosechas, sino que se transforma en un proyecto que busca la rentabilidad y al mismo tiempo la productividad.

Para un secado correcto, se necesita aire a una temperatura de entre 40 a 70°C con un bajo o nulo contenido de humedad y con movimiento constante, ya que al aumentar la temperatura del aire atmosférico cada 20°C su capacidad de absorber humedad se triplica y su humedad relativa se reduce un tercio.

Si bien, México presenta es uno de los principales productores y exportadores de mango en el mundo, no todo el que se cultiva se aprovecha debido a factores que vuelven injustificado su recolección, al igual que otros tipos de frutos y vegetales, sin embargo el tener otras posibilidades de aprovechamiento en las cuales se obtenga un producto con valor agregado, mejoraría los ingresos en la producción para el productor.

Por medio de la Tabla 2.2 se identifica que al deshidratar frutas el tipo de secador apropiado es un secador de bandeja o compartimientos y como se pretende aportar la energía para que opere se vuelve necesario el usar un colector que trabaje con agua.

CAPÍTULO 3.- EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

El desarrollo de este capítulo tiene como objetivos mostrar los criterios de selección para la ubicación de una planta deshidratadora, en el caso particular del mango, la cual, cubra en un principio las pérdidas sufridas en la cosecha de la materia prima, así como cuantificar el recurso solar.

También se expone el análisis y evaluación de la tecnología solar a usarse en dicha planta, con lo cual se obtiene una primera selección con base en el rendimiento térmico de los equipos vs costo, de tal forma que su aplicación directa sea posible.

3.1 PROPUESTAS DE UBICACIÓN DE LA PLANTA DESHIDRATADORA Y MAGNITUD DEL RECURSO SOLAR

3.1.1 Proceso de selección de la ubicación de la fábrica deshidratadora

Existen diferentes factores en la elección del sitio en el que se establece una industria, en este caso, se tomaron dos necesidades que enmarcan este proyecto, una de ellas es la disponibilidad de la materia prima (mango) y la segunda es el recurso solar, con lo que en un primer paso, apoyados con el mapa (Figura 2.5) y los datos expuestos en el capítulo anterior, se tiene que los estados con mayor producción de mango en la República Mexicana son:

✚ Guerrero	✚ Chiapas
✚ Jalisco	✚ Oaxaca
✚ Colima	✚ Nayarit
✚ Michoacán	✚ Sinaloa

Usando la base de datos del SIAP, en el apartado de producción agrícola por estados, se revisaron cuales municipios eran los que aportaban una mayor producción de mango dentro de cada uno, pero que tuvieran una menor cosecha referida a su superficie sembrada, lo cual arrojó el mínimo de pérdidas tan solo en la recolección.

Por ejemplo para Guerrero, en la Figura 3.1 se da como entrada a la plantilla que involucre los cultivos tanto cíclicos como perennes, se elige el año, el estado (en este caso Guerrero), que coloque los resultados de los municipios por producción. De esta manera nos muestra una tabla con el municipio, la superficie sembrada, hectáreas cosechadas, producción, rendimiento por hectárea, valor de la producción y precio medio rural.

Anuario Estadístico de la Producción Agrícola						
Ciclo					Modalidad	
<input type="radio"/> Otoño - Invierno <input type="radio"/> Primavera - Verano <input type="radio"/> Perennes <input type="radio"/> Año Agrícola (OI + PV) <input checked="" type="radio"/> Ciclicos - Perennes	Año: 2012 Cultivo: MANGO Estado: GUERRERO <input type="radio"/> Por Distrito <input checked="" type="radio"/> Por Municipio Distrito: Todos los DDRs	<input type="radio"/> Riego <input type="radio"/> Temporal <input checked="" type="radio"/> Riego + Temporal		Catálogo Cultivos <input checked="" type="radio"/> Genérico <input type="radio"/> Detalle		Ordenado Por <input type="text" value="Producción"/> <input type="checkbox"/> % Participación
Municipio	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
1 TECPAN DE GALEANA	6,180.00	6,180.00	94,484.86	15.29	4,432.60	418,813.55
2 LA UNION DE ISIDORO MONTES DE OCA	3,106.80	3,106.80	47,137.88	15.17	3,032.37	142,939.69

Figura 3. 1 Plantilla de producción agrícola por estados³⁷

Tan solo en Guerrero en el 2012 se dejaron de cosechar 34 hectáreas lo que representó un total de 383.7 toneladas de mango (ver Figura 3.2), si bien dos terceras partes de esto se debió a plagas y al clima, el resto (115.11 toneladas) fue a causa de los tiempos en la cosecha, lo que llevo a que la fruta madura dejara de cumplir con los parámetros de selección para su comercialización dentro y fuera de México, por ende ya no se justificó su recolección.

ESTADO GUERRERO
Ciclo: Ciclicos y Perennes 2012
Modalidad: Riego + Temporal
MANGO

Municipio	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)	Pérdidas (Ton)	Valor de las pérdidas (\$)
1 TECPAN DE GALEANA	6,180.00	6,180.00	94,484.86	15.29	4,432.60	418,813.55	0	0
2 LA UNION DE ISIDORO MONTES DE OCA	3,106.80	3,106.80	47,137.88	15.17	3,032.37	142,939.69	0	0
3 CUAJINICUILAPA	2,019.00	2,019.00	30,374.80	15.04	3,203.68	97,311.18	0	0
4 ATOYAC DE ALVAREZ	1,826.65	1,816.65	26,997.60	14.86	4,327.66	116,836.31	148.6	643090.28
5 ZIHUATANEJO DE AZUETA	1,009.75	1,009.75	13,849.96	13.72	3,209.84	44,456.17	0	0
6 COYUCA DE BENITEZ	946	946	13,757.67	14.54	4,070.19	55,996.40	0	0
7 PETATLAN	968.5	968.5	12,938.93	13.36	3,890.74	50,342.01	0	0

Figura 3. 2 Selección de los municipios.³⁸

Con base en los datos anteriores, se obtiene una hoja de Excel en la cual se calculan las toneladas de mango que no se cosecharon y la pérdida económica, con lo que se identifican las localidades que presenten un mayor rezago en su producción.

De esta forma se obtienen los siguientes municipios: Atoyac de Álvarez, Alpoyecac, Huamuxtitlán, San Luis Acatlán y Tlapa de Comonfort. Siendo Atoyac de Álvarez quien presentó la mayor pérdida con 148.6 toneladas en su municipio, de esta forma se repite el proceso para cada estado a fin de registrar cada una de las entidades con mayor detrimento, la tabla completa se puede observar en el Anexo 3.

Debido a que el estudio se enfoca a las mermas durante la cosecha y en las empacadoras por ser fruta en estado de maduración, el transporte de las mismas debe ser corto y rápido entre

³⁷ http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351

³⁸ Hecha por el autor con base a datos del SIAP, solo se muestra una parte de la lista.

los puntos de acopio hasta el centro de deshidratación, así se situaron los municipios de la tabla del Anexo 3 en un mapa usando Google Earth (ver Figura 3.3), se obtuvo la ubicación de los posibles sitios en los cuales se asentaría la planta deshidratadora, marcados como “Zonas #” (# indica el número de la planta), se tomó su latitud y longitud los cuales serán necesarios más adelante para estimar la radiación solar que incide en ese lugar durante todo el año.



Figura 3.3 izq.) Mapa de municipios productores, der.) Zonas posibles (plantas deshidratadoras).³⁹

En la siguiente tabla se definen las zonas, así como su ubicación, las toneladas totales (color verde) y si consideramos aprovechar como mínimo el 30% (color azul):

Tabla 3.1 Ubicación posible de los centros de deshidratación⁴⁰

Zona	Latitud	Longitud	Toneladas	MinTon
1	25.93	-109.11	14041.67	4212.50
2	21.20	-104.74	13542.61	4062.78
3	19.22	-104.57	11142.09	3342.63
4	19.18	-102.06	12501.29	3750.39
5	17.62	-99.28	380.55	114.17
6	16.10	-97.61	4059.75	1217.93
7	17.78	-96.96	654.03	196.21
8	16.06	-93.75	10088.00	3026.40

3.1.2 Geometría y estimación de la radiación.

El planeta tierra mantiene un movimiento de translación alrededor del Sol, siguiendo una órbita elíptica, lo cual causa que durante el año la distancia entre la tierra y el sol varíe, así se tiene el solsticio de verano (21 Junio, día más largo del año) y el solsticio de invierno (21 de diciembre, día más corto del año)⁴¹, acompañado su movimiento de translación, la rotación de la tierra sobre su eje polar presenta una inclinación con respecto al ecuador eclíptico (ecuador

³⁹ Hecha por el autor por medio de Google Earth

⁴⁰ Hecha por el autor, ver el Anexo 3 para conocer que municipios forman parte de cada zona.

⁴¹ En el hemisferio sur, el 21 de junio es el solsticio de invierno y el 21 de diciembre es el solsticio de verano.

del Sol), lo que genera las estaciones. Esta inclinación es conocida como declinación, siendo positiva al norte (en el solsticio de invierno) y negativa al sur (solsticio de verano), tiene un valor máximo de 23.45° y un mínimo de -23.45° , durante el año hay dos ocasiones en que la declinación vale 0° , es entonces que el ecuador terrestre está situado en el plano del ecuador del sol, con lo cual los dos polos de la tierra están a la misma distancia del sol, ver Figura 3.4.

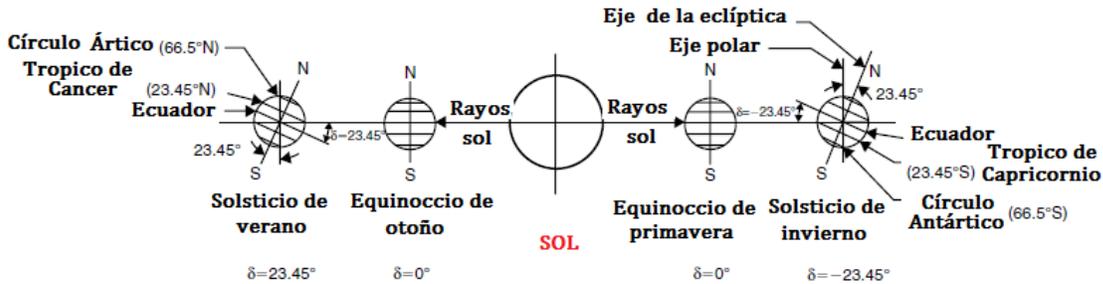


Figura 3.4 Variación anual de la declinación.⁴²

En el IIUNAM se desarrolló un diagrama de flujo y posteriormente un programa llamado RADII, mediante el cual se puede calcular la radiación solar incidente en promedio mensual en cualquier punto de la República Mexicana, que está basado en el uso de variables meteorológicas como los días lluviosos, las horas de insolación, la humedad relativa, etc.

Utilizando este programa, se obtienen los siguientes valores, mostrados en la Tabla 3.3 para cada una de las posibles zonas que se seleccionaron, basta decir que se necesita solo de la longitud y latitud de cada sitio (se realizaron los cálculos mediante el planteamiento hecho por el IIUNAM y se obtuvo una diferencia del 15% en los resultados en comparación con RADII).

Tabla 3.2 Irradiación diaria mensual en las zonas posibles⁴³

Zona	Irradiación global diaria promedio mensual [MJ/m^2]												Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1	15.18	18.54	20.87	23.51	24.66	24.58	21.45	20.63	20.88	19.73	17.04	14.56	7348.80
2	14.42	16.30	18.08	20.90	22.71	19.48	17.71	17.30	16.72	16.23	14.84	12.66	6307.06
3	16.65	19.42	21.21	22.42	21.88	19.40	18.17	18.16	17.23	18.17	17.17	15.57	6854.23
4	15.19	17.63	19.22	20.67	21.02	18.38	17.40	17.80	16.95	15.95	15.27	13.38	6350.23
5	15.37	16.97	18.53	19.17	19.29	18.87	18.78	18.67	17.20	16.19	15.31	14.24	6344.71
6	18.23	20.81	22.10	21.16	21.51	19.27	20.67	20.39	18.22	18.82	18.40	17.04	7195.39
7	15.71	17.92	18.84	18.54	19.54	19.12	17.18	16.40	15.50	16.40	15.50	14.38	6233.03
8	17.98	19.32	19.66	20.55	19.85	18.46	20.86	19.70	18.30	18.44	17.94	16.61	6924.35

Los valores que arroja dicho programa son para una superficie horizontal, con ellos podemos calcular la radiación que recibiría una superficie con una inclinación y orientación preferente, para ello es útil indicar los ángulos: observador-sol ($\alpha, \gamma_{sol}, \theta_z$), de posición del colector (γ, β) y del colector-sol (θ).

⁴² S.A. Kalogirou, Solar Engineering: Processes and Systems, 1ra Edición, Academic Press, USA, 2009

⁴³ Datos obtenidos con RADII, su diagrama de flujo está disponible en, A.Rafael, Becarios del Instituto de Ingeniería de la UNAM, Ingeniería de la energía solar II, Series del instituto, Instituto de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México, 2003

Donde:

α Ángulo de altitud solar, es el ángulo de elevación del sol con respecto de la horizontal.

γ_{sol} Ángulo azimutal solar, describe la posición del sol, con referencia al sur.

θ_z Ángulo zenith, se mide con respecto al zenith del lugar y los rayos del sol.

γ Ángulo azimutal superficial, indica la orientación de la superficie, es positivo de suroeste (0 a 180) y negativo de sureste (0 a -180), siendo cero en el sur.

β Ángulo de inclinación del colector, se mide con respecto a la horizontal.

θ Ángulo de incidencia, se forma con la normal a la superficie y la radiación solar directa. Entre más pequeño sea indica que el Sol esta perpendicular a la superficie.

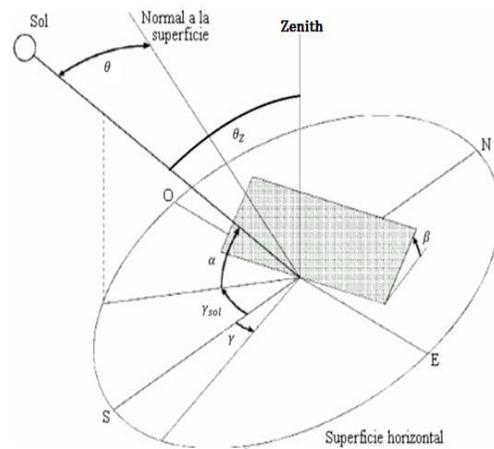


Figura 3. 5 Ángulos solares.

Usando el método KT (Klein and Theilacker en 1981), se puede obtener el valor de la radiación total que incide en un plano inclinado con cualquier orientación. Una desventaja es que si usamos una serie de colectores planos, el variar su orientación es más complicado por el cambio en las tuberías, se recomienda que tengan una orientación hacia el ecuador, 0 en el hemisferio norte y de 180 en el hemisferio sur. En el caso de la inclinación, muchos autores recomiendan que si son estáticos, tengan entre 10 y 15 grados más que su latitud, en el caso de que se varíen su inclinación durante el año, en el verano se inclinen de 10 a 15 grados menos que su latitud y en el invierno sea de 10 a 15 grados más que su latitud con el fin de tener un máximo de energía disponible. Así, considerando que se muevan dos veces en el año, $\phi \pm 10^\circ$ como se indica antes, se obtiene la mayor radiación posible en cada zona (ver Tabla 3.3.):

Tabla 3. 3 Irradiación diaria mensual en una superficie inclinada en cada zona posible⁴⁴

ZONA	Irradiación global solar diaria promedio mensual [MJ/m ²]												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	21.36	22.87	22.16	23.55	23.92	23.55	20.73	20.36	21.54	23.26	23.56	21.45	8157.02
2	17.85	18.19	18.25	20.75	22.14	18.91	17.23	17.05	16.86	17.47	17.88	16.09	6649.74
3	20.65	21.94	21.59	22.25	21.33	18.79	17.67	17.88	17.34	19.65	20.77	19.84	7285.39
4	18.46	19.6	19.45	20.51	20.55	17.88	17.97	17.56	17.04	17.05	18.07	16.64	6680.96
5	18.3	18.57	18.66	19.02	18.91	18.4	18.35	18.42	17.25	17.17	17.78	17.36	6635.33
6	21.96	23.13	22.37	20.97	21.05	18.77	20.17	20.1	18.24	20.09	21.63	20.96	7583.81
7	18.79	19.700	18.95	18.38	19.13	18.62	16.77	16.17	15.54	17.4	18.06	17.59	6538.76
8	21.57	21.28	19.79	20.37	19.44	17.99	20.36	19.42	18.32	19.64	20.99	20.33	7282.98

⁴⁴ Datos obtenidos con el método KT J.A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 3ra. Edición, Jhon Wiley and Sons Inc, USA, 1991.

Como se puede observar, el variar el ángulo de inclinación propicia que se mantenga un nivel de radiación promedio durante cada mes, esto provoca que se incremente en por lo menos 300 MJ/m² de energía anual con respecto a una superficie horizontal y paralela al suelo.

3.2 CARGA TÉRMICA DEL PROCESO PARA DESHIDRATAR MANGO.

El contenido de humedad del mango, oscila entre el 85 al 95%, sin embargo con el uso de los pretratamientos se logra disminuir de 15 hasta en 26% de humedad. En el producto final en los alimentos se recomienda un porcentaje del 4 al 12%, no obstante en el mercado nacional se vende el mango deshidratado hasta con 26% de humedad, en resumen se tiene mango con un 75% de humedad al inicio y se llevará hasta un 8% (con respecto a la tabla del Anexo 1), en una sola etapa de cinco horas, por lo tanto, se realizara el cálculo para deshidratar 1000 kg de producto fresco diariamente a 60°C en cuatro deshidratadores (250kg/cu).

Inicialmente se obtiene el calor de saturación a la presión barométrica de cada zona, el cual está en función de la altura de cada sitio.

$$P_{bar} = (1013.15 - (ASN M * 0.119659) + ASN M^2 * 5.19 \times 10^{-6}) / 1000 \quad (4)$$

Donde:

P_{bar} – Presión barométrica

ASN M – Altura sobre el nivel del mar

Con lo que se obtiene la Tabla 3.4 de *T_{sat}* @*P_{bar}*

Tabla 3. 4 Parámetros locales⁴⁵

ZONA	ASN M [m]	P _{bar} [bar]	T _{sat} [°C]
1	3	1	99.96
2	1263	0.87	95.77
3	139	1	99.51
4	723	0.93	97.57
5	1696	0.83	94.32
6	46	1	99.82
7	598	0.94	97.99
8	30	1	99.87

El calor de saturación (*Q_{sat}*) se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Q_{sat} = m_p C_{p_{al}} (T_{sat} - T_a) \text{ [kJ]} \quad (5)$$

Donde:

m_p – Masa del producto en fresco [kg]

T_a – Temperatura ambiente [°C]

⁴⁵ Tabla hecha por el autor.

Cp_{al} – Calor específico del alimento $\left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right]$

Para calcular el calor para la deshidratación se necesita obtener la masa de agua a evaporar en esta etapa, para esto se usa la siguiente ecuación:

$$m_{H_2O} = \frac{X_i - X_f}{100 - X_f} * m_p \quad [kg] \quad (6)$$

Donde:

X_i – Humedad de la fruta al inicio de la etapa [%]

X_f – Humedad de la fruta al final de la etapa [%]

Por otra parte se plantea que un secador convencional tiene un consumo energético de 4185 kJ por kg de agua evaporada, del cual 2511 kJ es el calor latente para evaporar un kg de agua, el resto son pérdidas por calor sensible, transferencia de calor hacia el exterior e incluso el que transporta la materia a deshidratar. De esta forma el calor de deshidratación se obtiene como:

$$Q_{des} = 4185 * m_{H_2O} \quad [kJ] \quad (7)$$

Para la etapa de secado se utilizan los siguientes valores, así como los contenidos en la Tabla 3.5:

$$m_p = 1000 [kg] \quad Cp_{al} = 3.77 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right]^{46}$$

Tabla 3. 5 Calor necesario para deshidratar.⁴⁷

Datos	Xi %	Xf %	M _{H₂O} [kg]	Q _{des} [MJ]
Etapa	75	8	728.26	3047.77

Finalmente se obtiene el calor total, al sumar la energía necesaria de la etapa de secado y la energía de saturación, considerando un eficiencia del 95% en el intercambiador, el resultado anterior se multiplica por el número de días en el mes.

Los resultados de la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de deshidratado de una tonelada de mango fresco al día se muestra en la tabla 3.6, en ella se presentan los resultados mensuales de dicho proceso en J/mes ya que con estos se calculara el número de captadores para satisfacer esta demanda o una parte de ella.

⁴⁶ C, E, Orrego A., Procesamiento de alimentos, 1ra Edición, Univ. Nacional de Colombia, Colombia, 2003.

⁴⁷ Tablas hechas por el autor, se toma la variación de temperatura de cada mes en cada sitio para obtener la tabla.

Tabla 3. 6 Demanda energética mensual diaria en cada zona probable.

ZONA	DEmes [J/mes]												Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.24E+12
2	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.24E+12							
3	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.24E+12
4	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.24E+12						
5	1.03E+11	1.03E+11	1.02E+11	1.02E+11	1.02E+11	1.03E+11	1.23E+12						
6	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.24E+12
7	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.24E+12
8	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.24E+12							

De esta manera se tiene un rendimiento del 27.17%, obteniendo 271,74 kg de producto seco.

3.3 EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CAPTACIÓN SOLAR.

Como se ve en el capítulo 1, existen diversas tecnologías enfocadas a la conversión de la energía solar. Dada la temperatura de operación del sistema de deshidratación (70°C), nos enfocamos en tres tecnologías solares (FPC, ETC, CPC), dados sus rangos de temperaturas (Ver Tabla 1.2).

