

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL .....	I
INDICE DE FIGURAS .....	VI
INDICE DE TABLAS .....	VIII
INDICE DE ECUACIONES .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS .....	IX
GLOSARIO .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
INTRODUCCIÓN .....	XII
OBJETIVOS .....	XIII
General.....	XIII
Específicos.....	XIII
CAPÍTULO I .....	1
MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 Deshidratador Solar .....	1
1.1.1 Definición .....	1
1.1.2 Partes principales de un deshidratador solar.....	2
1.1.3 Técnicas para Deshidratar .....	5
1.1.3.1 Secado Solar Natural .....	6
1.1.3.2 Deshidratadores Solares .....	9
1.1.3.3 Deshidratadores Industriales .....	10
1.1.4 Tipos de Deshidratadores .....	11
1.2 Energía Solar .....	15
1.2.1 Sol.....	15
1.2.2 Radiación Solar .....	16

1.2.3 Tipos de Radiación Solar.....	17
1.2.4 Irradiancia.....	18
1.2.5 Radiación Solar en Guatemala .....	18
1.3 Transferencia de Calor.....	21
1.3.1 Transferencia de Calor por Radiación .....	21
1.3.2 Transferencia de Calor por Convección .....	21
1.3.3 Transferencia de Calor por Conducción .....	22
1.3.4 Transferencia de calor en los deshidratadores solar .....	22
1.3.4.1 Sistemas de deshidratación.....	23
1.4 Sistema Fotovoltaico Autónomo .....	23
1.4.1 Efecto Fotovoltaico .....	24
1.4.2 Componentes de un Sistema Fotovoltaico Autónomo .....	26
1.4.2.1 Módulos Fotovoltaicos .....	26
1.4.2.2 Controlador.....	27
1.4.2.3 Inversor.....	28
1.4.2.4 Baterías.....	28
CAPÍTULO 2 .....	30
CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO Y PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE DESHIDRATADOR .....	30
2.1 Breve historia de Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango.....	30
2.2 Aspectos físicos .....	30
2.2.1 Ubicación geográfica y Extensión territorial.....	30
2.2.2 Clima .....	30
2.2.3 Actividades Económicas.....	31
2.3 Condiciones del lugar para el funcionamiento del deshidratador solar .....	31

2.3.1 Descripción del proyecto.....	31
2.3.2 Localización del proyecto.....	32
2.3.2.1 Macro localización .....	32
2.3.2.2 Micro localización.....	33
2.4 Factores Climáticos .....	34
2.4.1 Temperatura.....	35
2.4.2 Nubosidad.....	35
2.4.3 Humedad.....	37
2.4.4 Dirección del Viento.....	38
2.4.5 Horas de Sol .....	38
2.4.6 Energía solar .....	38
2.5 Análisis de factores/parámetros para la deshidratación de productos agrícolas.....	40
CAPITULO 3 .....	42
REVISIÓN DE PROTOTIPO o EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROTOTIPO .....	42
3.1 Prototipo .....	42
3.2 Productos .....	42
3.3 Estado del prototipo.....	44
3.3.1 Materiales .....	44
3.3.2 Incidencias del clima .....	44
3.4 Adaptabilidad .....	45
3.4.1 Ergonomía .....	45
3.5 Mediciones del proceso .....	46
3.5.1 Temperatura.....	46
3.5.2 Aire de entrada/salida .....	46
3.5.3 Cantidad de producto de entrada/salida.....	46

3.5.4 Tiempo de secado .....	47
3.6 Secado de los productos agrícolas .....	48
3.6.1 Factores que influyen en el deterioro de los productos .....	48
CAPÍTULO 4 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Selección tipo de deshidratador .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Esquema básico .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.1 Frases en el desarrollo de la deshidratación .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Partes del deshidratador hibrido solar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1 Colector Solar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1.1 Cubierta traslucida.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1.2 Placa absorbente .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1.3 Aislamiento del colector.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1.4 Aberturas de aire .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1.5 Carcasa .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1.6 Parámetros de selección de colector solar.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2 Cámara de deshidratación.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2.1 Aislamiento interno de la cámara deshidratadora ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2.2 Carcasa de la cámara deshidratadora .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2.3 Bandejas .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2.4 Puerta.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2.5 tipo de techo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2.6 Características del diseño de la cámara deshidratadora a considerar .....	<b>Error!</b> <b>Bookmark not defined.</b>
4.3.3 Contacto fluido solido .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

4.3.4 Medidor de temperatura.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.5 Ventiladores.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.6 Sistema fotovoltaico autónomo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.6.1 Estimación de consumo.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Modelo en CAD y dimensionamiento .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.1 Colector Solar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.2 Cubierta traslucida.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.3 Placa absorbente .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.4 Cámara de deshidratado.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.5 Estructura para panel fotovoltaico.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
CAPÍTULO 5 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
TECNIFICACIÓN DEL DESHIDRATADOR HIBRIDO SOLAR	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1 Selección de materiales .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2 Planos del equipo.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BIBLIOGRAFÍA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ANEXO 1: PLANOS DE DESHIDRATADOR HIBRIDO SOLAR	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ANEXOS 2: REPORTE FINAL DEL PROYECTO USADO PARA EL PROTOTIPO DEL DESHIDRATADOR SOLAR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes de un Deshidratador Solar .....	3
Figura 1.2 Cancha de secado .....	7
Figura 1.3 Secado sobre tenderos .....	8
Figura 1.4 Secado en Suspensión .....	8
Figura 1.5 Deshidratador Solar.....	10
Figura 1.6 Deshidratador Industrial F-50 .....	11
Figura 1.7 Clasificación Deshidratadores Solares.....	12
Figura 1.8 Deshidratadores Activos y Pasivos .....	13
Figura 1.9 Deshidratador tipo Chimenea.....	14
Figura 1.10 Atenuación de la Radiación Solar .....	16
Figura 1.11 Espectro Electromagnético.....	17
Figura 1.12 Tipos de Radiación Solar .....	18
Figura 1.13 Radiación Solar Guatemala.....	20
Figura 1.14 transferencia de calor por convección.....	22
Figura 1.15 Efecto Fotovoltaico .....	25
Figura 1.16 Celda Fotovoltaica .....	25
Figura 1.17 Tiempo de vida de una batería .....	29
Figura 2.1 Macro localización departamento de Quetzaltenango, Guatemala. ....	32
Figura. 2.2 Micro localización municipio de Colomba Costa Cuca.....	34
Figura 2.3 Temperatura máxima y mínima promedio.....	35
Figura 2.4 Nubosidad .....	36
Figura 2.5 Lluvia .....	37
Figura 2.6 Humedad .....	37
Figura 2.7 horas de Sol.....	38
Figura 2.8 Energía solar promedio .....	39
Figura 3.1 Prototipo deshidratador .....	42
Figura 3.2 Alimentos en rodajas.....	43
Figura 3.3 Puerta de la cámara deshidratadora.....	45
Figura 3.4 Remoción de productos en las bandejas .....	46
Figura 3.5 Secado de los alimentos .....	47

Figura 3.6 Energía solar del municipio .....	48
Figura 3.7 Promedio de energía solar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.1 Esquema básico de deshidratador híbrido solar. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.2 Esquema básico parte trasera .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.3 Perdidas de calor .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.4 Termostato controlador de temperatura .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.5 Componente de un sistema fotovoltaico autónomo .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.6 Colector solar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.7 Cubierta .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.8 Diseño de placa absorbente .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.9 Aberturas .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.10 Cámara deshidratadora.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.11 Interior de cámara de deshidratado .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4.12 Estructura .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición de la generación renovable 2021.....	19
Tabla 1.2 Composición de la generación no renovable 2021.....	19
Tabla 2.1 Temperatura promedio del municipio .....	35
Tabla 2.2 Horas de sol .....	38
Tabla 2.3 Energía solar por mes .....	39
Tabla 2.4 Factores/parámetros para proceso de deshidratación .....	40
Tabla 4.1 Criterios para selección del tipo de deshidratador.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.2 Fases en la deshidratación de los productos .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.3 Selección de colector solar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.4 Tipo de techos.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.5 Propiedades de los aislantes térmicos.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.6 Materiales para la cubierta traslucida .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.7 Materiales para placa absorbente.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.8 Rangos de operación.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.9 Cargas y energía total .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.10 Componentes del sistema solar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.11 Materiales colector solar.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.12 Materiales cámara de deshidratado .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.13 Materiales sistema fotovoltaico autónomo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabla 4.14 Otros materiales.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS**

$T_s$ :	Temperatura de la superficie
$T_\infty$ :	Temperatura del fluido
$h$ :	Coefficiente de transferencia de calor por convección
$q''$ :	Flujo de calor por convección
DC:	Corriente directa
AC:	Corriente alterna
$v$ :	Voltaje
W:	Watts
$m^2$ :	Metros cuadrados
$^\circ\text{C}$ :	Grados Celsius
A:	Amperio (intensidad de corriente)
PWM:	Pulse Width Modulation (Modulación por anchura de pulsos)
MPPT:	Maximum Power Point Tracking (Seguidor del punto de máxima potencia)
Ah:	Amperios hora
AGM:	Absorbent Glass Mat (Fibra de vidrio absorbente)
$\text{Km}^2$ :	Kilómetros cuadrados
%:	Porcentaje
UNICEF:	Fondo de las naciones unidad para la infancia
RAE:	Real academia española
UV:	Ultravioleta
kWh:	Kilowatt-hora
CA-2:	Carretera Centro Americana 2
ATC:	Appropriate Technology Collaborative (Tecnología Apropriada Colaborativa)
Lbs:	Libras
Plg:	Pulgada
CO <sub>2</sub> :	Dióxido de carbono

Ta: Temperatura circundante

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura

$\eta$ : Eficiencia del colector

CP: Calor específico del aire

P: Masa específica del aire

Va: Velocidad del aire

ASHRAE: Sociedad Estadounidense de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado.