3.3.1 Evaluación térmica y dimensiones del campo solar.

La manera de evaluar térmicamente a los colectores solares, es por medio de su ecuación de eficiencia térmica la cual es de la siguiente forma:

$$\eta = \eta_0 - (a_1 + a_2(T_m - T_a)) \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) \quad (8)$$

$$T_m = \frac{T_{ent} + T_{sal}}{2} \quad (9)$$

Donde:

η – Eficiencia del captador

η_0 – Eficiencia óptica, dada por el proveedor

a_1 – Coeficiente de pérdidas lineal $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$

a_2 – Coeficiente de pérdidas cuadrático $\left[\frac{W}{m^2K^2} \right]$ (opcional depende el proveedor)

G – Irradiancia solar $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

T_m – Temperatura media del fluido [°C]

T_{ent} – Temperatura de entrada del fluido al colector [°C]

T_{sal} – Temperatura de salida del fluido en el colector [°C]

T_a – Temperatura ambiente

La pendiente de la curva, la cual también se traza usando solo la temperatura de entrada al colector en vez de la temperatura media, en ambos casos se aprecia el comportamiento mostrado en la Figura 3.6.

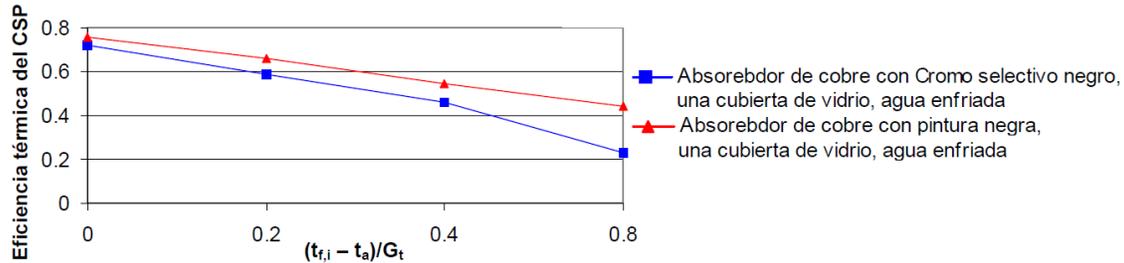


Figura 3. 6 Curva de eficiencia⁴⁸

Con base en la Norma Oficial Mexicana (NMX001) las temperaturas de 50°C y 70°C son de uso industrial y un aspecto importante en la valoración de los captadores, es la temperatura del agua a la entrada de estos, si bien al inicio del proceso se tendrían las temperaturas proporcionadas por la tabla de la NMX001 (se puede ver en el Anexo 8), con lo cual se obtiene la Tabla 3.7:

Tabla 3. 7 Temperatura del agua de la red en cada zona.⁴⁹

Agua de red								
Zona	1	2	3	4	5	6	7	8
Tar	22.5	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	26	15.45

Sin embargo los equipos no se evaluarán con dichos valores, ya que en el momento de operación tendrán por lo menos la temperatura a la salida del deshidratador (50°C). Debido a la carencia de datos técnicos por parte de los distribuidores de calentadores solares, se han tomado solo aquellos que están certificados, para lo cual tenemos los siguientes valores (Tabla 3.8):

Tabla 3. 8 Datos técnicos de los captadores solares.⁵⁰

Captador	Área total	Área de absorción	no	a1	a2	ka	\$
FPC	2.51	2.3	0.775	3.096	0.0095	0.96	16362.96
CPC	2.24	1.98	0.7	3.4	0	0.96	13213.59
ETC	4.53	2.43	0.77	1.78	0.0378	0.96	18000

Con base en estos datos, se evalúa la eficiencia instantánea promedio de los equipos en cada zona y se considera un factor de 0.94 por envejecimiento o suciedad del colector que multiplicara a η_0 , para ello y al igual que en las pruebas de validación, se toma que el colector está en estado estable, con una temperatura del agua a la salida de 70°C, diez grados por

⁴⁸ Extraída de la norma mexicana, NMX-ES-001-NORMEX-2005, para calentadores solares.

⁴⁹ Tabla hecha por el autor en base a la norma NMX0001, ka es el modificador del ángulo de incidencia.

⁵⁰ Tabla hecha por el autor en base a los catálogos del anexo 4, con las condiciones ambientales promedios en cada zona

encima de los 60°C para deshidratar el mango, la temperatura ambiente promedio corresponde a cada mes (se pueden ver las tablas de temperatura ambiente en el Anexo 8), con lo cual se presenta una curva de eficiencia instantánea (ver Figura 3.7):

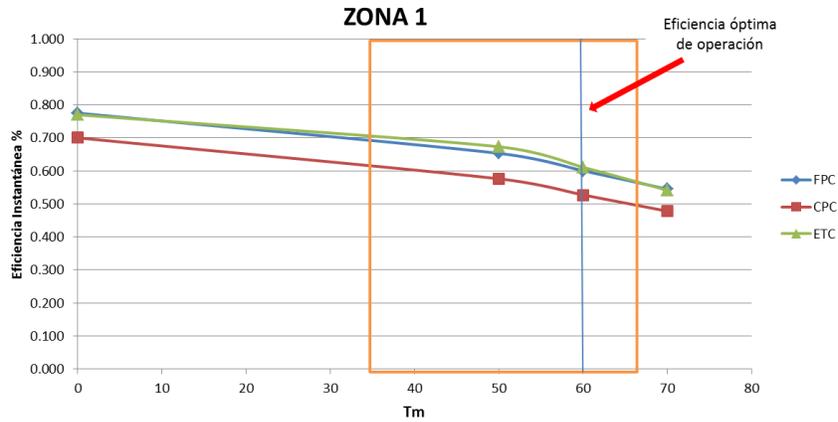


Figura 3. 7 Curvas de eficiencia para los tres tipos de captadores en la Zona 1.⁵¹

En el recuadro naranja, se muestra el área dentro de la cual se llevan a cabo la mayoría de los procesos de secado, en nuestro caso está delimitada con una línea azul nuestra temperatura media de operación, con la que se buscaría obtener que equipo resulta más eficiente. Así se tiene el promedio de la eficiencia de los equipos para cada zona, mostradas en la Tabla 3.9:

Tabla 3. 9 Eficiencia de los colectores en cada zona con una $T_{sal}=70^{\circ}C$ ⁵²

ZONA	FPC	CPC	ETC
1	0.52	0.46	0.53
2	0.46	0.39	0.46
3	0.48	0.41	0.50
4	0.45	0.39	0.46
5	0.49	0.43	0.50
6	0.48	0.42	0.50
7	0.43	0.37	0.45
8	0.50	0.43	0.51

Con base en los datos de la Tabla 3.9, se realizará un primer acercamiento a las dimensiones del campo solar para cada una de las tres tecnologías, considerando que tenemos una FSA de 100% y las eficiencias anteriores, con el método de eficiencias instantáneas, de la siguiente manera:

$$S_C = \frac{365 * Q_{ST} * FSA}{H * \eta} \quad (10)$$

$$N_C = \frac{S_C}{A_a} \quad (11)$$

⁵¹ Figura hecha por el autor

⁵² Tabla hecha por el autor

Donde:

Sc – Superficie del campo colector [m^2]

FSA – Fracción solar anual

H – Irradiación anual [$\frac{MJ}{m^2 \text{mes}}$]

N_c – Número de colectores

A_a – Área de absorción

Los resultados por medio de dicho procedimiento se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Dimensión inicial del campo de colectores⁵³

ZONA	FPC		CPC		ETC	
	Sc	Nc	Sc	Nc	Sc	Nc
1	311	135	355	179	307	126
2	454	197	529	267	447	184
3	399	173	463	234	386	159
4	444	193	517	261	435	179
5	389	169	456	231	414	170
6	379	165	432	218	396	163
7	497	216	586	296	464	191
8	372	162	431	218	400	165

El cálculo del número de captadores se refirió a cada mes, del cual se tomó el valor mayor ya que si se usa el promedio mensual o anual se tendrían en ciertos meses un déficit en el aporte de energía por la falta de captadores.

Comúnmente en sistemas solares se maneja una FSA menor a 100% debido a que la demanda llega a disminuir en ciertos meses. En nuestro caso, se requiere que la demanda sea cubierta totalmente, sin embargo la FSA varía con respecto a las condiciones climáticas de cada sitio, así como de algunos parámetros de los captadores y no precisamente aunque se use el mismo equipo en diferentes lugares la FSA es la misma.

De esta forma se toman los resultados anteriores para introducirlos en el método f-Chart, el cual es el procedimiento más usado comercialmente, una de las razones para usar el método f-Chart es que no se conocen los datos de demanda real de agua, de esta manera se obtiene la fracción solar mensual, calculada como:

$$f_{mes} = 1.029D_1 - 0.065D_2 - 0.245D_1^2 + 0.0018D_2^2 + 0.0215D_1^3 \quad (12)$$

$$D_1 = \frac{EA_{mes}}{DE_{mes}} \quad (13)$$

$$D_2 = \frac{EP_{mes}}{DE_{mes}} \quad (14)$$

⁵³ Hecha por el autor las tablas de cálculo se pueden observar en el anexo 5.

$$EA_{mes} = Sc * F'_R(\tau\alpha) * H_{mes} \quad (15)$$

$$EP_{mes} = Sc * F'_R U_L * (100 - Ta) * \Delta t * k_1 * k_2 \quad (16)$$

$$F'_R(\tau\alpha) = \eta_0 * ka * \frac{F'_R}{F_R} \quad (17)$$

$$F'_R U_L = a1 * \frac{F'_R}{F_R} \quad (18)$$

$$k_1 = \left[\frac{V}{75 * Sc} \right]^{-0.25} \quad (19)$$

$$k_2 = \frac{11.6 + 1.18T_{am} + 3.86T_{ar} - 2.32T_a}{100 - T_a} \quad (20)$$

Donde:

D_1 y D_2 – Magnitudes adimensionales

EA_{mes} – Energía mensual absorbida por los captadores $\left[\frac{MJ}{m^2 mes} \right]$

DE_{mes} – Demanda energética en el mes $\left[\frac{MJ}{m^2 mes} \right]$

EP_{mes} – Pérdidas del colector durante el mes $\left[\frac{MJ}{m^2 mes} \right]$

$F'_R U_L$ – Factor en $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

H_{mes} – Energía solar mensual incidente en el captador $\left[\frac{MJ}{m^2 mes} \right]$

Δt – Periodo de tiempo [s]

k_1 – Factor de corrección por almacenamiento

k_2 – Factor de corrección por temperaturas

$F'_R(\tau\alpha)$ – Factor adimensional

$\frac{F'_R}{F_R}$ – Factor de corrección del conjunto captador – intercambiador = .95

V – Volumen de acumulación en litros, se recomienda que cumpla con $50 < \frac{V}{Sc} < 180$

T_{am} – Temperatura mínima del agua $\approx 70^\circ C$

T_{ar} – Temperatura del agua de red

El periodo de tiempo (Δt), toma en cuenta que la fase de operación es a partir de que inciden $200W/m^2$ en la mañana hasta tener este máximo por la tarde, una cantidad menor de radiación no es aprovechada por estos sistemas. De esta manera se tiene la Tabla 3.11:

Tabla 3. 11 Horas de operación en cada zona posible.⁵⁴

Zona	Horas de operación											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	8.00	9.00	9.00	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.00	9.00	8.00	7.50
De 2a a 8	8.75	9.25	9.50	9.25	9.75	8.75	8.50	9.25	9.50	9.25	8.75	8.50

Sin embargo en nuestro caso, las horas de operación son solo de 5 h, tiempo en el que se lleva a cabo el proceso de deshidratado.

Dado que se diseña para grandes periodos de tiempo se tomara solo la FSA, obtenida con:

$$FSA = \frac{\sum_1^{12} EU_{mes}}{\sum_1^{12} DE_{mes}} \quad (21)$$

$$EU_{mes} = f_{mes} * DE_{mes} \quad (22)$$

$$\eta_{sis} = \frac{\sum_1^{12} EU_{mes}}{H * Sc} \% \quad (23)$$

Donde:

EU_{mes} = Energía útil mensual

η_{sis} – Eficiencia del sistema

Se realizaron los cálculos de manera iterativa, iniciando con el número de colectores obtenidos en la primera aproximación al suponer un 100% de aporte solar y variando hasta que el método f-Chart muestra el aporte requerido. De esta manera se obtiene la Tabla 3.12 de resultados del número de captadores solares con este método:

Tabla 3. 12 Dimensionamiento del campo solar con el método f-Chart.⁵⁵

ZONA	NC		
	FPC	CPC	ETC
1	141	186	127
2	180	241	159
3	162	214	144
4	179	240	158
5	175	234	156
6	154	205	138
7	184	247	162
8	161	214	144

Para proporcionar la medida que tendrá el campo solar, se calcula el espacio entre filas, donde el día más desfavorable es el 21 de diciembre, cuando el Sol en el hemisferio norte tiene su menor inclinación en el cielo, la altura mínima es:

⁵⁴ Hecha por el autor en base a la Tabla del anexo 5

⁵⁵ Tablas hechas por el autor. Las FS mensuales se muestran en el anexo 5

$$H_{min} = 90^\circ - \text{latitud del lugar} - 23.27^\circ \quad (24)$$

$$d = \frac{L \sin \beta}{\tan(H_{min})} + L \cos \beta \quad (25)$$

$$S_{ss} = d * w * N_c \quad (26)$$

Donde:

L – Largo del captador

d – Distancia entre filas.

w – Ancho del captador

S_{ss} – Superficie del sistema solar

Siendo $\beta = \Phi + 10$

De esta manera se obtiene el número de colectores solares en cada zona, el espacio total a ocupar de tal forma que no se sombreen entre ellos y el costo por el equipo, así se presenta la Tabla 3.13 de dimensionamiento para una FSA del 100%.

Tabla 3. 13 Dimensionamiento por cada zona posible.⁵⁶

ZONA	FPC			CPC			ETC		
	Nc	Sss [m ²]	\$ MN	Nc	Sss [m ²]	\$ MN	Nc	Sss [m ²]	\$ MN
1	141	529	\$ 2,307,177.36	186	677	\$ 2,457,727.74	127	868	\$ 2,286,000.00
2	180	660	\$ 2,945,332.80	241	857	\$ 3,184,475.19	159	1062	\$ 2,862,000.00
3	162	587	\$ 2,650,799.52	214	752	\$ 2,827,708.26	144	951	\$ 2,592,000.00
4	179	649	\$ 2,928,969.84	240	843	\$ 3,171,261.60	158	1043	\$ 2,844,000.00
5	175	628	\$ 2,863,518.00	234	813	\$ 3,091,980.06	156	1019	\$ 2,808,000.00
6	154	546	\$ 2,519,895.84	205	705	\$ 2,708,785.95	138	892	\$ 2,484,000.00
7	184	661	\$ 3,010,784.64	247	859	\$ 3,263,756.73	162	1059	\$ 2,916,000.00
8	161	571	\$ 2,634,436.56	214	735	\$ 2,827,708.26	144	930	\$ 2,592,000.00

⁵⁶ Costos en base a las cotizaciones del anexo 4.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3

En cuanto a la producción de mango, se tiene que uno de los problemas en estados como Sinaloa, es que si bien su producción a nivel nacional es menor con respecto a Guerrero o a Nayarit, tiene altos índices de pérdidas durante la cosecha debido a problemas de comercialización. En referencia a Guerrero, siendo el principal estado productor y exportador en el país, presenta bajas mermas durante la cosecha pero considerables pérdidas en las etapas de empaque. En ambos casos se vuelve necesario crear opciones para procesar este fruto, que le dé un alto valor agregado, desde un punto de vista social y económico, el cual haga uso de la materia en estado de maduración a fin de que no compita con la actividad principal de comercialización en fresco.

Una de las formas mediante las cuales se disminuye el número de equipos en una instalación es por medio de la inclinación y orientación del conjunto de captadores, normalmente estos están de manera estática con una inclinación preferente para maximizar el aporte en los meses de mayor demanda, pero en este caso, la demanda es constante en 10 de los 12 meses del año, la variación mensual representa un costo mayor en la operación, así que se dan sólo dos ángulos que promuevan un mayor rendimiento.

Como se puede observar, en las Tablas 3.10 y 3.13, la diferencia entre el dimensionamiento inicial basado en términos de la eficiencia instantánea y el método f-Chart, es de un máximo 15% y mínimo de un 6%, esto es debido a que el primer método, solo toma en cuenta la eficiencia del equipo, pero si este dato cambia como consecuencia de la temperatura óptima de operación a la entrada de los equipos causaría que se incrementara el número final de colectores. Por tal motivo, tomamos el dimensionamiento con el método f-Chart.

Si bien se requiere que anualmente se aporte el 100% de la demanda con el sistema solar, y el resultado así lo indica, la valoración mensual nos muestra que en realidad la aportación es inferior en algunos meses y se vuelve necesario el uso de un calentador auxiliar, sin embargo se puede obtener el 100% mensual si se sobredimensiona el campo, evaluar hasta qué punto económicamente es posible se trata en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4.- PROPUESTA DE ACOPLAMIENTO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA SOLAR

En este capítulo se muestran las cualidades de cada uno de los equipos de captación solar elegidos, a fin de que cubran las necesidades de operación del sistema en cada una de las 6 zonas posibles restantes. Así se obtiene la tecnología más adecuada a usarse.

Una vez seleccionado el equipo solar, se lleva a cabo el diseño de los componentes de la instalación para una localidad en específico, así se realiza la simulación del sistema y se dan las sugerencias de corrección final. Finalmente se presenta la viabilidad económica de dicho sistema.

4.1 SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR

4.1.1 Parámetros de selección del sistema solar.

Los seis sitios probables que cumplen con la producción mensual de mango (mermas), no tienen ningún problema por la extensión del campo solar, así como de ensombrecimiento. Sin embargo se busca una configuración que minimice el espacio y así evitar una extensa red de tuberías que involucren pérdidas de calor en las mismas.

En relación con lo anterior, deberán de ser resistentes a las condiciones ambientales adversas (polvo, granizo, viento), resistentes a bajas y altas temperaturas, siendo estables y duraderos (vida útil mayor a 15 años), con una fácil instalación y operación.

Para instalaciones en agronegocio, se recomienda una eficiencia térmica mayor al 40% en el sistema, esto se ha observado sobretodo en España, en comparación con sitios que presentan una mayor incidencia solar. En este caso, con captadores planos se tienen menores problemas de funcionamiento y un costo más bajo en relación con los ETC.

4.1.2 Forma de operación de los colectores y selección final.

En el caso de los FPC, se trata de un fabricante nacional, el cual está certificado no solo a nivel nacional sino internacional, la garantía que extiende es de 10 años contra defectos de fábrica e incluso de instalación siempre y cuando se tenga personal capacitado, el producto tiene una vida útil de 25 años, no presenta ninguna problemática al emplear circulación forzada y los periodos así como los costos de mantenimiento son bajos. La única parte que se llegaría a cambiar sería la cubierta, sin embargo es mínima la posibilidad de que suceda.

Los CPC son de origen Portugués, tienen una certificación bajo las normas Europeas, su garantía es de 5 años contra defectos de fábrica con una vida útil de 25 años, pueden trabajar con circulación forzada pero presentan complicaciones como los equipos de tubos evacuados ya que el agua pasa a través de los tubos y en caso de que alguno de estos falle, se debe de

retirar la cubierta lo que acarrea un gasto extra por concepto de mantenimiento, no tiene proveedor en México demorando así los tiempos de mantenimiento.

Los ETC son de origen chino como la mayoría de estos sistemas en México, tiene una distribuidora a nivel nacional, no presentan los problemas de tubos evacuados ya que el agua no pasa por los tubos, sin embargo su garantía es de solo 5 años y el costo por cada tubo ronda los \$150.00 MN, su certificación es italiana, tiene una duración de 25 años con costos de mantenimiento bajo. Llegan a presentar problemas contra granizo y viento.

En el caso de los CPC presentan el costo más bajo a pesar de que se ocuparía el mayor número de colectores, sin embargo los repuestos y soporte técnico se tendría que traer de Portugal lo que representa mayor tiempo y costo de mantenimiento, en espera de que este producto se mantenga vigente durante el periodo de vida útil, así se tendría que considerar que se necesitaría bombas de mayor potencia por el número de captadores por ramal.

En nuestro caso la Sss no representaba una barrera, ya que los lugares seleccionados estaban a cielo abierto sin ningún tipo de ensombrecimiento, sin embargo en la Tabla 3.13 se muestra que la menor Sss es en el caso de los FPC y para los ETC es de casi el 50% más de la extensión de los FPC, teniendo un costo mayor, con lo cual se podría ampliar o duplicar el campo de colectores FPC en el mismo espacio que los ETC.

Dado que los periodos de retorno de los sistemas solares industriales para precalentamiento, ACS, y climatización ronda entre los 7 y 15 años, en cuestión de mantener la operación del sistema se tomaría la opción que ofrezca un periodo de garantía mayor, ya que en caso de alguna falla de los equipos correría a cargo del proveedor. De esta manera con base en las condiciones climáticas expuestas en el capítulo 3, con las condiciones de operación del sistema y de las características de los equipos, se realiza la Tabla 4.1, la cual enlista las zonas mostrando el costo para la FSA máxima y el tipo de colector que se podría usar, considerando que en sitios con una menor irradiación solar es preferible el uso de los ETC.

Tabla 4. 1 Sistemas solares térmicos por zona

FSA 100%		
ZONA	CAPTADOR	\$ MN
1	FPC	\$ 2,307,177.36
2	ETC	\$ 2,862,000.00
3	FPC	\$ 2,650,799.52
4	ETC	\$ 2,844,000.00
5	FPC	\$ 2,863,518.00
6	FPC	\$ 2,519,895.84
7	ETC	\$ 2,916,000.00
8	FPC	\$ 2,634,436.56

4.2 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.

4.2.1 Ubicación y configuración de los paneles solares.

Como ejemplo para el diseño de la instalación solar para deshidratar mango, se utilizara la zona 1 y se tomara una FSA del 100%, la cual como se aprecia en la Figura 4.1, está ubicada en el estado de Sinaloa, a 11 min de Ahome, 31 min de la Higuera de Zaragoza, 27 min de Los Mochis, en su trayecto más largo a una zona de cultivo está Topolobampo (52 min), Guasave (58 min) y El Fuerte (1:40 hrs).

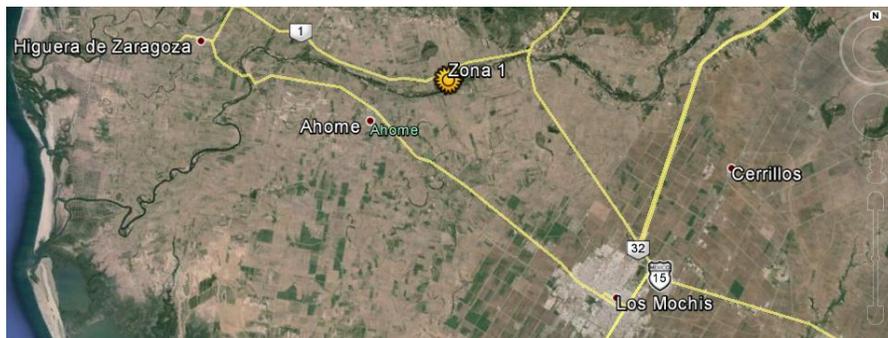


Figura 4. 1 Ubicación geográfica posible de la zona 1.⁵⁷

Los colectores estarán sobre el tejado de las instalaciones de deshidratado, así se hará bombear el agua hacia los captadores y después baja a las unidades de calentamiento auxiliar antes de pasar al deshidratador (intercambiador de calor de tubos aletados), el cual será alimentado simultáneamente por un ventilador. Para tener un mejor empleo del recurso solar y del producto a deshidratar, se planea dividir en 4 deshidratadores cada uno de 200 Kg, esto significa tener 4 baterías de colectores con igual número de elementos.

De esta manera se dimensiona un sistema solar de circulación forzada indirecto con acumulación solar centralizada, se tiene un acomodo en paralelo a fin de tener un flujo de agua similar en cada colector solar, garantizando que el flujo sea equilibrado teniendo en cuenta que lo máximo arreglo en paralelo es de 9 captadores por recomendación del proveedor, así se emplea el sistema de retorno inverso y en su defecto válvulas de control para el flujo de agua (ver Figura 4.2).

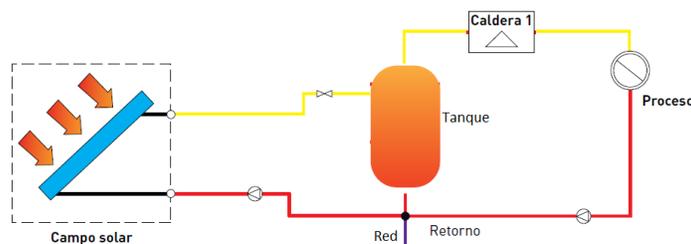


Figura 4. 2 Configuración del sistema solar térmico

⁵⁷ Realizado por medio de Google Earth

En cuanto al tipo de arreglo, los métodos no atienden esta circunstancia, con el fin de percibir como esto influye en la FSA se decidió usar dos acomodos, el primero de ellos será en paralelo y el segundo en serie. El proveedor indica que el máximo de captadores en paralelo es de 9 y no más de 3 colectores en serie.

Así se propusieron dos arreglos con el mismo número de captadores en la batería, ver Tabla 4.2.

Tabla 4. 2 Arreglo de los colectores, sup) Paralelo, inf) Serie⁵⁸

Datos de Operación			Acomodo de colectores			
Captador	Baterías	Ramas	XRamal	Totales	XBatería	Frontal [m]
FPC	4	4	9	144	36	10.8

Datos de Operación			Acomodo de colectores			
Captador	Baterías	Ramas	XRamal	Totales	XBatería	Frontal [m]
FPC	4	6	6	144	36	7.2

El esquema de una rama de ambos arreglos se muestra por medio de la Figura 4.3:



Figura 4. 3 Colectores por ramal, izq.) Paralelo, der.) Serie-Paralelo

4.2.2 Diseño de la tubería

Debido a que en la instalación se alcanza una temperatura de más de 60°C, se utilizara tubería de cobre tipo "L", el diámetro se calcula tomando en cuenta que la caída de presión por fricción no sea mayor a 40 *mmca* por metro lineal así como de 7 *mca* en el circuito, su velocidad debe estar entre 0.3 y 1.5 m/s en el circuito primario, si el agua es suavizada hasta una dureza cero mediante un suavizador la velocidad no debe pasar de 1.2 m/s, con un PH mayor a 7 (<6.9 agresivamente corrosiva). Para evitar burbujas de aire dentro del arreglo se dará una inclinación de 2 mm por cada metro de tubería (ver Figura 4.4). Para ello se usaron las siguientes ecuaciones:



Figura 4. 4 Muestra de la colocación de los colectores solares (retorno invertido)

⁵⁸ Elaborada a partir de la tabla 3.14.

$$D = 10 * J * (Np * C)^{0.35} \quad (27)$$

$$v = 0.354 * \frac{Q}{Di^2} \quad (28)$$

$$Pdc_{unitaria} = 378 * \frac{Q^{1.75}}{Di^{4.75}} \quad (29)^{59}$$

Donde:

D – Diámetro [mm]

Di – Diámetro interno [mm]

C – Caudal [m^3/h]

Np – Número de colectores solares

Q – Caudal [l/h]

J – Factor para tubos metálicos = 2.2

v – Velocidad del agua [m/s]

$Pdc_{unitaria}$ – Pérdidas unitarias [mmca]

El proveedor del colector solar, indica que el caudal recomendado es de 25 [l/hm²] y se ha calculado una distancia entre filas de captadores de 3.13 [m], tomando esta como la longitud mínima de las secciones de la tubería entre los ramales, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.3:

Tabla 4. 3 Resultados para el circuito primario en Paralelo⁶⁰

Sección	Q [l/h]	D [mm]	DN [mm]	Di [mm]	v [m/s]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Tubo [m]	Pdc _{sección} [mca]
DE	567	18.04	22	20	0.50	16.46	3.13	0.05
CD	1134	22.99	28	25.6	0.61	17.14	3.13	0.05
BC	1701	26.50	28	25.6	0.92	34.84	3.13	0.11
AB	2268	29.30	35	32	0.78	19.97	23.2	0.46
A'B'	2268	29.30	35	32	0.78	19.97	6.13	0.12
B'C'	1701	26.50	28	25.6	0.92	34.84	3.13	0.11
C'D'	1134	22.99	28	25.6	0.61	17.14	3.13	0.05
D'E'	567	18.04	22	20	0.50	16.46	3.13	0.05
$\Delta H_{Tubería}$								0.96

⁵⁹ Ecuación de Flammat para agua caliente sin aditivos.

⁶⁰ Tabla hecha por el autor, para observar las características de los tubos de cobre

<http://www.cleanergysolar.com/2012/02/03/tablas-para-saber-las-caracteristicas-de-las-tuberias-de-cobre/>

Tabla 4. 4 Resultados para el circuito primario en Serie- Paralelo

Sección	Q [l/h]	D [mm]	DN [mm]	Di [mm]	v [m/s]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Tubo [m]	Pdc _{sección} [mca]
FG	189	12.28	15	13	0.40	18.62	21.90	0.41
EF	378	15.65	18	16	0.52	23.36	3.13	0.07
DE	567	18.04	22	20	0.50	16.46	3.13	0.05
CD	756	19.95	22	20	0.67	27.23	3.13	0.09
BC	945	21.57	28	25.6	0.51	12.46	3.13	0.04
AB	1134	22.99	28	25.6	0.61	17.14	25.84	0.44
A'B'	1134	22.99	28	25.6	0.61	17.14	6.13	0.11
B'C'	945	21.57	28	25.6	0.51	12.46	3.13	0.04
C'D'	756	19.95	22	20	0.67	27.23	3.13	0.09
D'E'	567	18.04	22	20	0.50	16.46	3.13	0.05
E'F'	378	15.65	18	16	0.52	23.36	3.13	0.07
F'G'	189	12.28	15	13	0.40	18.62	3.13	0.06
$\Delta H_{\text{Tubería}}$								1.20

De las Tablas 4.3 y 4.4 se obtiene en base al caudal de operación el diámetro con el cual se tenga una pérdida de carga que satisfaga la norma antes escrita y con este valor de pérdida de carga unitaria obtenemos la pérdida por sección que es usada en el cálculo de la potencia de bombeo.

En este tipo de instalaciones se usan diversos accesorios que mantienen en un funcionamiento óptimo el sistema, la pérdida de carga que provocan debe ser anexada a este cálculo, en nuestro caso tenemos lo siguiente:

- a. para aislamiento: válvulas de esfera;
- b. para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento;
- c. para vaciado: válvulas de esfera o de macho;
- d. para llenado: válvulas de esfera;
- e. para purga de aire: válvulas de esfera o de macho;
- f. para seguridad: válvula de resorte;
- g. para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

En nuestro caso calcularemos los más básicos en el sistema y los resultados están en la Tabla 4.4, para los dos arreglos antes mencionados.

Tabla 4. 5 Pérdida de carga en los accesorios, sup) Paralelo, inf) Serie-Paralelo⁶¹

	DN [mm]	Singularidades	Leq[m]	Leqtot [m]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Pdc _{sección} [mca]
DE	22	1 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	.5 - .3 - .5	1.3	16.46	0.02
CD	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	17.14	0.09
BC	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	34.84	0.18
AB	35	1 T - 1 válvula - 4 codos 90°	4.1 - 1.61 - 4.04	9.75	19.97	0.19
A'B'	35	1 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	1.01 - .85 - 1.61	3.47	19.97	0.07
B'C'	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	34.84	0.18
C'D'	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	17.14	0.09
D'E'	22	1 T - 2 codos 90° - 1 válvula	2.5 - 1 - .5	4	16.46	0.07
$\Delta H_{\text{Accesorios}}$						0.84

	DN [mm]	Singularidades	Leq[m]	Leqtot [m]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Pdc _{sección} [mca]
FG	15	9 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	.5 - .3 - .5	5.3	18.62	0.10
EF	18	1 T - 1 reducción - 1 válvula	2.5 - .3 - .5	3.3	23.36	0.08
DE	22	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3 - .5 - .77	4.27	16.46	0.07
CD	22	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3 - .5 - .77	4.27	27.23	0.12
BC	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	12.46	0.07
AB	28	1 T - 1 válvula - 4 codos 90°	3.6 - .76 - 1.05	8.56	17.14	0.15
A'B'	28	1 T - 2 codos 90° - 1 válvula	3.6 - .76 - 1.05	6.17	17.14	0.11
B'C'	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.25	12.46	0.07
C'D'	22	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3 - .5 - .77	4.27	27.23	0.12
D'E'	22	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3 - .5 - .77	4.27	16.46	0.07
E'F'	18	1 T - 1 reducción - 1 válvula	2.5 - .3 - .5	3.3	23.36	0.08
F'G'	15	1 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	.5 - .3 - .5	1.3	18.62	0.02
$\Delta H_{\text{Accesorios}}$						1.03

4.2.3 Cálculo de la bomba

La bomba se selecciona de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño, se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado por el fabricante. En sistemas superiores a 50 m² se montan dos bombas idénticas en paralelo, así como de estar en la zona más fría del circuito primario. La eficiencia de las bombas de circulación en sistemas solares oscila entre el 10 y 30%, por el bajo caudal de trabajo.

Para obtener la potencia requerida del electro circulador se usan las siguientes ecuaciones:

$$W_b = \frac{Q_T \cdot \Delta P_{total}}{\eta} \quad (30)$$

$$\Delta P_{total} = \rho g (\Delta H + \Delta H_{\text{Accesorios}} + \Delta H_{\text{Tuberia}} + \Delta H_{\text{Paneles}}) \quad (31)$$

⁶¹ Se pueden ver más tipos de válvulas en www.salvadorescodas.com

Los valores de los accesorios fueron tomados de C. Mataix, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas, 2da edición, Ediciones del Castillo S.A., Madrid, 1986.

Donde:

W_b – Potencia de la bomba requerida [W]

Q_T – Caudal de la instalación [m^3/s]

ΔP_{total} – Pérdida de carga total [N/m^2]

η – eficiencia = 25%

ρ – Densidad del líquido a mover [kg/m^3]

g – Fuerza de gravedad [m/s^2]

ΔH – Altura de la tubería [m]

$\Delta H_{paneles}$ – Pérdida de carga en los paneles [m]

En el caso de los colectores solares, el proveedor proporciona una curva de caída de presión en función del caudal en los paneles así como su ecuación. La normativa indica que la pérdida de carga no debe ser mayor a 1 *mca*.

La pérdida de carga por ramal será igual a la unitaria si se indica el número de captadores en paralelo, de no ser así se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta H_{paneles} = \Delta p * Np(Np + 1)/4 \quad (32)$$

Δp – Pérdida de carga en un colector ⁶²

Así se muestran los resultados de la potencia de bombeo en la Tabla 4.6.

Tabla 4. 6 Datos y cálculo de la bomba sup) Paralelo, inf)Serie-paralelo

$\Delta H_{tubería}$	$\Delta H_{Accesorios}$	ΔH_{Panel}	ΔH	Q_T [m^3/s]	ΔH_T	ρ	η	W_b [W]
0.96	0.84	0.015	3	0.00063	4.81	1000	25	118.88

$\Delta H_{tubería}$	$\Delta H_{Accesorios}$	ΔH_{Panel}	ΔH	Q_T [m^3/s]	ΔH_T	ρ	η	W_b [W]
1.20	1.03	0.06	3	0.000315	5.30	1000	25	65.47

4.2.4 Vaso de expansión

Este dispositivo compensa la dilatación producida por el fluido calor portante cuando éste se calienta, evitando que la presión aumente y que se produzcan problemas en el funcionamiento de la instalación, de tal forma que regula esa dilatación al introducir fluido en él. Se tienen de manera general vasos abiertos y cerrados, sin embargo los de vaso abierto se recomiendan para instalaciones cuyo aporte térmico sea de máximo 70 [kW].

⁶² Datos obtenidos de la gráfica del anexo 6.

Así se dimensionara un vaso de expansión cerrado usando las siguientes ecuaciones:

$$V_t = \frac{1.2 \cdot (V_T + V_p) \cdot Ce\% \cdot P_f}{P_f - P_i} \quad (33)$$

$$V_T = longT \cdot 0.7854 \cdot Di^2 \quad (34)$$

$$P_f = P_v - 0.1P_v + Pbar \quad (35)$$

$$P_i = Pmanins + Pbar + 5[m] \quad (36)$$

Donde:

V_t – Volumen del vaso de expansión [l]

V_T – Volumen en las tuberías, (1.2 para considerar accesorios).

V_p – Volumen en todos los paneles, para cada panel es de 2.2 [l]

$Ce\%$ – Coeficiente de expansión del agua, se toma un valor de 4.34 a 100°C

P_f – Presión absoluta final del vaso de expansión [kg/cm^2]

P_i – Presión absoluta inicial del vaso de expansión [kg/cm^2], los 5[m] es para evitar microburbujas.

$longT$ – Longitud de la tubería [m]

P_v – Presión de la valvula de seguridad, 3 [kg/cm^2]

$Pmanins$ – Presión manométrica de la instalación

Los resultados del cálculo del vaso de expansión está en la Tabla 4.7.

Tabla 4. 7 Vaso de expansión, sup.)Paralelo, inf.)Serie-paralelo

V_t	V_p	$Ce\%$	P_v	h [m]	$Pmanins$	$Pbar$	P_f	P_i	V_t [l]
38.38	79.20	0.04	3.00	4.00	0.40	1.02	3.72	1.91	12.59

V_t	V_p	$Ce\%$	P_v	h [m]	$Pmanins$	$Pbar$	P_f	P_i	V_t [l]
33.82	79.20	0.04	3.00	4.00	0.40	1.02	3.72	1.91	12.10

El vaso de expansión se debe colocar después de la bomba de impulsión y de la válvula de retención.

4.2.5 Termo tanque y el sistema de aislamiento

En el cálculo para el tanque de almacenamiento, debido a que en las instalaciones para ACS en ocasiones la demanda no existe cuando operan los captadores, se vuelve conveniente

almacenar la energía en forma de agua caliente y se recomiendan que la relación entre el área de captadores y el volumen del tanque este entre 50 y 180. Las instalaciones solares comúnmente están entre 70 y 100 [l/m].

Dado que en nuestro caso el fluido de trabajo tendrá un flujo continuo y la demanda estará presente en el momento de operación de los captadores, el termo tanque solo mantendrá el agua durante la recirculación, así su temperatura aumenta hasta que sea necesaria usarla en el deshidratador por eso su volumen inicial es el volumen total de la instalación, es decir, la cantidad de agua en el circuito de paneles y el volumen en el deshidratador, la manera de conocer su comportamiento es mediante el siguiente balance:

Suponemos que por ser un tanque pequeño, en comparación con lo que se tendría en un caso de acumulación, no se presenta el fenómeno de estratificación, así la energía interna de la masa en el tanque se puede describir como:

$$E_{uT} = MCp\Delta T_t \quad (37)$$

Donde:

E_{uT} – Energía interna del agua en el tanque [kJ /hr]

M – Masa del agua en el tanque [kg]

ΔT_t – Variación de la temperatura respecto al tiempo

Y su balance de energía contemplando sus entradas y salidas.

$$MCp \frac{dT_t}{dt} = E_{us} - E_p - E_s - E_{r1} \quad (38)$$

Donde:

E_{us} – Energía proveniente de los colectores [kJ/hr]

E_p – Energía pérdida hacia los alrededores, suponemos cero en este caso [kJ/hr]

E_s – Energía extraída hacia el proceso [kJ/hr]

E_{r1} – Energía extraída en la recirculación [kJ/hr]

De este balance se tienen dos casos el primero en la etapa de recirculación y el segundo durante el proceso, así se puede conocer la T_{Tf} .

Para la recirculación, con $E_s = 0$:

$$T_{Tf} = \frac{2\dot{m}(T_{sal}-T_o)}{M}\Delta t + T_o \quad (39)$$

Y durante el proceso

$$T_{Tf} = \frac{\dot{m}(2T_{sal}-T_o-T_T)}{M}\Delta t+T_T \quad (40)^{63}$$

Estas expresiones muestran que la regulación en la temperatura del tanque y por ende en el circuito solar térmico, depende del caudal de operación en los paneles o de la masa de agua en el tanque, normalmente se varía el caudal, pero en nuestro caso encontraremos la masa de agua en el tanque con la que la temperatura en este y en los paneles no sea mayor a 90°C, temperatura de operación.

En el caso del aislamiento, existen tablas de espesores recomendados tomando como referencia un material con una conductividad térmica igual a .040 [W/m K] a 20°C en instalaciones solares térmicas mostrados en la Tabla 4.7:

Tabla 4. 8 Espesor del aislamiento en tuberías⁶⁴

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)	
	40...60	> 60...100		40...60	> 60...100
D ≤ 35	25+5	25+5	D ≤ 35	35+5	35+5
35 < D ≤ 60	30+5	30+5	35 < D ≤ 60	40+5	40+5
60 < D ≤ 90	30+5	30+5	60 < D ≤ 90	40+5	40+5
90 < D ≤ 140	30+5	40+5	90 < D ≤ 140	40+5	50+5
140 < D	35+5	40+5	140 D	45+5	50+5

Sin embargo, si se utiliza otro material con una conductividad térmica diferente se emplea la siguiente ecuación para secciones circulares:

$$e_{ais} = \frac{D}{2} \left[e^{\left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \ln \left(\frac{D+2e_{ref}}{D} \right) \right)} - 1 \right] \quad (41)$$

Donde:

e_{ais} – Espesor de aislamiento [mm]

λ – Conductividad térmica del nuevo material [W/mK]

λ_{ref} – Conductividad térmica de referencia, .04 [W/mK]

e_{ref} – Espesor de referencia, obtenido de la tabla [mm]

En nuestro caso se usara el aislamiento K-flex ST y nos apoyaremos en la Tabla 4.9 que se muestra a continuación:

⁶³ Los desarrollos están el en anexo 5

⁶⁴ Tabla obtenida del RITE

Tabla 4. 9 Espesor del aislante K-FLEX ST⁶⁵

	K-FLEX ST 0,036 W/(m·k) a 10°C	
Diámetro nominal	Temperatura entre 60 y 100°C	
	interior	exterior
18	20,77	28,54
22	20,98	28,87
28	21,20	29,23
35	21,39	29,54
42	25,67	33,83
48	25,79	34,02
54	25,90	34,18
60	26,98	34,31

Para el acumulador se recomienda que se use un espesor para un diámetro de 140 [mm]. De esta manera tenemos los espesores para cada diámetro de tubería.

4.3 SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

4.3.1 Simulación con TRNSYS y METEONORM.

El software TRNSYS permite analizar el comportamiento dinámico de nuestro sistema, en el cual, con ayuda de sus librerías se pueden elegir varios elementos que adopten las características de los equipos antes calculados para así visualizar, corroborar y modificar el dimensionado de dicho sistema.

Para dotar a la simulación de datos climáticos (radiación, humedad relativa, temperatura ambiente, etc.), se usó el software Meteonorm5, con el que se ubicó la zona posible número 1, la información recabada se guardó en un formato (TMY2) que posteriormente usara TRNSYS.

La forma en cómo se establece la configuración de los equipos se muestra en la Figura 4.5, en esta se muestra el arreglo de una cuarta parte de la instalación ya que como se mencionó en un principio, se tendrían cuatro baterías y con simular una de ellas se pueden corroborar el sistema completo.