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute)

m/s: Metro por segundo

A: Área transversal

$\pi$ : Número Pi

m<sup>3</sup>: Metros cúbicos

Q<sub>1</sub>: Aire entrante

I: Irradiancia promedio

Kg: Kilogramo

s: Segundo

J: Joules

Etc: Etcétera

cm: Centímetros

bar: Unidad de medida de presión

h: Hora

kcal: kilocaloría

Coef: Coeficiente

mm: Milímetros

PC: Policarbonato

PVC: Policloruro de vinilo

PE: Polietileno

K: Grados kelvin

NTC: Coeficiente de temperatura negativo

SET: Ajustes (Settings)

GND: (Ground) toma a tierra, es un sistema de protección conectados a la red eléctrica.

Forma de indicar el negativo.

HSP: Horas sol pico

Isc: Corriente corto circuito

CAD: Diseño asistido por computadora (Computer aided design)

## INTRODUCCIÓN

Me falta agregar la introducción

## OBJETIVOS

### General

Diseñar un deshidratador híbrido solar para secado de productos agrícolas que se cultivan a pequeña escala en el municipio de Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango.

### Específicos

1. Recopilar información que permita seleccionar parámetros, características para el diseño del deshidratador solar.
2. Describir las características del municipio y parámetros para la selección del tipo de deshidratador
3. Evaluar prototipo usado por otro grupo de agricultores de la región occidente para determinar su desempeño y funcionalidad de secado.
4. Desarrollar modelo de diseño mediante CAD para cumplir con una tecnología apropiada.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Deshidratador Solar

##### 1.1.1 Definición

El deshidratador es un equipo que retira el agua de los alimentos para conservarlos por mayor tiempo. Aprovecha la energía solar como fuente principal y la transforma en calor útil, la energía es capturada por la parte superior del colector que incluye una entrada de aire, este flujo de aire que entra aumenta de temperatura mientras recorre el espacio del colector que conecta a la cámara de deshidratado, es aquí donde ocurre el proceso de secado, el intercambio de calor que circula elimina el agua de cada producto alojado y dispuesto sobre rejillas, se evacua de la cámara y expulsado al medio ambiente en forma de vapor. El resultado es obtener alimentos secos, más livianos, con condiciones de higiene apropiadas, disminuyendo la actividad microbiana como la enzimática y sus propiedades nutritivas, organolépticas no se deterioren.

Al reducir la cantidad de agua de los productos evita que las bacterias, mohos, levaduras se desarrollen ocasionando su descomposición. El deshidratado aminora ese efecto dañino. La humedad es removida por el aire caliente que entra en contacto con los productos, este debe ser seco y con una circulación constante, por lo tanto, el proceso genera realmente un transporte simultaneo de materia y energía. El porcentaje de agua varía en los productos como hierbas, semillas, carnes, verduras, frutas siendo estos dos últimos con mayor cantidad de agua.

Con la disminución de peso y volumen su manipulación, almacenaje y transporte es menor en costos. La variedad de alimentos que son deshidratados con esta técnica usando energía solar el proceso debe ser correcto y adecuado. Según (Espinoza, 2016):

La deshidratación o secado es un método de procesamiento de alimentos mediante la aplicación de calor, específicamente de aire caliente. Es un procedimiento simultaneo de transferencia de calor y masa, acompañado de un cambio de fase. Se define como la aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover la mayoría del agua normalmente presente en los alimentos mediante evaporación. (p. 73).

El tiempo de secado dependerá de la cantidad de humedad del producto, esta es una propiedad que contienen llamada permeabilidad, así como las condiciones climáticas del medio y lugar donde se realiza el secado. De esta manera se tiene una relación de tres elementos: temperatura, humedad ambiental y la cantidad de radiación solar. Con respecto a la radiación solar es un elemento que hace funcionar al equipo. Si el nivel de radiación es baja el secado tarda más tiempo, en caso contrario si el nivel de radiación es alto el proceso de secado será en menor tiempo con una óptima circulación de aire. La degradación en la calidad de las vitaminas puede surgir sino se tiene una configuración cuidadosa para controlar la temperatura de secado.

Los deshidratadores solares son una alternativa de la aplicación y beneficio de la energía solar siendo ilimitada, disponible, limpia, gratis y económica. En comunidades o familias que tienen sus microempresas, ayuda a su propia economía, generando empleos y abarcando espacios donde puedan comercializar sus productos. De esta manera los pequeños agricultores de Guatemala cultivan y recogen una variedad de productos durante cada época del año y disponibles para el proceso de secado. El desarrollo de prácticas agrícolas naturales y sostenibles se deben a varias razones, pero en particular por falta de recursos económicos y la de hacer conciencia sobre la desnutrición de las personas, siendo una problemática que ha venido desde hace años afectando a la población en áreas muy desfavorables, así con este método poderla combatir consumiendo alimentos locales, nutritivos y accesibles para adquirirlos a un bajo costo. La población necesita un mejor acceso a alimentos saludables.

### **1.1.2 Partes principales de un deshidratador solar.**

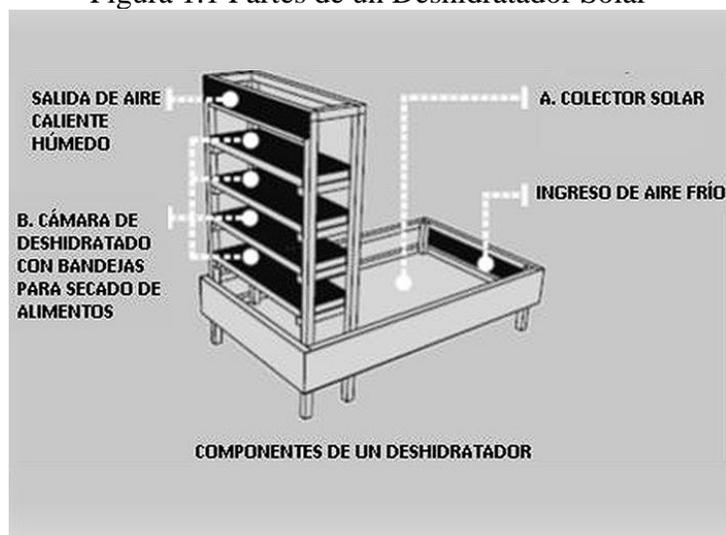
Las partes primordiales que conformar a un deshidratador solar para su funcionamiento depende del modelo que se trate. Como lo indica (Renovables, 2013).

Los deshidratadores solares cuentan todos con unas áreas esenciales para que el proceso de desecado de los productos sea eficaz. La forma y ubicación de cada una de estas áreas es distinta en función del modelo de que se trate. En algunos modelos varias de las áreas pueden estar ubicadas en un mismo sitio, ser la misma o no existir delimitaciones claras entre ellas.

En la figura 1.1 se observa el esquema de las partes correspondientes a un deshidratador solar, como se muestra la entrada y salida de aire, colector solar parte que captura los rayos solares para elevar la temperatura del aire que circula, cámara de secado donde se genera la

deshidratación de los productos, reduciendo el porcentaje de agua. De modo que los materiales utilizados varían el costo del deshidratador, su tamaño, su durabilidad, su capacidad de secado y la calidad de los productos obtenidos.

Figura 1.1 Partes de un Deshidratador Solar



Fuente: Transferencia de Tecnología y Divulgación sobre Técnicas para el Desarrollo Humano y Forestal Sustentable. Deshidratador Solar de Alimentos.