⁶⁵ Tabla extraída del catálogo técnico de Salvador Escoda S.A en www.salvadorescoda.com

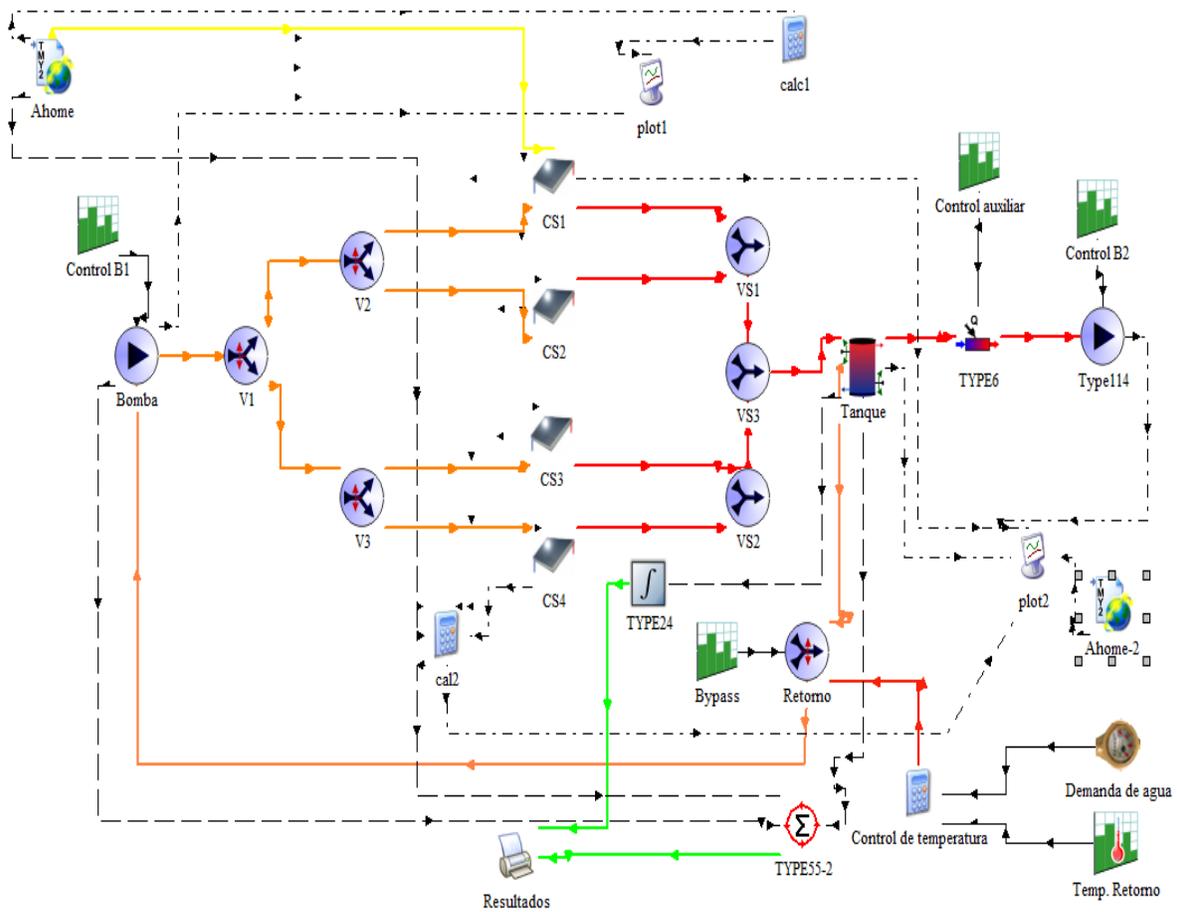


Figura 4. 5 Esquema de 1/4 del arreglo de colectores⁶⁶

Como se puede observar en la Figura 4.5, el proceso se simula con el Type 114 (bomba de circulación) que envía el agua hacia el deshidratador y la recirculación se tiene con la demanda de agua y la T_{r2} de retorno fija a 50 °C. Está agua de recirculación entra en contacto con el agua proveniente de la parte inferior del tanque y se envía a los captadores, al salir de estos se dirige nuevamente al tanque con una temperatura promedio igual a 70 °C, en caso de no alcanzar dicha temperatura el auxiliar aporta la energía necesaria para alcanzarla a fin de poder enviarse de manera continua nuevamente hacia el deshidratador a dicha temperatura.

Para estimar el volumen del tanque, se realizó una corrida con el volumen mínimo, es decir, el agua contenida en los paneles y en el deshidratador, siendo igual a 0.26 [m³], sin embargo como se observa en la Figura 4.6, las temperaturas a la salida de los captadores sobrepasan los 90 °C, ocasionando un mayor desgaste en ellos y por ende se reduce su tiempo de vida útil.

⁶⁶ Hecho con el software TRNSYS

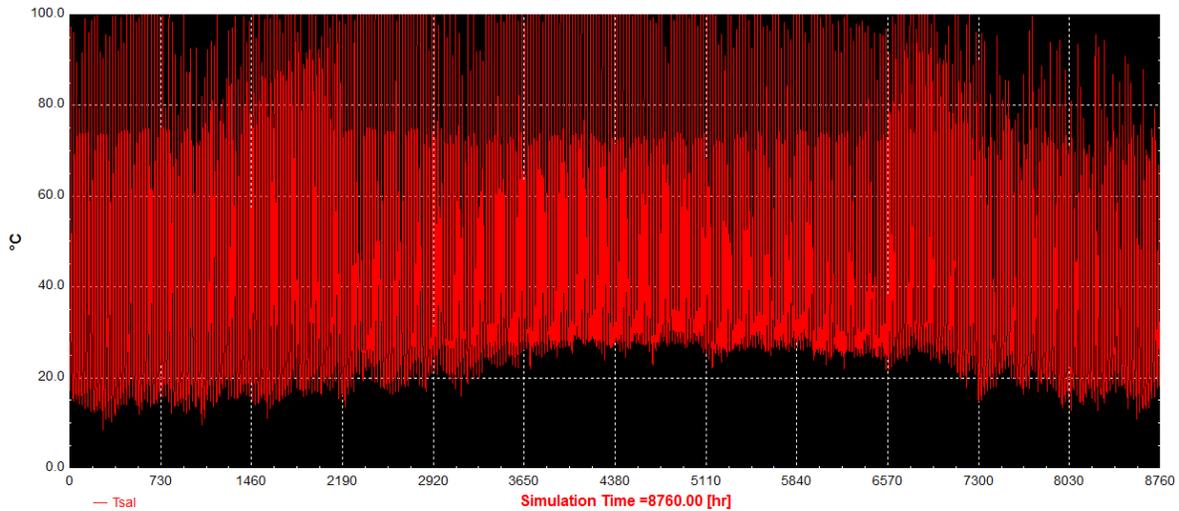


Figura 4. 6 T_{sal} para un tanque de 0.26 [m³]

En la Figura 4.6, los tonos rojo oscuro corresponden con la etapa de recirculación y los colores claros son durante el proceso de deshidratación. Como se puede ver, la temperatura en la recirculación es mayor a los 90 °C, y de las ecuaciones para estimar la temperatura en el tanque, las únicas variables que ocasionarían una reducción en estos valores sería el caudal de trabajo y el volumen del tanque, al aumentar el caudal de trabajo, se tiene una disminución en la temperatura de salida, sin embargo esto sucede cuando se hace ingresar agua fría como en las instalaciones comunes en donde hay una renovación, pero en este caso el agua no se renueva, así que la única manera de disminuir la temperatura es aumentando el volumen del agua en el tanque. De esta forma, se realizaron una serie de corridas variando el volumen del tanque, encontrando así un resultado que permitiera tener los 90 °C en la etapa de recirculación. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4. 10 Selección del volumen del tanque.

V _A [m ³]	T _{sal} [°C]		T _T [°C]	
	Recirculación	Proceso	Recirculación	Proceso
0.26	100	75	98	73
0.4	95	75	90	73
0.5	90	74	83	72
0.6	83	73	74	70

De esta manera seleccionamos un volumen de 0.5 [m³] ya que la temperatura promedio máxima es de 90 °C y para el tanque es preferible que durante el proceso este por arriba de los 70 °C.

Inicialmente se había considerado encender la bomba a partir de las 9:30 am y que trabajara por 5 h, tiempo de aporte máximo de energía solar en el día, sin embargo dado que se tendrá una recirculación del agua en el tanque antes de iniciar el deshidratado, es más conveniente hacer esta recirculación cuando se incremente gradualmente la irradiación solar que usar la bomba cuando está decaiga.

Normalmente para la ubicación de la instalación, en verano con la inclinación propuesta se tienen 200 [W/m²] a partir de las 7:00 am y en invierno entre 7:30 y 8:00 am. El inicio de operaciones se establece entonces a las 9:00 am, así es necesario conocer la hora de encendido a fin de tener el menor costo por la energía consumida por la bomba y por el auxiliar durante el proceso, ver Figura 4.7 del comportamiento de la instalación con dos tiempos de inicio diferente el primer día de Enero.

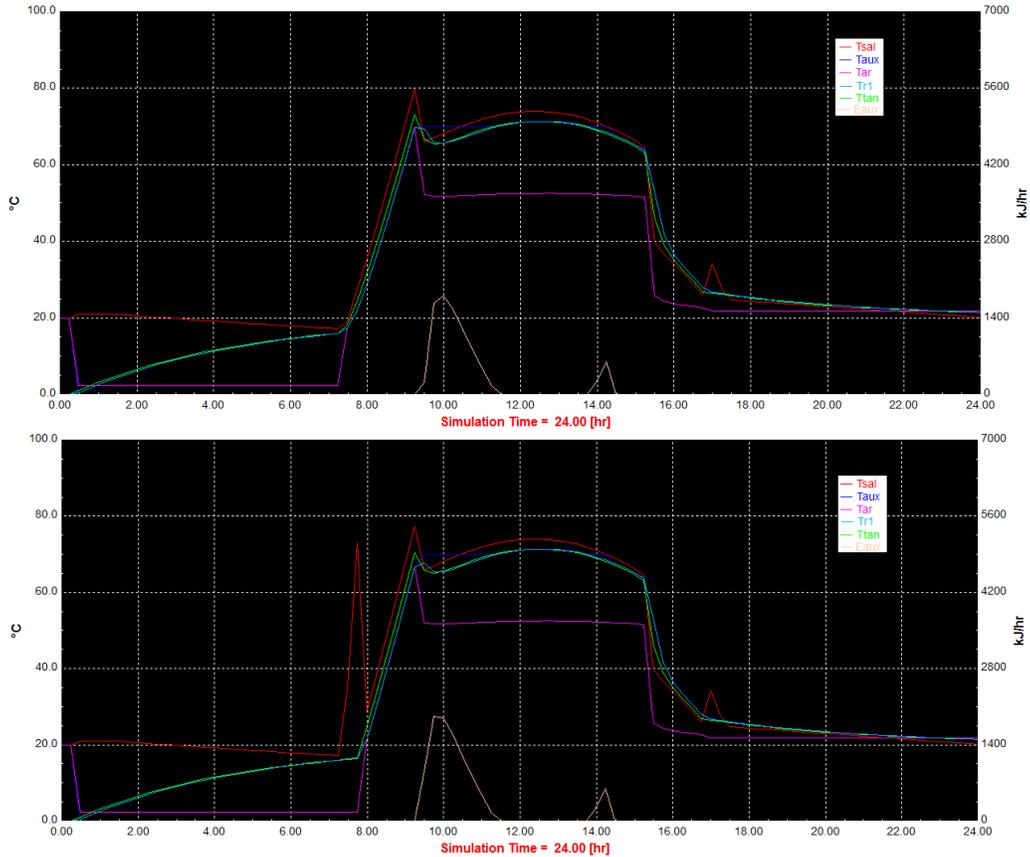


Figura 4. 7 Selección de la hora de inicio de la recirculación, sup.) 7 am, inf.) 7:30 am

Al hacer la simulación anual para las dos opciones de inicio y considerando que el costo promedio por kWh en Sinaloa es de \$0.792 M.N en baja tensión ya que no se supera el rango de consumo acorde a la tarifa 1D, así como de 309.17 [\$/GJ] para Gas LP (GLP) y 228.52 [\$/GJ] de Gas Natural (GN), se tienen los siguientes costos, presentados en la Tabla 4.11:

Tabla 4. 11 Costo de inicio de la recirculación⁶⁷

hr inicio	Eelec [kWh/año]	Eaux [GJ]	Eelec+GN \$	Eelec+GLP \$
7:00	433.97	1.53	693.34	816.74
7:15	423.12	1.55	689.32	814.33
7:30	412.28	1.60	692.15	821.19

⁶⁷ La grafica del comportamiento medio estimado con esta hora de inicio está en el anexo 8

El punto óptimo de arranque de la recirculación es a las 7:15 am, así los tiempos de operación quedan de la manera siguiente, en verano de 7:15 am a 17:30 pm y en invierno de 7:15 am a 16:30 pm, el tiempo de apagado de la bomba se obtuvo con la simulación al indicar que la recirculación pasadas estas horas no provocaban un aumento considerable en la temperatura del agua en el tanque. Con los datos de partida se realizó la simulación anual que arrojo los siguientes resultados (ver Tabla 4.12).

Tabla 4. 12 Simulación anual del sistema solar-térmico

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Annual
Demanda	2.60E+07	2.35E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	3.06E+08
Eus	2.85E+07	2.35E+07	2.94E+07	2.82E+07	2.64E+07	2.63E+07	2.69E+07	2.64E+07	2.70E+07	2.89E+07	2.41E+07	2.25E+07	3.18E+08
FS	1.10	1.00	1.13	1.12	1.02	1.05	1.04	1.02	1.08	1.11	0.96	0.87	1.04

No obstante, esta es la E_{us} máxima que puede alcanzar el sistema considerando que se use el agua a la temperatura de salida de los captadores, como se muestra en la Figura 4.8. Durante el proceso llevado a cabo de 9:00 am a 14:00 pm, existían lapsos durante los cuales la temperatura en los captadores y en el tanque sobrepasaban los 70°C, el inconveniente es que el agua a dicha temperatura no se puede usar directamente, en consecuencia esa energía extra aportada por los equipos no se considera. Así la energía útil del Sol, se estableció con base en la diferencia entre la energía demandada y la energía proporcionada por el auxiliar.

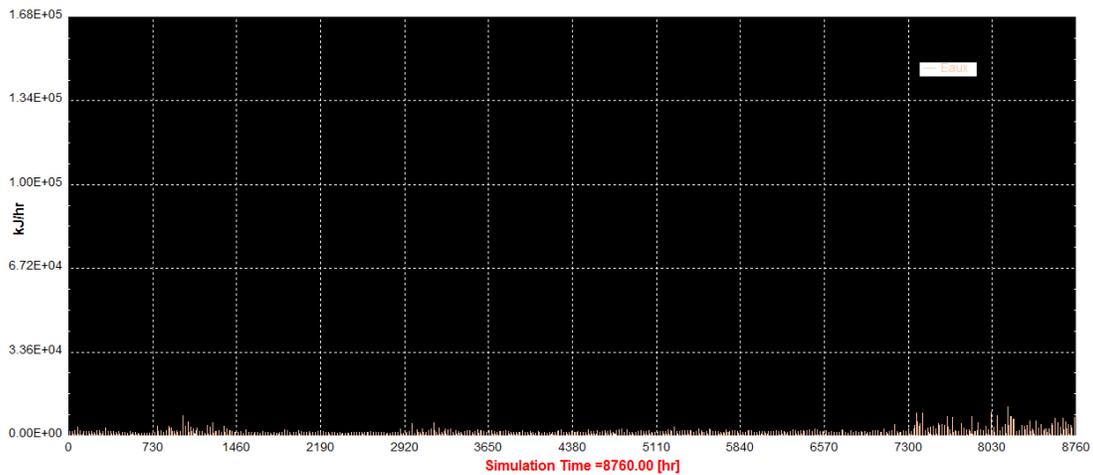


Figura 4. 8 Energía anual aportada por el auxiliar

De esta manera se obtiene el aporte real anual, presentado por medio de la Tabla 4.12.

Tabla 4. 13 Aporte real del sistema.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Annual
Demanda	2.60E+07	2.35E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	3.06E+08
Eus	2.59E+07	2.33E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.58E+07	2.50E+07	2.59E+07	2.58E+07	2.50E+07	2.59E+07	2.49E+07	2.56E+07	3.04E+08
Eaux	6.86E+04	1.64E+05	5.39E+04	4.67E+04	1.40E+05	9.12E+04	1.10E+05	1.37E+05	8.26E+04	6.88E+04	2.34E+05	3.54E+05	1.55E+06
FS	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99

Sin embargo, se puede apreciar en las tablas del Anexo 9 del comportamiento promedio esperado, se visualiza que durante la recirculación se tiene un pico de temperatura. Para

tratar de aprovechar este pico de temperatura al inicio del proceso y por consiguiente disminuir el aporte del auxiliar, se incrementó el caudal de trabajo obteniendo así el punto óptimo de operación, en el cual el costo por el consumo eléctrico no sea mayor que el ahorro en el auxiliar.

Se pensaría que un aumento en el caudal acarrearía un decremento en la temperatura a la salida de los colectores, sin embargo esta caída es mínima en la recirculación y durante el proceso se tiene que tomar una mayor cantidad de agua del tanque para compensar el caudal a la entrada de los captadores, esto provoca que el agua de retorno sea mayor que 50 °C. Si bien la eficiencia de captación baja, el ΔT es suficiente para que la T_{sal} sea superior a 70 °C.

Si bien el proveedor nos recomienda un caudal de 25 [l/hm²], los equipos tienen la capacidad de trabajar hasta 70 [l/hm²], el cual corresponde al caudal de prueba, para la obtención de la curva de eficiencia, en la Tabla 4.14 se obtiene el costo en función de la variación en el caudal de operación, para así seleccionar el caudal óptimo.

Tabla 4. 14 Caudal óptimo de operación

Caudal		Wb	Eaux	Eus	Eelec	Costo	
l/hm ²	kg/hr	[W]	[GJ/año]	[GJ/año]	[k Wh/año]	GN+Eelec \$	GLP+Eelec \$
25	2268.00	118.88	1.55	304.20	423.12	689.32	814
30	2722.00	147.05	1.16	304.60	523.39	679.61	773
35	3175.00	192.38	0.74	305.02	684.73	711.41	771
40	3629.00	246.32	0.52	305.23	876.71	813.19	855
70	6350.00	332.11	0.19	305.57	1182.06	979.61	995

Con base en dichos resultados, se tiene que el ahorro causado por disminuir el aporte auxiliar contra el incremento en el consumo eléctrico es significativo, cuando el caudal es de 30 [l/hm²], pasado este parámetro se tiene un costo mayor por el consumo eléctrico.

Establecidos los tiempos de operación y el caudal de trabajo, se calcula nuevamente la FS mensual y FSA (ver Tabla 4.15).

Tabla 4. 15 Comportamiento anual de la instalación solar térmica.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Demanda	2.60E+07	2.35E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	3.06E+08
Eus	2.59E+07	2.33E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.59E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.59E+07	2.49E+07	2.57E+07	3.05E+08
Eaux	4.39E+04	1.29E+05	3.57E+04	2.72E+04	9.74E+04	5.17E+04	6.88E+04	9.27E+04	5.54E+04	4.80E+04	1.96E+05	3.11E+05	1.16E+06
FS	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00

Para evaluar el segundo arreglo, se tiene un caudal mínimo igual al que circula por el deshidratador, siendo de 44.44 [l/hm²], sin embargo el bypass solo funciona en la recirculación y al entrar en operación el deshidratador se cierra el bypass, recirculando el agua hacia los deshidratadores y después al tanque en donde el auxiliar al igual que en el caso anterior dota de energía necesaria a fin de alcanzar la temperatura de trabajo, así se tienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla 4.16.

Tabla 4. 16 Comportamiento anual del arreglo en serie-paralelo.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Demanda	2.60E+07	2.35E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	3.06E+08
Eus	2.59E+07	2.33E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.58E+07	2.50E+07	2.59E+07	2.58E+07	2.50E+07	2.59E+07	2.49E+07	2.56E+07	3.04E+08
Eaux	7.16E+04	1.68E+05	5.61E+04	4.88E+04	1.44E+05	9.56E+04	1.14E+05	1.41E+05	8.58E+04	7.12E+04	2.38E+05	3.59E+05	1.59E+06
FS	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99

Si modificamos el caudal en los colectores con el fin de aumentar esta FSA, se tiene que colocar el bypass para mantener equilibrado el circuito, esto provoca que para un caudal en los colectores de 60 [l/hm²] se tengan los mismos resultados que el arreglo en paralelo (ver Tabla 4.17):

Tabla 4. 17 Comportamiento del arreglo serie paralelo para 60 [l/hm²]

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Demanda	2.60E+07	2.35E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	2.51E+07	2.60E+07	3.06E+08
Eus	2.59E+07	2.33E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.59E+07	2.59E+07	2.51E+07	2.59E+07	2.49E+07	2.57E+07	3.05E+08
Eaux	4.40E+04	1.29E+05	3.61E+04	2.75E+04	9.78E+04	5.20E+04	6.92E+04	9.28E+04	5.56E+04	4.83E+04	1.96E+05	3.11E+05	1.16E+06
FS	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99

De esta manera, se tiene una aportación anual igual, al que se presenta con el arreglo en paralelo, sin embargo exige, trabajar con el caudal de más del doble del recomendado y por ende se necesita una potencia de bombeo de 209.59 [W], lo que acarrea un costo por consumo eléctrico mayor. Por lo tanto, se opta por seleccionar el arreglo en paralelo.

Finalmente, se obtuvo el rendimiento de captación (eficiencia) de la instalación en paralelo usando la ecuación 20 del capítulo 3, dando como resultado un 62%, este es un resultado aceptable ya que en una instalación de energía solar el rendimiento del captador, independientemente de la aplicación y tecnología usada, debe ser siempre igual o superior al 40%.

Dado que el planteamiento inicial era de obtener una aportación solar del 100%, sin necesidad de utilizar el aporte auxiliar, se retoma el método f-Chart y se estima que para este caso es necesaria una cantidad de 160 FPC. El cual opere con el mismo tanque y caudal de operación (ver Tabla 4.18).