El colector es una parte esencial, los rayos del sol son transformados en calor por medio del efecto invernadero que se crea dentro del espacio que ocupa, se mantiene orientado hacia la dirección del sol, con una inclinación de modo que reciba y absorbe los rayos con mayor capacidad de captación para una máxima producción de calor a lo largo del día. El calor es transferido al aire que va entrando para su posterior etapa en la cámara de deshidratado. El colector debe ser compacto, construido y armado correctamente para evitar la fuga de aire caliente y se convierta en un punto deficiente donde no permita alcanzar la temperatura deseada del proceso de secado.

Una adecuada circulación de aire es vital para el proceso de deshidratado, el aire caliente envuelve a los productos para retirar el agua y este se renueva manteniendo un ambiente seco, sino se cuenta con una corriente de aire la temperatura no se puede mantener conforme avanza el proceso, puede afectar al producto dentro de la cámara de secado permitiendo que se eche a perder, extendiendo el tiempo para retirar la humedad de las rodajas dispuestas en las bandejas. Según (Renovables, 2013).

Atendiendo a la técnica que se emplee para mover el aire existen dos sistemas; Circulación Natural, se trata del movimiento natural de ascensión del aire caliente. El aire al calentarse, disminuye su densidad y tiende a ascender sobre el medio más denso. Este fenómeno es llamado convección. El aire pasa por donde se encuentra el producto y posteriormente sacarlo del sistema. La salida del aire crea una depresión que provoca que el aire fresco del exterior entre en el sistema y sea de nuevo calentado reciclando el proceso.

Circulación Forzada, empleando medios eléctricos como un extractor o un ventilador se puede forzar el movimiento del aire. Este sistema es adecuado para sistemas más grandes y complejos. Tiene el inconveniente de que requiere un aporte externo de energía, aunque si se emplean paneles fotovoltaicos, toda la energía del sistema podría provenir del sol.

Al aplicar el tipo de circulación natural, las entradas de aire y salidas se deben de proteger con malla mosquitera de manera que evite el ingreso de cualquier tipo de insectos y roedores que dañarían y contaminan el ambiente de circulación. Empleando este método natural no tiene ningún costo, el aire está disponible, se utiliza en deshidratadores solares pequeños, puede ocurrir deficiencias si no se tiene un dimensionamiento correcto de las aberturas de entradas y salidas de aire, evitando la evacuación y renovación del aire, provocando lentitud en el secado por ende llevaría más tiempo. Con una circulación forzada, las variaciones de temperatura en el interior son muy poco abruptas, con un mayor control, así el deshidratado se realiza de forma más uniforme y constante logrando una disminución del tiempo de secado.

La cámara de deshidratado varia del modelo que se tenga a disposición, esta cámara contiene las bandejas apiladas de los productos a secar con el aire caliente proveniente del colector. Sus dimensiones van de acuerdo a la cantidad de alimentos a procesar, de manera que los materiales con los que se fabrique sean resistentes a las condiciones climáticas, el peso a soportar o en ocasiones al traslado del equipo a otro lugar. Un revestimiento por dentro que le proporcione resistencia contra el agua que desechan las rodajas de los alimentos, un aislamiento para evitar las pérdidas de calor. A parte de ser resistente tiene una característica muy importante, protege a los alimentos de la radiación solar no permitiendo que incidan de manera directa, puede ser

destrutivo y perjudicial disminuyendo su valor nutritivo, aspecto, color debido a los rayos ultravioletas.

### **1.1.3 Técnicas para Deshidratar**

El desecado es un método eficaz de conservación de alimentos o productos agrícolas durante periodos prolongados, es un proceso complejo que implica una combinación de transferencia de calor y masa. Secar al sol es una manera respetuosa con el medio ambiente. Los agricultores enfrentan problemas donde sus productos se secan de forma inadecuada, o se descomponen por mohos, un mal almacenamiento y deben desecharlos, esto representa una pérdida económica durante cualquiera de las épocas de año que las cosechan. La mayoría de los agricultores, especialmente en los países en desarrollo, no pueden permitirse implementar costosas técnicas y equipos para productos de secado, equipo que es accionado eléctricamente o con motor diésel. Esto causa cargas financieras adicionales de mantenimiento, combustible, electricidad y entre otros gastos corrientes además de los problemas ambientales. El deshidratado solar ha sido bien conocido como un método de secado que ha venido desde hace muchos años, es ampliamente utilizado en todo el mundo y es ecológico.

Según (Lindow, 2018), *“a diferencia de otras formas de conservación a temperaturas extremas como la esterilización o la congelación, el deshidratado es un método sumamente respetuoso con las propiedades y el contenido nutricional de los alimentos”*. Las condiciones a controlar del proceso son la temperatura, humedad, velocidad el viento, y cada uno de estos aspectos se verá reflejado en el tiempo que tardará el deshidratado.

Hoy en día, la deshidratación de alimentos tiene un gran auge, tanto para productos comerciales que adquieren un valor agregado, así como para comunidades que utilizan los deshidratadores como su principal medio de preservación de alimentos e ingresos económico. Por lo tanto, se han desarrollado algunas técnicas de deshidratación que permita su conservación segura, las cuales involucran diferentes medios y equipos utilizados permitiendo que el tiempo se reduzca alcanzando procesar más alimentos. Empezando desde el más sencillo hasta los más sofisticados para el secado.

### ***1.1.3.1 Secado Solar Natural***

El secado natural mediante la exposición a la radiación solar se ha realizado anteriormente como método práctico y de bajo costo de operación. Es la técnica más sencilla, la cual consiste en aprovechar los días soleados donde los productos se encuentran colocados sobre mantas, suelos o pisos de concreto quedando expuestos directo a los rayos del sol, prácticamente al aire libre. El calor lentamente remueve la humedad de los productos o alimentos, con ayuda del aire que circula con una corriente dependiendo de las condiciones del día, retirando progresivamente la humedad. Cual sea el producto a deshidratar existe una variabilidad en el tiempo de secado puede llevar más días que otros. Esta técnica es la más artesanal conocida que desde la antigüedad. Tal que (Bala, 2009).

El secado al sol se usa ampliamente en muchos países tropicales y subtropicales. Es el método más barato, pero la calidad de los productos secos con esta técnica está muy por debajo de los estándares. La mejora de la calidad del producto y la reducción de pérdidas solo se pueden lograr introduciendo tecnologías de secado adecuadas. Secado de productos agrícolas con el uso de energías renovables como la energía solar es respetuoso con el medio ambiente y tiene menos impacto medioambiental. Además, para la sostenibilidad de la tecnología de secado mejorada, los canales de comercialización son estables.

Existen algunas desventajas con esta técnica, vulnerabilidad a la contaminación de diferentes maneras como lo es polvo, insectos, hongos, infestación de animales porque los alimentos se encuentran al aire libre y no tienen ninguna protección, da como resultado una baja calidad. Riesgo alimentario ya que se encuentran expuestos a la intemperie. Otra desventaja es que no se tiene control sobre la temperatura y el viento depende de las condiciones climatológicas, esto ocasiona que el secado lleve más horas o días de lo establecido. Un secado no será homogéneo debido a varias razones, los productos agrícolas estarán acumulados uno sobre otro evitando que algunos no reciban la luz solar, por lo que se debe mover periódicamente la materia prima, otra razón es el lugar o la superficie donde estarán colocados, generando un sobrecalentamiento esto puede ocurrir en bandejas metálicas o de colores oscuros o expuestos directamente al suelo. La exposición directa al sol provoca que las propiedades organolépticas, nutritivas se deterioren.

Entre sus ventajas destacan, es la manera más natural y práctica, tiene una sencillez construcción resultando ser económico. Es un proceso no contaminante utilizando energía renovable la cual es disponible y gratuita. Dentro de esta técnica de secado se emplean varias formas de realizar el trabajo:

- Cancha de secado, debe estar lejos de focos de contaminación. Utiliza un espacio amplio como un terreno que se nivela o un patio con piedras quedando el piso limpio libre de maleza que facilite esta actividad. Los productos son tendidos sobre mantas o lonas de manera que reciba la mayor cantidad de radiación solar posible durante el día. Figura 1.2 el sol calienta el cemento o piedras y esto ayuda a que el secado se apresure.

Figura 1.2 Cancha de secado



Fuente: <https://www.redagricola.com/cl/buenas-practicas-canchas-secado/>

- Secado sobre tenderos. Se utilizan estructuras sencillas que los separe del suelo, evitando algún tipo de contaminación, tales como bandejas, mallas o esteras de cañas, que favorecen a la circulación de aire entre los productos agrícolas. Se coloca una protección de nylon sobre las bandejas para que no estén vulnerables al ingreso de insectos, o condiciones del medio ambiente con los productos considerando cultivos sanos, que a su vez aporta al secado concentrando el calor, como se muestra en la figura 1.3.

Figura 1.3 Secado sobre tenderos



Fuente: secado en tendero con  
cubertura 2 aguas de un  
productor de  
San Rafael Mendoza, Argentina.

- Suspensión al aire, como se muestra en la figura 1.4, esta forma consiste en atar los productos con hilos o gancho quedando en suspensión o colgados en el aire, es recomendable colocarle una malla tipo mosquitera de protección para evitar que insectos entren en contacto y que resulte un obstáculo para la circulación del viento. El proceso es simple, artesanal y lento, el secado no es parejo por lo que representa una desventaja para esta técnica, ya que el porcentaje de agua que contienen depende del tipo de alimento y genera que se descompongan (pudren). Añadiendo que se deben recoger para evitar la humedad del sereno y colocarlos al sol nuevamente por la mañana.

Figura 1.4 Secado en Suspensión



fuentes: <https://viaorganica.org/alimentos-deshidratados-al-sol/chiles-secos/>

A causa de las diferentes ventajas y desventajas que presentan las técnicas de secado, la tecnología avanza y con ello nuevas maneras de deshidratar productos, donde se tiene mayor rapidez, control de las variables que se utilizan en el proceso, obteniendo así. productos de mayor calidad y valor nutritivo. Colocándolos en un mercado comercial.

### **1.1.3.2 Deshidratadores Solares**

Como lo indica (Almada) p. 9, *“la energía del sol, se puede utilizar correctamente para beneficio de la salud y para la economía familiar. Para ello, se han creado métodos o procedimientos que aseguran un buen proceso a través de aparatos especialmente diseñados”*. Con la innovación y el desarrollo de las tecnologías se han creado equipos que transforman la energía solar como fuente útil adaptado en dispositivos llamados deshidratadores solares que evita el consumo de combustibles fósiles que contaminen el medio ambiente.

El deshidratador consiste en un sistema de captación de rayos irradiados por el sol, que son atrapados por una caja solar llamado colector que succiona una corriente de aire debido a la diferencia de temperatura que existe al calentarlo, que asciende por ser más ligero y sale en las aberturas superiores de la cámara de deshidratado. Esta cámara dispone una serie de bandejas que contienen los alimentos, el aire caliente que entra en contacto remueve la humedad, logrando resultados superiores al secado natural. Prácticamente reduciendo el tiempo de secado, donde las propiedades no se alteran drásticamente, con un peso más ligero y aumenta la duración para su consumo.

Su uso es ideal en días soleados, donde se tendrá una mayor eficiencia. Entre sus ventajas esta, reducción de emisiones a la atmosfera evitando uso de combustibles, incremento de la producción, logrando una concentración de calor en un espacio determinado. Reduce costos de almacenamiento, transporte, empaque. Para su construcción se utiliza materiales disponibles en el lugar o región de instalación facilitando su fabricación. Un mejor control en el proceso de secado. No requiere de un mantenimiento sofisticado, las personas quienes lo manipulen pueden realizar esta misma actividad. Los alimentos están protegidos de la intemperie, que en comparación con la técnica de secado al aire libre.

En días nublados o lluviosos no se logra alcanzar la temperatura adecuada, lo que representa una desventaja para su funcionamiento. Existe otro inconveniente en la circulación del aire, puede ser muy lento al entrar ocasionando una cantidad de flujo menor que no removería la humedad y tardaría más el proceso de secado. Para evitar algún tipo de contaminación las aberturas de aire se deben de proteger con malla. La capacidad de alimentos a deshidratar es limitada según el tamaño de la cámara deshidratadora.

Con el avance de las investigaciones, y desarrollo de la tecnología, existe la posibilidad de fabricar equipos más sofisticados con características de un alto rendimiento, Figura 1.5, se observa un ejemplo de un deshidratador con uso de energía solar. Según (Saecsa, 2019) Incluye cámara de deshidratado, captador calórico doble cubierta de cristal, charolas de aluminio con malla de acero inoxidable, panel de control digital para sistemas de temperatura y humedad, turbinas extractoras, boca de inyección de aire con filtro de carbón activado, moto-bomba recirculadora, y un sistema de respaldo para deshidratado nocturno o nublado.

Figura 1.5 Deshidratador Solar



Fuente: Saecsa.com

### ***1.1.3.3 Deshidratadores Industriales***

Estos equipos implementan y accionados por componentes electrónicos, uso de energía eléctrica, combustible fósil o energía renovable como lo es una caldera de biomasa para su funcionamiento. Son capaces de tener un mayor control sobre la temperatura, humedad y circulación de aire haciendo que la producción incremente y los productos sean de excelente calidad. El calor que deshidrata a los alimentos no es proveniente del sol sino de una fuente externa, son provisto con un sistema de calentamiento y ventilación de tiro forzado, produciendo el aire caliente que pasa entre los productos. Cuentan con un temporizador y un sistema de control de temperatura exacto. Es mucho más rápido el proceso de secado, según los diferentes tipos de alimentos. Los materiales con los que se fabrican son de mayor resistencia manteniendo en buen estado el equipo.

Pero requiere de una inversión alta, de igual manera de un mantenimiento específico para su sistema de funcionamiento. Tiene un consume energético elevado. Entre sus ventajas esta, su manera de operación y programación es simple, con un panel de control donde indica los

parámetros del proceso. La capacidad de secado depende del tamaño siendo grande o pequeño. La circulación de aire es uniforme entre las bandejas. Los deshidratadores industriales son silenciosos, fácil de limpiar, una vida útil prolongada y un alto rendimiento.

Figura 1.6 Deshidratador Industrial F-50

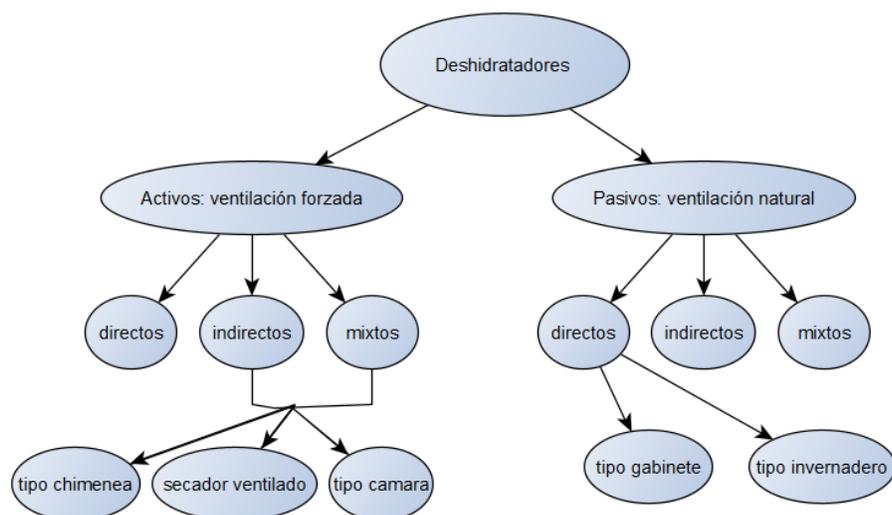


Fuente: <http://foodehy.com/productos/deshidratador-industrial-f-50>

#### 1.1.4 Tipos de Deshidratadores

El deshidratado es un método rentable y ecológico para productos agrícolas. Su clasificación puede ser de diferentes maneras, por el rango de temperatura alto o bajo. El uso de combustibles convencionales aplica para los de alta temperatura, y energías renovables en los de baja temperatura. Según la energía auxiliar utilizada para funcionar el sistema, los deshidratadores se clasifican en dos categorías, activos y pasivos. Esta clasificación se debe al tipo de ventilación que emplean. Los deshidratadores activos se caracterizan por una ventilación forzada, es decir, implementa mecanismos para tener una mejor circulación y movimiento del aire caliente. En comparación a los deshidratadores pasivos se crea un movimiento natural del aire. Figura 1.7 se presenta una clasificación que toma en cuenta el diseño y la forma en que implementa la energía solar. En cuanto a los deshidratadores directos, la radiación solar es absorbida directamente por el producto a secar, demostrando que tiene una desventaja agota el valor nutricional de los alimentos, mientras tanto, los deshidratadores indirectos emplean una parte llamada colector solar separado que absorbe la radiación solar, la convierte en energía térmica que hace calentar el aire que fluye y es suministrado a la cámara de deshidratado.

Figura 1.7 Clasificación Deshidratadores Solares.



Fuente: Elaboración Propia.