Tabla 4. 18 FS mensual para 160 captadores

ZONA	fmes FPC												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	1.02	1.06	1.05	1.09	1.10	1.10	1.01	1.00	1.04	1.09	1.09	1.02	1.06

En el Anexo 8, se encuentran los resultados de las dimensiones de la tubería, bomba, vaso de expansión.

Para los dos casos de los dimensionamientos de 100% solar (recordando que el primero de ellos es tomado como un promedio anual en el que existen meses en los que se sobrepasa la demanda y otros en los que se está por debajo, pero que en promedio es 100%, siendo necesario un aporte auxiliar para completar los requerimientos. Y el segundo caso es cuando

se sobredimensiona a fin de que el sistema sea capaz de solventar la demanda en esos meses con menos aportación.), se tiene que entender que en el primero de ellos se necesita un aporte del auxiliar que equivale a decir que el deshidratador funciona por 1.39 días solo con el auxiliar equivalente a consumir 167.25 [m³] de GN o 62.58 [m³](128.75 [kg]).

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Con la finalidad de evaluar la viabilidad de usar la energía solar a través de los colectores para cubrir o reemplazar un sistema convencional que comúnmente dota de energía al proceso de deshidratación, en este caso del mango, se analizó la oportunidad de diferentes FS a fin de determinar cuál de ellas presentaba la mejor relación B/C y el menor tiempo de retorno en comparación con el combustible fósil usado en particular de gas LP y de gas Natural. Como un índice extra el VPN ya que nos indicara las ganancias o pérdidas al final del periodo de vida útil,

4.4.1 Parámetros de la evaluación económica.

Al realizar el análisis económico, es necesario conocer los índices de evaluación del proyecto que nos muestran el actuar del dinero reflejado en años futuros en el momento presente y dictaminan la rentabilidad económica del proyecto mismo.

La plantilla de cálculo consta de dos secciones, en la primera de ellas se tiene los ingresos (ahorros) generados al no consumir combustibles, los cuales son equivalentes a la FS. Los costos de combustible, es el porcentaje faltante para cubrir la demanda de forma convencional, los costos de mantenimiento para nuestro caso se establecen en 1% de la inversión inicial. En esta misma sección se tiene la inversión inicial y el costo financiero (en este caso no se considera y se preestablece que se tiene la totalidad de la inversión al inicio del proyecto), como resultado se tiene el cambio neto anual siendo el ahorro real referido al descuento de los gastos.

Se realizó para cada año de vida útil del proyecto (25 años) considerando un aumento en el precio del combustible que se determinara en el apartado siguiente.

En la segunda sección, se usó el método del valor presente, obteniendo un factor (FVP) o deflector económico que nos modificara el valor del dinero en nuestro proyecto por lo cual fue necesario manejar una tasa de descuento (tasa de oportunidad) que indica la depreciación en el valor del dinero, la tasa de oportunidad depende del riesgo de cada proyecto, está entre el 12 y el 14%, para este caso se usará una tasa del 12%, comúnmente utilizada en proyectos renovables y con referencia en el COPAR 2012 de generación que emite CFE del cual se tomó el costo del combustible y que maneja esta misma tasa de oportunidad.

Así se consiguió el valor presente de cada uno de los flujos de dinero antes mencionados, para posteriormente calcular el VPN acumulado (la suma del valor presente anual) en el periodo de tiempo de vida del proyecto, para con el obtener el tiempo de retorno.

Los índices de los que se habló son:

Resultado Neto de operación RNO, es el importe de la ganancia o pérdida obtenida de las operaciones principales en el proyecto.

$$RNO = \sum VPN \text{ ahorros} - \sum VPN \text{ de los costos de operación} \quad (42)$$

Valor presente neto VPN, indica las ganancias o pérdidas totales considerando la inversión inicial y el RNO.

$$VPN = RNO - \text{Inversión inicial} \quad (43)$$

La relación B/C, mide el rendimiento del dinero sobre la base de la inversión, es decir expresa numéricamente cuanto capital retorna por unidad monetaria invertida. Si el resultado es mayor que 1, significa que los ingresos netos son superiores a los egresos netos (los beneficios son mayores a los egresos), si es 1 no se gana ni pierde dinero, un valor menor a 1 se rechaza la propuesta.

TIR (tasa interna de rentabilidad), se usa como indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad, así se usa como un criterio para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión, comparándola con la tasa de descuento antes establecida, se acepta el proyecto si la TIR es mayor que la tasa de oportunidad.

4.4.2 Combustibles para la comparación y costos de la inversión inicial.

El GLP presenta una mayor disponibilidad que el GN y al estar considerado dentro de la canasta básica, tiene un subsidio en el precio final a los consumidores, por lo cual se estableció a partir del 2007 que el valor del GLP⁶⁸ crecería en promedio un 4% anual, distribuido en un incremento mensual del .33% a lo largo del año.

Tomando un coste de \$29.26 [\$/m³]⁶⁹ para el municipio de Ahome en Sinaloa, y con un poder calorífico inferior de 94.64 [MJ/m³], para una caldera con 78% de eficiencia se tiene un monto de 309.17 [\$/GJ]. Con lo cual se necesita de 28314 [kg/año] y un saldo de \$ 654,954.39 M.N.

Referido a un periodo de 25 años se tendría como concepto de pago de combustible un VPN de \$ 6, 903,110.29 M.N. véase Figura 4.9.

⁶⁸ Tomada de la prospectiva del mercado de gas licuado de petróleo 2009-20014, Sener.

⁶⁹ <http://egob.energia.gob.mx/GRP2/internet/Default.aspx?idUID=18406fa5-3395-4348-9025-06fe89b3e641>

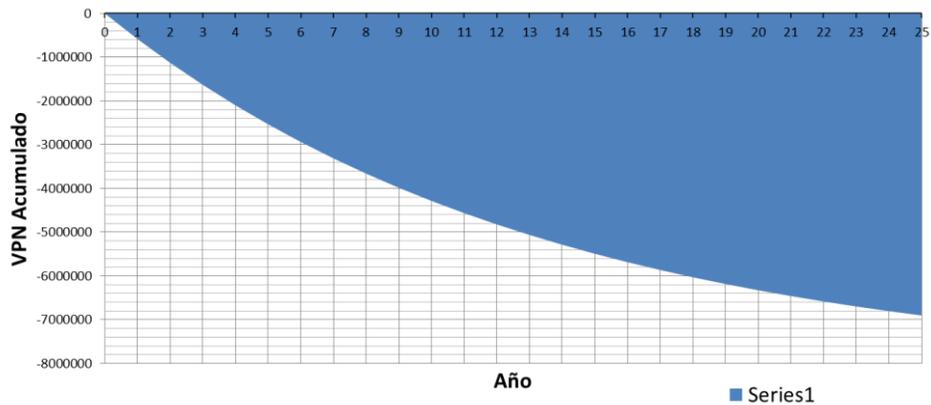


Figura 4. 9 Evolución del costo del GLP durante el proyecto.

En el caso del GN, presenta un inconveniente mayor tanto para disponibilidad del energético, ya que no hay un distribuidor en el estado de Sinaloa y, también a que su precio está en función de la calidad de la mezcla así como de su poder calorífico, entre más alto sea este, más caro será el GN.

El GN tiene un precio de salida a primera mano de 228.52 [\$/GJ], con lo que se necesitaría de 35005.72 [m³/año] y un monto de \$ 342,874.16 M.N. al año.

Referido al mismo periodo de tiempo que la gráfica anterior se esperaría un VPN por el combustible de \$ 3, 097, 847.9 M.N. ver Figura 4.10.

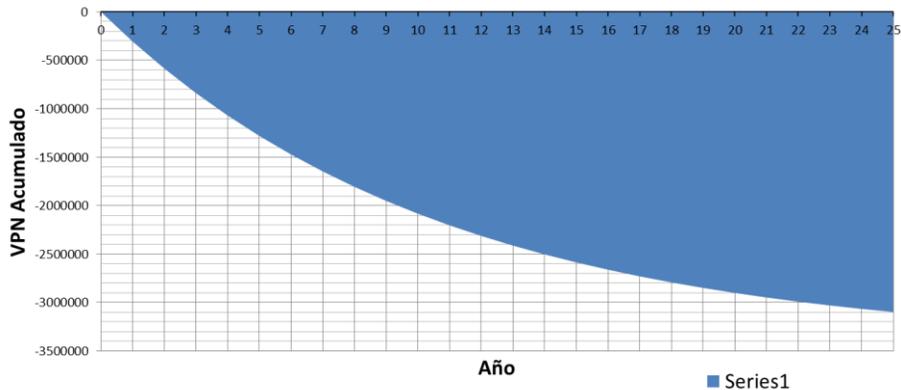


Figura 4. 10 VPN del consumo de GN en el tiempo de vida del proyecto.

Como inversión inicial, se va a considerar el monto por los 144 captadores y un extra de un 25% más por concepto de accesorios, se tiene una inversión de \$ 2, 591, 892.80 M.N.

Para el 100% se tiene una inversión por el costo de los paneles de \$2, 618,073.6 M.N. y en total \$ 2, 879, 881.00 M.N. Para el resto de las FSA a evaluar (ver Tabla 4.19).

Tabla 4. 19 Inversión por FSA

Captadores	FS %	Inversión inicial \$
160	100	\$ 2,879,880.96
144	99	\$ 2,591,892.82
120	90	\$ 2,159,910.72
100	80	\$ 1,799,925.60
83	70	\$ 1,493,938.27
55	50	\$ 1,079,955.36
25	25	\$ 449,981.40

En cuanto al costo anual por consumo de electricidad para que trabajen las bombas y tomando un precio promedio de 1.5 [\$/kWh], se tiene la Tabla 4.20 de consumo en función del número de captadores.

Tabla 4. 20 Consumo eléctrico anual

Captadores	FS %	Wb [W]	Eelec [k Wh/año]	Costo [\$/año]
160	100	789.80	1200.50	1800.74
144	99	588.20	894.06	1341.10
120	90	549.68	835.51	1253.27
100	80	491.56	747.17	1120.76
83	70	325.12	494.18	741.27
55	50	258.48	392.89	589.33
25	25	122.89	186.79	280.19

4.4.4 Resultados del análisis económico y comparación de distintas FSA.

En la actualidad, un mayor número de empresas del sector privado han comenzado por adaptar a sus procesos productivos a las energías renovables, como por ejemplo el precalentamiento de agua. Para el caso de los 160 captadores con una aportación del 100%, se tiene los resultados mostrados en la Tabla 4.21:

Tabla 4. 21 Comportamiento de la FSA 100% con respecto al GLP

RESULTADO NETO DE OPERACIÓN [RNO]	4697636.175	\$ mex
RELACIÓN B/C	1.63	veces
VALOR PRESENTE NETO	1817755.2	\$ mex
TASA INTERNA DE RETORNO [TIR]	19%	%
TIEMPO DE RETORNO [VPN]	9.8	Años

Con base en los resultados obtenidos, la relación beneficio costo nos dice que ganaremos 43¢ por cada peso invertido al final del periodo, el tiempo de retorno está dentro de los parámetros para instalaciones solares que oscilan entre 7 y 12 años y la TIR es mayor a la tasa de descuento lo cual nos indica que este proyecto se puede considerar como rentable, gráficamente se puede ver su comportamiento en la Figura 4.11.

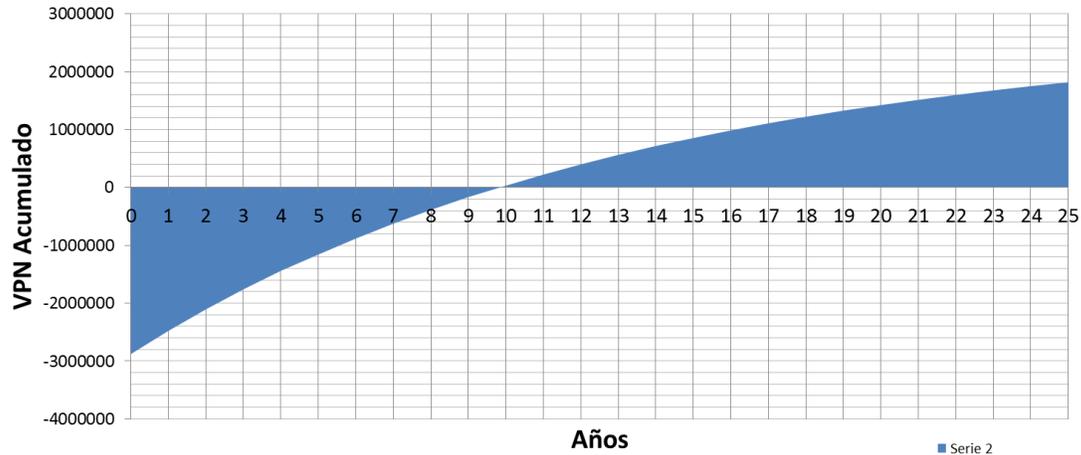


Figura 4. 11 Comportamiento de una FSA de 100% con GLP

Sin embargo si se implementa con gas natural se tendrían los resultados de la Tabla 4.22 y gráficamente está en la Figura 4.12:

Tabla 4. 22 Conducta de una FSA 100% con GN

RESULTADO NETO DE OPERACIÓN [RNO]	2958848.09	\$ mex
RELACIÓN B/C	1.03	veces
VALOR PRESENTE NETO	78967.1	\$ mex
TASA INTERNA DE RETORNO [TIR]	12%	%
TIEMPO DE RETORNO [VPN]	22.7	Años

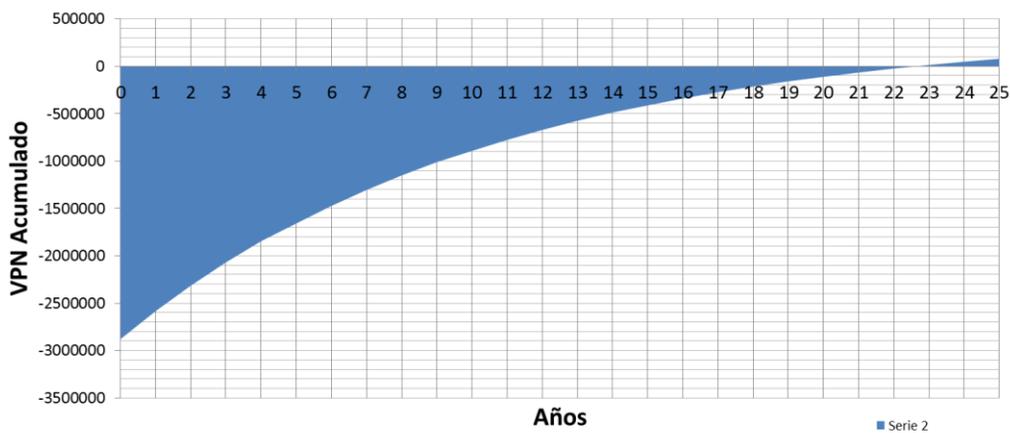


Figura 4. 12 Comportamiento para una FSA de 100% con GN

Para el caso de hacerlo 99% solar, los resultados están en la Tabla 4.23.

Tabla 4. 23 Comportamiento de una FSA 99% y GLP

RESULTADO NETO DE OPERACIÓN [RNO]	4690170.615	\$ mex
RELACIÓN B/C	1.81	veces
VALOR PRESENTE NETO	2098277.8	\$ mex
TASA INTERNA DE RETORNO [TIR]	21%	%
TIEMPO DE RETORNO [VPN]	8.5	Años

En este caso se obtiene que la TIR, así como la relación B/C sea menor que para un FSA del 95%, debido al aumento en el costo al sobredimensionar el sistema y el cuál es superior al gasto que se haría por usar combustible (ver Figura 4.13).

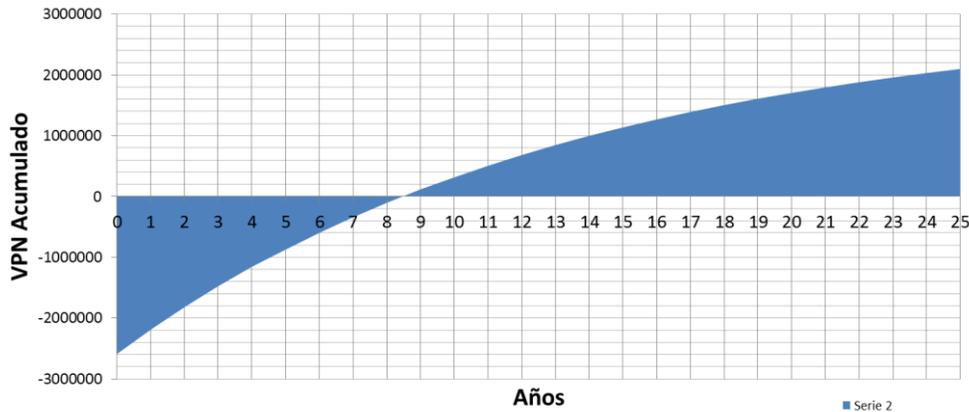


Figura 4. 13 Comportamiento de una FSA de 99% con GLP

Si se implementa con el GN, los resultados obtenidos se listan en la Tabla 4.24 y se pueden ver en la Figura 4.14.

Tabla 4. 24 Desarrollo de una FSA 99% y GN

RESULTADO NETO DE OPERACIÓN [RNO]	2956679.443	\$ mex
RELACIÓN B/C	1.14	veces
VALOR PRESENTE NETO	364786.6	\$ mex
TASA INTERNA DE RETORNO [TIR]	14%	%
TIEMPO DE RETORNO [VPN]	16.8	Años

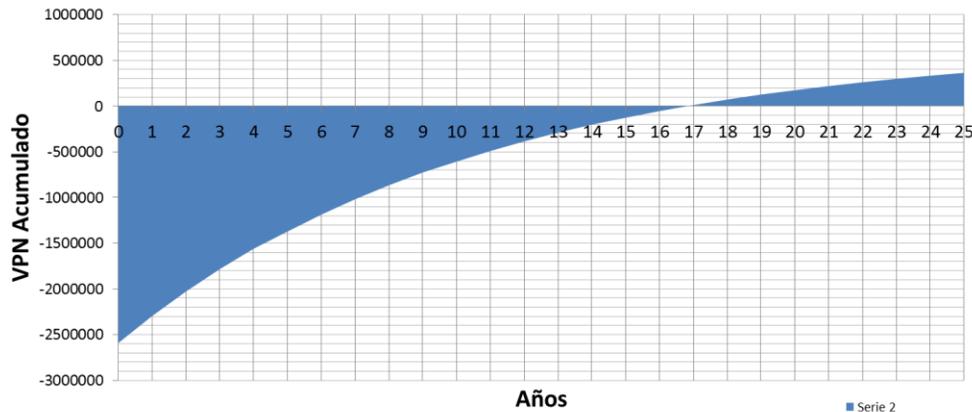


Figura 4. 14 Comportamiento de una FSA del 99% con GN

De la misma manera se realizó el análisis para las FSA ya calculadas y se obtuvo la Tabla 4.25 con GLP y la Tabla 4.26 con GN:

Tabla 4. 25 Resultados para diferentes FSA y GLP

Captadores	FS %	B/C	AÑOS	TIR	VPN
160	100	1.63	9.8	19	\$ 1,817,755.21
144	99	1.81	8.5	21	\$ 2,098,277.80
120	90	1.98	7.5	22	\$ 2,108,934.80
100	80	2.1	6.9	24	\$ 1,975,605.86
83	70	2.2	6.5	25	\$ 1,802,626.21
55	50	2.2	6.5	25	\$ 1,288,201.05
25	25	2.61	5.3	29	\$ 723,065.25

Tabla 4. 26 Resultados para distintas FSA y GN

Captadores	FS %	B/C	AÑOS	TIR	VPN
160	100	1.03	22.6	12	\$ 78,967.10
144	99	1.14	16.8	14	\$ 364,786.62
120	90	1.25	13.8	15	\$ 531,929.86
100	80	1.32	12.3	16	\$ 581,282.06
83	70	1.39	11.2	17	\$ 586,203.90
55	50	1.38	11.3	17	\$ 414,166.12
25	25	1.65	8.5	20	\$ 290,519.04

También se obtuvieron distintas FS mensuales y anuales, en función del número de captadores, para posteriormente ser evaluadas como complementarias de un sistema convencional, obteniendo los siguientes resultados, ver Figura 4.15:

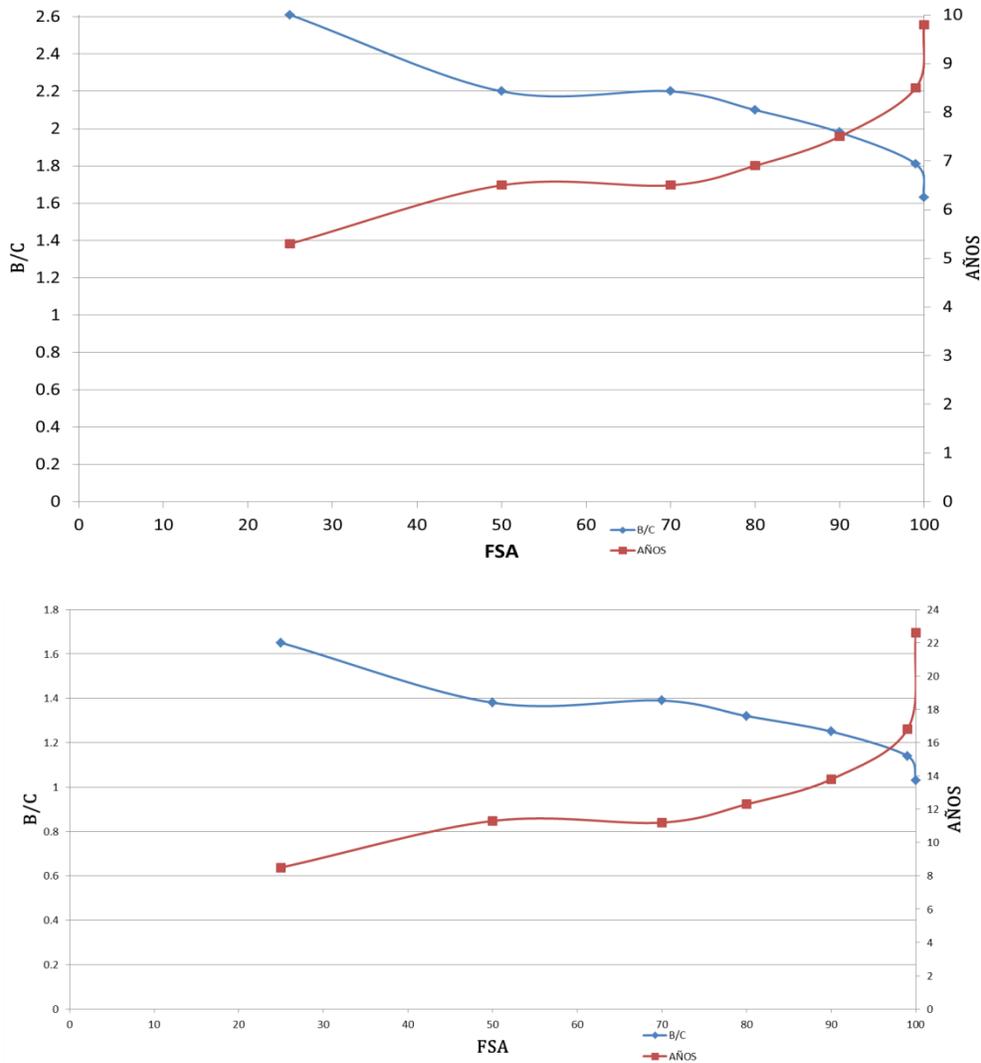


Figura 4. 15 Gráfica de B/C y Tiempo de retorno vs FSA, Sup.) GLP, Inf.) GN

En cuanto al impacto ambiental, debido a las reducción de emisiones de gases contaminantes en particular del CO₂, se tienen 2.15 kg CO₂/m³ de GN y 2.96 kg CO₂/kg de GLP, para las FSA y con referencia en un precio de \$ 52.24 M.N por bono de carbono (1 Ton de CO₂)⁷⁰.

En caso de aplicar esta opción para ayudar económicamente al proyecto se tendrían los siguientes resultados, mostrados en la Tabla 4.27:

⁷⁰ www.mexico2.com.mx/about

Tabla 4. 27 VPN incorporando bonos de CO₂, sup)GLP, inf)GN

FS %	Consumo anual GLP [m ³]	kg de CO ₂ generado	Ingresos anual bonos \$	Ingresos a 25 años \$	VPN + Bonos
100	0	0	\$ 4,378.21	\$ 109,455.13	\$1,927,210.34
99	283.14	838.09	\$ 4,334.42	\$ 108,360.58	\$2,206,638.37
90	2831.40	8380.94	\$ 3,940.38	\$ 98,509.62	\$2,207,444.42
80	5662.80	16761.89	\$ 3,502.56	\$ 87,564.10	\$2,063,169.96
70	8494.20	25142.83	\$ 3,064.74	\$ 76,618.59	\$1,879,244.80
50	14157.00	41904.72	\$ 2,189.10	\$ 54,727.56	\$1,342,928.62
25	21235.50	62857.08	\$ 1,094.55	\$ 27,363.78	\$ 750,429.04

FS %	Consumo anual GN [m ³]	kg de CO ₂ generado	Ingresos anual bonos \$	Ingresos a 25 años \$	VPN + Bonos
100	0	0	\$ 3,931.70	\$ 98,292.56	\$ 177,259.66
99	350.06	752.62	\$ 3,892.39	\$ 97,309.64	\$ 462,096.26
90	3500.57	7526.23	\$ 3,538.53	\$ 88,463.31	\$ 620,393.17
80	7001.14	15052.46	\$ 3,145.36	\$ 78,634.05	\$ 659,916.11
70	10501.72	22578.69	\$ 2,752.19	\$ 68,804.79	\$ 655,008.69
50	17502.86	37631.15	\$ 1,965.85	\$ 49,146.28	\$ 463,312.40
25	26254.29	56446.72	\$ 982.93	\$ 24,573.14	\$ 315,092.18

CONCLUSIONES CAPÍTULO 4

Al evaluar las distintas tecnologías de aplicación solar y observar que estas presentan parámetros técnicos similares, no se presentan marcadas diferencias en los resultados de su eficiencia en el rango de temperaturas de trabajo. Por lo cual la selección se realizó tomando en cuenta la garantía del proveedor y la incidencia solar, a mayor irradiación se prefirió los FPC y con valores menores los ETC.

El uso de simuladores dinámicos, permite conocer y visualizar el desarrollo de un sistema fluctuante, así como de los parámetros que intervienen en el, de igual forma da pie a la configuración de diferentes disposiciones en el momento de la planeación de los proyectos.

Es por eso que al incorporar el aporte solar, para que este sea un proyecto rentable las FSA en el caso de usarla con GLP es más recomendable entre el 80 y el 90% de la demanda, ya que dentro de estos rangos se tiene un mayor VPN y en el caso de incorporarla con GN es más rentable entre el 70 y el 80%. Cabe señalar que no se recomienda sobredimensionar el campo solar ya que contrae mayores gastos de operación e instalación, además de que en el caso de situaciones atípicas, no se tendría la forma de seguir con el proceso de deshidratado. Si no se desea o no se puede por disponibilidad usar un calentador auxiliar convencional, sería mejor evaluar la posibilidad de completar la demanda con biomasa generada con los desechos de la producción.

CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES GENERALES

México es uno de los principales países productores de mango, a pesar de ello se reportan cuantiosas pérdidas, tan solo en Ahome Sinaloa se ha tenido una merma de 1000 toneladas durante el año 2012, siendo una de las 8 zonas con un mayor índice de detrimento a nivel nacional.

En cuanto a la energía solar, dada nuestra ubicación geográfica recibimos arriba de 17 MJ/m² de irradiación en más de la mitad del territorio nacional lo que permite considerarla como una candidata de aportación total o complementaria en los procesos de energía térmica.

En los equipos solares que presentan características similares en rangos particulares de temperatura, su elección dependerá de la garantía de los equipos, cabe señalar que es importante considerar que dichos equipos estén certificados a fin de confiar en los datos del proveedor.

Cuando se evalúa un sistema solar fototérmico, se debe considerar que entre más se quiere cubrir una demanda, el número de equipos aumentará polinómicamente, ya que al ser estacionarios, estos sistemas pasivos tendrán un máximo respecto a cada mes de energía solar incidente, lo cual no permitirá que se cubra el 100% en todos los meses a menos que se

sobredimensionen. Sin embargo esto conlleva a tener más equipo de lo necesario, lo que representaría un encarecimiento mismo de la instalación, de igual manera no se debe dimensionar en función de la FS ya que en realidad ésta será el resultado de varios factores como el equipo, la colocación y operación del mismo.

Para este análisis de factibilidad, se encontró que para que sea rentable el uso de sistemas solares, y cubriendo una demanda de 1000 kg de producto fresco, da como resultado 271 kg de deshidratado con 8% de humedad. Para este caso, fue necesario que se tuviera una FSA entre el 70% para GN y el 90% con GLP, ya que era el rango en el que la inversión inicial se recuperaba dentro del tiempo de vida útil de los equipos.

Al evaluar la incorporación de los bonos de carbono, se observa que estos no se deben de tomar como una manera para hacer rentable un proyecto por los bajos precios que tienen. Si bien ayudan como un ingreso extra, no significan una reducción en el tiempo de retorno o en la relación B/C, además de que su valor está en función de la demanda de estos hacia los mercados industriales, como se observa en la Tabla 4.27. En el caso del GLP, sigue siendo más favorable una FSA del 90% y para el GN le da un máximo del 80% siempre y cuando se tenga un comprador de estos bonos, pero es preferible el uso de una FSA del 70%.

Una de las forma de hacer rentables los sistemas solares de baja FSA, es adecuando sistemas auxiliares que puedan utilizar el gas generado en la biomasa de los mismos desechos orgánicos del mango. También se pudiera considerar el uso de paneles fotovoltaicos, para suplir de energía a los equipos eléctricos del sistema.

ANEXOS

Anexo 1 Contenido de humedad y temperatura máxima tolerable en alimentos.

PRODUCTO		FRESCO HUMEDAD (%)	SECO HUMEDAD (%)	TEMPERATURA °C
GRANOS	Arroz	24	14	50
	Maíz	35	15	60
	Poroto	70	5	n/d
	Maní	40	9	n/d
	Café	50	11	n/d
TUBÉRCULOS	Papa	75	13	55
	Mandioca	62	13	n/d
	Batata	80	13	70
HORTALIZAS	Arveja	80	5	60
	Cebolla	80	4	55
	Hortalizas en hoja	80	10	50
	Tomate	95	8	65
	Repollo	94	4	55
	Zanahoria	70	5	60
	Locote y ají	86	5	60
	Ajo	80	8 a 10	55
FRUTAS	Durazno	85	18	n/d
	Manzana	84	14	50
	Banana	80	15	70
	Guayaba	80	7	n/d
	Uva	80	15 a 20	55
	Mango	85	12 a 15	65
	Mamón	85	2 a 15	65
Otros	Pescado (sin salado)	80	15	40
	Pescado (con salado)	80	35 a 45	40

Anexo 2 Pretratamientos usados en la industria alimenticia.

El proceso posterior a la recolección del producto es la preparación, para evitar que esté sufra de un cambio indeseado durante el proceso de deshidratado, ya sea en su color, forma o sabor como consecuencia de la eliminación del agua. Para evitar dichos cambios o mejorar su calidad se realizan procesos físicos y/o químicos, entre ellos tenemos:

Blanqueado, proceso que evita el cambio de color, sabor y olor del producto deshidratado mediante la inactivación de las enzimas, característico en frutas y verduras, logrando un ablandamiento en los tejidos y la eliminación parcial del contenido de agua, esto se logra al sumergir el producto en agua a una temperatura de 90 a 95°C y después en agua fría para evitar su cocción.

Sulfitado, es un tratamiento mediante una solución acuosa de metabisulfito de sodio o potasio con una concentración de 5 a 10g por litro en un periodo de 5 a 10 minutos, teniendo en cuenta que la OMS fija una concentración máxima de azufre en un producto deshidratado en .05%, los sulfitos actúan en los azúcares e inhiben la reacción de oscurecimiento.

Tratamientos con ácidos orgánicos, usado tanto el ácido ascórbico (vitamina C) como el ácido cítrico (jugo de limón) en una solución en la que se sumerge las frutas por varios minutos, este procedimiento sirve para prevenir el cambio de color en el producto, en vez del sulfitado, pero no es igual de efectivo y puede llegar a cambiar el sabor del producto.

Bicarbonato de sodio, este pretratamiento es usado en hortalizas y leguminosas de color verde ya que el bicarbonato de sodio estabiliza la clorofila y produce un ablandamiento en las capas exteriores de los alimentos que facilita la salida de agua durante el secado, este se lleva a cabo con una solución de 30g de bicarbonato de sodio más 3g de sal común por cada litro de agua, alcanzando un ph de 9.

Agrietado, proceso usado en frutas que no se pelan antes de secarlas, el cual consigue un agrietamiento de la cascara que facilita el secado, se logra con una inmersión de la fruta en una mezcla de 10g de hidróxido de sodio por cada litro de agua a 80°C de 5 a 10s, para después lavarlo y neutralizarlo con ácido cítrico a razón de 2g por litro durante 30s.

Salado y almibarado, la acción común de ambos métodos es inhibir o retardar el desarrollo microbiano, facilitando la primera etapa de secado, en el salado se usa el cloruro de sodio (sal común) que puede acentuar el sabor original y en el almibarado se agrega sacarosa (azúcar común).

Anexo 3 Localidades de México con mayores pérdidas en la cosecha de mango en 2012

Zona	Estados	Municipios	Pérdidas		Valor comercial \$
			Hectáreas	Toneladas	
5	Guerrero	Atoyac de Álvarez	10.00	148.6	\$ 643,090.28
5		Alpoyeca	8.00	97.0	\$ 334,112.52
5		Huamuxtlán	5.00	61.8	\$ 204,750.20
5		San Luis Acatlán	4.00	51.2	\$ 155,687.94
5		Tlapa de Comonfort	3.00	22.0	\$ 67,436.07
3	Colima	Manzanillo	204.00	1395.4	\$ 4,421,463.28
3		Tecomán	120.00	2752.8	\$ 4,954,957.42
3		Armería	5.00	60.9	\$ 235,636.11
3	Jalisco	Tomatlán	500.00	5315.0	\$ 12,091,943.90
3		Cihuatlán	80.00	816.0	\$ 1,612,775.04
3		La Huerta	55.00	502.2	\$ 1,215,534.42
3		Villa Purificación	42.00	299.9	\$ 545,481.72
2		Amatitlán	26.00	209.0	\$ 1,003,392.00
2		Hostotipaquillo	25.00	200.0	\$ 930,000.00
2	Nayarit	Compostela	657.00	8140.2	\$ 20,831,174.18
2		Bahía de Banderas	315.00	3405.2	\$ 6,459,297.14
2		Tepic	114.89	1084.6	\$ 3,550,431.70
2		San Blas	40.00	350.8	\$ 1,065,888.26
2		Santiago Ixcuintla	17.00	152.8	\$ 280,102.24
1	Sinaloa	Ahome	1,109.80	13872.5	\$ 55,490,000.00
1		Guasave	36.00	131.0	\$ 262,080.00
1		San Ignacio	20.50	38.1	\$ 57,195.00
4	Michoacán	Gabriel Zamora	950.36	4371.7	\$ 18,489,656.75
4		Múgica	496.61	2229.8	\$ 9,513,552.36
4		Paracuaro	292.00	1389.9	\$ 5,800,970.11
4		Tepalcatepec	230.20	1072.7	\$ 4,492,547.98
4		Nuevo Urecho	222.50	1048.0	\$ 4,409,491.05
4		Aguililla	216.00	972.0	\$ 1,448,999.28
4		Apatzingán	191.20	852.8	\$ 3,603,073.33
4		Lázaro Cárdenas	48.00	516.5	\$ 810,574.04
4		Churumuco	5.00	48.0	\$ 248,040.00
8	Chiapas	Pijijiapan	418.00	1646.9	\$ 4,813,518.96
8		Escuintla	144.00	1226.9	\$ 5,547,595.56
8		Tonalá	313.50	1122.3	\$ 2,569,136.83
8		Acacoyagua	48.60	366.0	\$ 1,634,291.58
8		Mapastepec	25.00	204.0	\$ 656,490.36
8		Acapetahua	6.00	42.4	\$ 149,780.30

CONTINUACIÓN

Zona	Estados	Municipios	Hectáreas	Toneladas	Valor comercial \$
8	Oaxaca	San Pedro Tapanatepec	289.00	2511.41	\$ 4,730,014.71
6		Santiago Jamiltepec	140.00	1694.00	\$ 5,368,302.94
8		Chahuities	169.00	1465.23	\$ 2,375,430.88
6		Villa de Tututepec de Melchor Ocampo	100.00	1053.00	\$ 1,681,230.33
8		Santo Domingo Zanatepec	113.00	966.15	\$ 1,582,679.30
6		Santa María Huazolotitlán	60.00	604.20	\$ 1,906,251.00
6		Santa María Colotepec	40.00	406.80	\$ 606,770.68
7		San Juan Bautista Cuicatlán	51.00	291.21	\$ 643,230.47
8		San Francisco Ixhuatán	31.00	254.82	\$ 501,783.90
6		Santa María Tonameca	25.00	251.75	\$ 378,825.85
8		Reforma de Pineda	28.00	223.44	\$ 470,073.07
7		San Juan Bautista Tuxtepec	27.00	125.55	\$ 246,817.49
7		Loma Bonita	22.00	122.54	\$ 246,494.11
7		San Martín Toxpalan	11.25	59.29	\$ 140,845.16
8		Magdalena Tequisistlán	9.00	58.50	\$ 73,935.23
7		Valerio Trujano	11.00	55.44	\$ 116,143.47
6		San Juan Bautista Lo de Soto	5.00	50	\$ 156,250.00

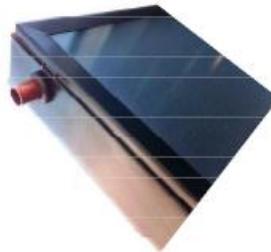
71

⁷¹ Tabla hecha por el autor en base a los datos de SIAP 2012.

Anexo 4. Datos técnicos de los captadores y cotizaciones.



MAXOL MS 2.5 UE



DIMENSIONES TOTALES	
Largo	2099 [mm]
Ancho	1196 [mm]
Grosor	95 [mm]
Peso vacío	46.5 [kg]
Capacidad de fluido	2.2 [l]
SUPERFICIE	
Área total	2.506 [m ²]
Área de ventana (apertura)	2.326 [m ²]
Área del absorbedor	2.311 [m ²]
CUBIERTA	
Material	vidrio solar templado
Transmisividad	0.91
Espesor	4 [mm]
ABSORBEDOR	
Tipo	FULL PLATE
Placa absorbidora	Aluminio
Espesor	0.4 [mm]
Tratamiento selectivo	Bluetec Eta Plus
Absortividad superficie selectiva	0.95
Emisividad superficie selectiva	0.05
Tipo de unión aleta-tubo	Laser
TUBO DE ABSORBEDOR	
Número de tubos	11
Diámetro nominal	10 [mm]
Diámetro externo	10 [mm]
Diámetro interno	8 [mm]
TUBO COLECTORES	
Número de tubos	2
Diámetro nominal	22 [mm]
Diámetro externo	22 [mm]
Diámetro interno	20 [mm]
AISLAMIENTO Y CARCASA	
Espesor aislamiento posterior	44 [mm]
Espesor aislamiento lateral	25 [mm]
Material	Poliuretano + lana mineral
Material de la carcasa	Acero Rolado 1010
Material del sellado	Silicón
Sellamiento Carcasa – Cubierta	Cinta de polivinilo
Material del marco	Acero Rolado 1010
EFICIENCIA EUROPEA EN-12975 (basado área de apertura)	
Laboratorio que realizó las pruebas	Eje X: (Tm-Ta)/G [W/m ² K] TÜV Rheinland PTL, Arizona
Rendimiento (η ₀)	0.775
Factor de pérdidas (K1)	3.096
Factor de pérdidas (K2)	0.0095
EFICIENCIA CURVA USA ISO9806 (basado área de apertura)	
Laboratorio que realizó las pruebas	Eje X: (Ti-Ta)/G [W/m ² K] TÜV Rheinland PTL, Arizona
Rendimiento (η ₀)	0.7535
Factor de pérdidas (K1)	2.9132
Factor de pérdidas (K2)	0.0099
MODIFICADOR DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA A 50°	
	0.91
CAÍDA DE PRESIÓN (kPa)	
	Eje X: flujo másico [kg/s]
Término independiente (ΔP _s)	0.004
Factor 1 término lineal (K1)	-3.347
Factor 1 término cuadrático (K2)	79.23
CAUDAL RECOMENDADO	
	25 l/h/m ²
MÁXIMA PRESIÓN DE TRABAJO	
	11 bar
TEMPERATURA DE ESTANCAMIENTO (ISO 9806)	
	196 [°C]

Nomenclatura: Tm: temperatura media del fluido en el captador [°C]
Ti: temperatura de entrada del fluido al captador [°C]
Ta: temperatura ambiente [°C]
G: irradiancia solar [W/m²]



Desde 1975...el primero.

CESAR ALBERTO GASGA MORALES
Instituto de Ingeniería, UNAM
cegamo_9508@hotmail.com
MÉXICO, D.F.

noviembre 7, 2013

EQUIPO PARA SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA

Por medio de la presente nos permitimos someter a su atenta consideración el siguiente presupuesto número: 131107-GASGA.UNAM-EQUIPO por equipos Módulo Solar como sigue:

Partida	cant.		PRECIO U.	IMPORTE
1	1	Colector solar MS 2.5 <i>Colector solar de 2.3m2 de area de captación. Hecho con tubos de cobre y aletas de aluminio con recubrimiento selectivo tinox. Medidas 2.1x 1.2 x .09 m</i>	6,399.00 \$	6,399.00
2	1	Base tipo tijera para colector MS 2.5 <i>Base de acero, de facil montaje, inclinación 20°C Acabado en pintura electrostática anticorrosiva</i>	953.00 \$	953.00
3	1	Control automático diferencial UCS <i>Control diferencial de temperatura para sistema solar. Alimentación eléctrica 110V 60hz. Cuenta con función de contador de energía entregada por el sistema solar. Incluye 2 sensores de temperatura PT1000</i>	6,200.00 \$	6,200.00
4	1	Válvula eliminadora para colector <i>Válvula de eliminadora de aire italiana en 3/4" para una temperatura máxima de 180°C</i>	249.00 \$	249.00
5	1	Válvula de alivio de presión para colector <i>Válvula de alivio de presión calibrada a 10kg/cm2 o 100°C</i>	305.00 \$	305.00
			SUBTOTAL	14,106.00
			IVA	2,256.96
			TOTAL	16,362.96

TIEMPO DE ENTREGA: 1 Semana
FORMA DE PAGO: 80% de anticipo, 20% para embarcar

NOTAS: Precios LAB Cuernavaca, Mor.
No incluye instalación
No se incluye nada adicional a lo especificado.

Sin más por el momento, quedamos:
ATENTAMENTE
Ing. David Hernández M.

**USE LO NATURAL...
ENERGÍA SOLAR.**



Mostra Tecnológica

A Mostra Tecnológica é uma das componentes da Iniciativa Pública "Água Quente Solar para Portugal" e destina-se ao público interessado nos colectores solares térmicos e sistemas solares térmicos de pequena dimensão (tipo kit), disponíveis no mercado português com a qualidade exigida pelo programa "Água Quente Solar para Portugal".

Esta ficha apresenta informação sobre um dos equipamentos presentes na Mostra Tecnológica, sendo da responsabilidade dos respectivos organizadores. Qualquer outro material informativo é da exclusiva responsabilidade dos fabricantes. As fichas dos equipamentos constituem a base da Mostra Virtual, disponível nos sites www.aguaquentesolar.com e www.spes.pt.