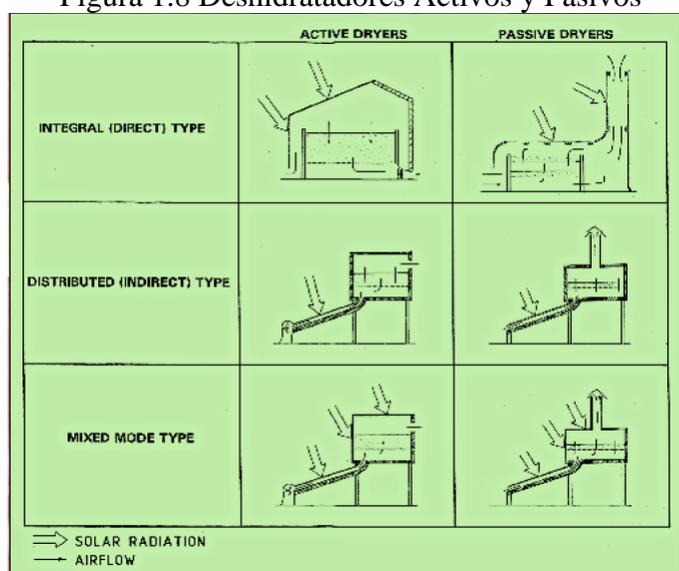
Las características de secado son algunos de los parámetros más importantes para diseñar un deshidratador solar incluido la capacidad, tamaño y materiales de construcción. Cuando se diseña un deshidratador solar para un cierto tipo de producto puede no ser adecuado para otro producto por las diferentes particularidades que estos poseen. Debido a esto, el desarrollo de la tecnología para el secado de productos agrícolas ha cambiado y siendo mejor cada vez más. Con la variedad de deshidratadores solares que existen cada uno llenara los requisitos para su posible lugar de ubicación y condiciones de ambiente que más se adapte. Ya que el tiempo de secado depende de la velocidad y temperatura que se disponga, esto da origen a la combinación de deshidratadores llamados mixtos. Figura 1.8 se observa la clasificación del tipo directo, indirecto y mixto.

En el caso de un deshidratador directo activo, una cubierta transparente permite que el sol irradie directo sobre el espacio donde se encuentran los alimentos. Tiene un área amplia, permitiendo que el sol caliente con mayor rapidez. Usa ventiladores para el flujo del aire dentro de la misma cámara de secado, pero existe la variante que se utilice con ventilación natural con aberturas inferior y superior logrando evacuar la humedad y así convertirse en un deshidratador solar directo pasivo como se muestra en la figura 1.8. Una limitante que existe en ambos casos es (activo o pasivo), solo puede tener una o dos bandejas para operar eficaz, su uso es

recomendable para cantidades pequeñas. Son muy simples de usar y fácil de ver cuando el producto se seque.

Un deshidratador indirecto puede de ser de dos maneras activo o pasivo, el producto no se encuentra expuesto a la radiación solar directamente. Incrementa la temperatura del aire que entra por el colector luego a la cámara contenedora de los alimentos, evaporando el agua que contienen. Este tipo de deshidratador tiene características como, una mayor cantidad de bandejas, son más robusto en tamaño, capacidad y espacio. La calidad es parte del resultado final. El tiempo de secado se reduce. Fácil adaptación a la estructura y uso.

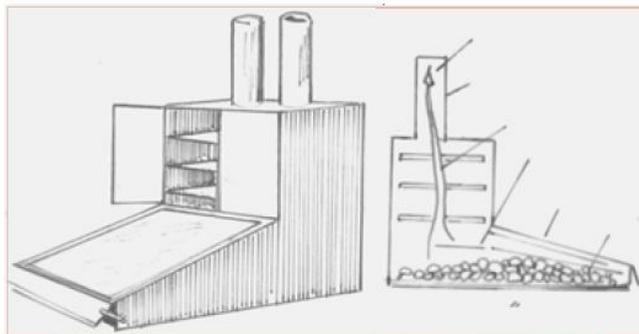
Figura 1.8 Deshidratadores Activos y Pasivos



Fuente: Presentación de (Andrés Mauricio Viveros Folleco) Solar Dehydration, Panyebar Childcare and Nutrition Center

El deshidratador tipo invernadero es para producto de fácil secado y tiene un gran tamaño, según (Andrés Mauricio Viveros Folleco) p. 19: “*está conformado por una estructura recubierta con un material traslucido, que permite el paso de la radiación solar y retiene la temperatura. Posee un ventilador que genera la corriente de aire, los productos en soportes con aberturas que permite el paso de aire caliente para secarlos*”. Otro deshidratador es del tipo gabinete consiste en forma de caja compacta, el espacio que captura la radiación solar es el mismo para secar los productos, se utiliza principalmente para alimentos. El flujo de aire es lento y su capacidad no muy alta.

Figura 1.9 Deshidratador tipo Chimenea



Fuente: secador con aprovechamiento de calor solar y acumular de calor de fácil limpieza y con circulación de aire forzada por chimenea (adaptado de Serrano Rodríguez, P. (1993) pequeño secador solar de alimentos, Chile Agrícola Enero-febrero-marzo, 24-27)

Existen nuevas tecnologías de secado. según (Germán Leonardo Roa Marín):

Secadores de lecho fluido, combinación de lecho fluido-spray, de lecho fluidizado con vapor sobrecalentado, de eyección, solares, que intentan paliar alguno de los inconvenientes del uso de los sistemas de secado convencionales, disminución del consumo de energía, disminución del impacto ambiental, mejora de la calidad de los productos, aumento de la seguridad de la operación. Los sistemas más habituales para el secado son los secadores rotativos, secadores flash, secadores de discos, secadores de cascada, secadores de vapor sobrecalentado.

Tipo Rotativos, consiste en un tambor con palas mezcladoras, el aire caliente entra en contacto con el producto al momento de girar. Tipo Flash, los alimentos son expuestos a una corriente caliente a alta velocidad, creando un secado muy rápido, su consumo eléctrico es alto. Tipo Cascada, su mayor uso es para granos, consiste en una cámara cerrada, el aire fluye de abajo hacia arriba, los granos caen y se extraen al costado. Tipo Vapor Sobrecalentado, usa vapor sobrecalentado transfiriendo así el calor a los productos colocados en bandejas perforadas creando torbellinos, pueden ser estáticos o vibrantes.

## 1.2 Energía Solar

### 1.2.1 Sol

El sol es una fuente de energía abundante y disponible. Es la estrella más grande cercana a la Tierra con una distancia de 150 millones de kilómetros, con un diámetro de 1.4 millones de kilómetros, proporcionando luz y calor a todo el sistema solar. Su radiación tarda en llegar a la tierra en aproximadamente 8 minutos a una velocidad de 300,000 km/s. contiene gases calientes en su interior debido a la reacción de fusión nuclear generando así la energía. Se establece que este compuesto de 71% hidrogeno, 27% helio y un 2% de elementos más pesados. Unas partículas llamadas fotones transportan la energía hasta la capa superior del interior del sol luego los gases hirviendo llevan la energía a la superficie. La superficie del sol tiene tres regiones, la fotosfera es la superficie visible del Sol y la capa más baja de la atmósfera. La cromosfera y la corona, ambas emiten luz visible pero solamente es visible durante eclipses solares.

El núcleo es el generador de energía, la reacción nuclear quema 700 millones de toneladas de hidrógeno cada segundo convirtiéndose en helio. La energía es conducida por radiación. El sol está afectado por fuertes campos magnéticos. *“La temperatura en el núcleo es aproximadamente 15 millones de grados centígrados y en la superficie la temperatura es cerca de unos 5500 grados centígrados”*. (Mundo, 2017)

El uso de la energía solar según (Rogers Moya-González, 2011)

La energía solar puede ser convertida a energía útil, ya sea para calentar o producir electricidad, como sus principales aplicaciones. La generación de electricidad mediante el sistema fotovoltaico. No obstante, se pueden encontrar sistemas combinados como en las plantas de secado, el aire se calienta en los paneles solares produciendo la energía térmica y los ventiladores son accionados por la energía eléctrica proveniente de las celdas fotovoltaicas para el flujo del aire caliente. Así el incremento de la utilización de las fuentes renovables.

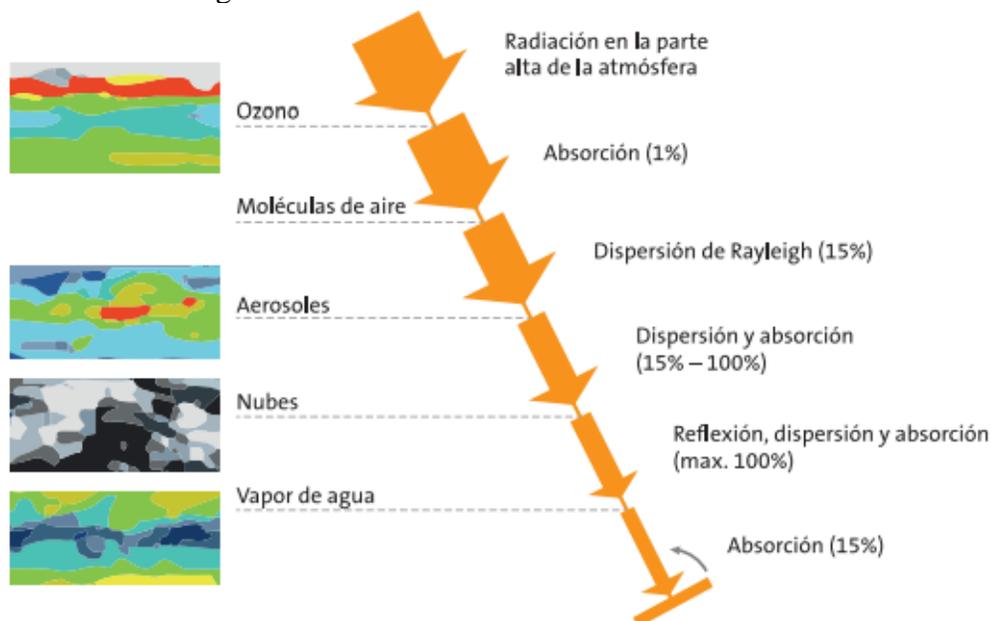
La oportunidad de conseguir otras fuentes de energía que permitan incrementar la productividad agrícola y mejorar la calidad de vida de las comunidades, y que sean, a la vez, económicas e inocuas para el medio ambiente garantizando el desarrollo sostenible de la agricultura, consiste en adoptar acciones viables e innovadoras, implementándolas en dispositivos o equipos que reflejen una mejora energética. El secado solar se puede llevar en

cualquier ubicación geográfica teniendo en cuenta la cantidad de radiación solar y la humedad relativa del lugar. Sin embargo, se tendrían variaciones según las temporadas estacionales y condiciones atmosféricas, la radiación solar se vería afectada

### 1.2.2 Radiación Solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, se expande en todas direcciones en el espacio mediante ondas electromagnéticas por la reacción de fusión nuclear y emitidas por la superficie solar. Estas ondas después de pasar por la atmósfera, se debilitan por la difusión, reflexión en las nubes y absorción por las moléculas de gases y partículas en suspensión. La radiación llega a la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La radiación solar que tiene una longitud de onda entre 0.29 y 2.5  $\mu\text{m}$  (micrómetros) sufre dispersión y absorción, y si esta fuera de este rango es inmediato.

Figura 1.10 Atenuación de la Radiación Solar



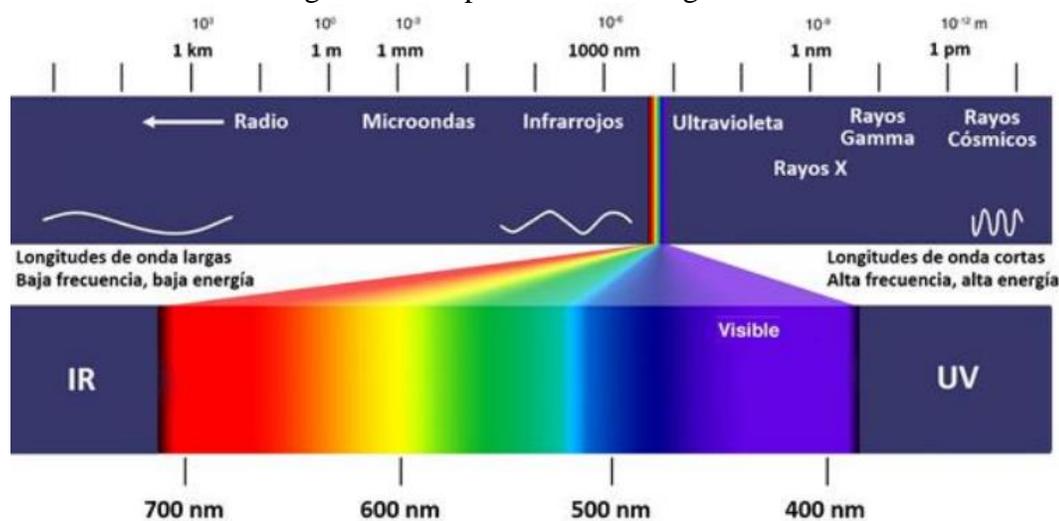
Fuente: GARCIA VALLADARES, Octavio; PILATOWSKY FIGUEROA, Isaac. (2017). Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial. México: Instituto de energías renovables de la UNAM

La reflexión, por las nubes conformadas de aerosoles de agua y de hielo reflejan una gran cantidad de radiación, bloqueando el paso de la misma a la Tierra. El fenómeno de la dispersión ocurre cuando la radiación electromagnética interacciona con partículas o moléculas de los gases en la atmósfera cambiando su dirección y otra parte regresa al espacio. La absorción,

ocurre en moléculas de ozono, vapor de agua, dióxido de carbono con los aerosoles de partículas de polvo, hielo reciben radiación que aumenta su temperatura

La radiación electromagnética, energía utilizada en deshidratadores solares son ondas producidas por el movimiento de electrones en un campo eléctrico que forman haces de energía luminosos llamados fotones. Figura. 1.10, la radiación solar es emitida en todas las longitudes de onda del espectro electromagnético, tiene un máximo en la región de luz visible compuesta por varios colores (Recinos). Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse, por lo que estas ondas pueden atravesar el espacio y llegar a la tierra

Figura 1.11 Espectro Electromagnético



Fuente: El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones. Escuela de La Ingeniería. Bernardo Fontal 2005.

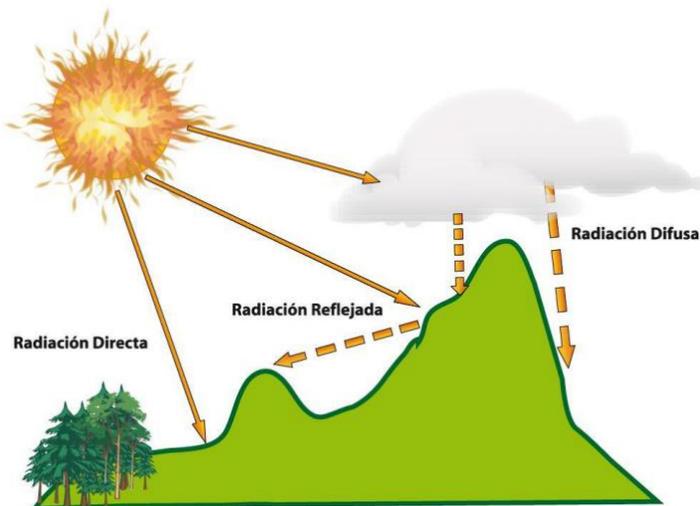
No toda la radiación alcanza la Tierra, las ondas más cortas son absorbidas por los gases de la atmosfera. La radiación para las aplicaciones solares se encuentra entre ultravioleta visible y región de infrarrojo.

### 1.2.3 Tipos de Radiación Solar

- **Radiación Solar Directa**, este tipo de radiación viaja en línea recta, y es recibida en cualquier lugar de la Tierra directamente del Sol. No sufre ningún cambio mientras recorre la distancia que los separa. En ocasiones muy esporádicas puede ser reflejada y dispersada.
- **Radiación Solar Difusa**, esta radiación se recibe después que su dirección ha sufrido un cambio por la dispersión de la atmosfera.

- **Radiación Solar Reflejada o Albedo**, es la radiación reflejada por la superficie de la tierra (suelos montañas o cualquier otra superficie), es variable de un lugar a otro.
- **Radiación Global**, es la suma del conjunto de radiaciones que recibe una superficie. En la figura 1.12 se representan los diferentes tipos de radiación solar.

Figura 1.12 Tipos de Radiación Solar



Fuente: Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de Café para la Universidad Nacional de Loja (Ecuador 2011 p.30)

### 1.2.4 Irradiancia

Es el término utilizado para indicar la cantidad de energía radiante por unidad de tiempo y por unidad de área de superficie, es decir,  $W/m^2$  (sistema internacional). Esta magnitud nos permite conocer cuanta energía incide sobre un área en un tiempo determinado. De una manera práctica se indica  $KWh/m^2/día$  y  $KWh/m^2/año$ . La irradiancia del planeta alcanza un valor aproximadamente de  $1.366 W/m^2$  en la capa exterior de la atmósfera. Este valor también se conoce como la constante solar. Aunque bien se sabe que no toda la irradiancia llega de forma directa debido a la presencia de la atmósfera.