Colector Solar Térmico



AO SOL,
Energias Renováveis Lda

Apartado 173
2135-402 SAMORA CORREIA
Telefone > 263 651 305/6
Telefax > 263 651 295
e-mail > aosol@aosol.pt
URL > www.aosol.pt



> Identificação do colector

Marca	Ao Sol
Modelo	CPC Ao Sol
Tipo	Colector CPC

> Dimensões

Comprimento	2015 mm
Largura	1110 mm
Altura	107 mm
Área Externa	2.24 m ²
Área Abertura	1.98 m ²
Peso	38 kg (vazio) 41 kg (cheio)

> Materiais

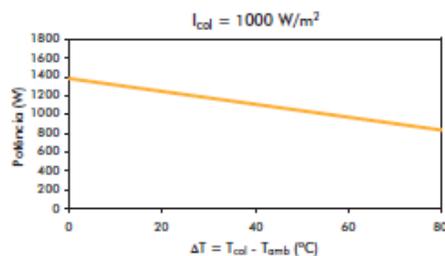
Caixa	Alumínio anodizado
Absorção	Tubo em cobre; alheta em alumínio com revestimento selectivo
Cobertura	Vidro temperado
Isolamento	Poliuretano expandido

> Comportamento térmico

Rendimento	Rendimento óptico	(F'η ₀) - 0.70
	Coefficiente de perdas	(F'U _L) - 3.4 W/(°C.m ²)

> Potência fornecida por um colector

Para I _{col} = 1000 W/m ²	ΔT = 10°C	ΔT = 30°C	ΔT = 50°C
	1314 W	1178 W	1042 W



> Preço

Preço recomendado de venda ao público - 500,00 euros + IVA

Iniciativa executada por



Iniciativa promovida e financiada por



			
Modulo Uno			
10156 TORINO (ITALY) – 21, Via Cuornè Telephone +39.011.22.22.225 – Fax +39.011.22.22.226 e-mail info@modulouno.it – website: www.modulouno.it			
Test Report N°	M1.09.SOLT 348/34083-9		 n° 0085
Costruttore / Manufacturer	SHANGHAI RUTY ENERGY CO., LTD 1250 Zhenjin Road, Shanghai – China		
Modello / Model	HTS 58/1800-30		
Tipo / Type	Collettore solare a tubi sottovuoto – Heat pipe Solar collector – Vacuum tube – Heat pipe double glass tube		
Prodotto di serie / Serial product	Sì / Yes		
Disegno numero / Drawing number	--		
Data costruzione / Date when manufactured	--		
Lunghezza x larghezza x altezza Lenght x Width x Height	2000 mm x 2455 mm x 100 mm		
Area Lorda Gross area	4.59 m ²		
Superficie di apertura Aperture area	2.808 m ²		
Superficie dell'assorbitore Absorber area	2.424 m ²		
Peso a vuoto Weight empty	34,2 kg		
Capacità del fluido Fluid capacity	3,91 l		
Interpolazione all'area dell'assorbitore <i>Fit to absorber area</i>	Deviazione standard <i>Std dev.</i>	Interpolazione all'area di apertura <i>Fit to aperture area</i>	Deviazione standard <i>Std dev.</i>
η_{0A}	0,7703	η_{0a}	0,6650
α_{1A}	1,78	α_{1a}	1,54
α_{2A}	0,0378	α_{2a}	0,0326
$\tau_c = 42 \text{ s}$			
$C = 10.2 \text{ kJ/k}$			
<i>Incidence angle modifier k_0 (at incidence angle at 50°): 0.98</i>			

HTS-58/1800-30	\$ 18,000.00
-----------------------	---------------------

Anexo 5. Tablas de operación y dimensionado del campo solar.

Temperatura del agua a la entrada de los colectores con temperaturas de trabajo de 50 y 70°C

CLIMA	$T_{\text{agua}} \text{ (}^\circ\text{C)}$		EJEMPLO
	Anual	dic-jul	
TROPICAL	26.0	23.5-28.6	Chetumal, Q.R.
TEMPLADO	15.45	13.6-17.3	Distrito Federal
SEMIÁRIDO	22.5	15.1-29.9	Monterrey

Temperatura ambiente promedio en cada zona.

ZONA	Ta											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	19.6	19.9	20.8	23.1	25.8	28.2	28.4	28.3	27.9	26.8	23.8	20.6
2	18.4	19.2	20.3	22.1	23.5	22.8	22.1	22.1	21.8	20.8	19.4	19
3	21.3	21.7	22.3	23.9	25.0	24.4	24.1	24.1	23.7	23.3	22.6	21.8
4	17.8	19.3	21.3	23.5	24.0	21.8	21	21	20.5	19.8	18.6	17.9
5	20.4	23	27.4	31.7	34.0	33.9	31.1	30	31.5	30.8	26.4	22
6	19.9	21.1	22.4	23.8	24	22.9	22.8	22.8	22.1	21.7	21.1	20.1
7	16.2	17.5	19.6	21.8	22.6	22.2	21.1	21.2	21.1	19.9	18.4	16.7
8	21.5	22.8	24.2	25.2	25.2	24.8	24.7	24.9	24.1	23.4	22.7	21.7

Irradiación promedio en cada zona

ZONA	Irradiación promedio [w/m ²]											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	741.52	706.01	684.04	688.51	699.35	688.67	606.17	595.42	664.86	717.99	817.92	794.51
2	566.72	546.12	533.59	623.25	630.81	600.20	563.22	512.03	492.94	524.48	567.47	525.97
3	655.54	658.83	631.19	668.02	607.66	596.56	577.31	537.06	507.11	590.20	659.22	648.24
4	586.10	588.51	568.68	615.99	585.51	567.58	554.66	527.21	498.27	512.05	573.71	543.76
5	580.85	557.67	545.50	571.06	538.67	584.13	599.75	553.14	504.30	515.74	564.50	567.17
6	697.06	694.65	654.06	629.74	599.65	595.74	659.24	603.49	533.44	603.39	686.81	685.09
7	596.41	591.60	554.15	552.01	545.10	591.04	548.17	485.63	454.47	522.59	573.29	574.87
8	684.68	638.90	578.69	611.65	553.89	571.21	665.42	583.22	535.67	589.72	666.42	664.38

Energía solar en el mes

ZONA	Emes [MJ/m ²]												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	662.03	709.12	687.05	729.96	741.45	730.13	642.66	631.26	667.79	721.15	730.24	665.01	8317.84
2	553.41	563.76	565.71	643.38	686.39	586.09	534.27	528.57	522.62	541.42	554.14	498.94	6778.69
3	640.14	680.11	669.18	689.60	661.19	582.55	547.64	554.41	537.64	609.26	643.73	614.92	7430.35
4	572.33	607.52	602.92	635.89	637.10	554.24	526.15	544.23	528.27	528.59	560.23	515.81	6813.26
5	567.20	575.69	578.34	589.50	586.13	570.40	568.93	571.01	534.65	532.40	551.23	538.02	6763.49
6	680.68	717.08	693.44	650.08	652.48	581.74	625.35	622.99	565.55	622.88	670.67	649.87	7732.82
7	582.40	610.71	587.51	569.84	593.12	577.15	520.00	501.31	481.83	539.47	559.81	545.32	6668.46
8	668.59	659.53	613.53	631.40	602.68	557.79	631.22	602.06	567.92	608.77	650.75	630.23	7424.48

Demanda energética en cada mes

ZONA	DEmes [J/mes]												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.24E+12
2	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.24E+12							
3	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.24E+12
4	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.24E+12						
5	1.03E+11	1.03E+11	1.02E+11	1.02E+11	1.02E+11	1.03E+11	1.23E+12						
6	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.24E+12
7	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.04E+11	1.24E+12
8	1.04E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.03E+11	1.04E+11	1.24E+12							

*FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA DE APROVECHAR LA ENERGÍA
SOLAR TÉRMICA PARA DESHIDRATAR ALIMENTOS
ANEXOS*

Horas de sol

Latitud	Horas de operación											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
De +25 a +45 (Hemisferio Norte)	8.00	9.00	9.00	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.00	9.00	8.00	7.50
De -25 a +45 (Zona Ecuatorial)	8.75	9.25	9.50	9.25	9.75	8.75	8.50	9.25	9.50	9.25	8.75	8.50
De -25 a -45 (Hemisferio Sur)	9.5	9.5	9	9	8	7.5	8	9	9	9.5	9.5	9.5

Fraciones solares y eficiencia global del sistema

ZONA	fmes FPC												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	0.96	1.00	0.99	1.03	1.04	1.04	0.95	0.94	0.98	1.03	1.03	0.96	1.00
2	0.98	0.99	1.00	1.09	1.13	1.03	0.96	0.96	0.95	0.97	0.98	0.91	1.00
3	1.02	1.06	1.05	1.07	1.04	0.96	0.92	0.93	0.91	0.99	1.02	0.99	1.00
4	1.00	1.04	1.04	1.08	1.08	0.99	0.95	0.97	0.95	0.95	0.99	0.93	1.00
5	0.99	1.00	1.01	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	0.97	0.96	0.98	0.96	1.00
6	1.03	1.07	1.05	1.00	1.01	0.93	0.98	0.98	0.91	0.97	1.02	1.00	1.00
7	1.02	1.06	1.04	1.02	1.05	1.03	0.96	0.93	0.91	0.98	1.00	0.98	1.00
8	1.05	1.04	0.99	1.01	0.98	0.93	1.01	0.98	0.94	0.99	1.03	1.01	1.00

ZONA	fmes CPC												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	0.96	1.01	0.99	1.03	1.04	1.04	0.95	0.94	0.98	1.03	1.03	0.96	1.00
2	0.98	0.99	1.00	1.09	1.13	1.03	0.96	0.96	0.95	0.97	0.98	0.91	1.00
3	1.02	1.06	1.05	1.07	1.04	0.96	0.92	0.93	0.91	0.99	1.02	0.99	1.00
4	1.00	1.04	1.04	1.08	1.08	0.98	0.95	0.97	0.95	0.95	0.98	0.93	1.00
5	0.99	1.00	1.01	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01	0.97	0.96	0.98	0.95	1.00
6	1.03	1.07	1.05	1.01	1.01	0.93	0.98	0.98	0.91	0.97	1.02	1.00	1.00
7	1.02	1.06	1.03	1.02	1.05	1.03	0.96	0.93	0.91	0.98	1.00	0.98	1.00
8	1.05	1.04	0.99	1.01	0.98	0.93	1.01	0.98	0.94	0.99	1.03	1.01	1.00

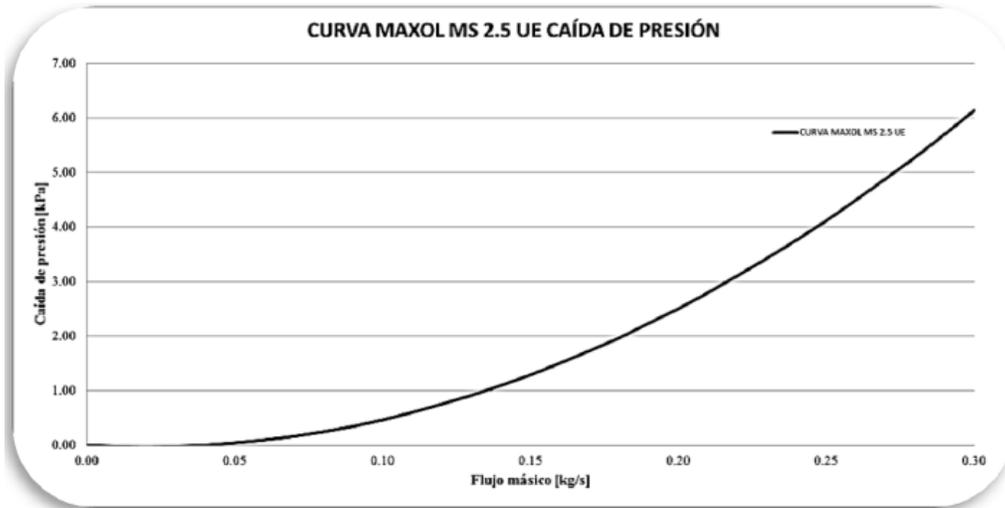
ZONA	fmes ETC												
		Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1	0.97	1.01	0.99	1.03	1.05	1.04	0.96	0.94	0.98	1.03	1.03	0.97	1.00
2	0.98	1.00	1.00	1.09	1.13	1.03	0.96	0.96	0.95	0.97	0.98	0.92	1.00
3	1.02	1.06	1.05	1.07	1.04	0.96	0.92	0.93	0.91	0.99	1.02	0.99	1.00
4	1.00	1.04	1.04	1.08	1.08	0.99	0.95	0.97	0.95	0.95	0.99	0.93	1.00
5	0.99	1.01	1.02	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01	0.97	0.96	0.98	0.96	1.00
6	1.03	1.07	1.05	1.01	1.01	0.93	0.98	0.98	0.91	0.98	1.03	1.00	1.00
7	1.02	1.06	1.03	1.02	1.04	1.03	0.96	0.93	0.91	0.98	1.00	0.98	1.00
8	1.05	1.04	0.99	1.01	0.98	0.93	1.01	0.98	0.94	0.99	1.03	1.01	1.00

ZONA	FPC			CPC			ETC		
	Sc	Nc	ηsis	Sc	Nc	ηsis	Sc	Nc	ηsis
1	324	141	0.46	368	186	0.40	309	127	0.48
2	414	180	0.44	477	241	0.38	386	159	0.47
3	373	162	0.45	424	214	0.39	350	144	0.48
4	412	179	0.44	475	240	0.38	384	158	0.47
5	403	175	0.45	463	234	0.39	379	156	0.48
6	354	154	0.45	406	205	0.39	335	138	0.48
7	423	184	0.44	489	247	0.38	394	162	0.47
8	370	161	0.45	424	214	0.39	350	144	0.48

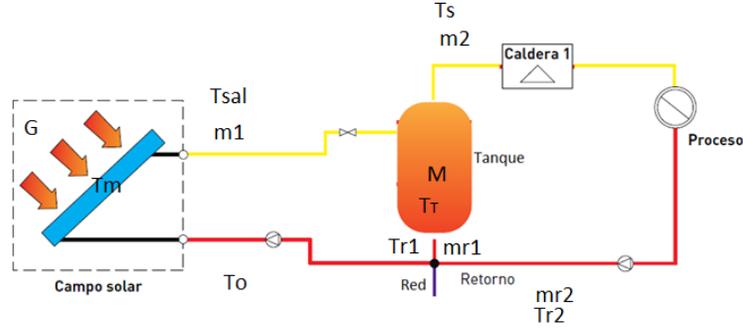
Anexo 6. Pérdida de carga

Caída de presión en el panel

CAÍDA DE PRESIÓN (kPa)	Eje X: flujo másico [kg/s]
Término independiente (ΔP_o)	0.004
Factor 1 término lineal (K1)	-3.347
Factor 1 término cuadrático (K2)	79.23



Anexo 7. Desarrollo para obtener la T_T durante la recirculación y el proceso.



Considerando que por ser un tanque pequeño, no se presenta estratificación, con una M y una ΔT_t , la energía interna se escribe como:

$$E_{uT} = MCp\Delta T_t$$

Estableciendo un balance de energía en el tanque:

$$MCp \frac{dT_t}{dt} = E_{us} - E_p - E_s - E_{r1}$$

Para el primer caso de recirculación, con $E_s = 0$ y $E_p = 0$, en términos de diferencias finitas se reescribe como:

$$MCp \frac{T_{Tf} - T_T}{\Delta t} = E_{us} - E_{r1}$$

Despejando T_{Tf}

$$T_{Tf} = \frac{E_{us} - E_{r1}}{MCp} \Delta t + T_T$$

$$T_{Tf} = \frac{\dot{m}_1 Cp (Tsal - T_o) - \dot{m}_{r1} Cp (T_T - Tsal)}{MCp} \Delta t + T_T$$

Siendo $\dot{m}_1 = \dot{m}_{r1}$

$$T_{Tf} = \frac{\dot{m}_1 Cp (Tsal - T_o - T_T + Tsal)}{MCp} \Delta t + T_T$$

Y siendo $T_o = T_T$, se obtiene

$$T_{Tf} = \frac{2\dot{m}_1 (Tsal - T_o)}{M} \Delta t + T_o$$

Para el caso del tanque durante el proceso de deshidratación:

$$T_{Tf} = \frac{E_{us} - E_{r1} - E_s}{MCp} \Delta t + T_T$$

Desarrollando

$$T_{Tf} = \frac{\dot{m}_1 Cp(Tsal - T_o) - \dot{m}_{r1} Cp(T_T - Tsal) - \dot{m}_2 Cp(T_T - Tsal)}{MCp} \Delta t + T_T$$

$$T_{Tf} = \frac{\dot{m}_1 Cp Tsal - \dot{m}_1 Cp T_o - \dot{m}_{r1} Cp T_T + \dot{m}_{r1} Cp Tsal - \dot{m}_2 Cp T_T + \dot{m}_2 Cp Tsal}{MCp} \Delta t + T_T$$

Con $\dot{m}_{r1} + \dot{m}_2 = \dot{m}_1$

$$T_{Tf} = \frac{2\dot{m}_1 Cp Tsal - \dot{m}_1 Cp T_T - \dot{m}_1 Cp T_o}{MCp} \Delta t + T_T$$

Llegamos finalmente

$$T_{Tf} = \frac{\dot{m}_1 (2Tsal - T_T - T_o)}{M} \Delta t + T_T$$

Para conocer T_o

En la válvula

$$\dot{m}_1 H_1 = \dot{m}_{r1} H_{r1} + \dot{m}_{r2} H_{r2}$$

Despejando H_1

$$H_1 = \frac{\dot{m}_{r1} H_{r1} + \dot{m}_{r2} H_{r2}}{\dot{m}_1}$$

Con esta H_1 se encuentra T_o y para conocer la $Tsal$, en el colector se tiene:

$$E_{us} = \eta G$$

$$E_{us} = \dot{m}_1 Cp (Tsal - T_o)$$

Si

$$\eta = .94\eta_o - a_1 \frac{Tm - Ta}{G} - a_2 \frac{(Tm - Ta)^2}{G} \quad \text{y} \quad Tsal = 2Tm - T_o$$

$$\dot{m}_1 Cp (2Tm - T_o - T_o) = .94\eta_o G - a_1 (Tm - Ta) - a_2 (Tm^2 - 2TmTa + Ta^2)$$

Ordenando e igualando a cero

$$a_2 Tm^2 + (2\dot{m}_1 Cp + a_1 - 2a_2 Ta) Tm + (a_2 Ta^2 - a_1 Ta - .94\eta_o G - 2\dot{m}_1 Cp T_o) = 0$$

Se resuelve la ecuación de segundo grado y se obtienen Tm , con ella se obtiene $Tsal$.

Anexo 8. Resultados de dimensionamiento final.

Caso de aporte mínimo del auxiliar.

Datos de Operación			Panel								Acomodo de colectores			
Tipo cap.	Baterías	Ramas	CapCal	Q [l/hm ²]	litros/panel	L	W	Área de abs.	Área total	R _{AA/AO}	CapRamal	Captot	CapBat	Frontal
1	4	4	141	30	2.2	2.1	1.2	324	529	1.63	9	144	36	10.8

Sección	Q [l/h]	D [mm]	DN [mm]	Di [mm]	v [m/s]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Tubo [m]	Pdc _{sección} [mca]
DE	680.4	19.23	22	20	0.60	22.64	3.13	0.07
CD	1360.8	24.50	28	25.6	0.74	23.58	3.13	0.07
BC	2041.2	28.24	35	32	0.71	16.61	3.13	0.05
AB	2722	31.23	35	32	0.94	27.48	23.2	0.64
A'B'	2721.6	31.23	35	32	0.94	27.48	6.13	0.17
B'C'	2041.2	28.24	35	32	0.71	16.61	3.13	0.05
C'D'	1360.8	24.50	28	25.6	0.74	23.58	3.13	0.07
D'E'	680.4	19.23	22	20	0.60	22.64	3.13	0.07
$\Delta H_{\text{Tubería}}$								1.13

	DN [mm]	Singularidades	Leq[m]	Leqtot [m]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Pdc _{sección} [mca]
DE	22	1 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	.5 - .3 - .5	1.3	22.64	0.03
CD	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	23.58	0.12
BC	35	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	16.61	0.09
AB	35	1 T - 1 válvula - 4 codos 90°	4.1 - 1.61 - 4.04	9.75	27.48	0.27
A'B'	35	1 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	1.01 - .85 - 1.61	3.47	27.48	0.10
B'C'	35	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	16.61	0.09
C'D'	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	23.58	0.12
D'E'	22	1 T - 2 codos 90° - 1 válvula	2.5 - 1 - .5	4	22.64	0.09
$\Delta H_{\text{Accesorios}}$						0.82

$\Delta H_{\text{Tubería}}$	$\Delta H_{\text{Accesorios}}$	ΔH_{Panel}	ΔH	Q _T [m ³ /s]	ΔH_T	ρ	η	Wb [W]
1.13	0.82	0.016	3	0.000756	4.96	1000	25	147.05

V _T	V _p	Ce%	P _v	h [m]	P _{manins}	P _{bar}	P _f	P _i	V _t [l]
40.55	79.20	0.04	3.00	4.00	0.40	1.02	3.72	1.91	12.82

Sección	e _{ais}
DE	29.54
CD	29.23
BC	28.87
AB	29.54
A'B'	29.54
B'C'	29.54
C'D'	29.23
Acumulador	50

Para la opción de sobredimensionamiento.