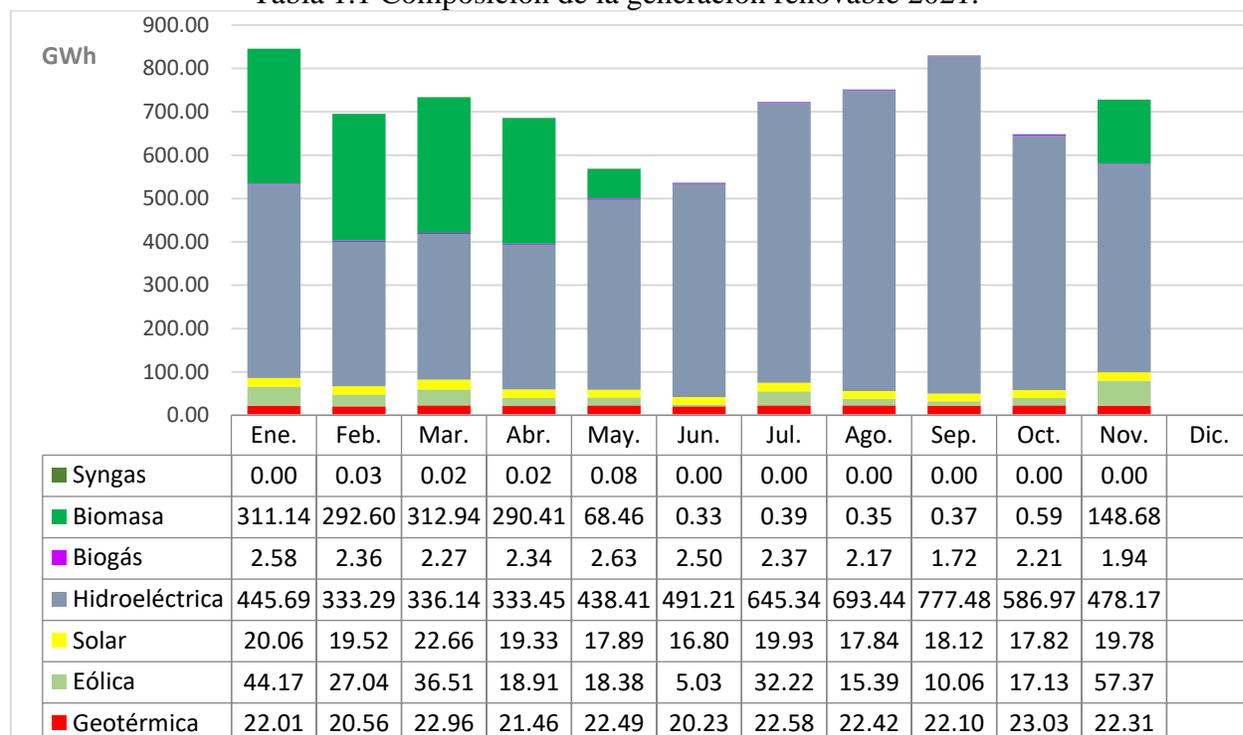
### 1.2.5 Radiación Solar en Guatemala

Guatemala es un país con un gran potencial solar, que, debido a su posicionamiento geográfico, el valor promedio de radiación solar para el país corresponde a  $5.3 kWh/m^2$  al día, como muestra la figura 1.13, este valor es mucho más alto en comparación a otros países que cuentan con proyectos solares. La disponibilidad de radiación solar en un lugar depende de varios factores. Latitud del lugar, época del año, altura del lugar y las condiciones

meteorológicas. (Ministerio de Energía y Minas, 2018). La energía solar está por debajo de la generación eléctrica de hidroeléctricas, carbón mineral, biomasa, bunker y geotérmica.

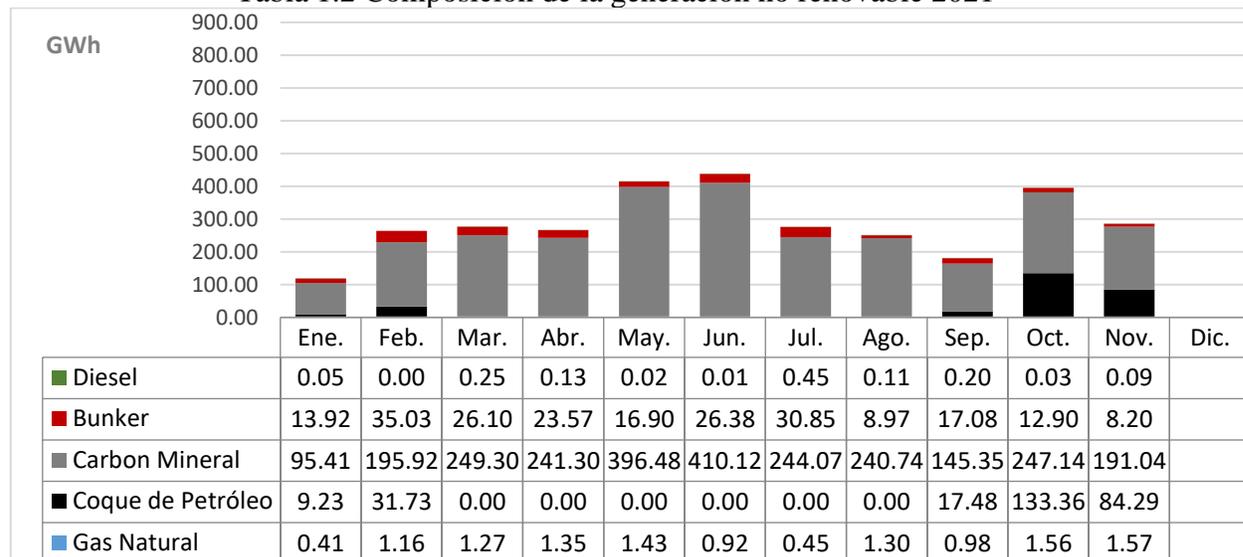
En lo que va del año, como se muestra en la tabla 1.1 se observa la producción de energía de fuentes renovables y la tabla 1.2 de fuentes no renovables.

Tabla 1.1 Composición de la generación renovable 2021.



La tabla 1.1 Muestra la generación mensual de energía Fuente: <https://www.amm.org.gt/portal/>

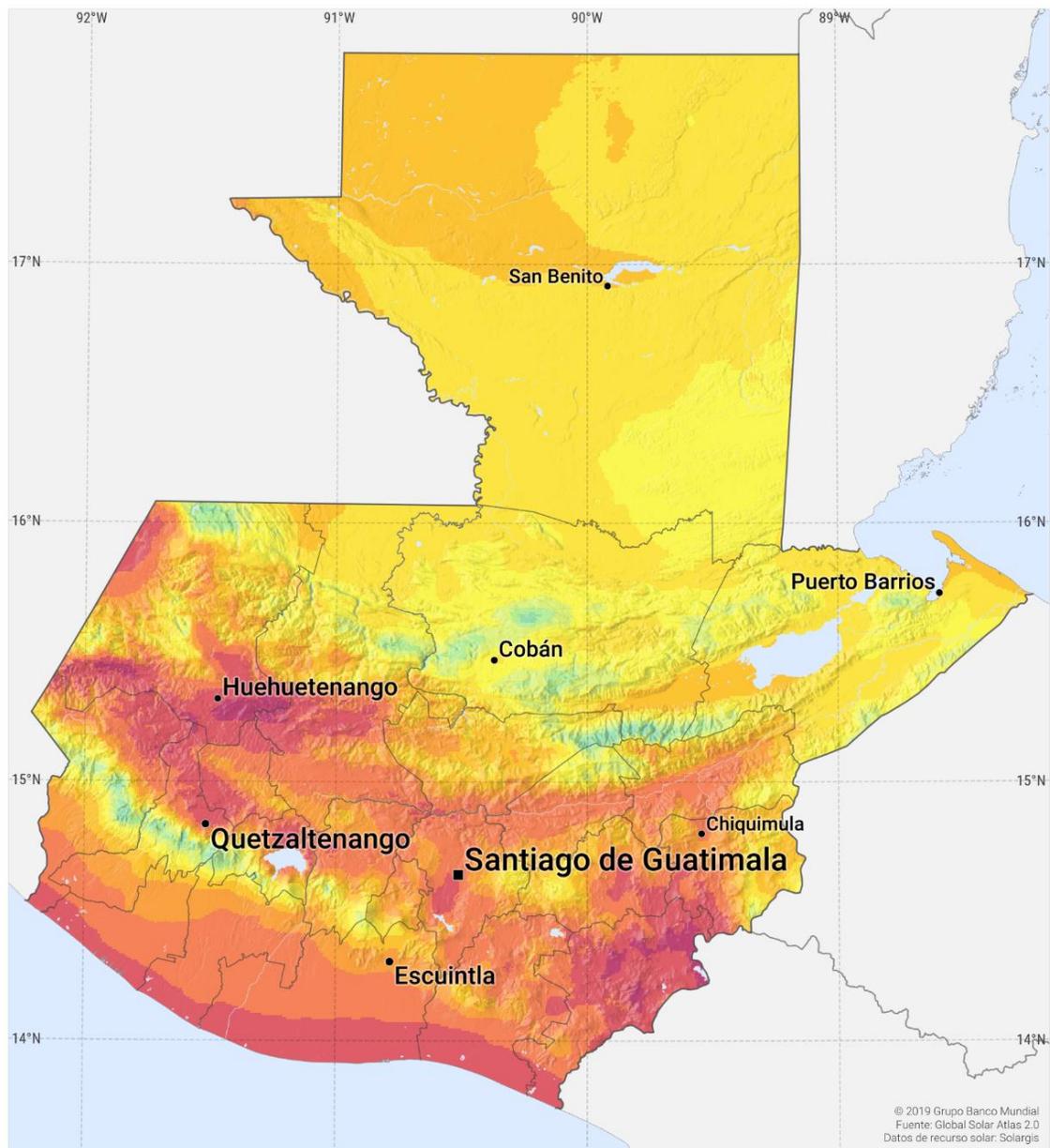
Tabla 1.2 Composición de la generación no renovable 2021