Datos de Operación			Panel								Acomodo de colectores			
Tipo cap.	Baterías	Ramas	CapCal	Q [l/hm ²]	litros/panel	L	W	Área de abs.	Área total	R _{AN/NO}	CapRamal	Captot	CapBat	Frontal
1	4	5	156	70	2.2	2.1	1.2	359	586	1.63	8	160	40	9.6

Sección	Q [l/h]	D [mm]	DN [mm]	Di [mm]	v [m/s]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Tubo [m]	Pdc _{sección} [mca]
EF	605	18.45	22	20	0.54	18.43	3.13	0.06
DE	1210	23.52	28	25.6	0.65	19.19	3.13	0.06
CD	1814	27.10	28	25.6	0.98	39.01	3.13	0.12
BC	2419	29.97	35	32	0.84	22.36	3.13	0.07
AB	3024	32.41	35	32	1.05	33.04	25.1	0.83
A'B'	3024	32.41	35	32	1.05	33.04	6.13	0.20
B'C'	2419	29.97	35	32	0.84	22.36	3.13	0.07
C'D'	1814	27.10	28	25.6	0.98	39.01	3.13	0.12
D'E'	1210	23.52	28	25.6	0.65	19.19	3.13	0.06
E'F'	605	18.45	22	20	0.54	18.43	3.13	0.06
$\Delta H_{\text{Tubería}}$								1.59

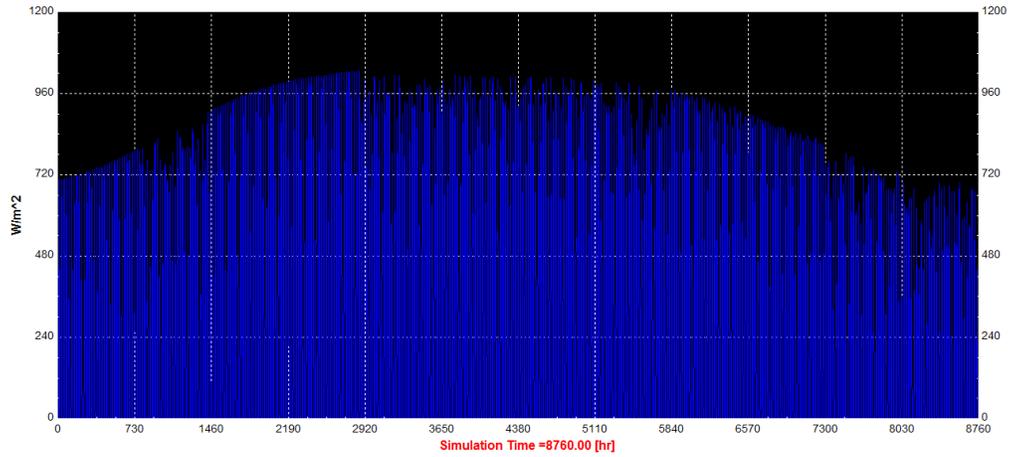
	DN [mm]	Singularidades	Leq[m]	Leqtot [m]	Pdc _{unitaria} [mmca]	Pdc _{sección} [mca]
EF	22	1 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	.5 - .3 - .5	1.3	18.43	0.02
DE	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3- .3- .77	4.07	19.19	0.08
CD	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	39.01	0.21
BC	35	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	22.36	0.12
AB	35	1 T - 1 válvula - 4 codos 90°	4.1 - 1.61 - 4.04	9.75	33.04	0.32
A'B'	35	1 codo 90° - 1 reducción - 1 válvula	1.01 - .85 - 1.61	3.47	33.04	0.11
B'C'	35	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	22.36	0.21
C'D'	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3.6 - .65 - 1.05	5.3	39.01	0.21
D'E'	28	1 T - 1 reducción - 1 válvula	3- .3- .77	5.3	19.19	0.10
E'F'	22	1 T - 2 codos 90° - 1 válvula	2.5 - 1 - .5	4	18.43	0.07
$\Delta H_{\text{Accesorios}}$						1.38

$\Delta H_{\text{Tubería}}$	$\Delta H_{\text{Accesorios}}$	ΔH_{Panel}	ΔH	Q _T [m ³ /s]	ΔH_T	ρ	η	Wb [W]
1.59	1.38	0.024	3	0.00084	6.00	1000	75	197.45

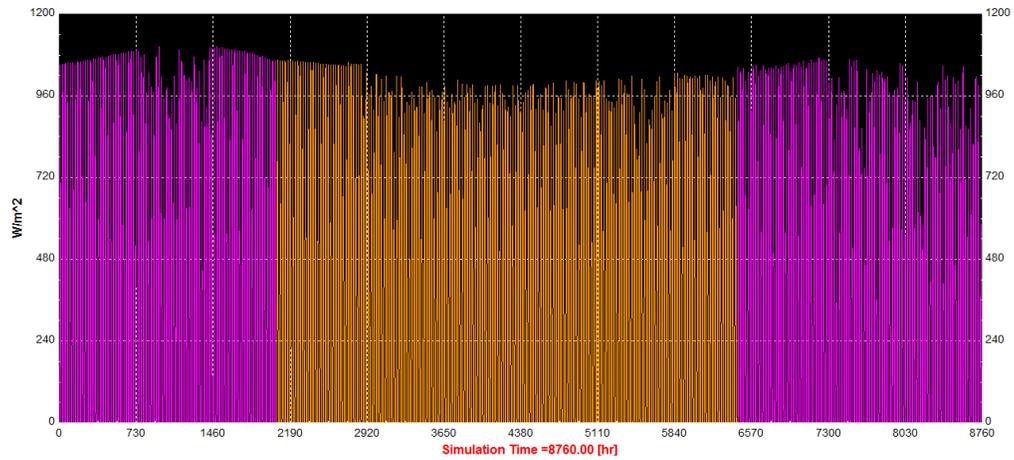
V _r	V _p	Ce%	P _v	h [m]	P _{manins}	P _{bar}	P _f	P _i	Vt [l]
40.24	88.00	0.04	3.00	4.00	0.40	1.02	3.72	1.91	13.73

Sección	e _{ais}
DE	29.54
CD	29.23
BC	28.87
AB	29.23
A'B'	29.54
B'C'	29.23
C'D'	29.23
Acumulador	50

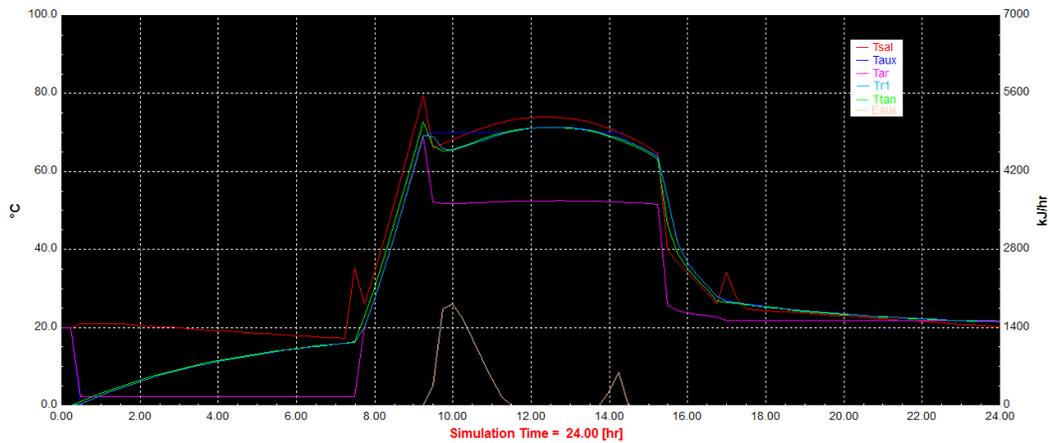
Anexo 9. Simulación Dinámica TRNSYS



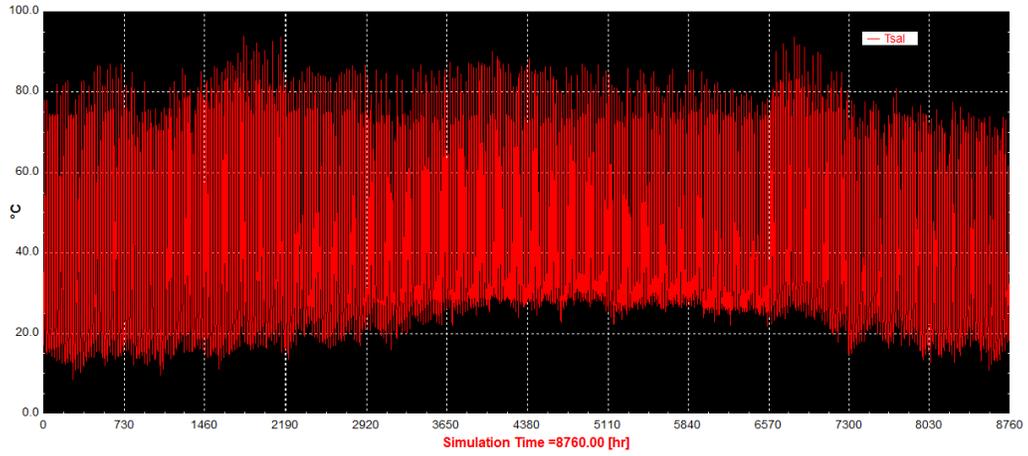
Radiación incidente horizontal



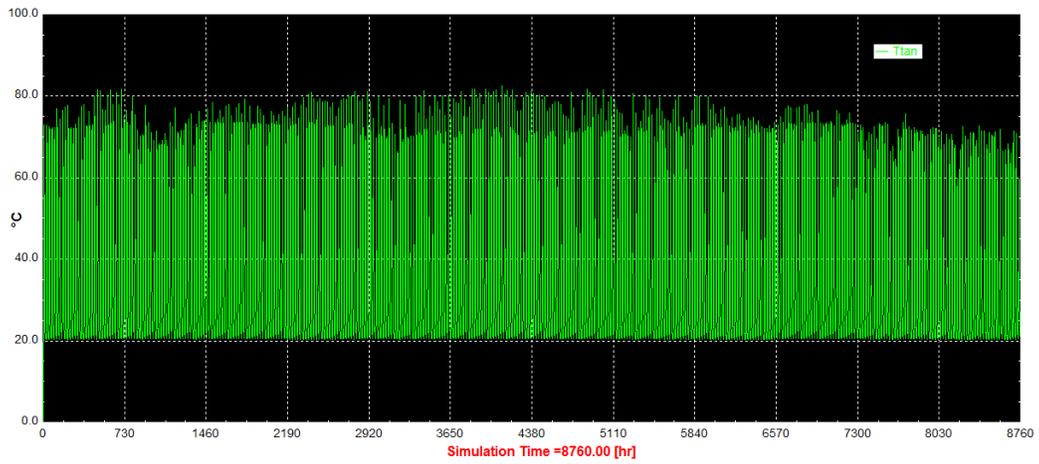
Radiación incidente: rosa 36°, marrón 16°



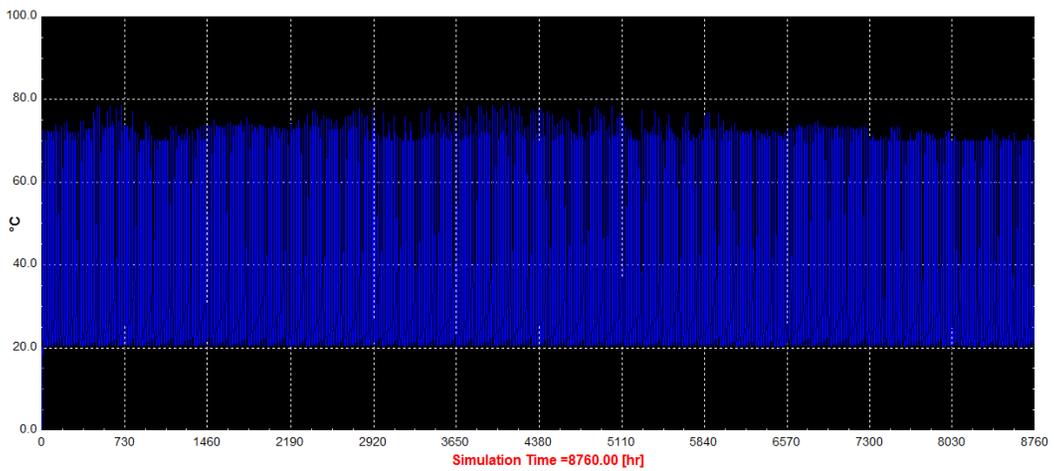
Comportamiento promedio con un inicio a las 7:15 am



Tsal anual de los captadores



T_T anual



Taux anual

Anexo 10. Plantillas del análisis económico.

	G.N	G.L.P	Eficiencia de la caldera	78
PCI [MJ/m ³]	35.414	94.64		
\$/GJ	228.52	309.17		
Tasa creci.	2	4		
Tasa de Oportunidad (Tasa de descuento)			12	% Anual
			VIDA ÚTIL	25
				Años

Eelec
1341.096

TABLA DE VALORES CORRIENTES

Año	Ingresos	Costos	Mantenimiento	Inversión	Cambio neto
0				2591892.82	-2591892.82
1	332800.41	2354.9	0	0	330445.49
2	339456.42	2375.2	0	0	337081.23
3	346245.54	2395.9	0	0	343849.67
4	353170.46	2417.0	0	0	350753.49
5	360233.86	2438.5	25918.9282	0	331876.45
6	367438.54	2460.4	0	0	364978.11
7	374787.31	2482.8	0	0	372304.49
8	382283.06	2505.7	0	0	379777.40
9	389928.72	2528.9	0	0	387399.77
10	397727.29	2552.7	25918.9282	0	369255.66
11	405681.84	2576.9	0	0	403104.91
12	413795.48	2601.7	0	0	411193.83
13	422071.39	2626.9	0	0	419444.52
14	430512.81	2652.6	0	0	427860.24
15	439123.07	2678.8	25918.9282	0	410525.33
16	447905.53	2705.6	0	0	445199.97
17	456863.64	2732.9	0	0	454130.79
18	466000.92	2760.7	0	0	463240.23
19	475320.93	2789.1	0	0	472531.86
20	484827.35	2818.0	25918.9282	0	456090.39
21	494523.90	2847.6	0	0	491676.32
22	504414.38	2877.7	0	0	501536.67
23	514502.67	2908.4	0	0	511594.23
24	524792.72	2939.8	0	0	521852.93
25	535288.57	2971.8	0	0	532316.81

*FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA DE APROVECHAR LA ENERGÍA
SOLAR TÉRMICA PARA DESHIDRATAR ALIMENTOS
ANEXOS*

TABLA DE VALORES PRESENTES								
Año	Deflactor	VPN de los Ahorros	VPN de los Costos	VPN de la Inversión	VP NETO Anual	VPN Acumulado	TIR %	T Retorno Años
0	1	0	0	2591892.82	-2591892.82	-2591892.82		
1	0.89285714	297143.221	2102.60194	0	295040.6195	-2296852.2		
2	0.79719388	270612.577	1893.48735	0	268719.0893	-2028133.111		No Retorno
3	0.71178025	246450.739	1705.33467	0	244745.4048	-1783387.706		No Retorno
4	0.63551808	224446.209	1536.02683	0	222910.1823	-1560477.524	-21%	No Retorno
5	0.56742686	204406.369	16090.758	0	188315.611	-1372161.913	-13%	No Retorno
6	0.50663112	186155.8	1246.53202	0	184909.2684	-1187252.645	-6%	No Retorno
7	0.45234922	169534.747	1123.10164	0	168411.6451	-1018840.999	-2%	No Retorno
8	0.40388323	154397.716	1011.99179	0	153385.724	-865455.2754	2%	No Retorno
9	0.36061002	140612.205	911.963126	0	139700.2424	-725755.033	4%	No Retorno
10	0.32197324	128057.544	9167.10311	0	118890.4412	-606864.5918	6%	No Retorno
11	0.2874761	116623.835	740.807146	0	115883.0278	-490981.564	8%	No Retorno
12	0.25667509	106210.993	667.779132	0	105543.2134	-385438.3506	9%	No Retorno
13	0.22917419	96727.8682	602.009104	0	96125.85912	-289312.4915	10%	No Retorno
14	0.20461981	88091.4514	542.769995	0	87548.68143	-201763.81	11%	No Retorno
15	0.18269626	80226.1433	5224.6994	0	75001.44386	-126762.3662	11%	No Retorno
16	0.16312166	73063.0948	441.335733	0	72621.75902	-54140.60715	12%	No Retorno
17	0.14564434	66539.6042	398.024296	0	66141.57985	12000.9727	12%	16.8185563
18	0.13003959	60598.5681	358.998501	0	60239.56956	72240.54227	12%	
19	0.11610678	55187.9816	323.830857	0	54864.15077	127104.693	13%	
20	0.10366677	50260.4833	2979.06829	0	47281.41498	174386.108	13%	
21	0.09255961	45772.9401	263.570572	0	45509.36955	219895.4776	13%	
22	0.08264251	41686.0705	237.820855	0	41448.24961	261343.7272	13%	
23	0.07378796	37964.0999	214.607715	0	37749.49218	299093.2194	14%	
24	0.0658821	34574.4481	193.679228	0	34380.76889	333473.9883	14%	
25	0.05882331	31487.4438	174.808685	0	31312.63513	364786.6234	14%	
	VPN	3006832.15	50152.71	2591892.82	364786.6234			

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
m3	3754.02	3738.49	3750.13	3741.51	3720.13	3716.33
costo	30380.60	30254.88	30349.09	30279.32	30106.33	30075.55
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
m3	3713.28	3710.28	3717.05	3723.02	0.00	0.00
Costo	30057.69	30023.18	30067.74	30092.05	0.00	0.00

Total Ahorro= \$ 301,686.43 M.N.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
m3	6.35	20.62	5.17	4.06	14.01	7.66
costo	51.41	166.86	41.83	32.85	113.39	61.99
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
m3	9.87	13.29	8.21	6.90	0.00	0.00
Costo	79.84	107.53	66.41	55.83	0.00	0.00

comb nec \$ 777.94 M.N.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- A. Rafael, Becarios del Instituto de Ingeniería de la UNAM, Ingeniería de la Energía Solar II, Series del instituto, Instituto de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México, 2003
- C, E, Orrego A., Procesamiento de alimentos, 1ra edición, Univ. Nacional de Colombia, Colombia, 2003.
- C. Mataix, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas, 2da edición, Ediciones del Castillo S.A., Madrid, 1986.
- D. Mukherjee and S. Chakrabarti, Fundamental of Renewable Energy Systems, 1ra edición, New Age Intenational Publishers, India, 2004
- D.P Kothari, K.c Singal and R.Ranjan, Renewable Energy source, and Emerging Technologies, 2da edición, PHI Learning Private Limited, India, 2009.
- G. Nonhebel, A.A.H. Moss, El secado de sólidos en la industria química, Edit. Reverte, España, 1979.
- Gava, L., E. Roperro, G. Serna Y A. Ubierna (2008), Dirección Financiera: Decisiones de Inversión, Editorial Delta.
- H.P. Garg, J.Prakash, Solar Energy: Fundamentos y Aplicaciones, 7ma edición, McGraw-Hill, India, 2006.
- J.A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 3ra. edición, Jhon Wiley and Sons Inc, USA, 1991.
- M.F. Pedro, A.G.Ana M,A.S.Ana M.B.B.José M., Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Edit. Uni.Pol.de Valencia, España, 2001.
- S.A. Kalogirou, Solar Engineering: Processes and Systems, 1ra edición, Academic Press, USA, 2009.
- S.P. Sukhatme, J.K. Nayak, Solar Energy: Principles of Thermal Collection and Storage, 3ra. edición, McGraw-Hill, India, 2008.

TESIS CONSULTADA

- B.Z. Alejandro, Deshidratador de tomates utilizando energía geotérmica para Ensenada B.C, Facultad de Ingeniería UNAM, Ciudad Universitaria octubre 2009.

ARTÍCULOS

COVECA, "Monografía del mango", Estado de Veracruz, 31 de marzo de 2011.

M. Romero Á. Director Plataforma Solar de Almería- CIEMAT, "Energía Solar Termoeléctrica".

F. Obaco, J. Jaramillo, "Sistemas solar-térmicos: algoritmo operativo para aplicar el método F-Chart en la evaluación de colectores solares", Loja-Ecuador 2010.

J.L. Cottier, R. Montiel, L. Villareal, "Energía solar térmica: estado del arte", Instituto de ingeniería UNAM, Enero 2013.

J.L. Fernández Zayas, V. Estrada Cajigal, "Cálculo de la radiación solar instantánea en la República Mexicana", Instituto de ingeniería UNAM.

M. Silva P., "Sistemas termosolares de concentración", curso 2004-2005.

R. Almanza, S. López, "Radiación solar global en la República Mexicana mediante datos de insolación", Instituto de ingeniería UNAM, Octubre de 1975.

SAGARPA "Tecnologías para deshidratación de Productos Agrícolas. Una alternativa de Valor Agregado", México, 2009.

Subdepartamento de información comercial "Oportunidades en el mercado internacional para la fruta deshidratada", Santiago de Chile, octubre de 2010.

Universidad Politécnica de Valencia, "Análisis y cálculo dinámico de captadores solares térmicos con aplicación de la exigencia he4 del cte, aplicado a la zona iv (valencia) con variación del azimut y ángulo de inclinación de los captadores", 2011.

PÁGINAS DE INTERNET

Global Trade Information Services

<http://www.gtis.com>

CLEANENERGYSolar

<http://www.cleanergysolar.com>

Klima Fadura S.A.L.

<http://klimafadurasal.blogspot.com>

ABENGOA SOLAR

<http://www.abengoasolar.es>

CONUEE

http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_lista_de_proveedores_HV

FIAGRO

<http://www.fiagro.org>

Financiera Rural

<http://www.financierarural.gob.mx>

NASA en ESPAÑOL

<http://www.lanasa.net>

NOVATEC SOLAR

<http://www.novatec-biosol.com>

POWER From The SUN.net

<http://www.powerfromthesun.net/book.html>

SALVADOR ESCODA S.A.

<http://www.salvadorescoda.com>

SIAP SAGARPA

<http://www.siap.gob.mx>

SOLAR MILLENNIUM AG

<http://www.SolarMillennium.de>