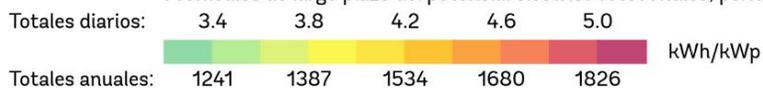
La tabla 1.2 muestra la generación mensual de energía. Fuente: <https://www.amm.org.gt/portal/>

Figura 1.13 Radiación Solar Guatemala

MAPA DE RECURSO SOLAR

**POTENCIAL ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO****GUATEMALA**

Promedios de largo plazo del potencial eléctrico fotovoltaico, periodo 1999-2018



Este mapa está publicado por el Grupo Banco Mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis. Para más información y términos de uso, por favor visite <http://globalsolaratlas.info>.

Fuente: globalsolaratlas.info

### **1.3 Transferencia de Calor**

Consiste en un fenómeno físico, donde la transferencia de energía calórica o térmica de un medio a otro, se logra mediante el flujo de energía de un punto mayor de temperatura a un punto menor, alcanzando un equilibrio térmico. Una vez establecida la igualdad de temperatura termina la transferencia de energía. *“El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas o entre un sistema y el exterior debido a una diferencia de temperatura”*. (Yunes A Cengel, 2012) p.60. La transferencia de calor ocurre por tres mecanismos principales: radiación, convección, conducción.

#### **1.3.1 Transferencia de Calor por Radiación**

En la transmisión del calor por radiación un cuerpo cede parte de su energía interna a través de la emisión de ondas electromagnéticas. Al absorberse estas ondas electromagnéticas por otros cuerpos, su energía pasa de nuevo a un movimiento térmico de las moléculas y, por tanto, a un aumento de temperatura. A su vez, estos cuerpos se encuentran a una temperatura y por tanto emiten radiación electromagnética que puede ser absorbida por otros cuerpos intercambiándose energía entre los mismos. Así, el proceso de intercambio de energía por radiación es un proceso de absorción y emisión posterior de energía en forma de fotones por parte de los átomos y moléculas de una sustancia. (Domingo, julio 2013) p. 27.

Este tipo de transferencia de calor ocurre sin que exista contacto entre los cuerpos, esto dependerá de la intensidad de temperatura y la longitud de onda de la radiación. Y el mayor ejemplo es el Sol, la distancia que lo separa de la Tierra son millones de kilómetros, así que su temperatura es tan alta que irradia luz y calor en grandes cantidades.

#### **1.3.2 Transferencia de Calor por Convección**

Cuando se mezclan dos líquidos el de mayor temperatura le transfiere calor al otro. Es decir, un fluido recibe calor y se mueve para transmitirlo dentro de un espacio donde se encuentra contenido. La convección ocurre por medio del movimiento de un fluido, sea gaseoso o líquido. *“es la transferencia de energía entre una superficie sólida y el fluido adyacente que se encuentra en movimiento”*. (Yunes A Cengel, 2012) p. 62.

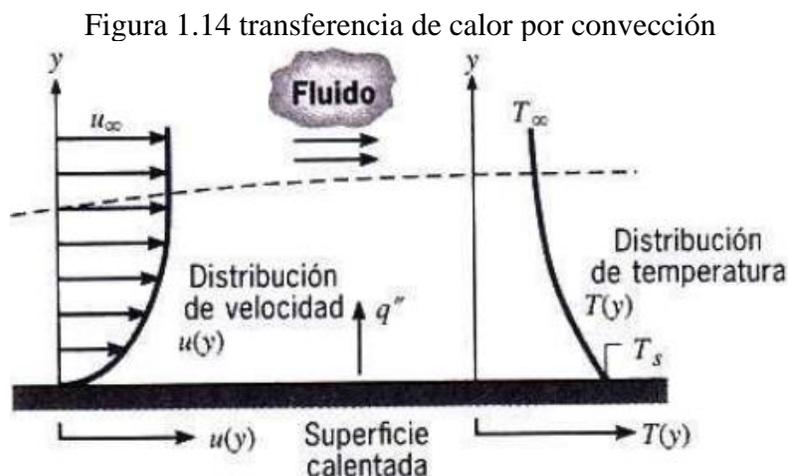
Algunos ejemplos de este tipo de transferencia de calor son conocidos en sistemas de calefacción de aire caliente y de agua caliente, el sistema de enfriamiento de un motor de combustión, si el fluido es impulsado por un ventilador o bomba se llama convección forzada.

### 1.3.3 Transferencia de Calor por Conducción

La transferencia de calor se genera mediante el contacto directo entre las partículas de un cuerpo con las de otro, sin intercambiar materia entre ellos. *“la conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, como resultado de la interacción entre partículas”*. (Yunes A Cengel, 2012) p. 62. Solo existe transferencia de calor cuando se encuentran a diferentes temperaturas, sucede principalmente en sólidos.

### 1.3.4 Transferencia de calor en los deshidratadores solar

En los deshidratadores solares, la transferencia de calor se produce de dos formas. La energía proviene del sol como radiación, significa que el sol cede energía interna mediante ondas electromagnéticas, esta radiación se transforma en energía calorífica, que incide y captura el colector solar, luego las paredes del colector se calientan por conducción, es decir, las paredes absorben calor y lo transmiten directamente a las partes adyacentes. El aire fresco que entra se calienta y circula hacia la cámara de secado por un proceso de convección, las partículas de aire que ingresan absorben calor aumentando su energía cinética por el simple hecho del movimiento aleatorio del fluido (figura 1.14), que a su vez disminuye su densidad generando que ascienda y circule entre los alimentos para retirar la humedad que contienen.



Fuente: (Larios Saldaña & Teixeira Da Silva) p.26.

Si  $T_s > T_\infty$  la transferencia de calor por convección entre la superficie y el flujo exterior se dará. La velocidad va de cero en la superficie hasta un valor determinado  $u_\infty$ . De manera general la ecuación para este tipo de transferencia de calor se conoce como ley de enfriamiento de Newton:

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

$q''$  = flujo de calor por convección ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$h$  = constante de proporcionalidad ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ), consiste en un coeficiente de transferencia de calor por convección.

$T_s - T_\infty$  = diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido.

#### ***1.3.4.1 Sistemas de deshidratación***

La deshidratación se lleva a cabo mediante dos métodos básicos, procesos adiabáticos y no adiabático. En los procesos adiabáticos, el calor de evaporación lo aporta el calor sensible del aire en contacto con el producto a secar. En un proceso no adiabático el calor de evaporación es proporcionado por calor radiante o transferencia de calor a través de las paredes en contacto con el material a secar, en todos los métodos de deshidratación, el alimento a secar debe estar en contacto con algún medio, en la gran mayoría resulta siendo este aire, para reducir la humedad en el producto y su entorno.

También entra en función la primera ley de la termodinámica conocida como principio de conservación de la energía, donde indica que, si se realiza trabajo sobre un sistema o bien este intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiara, da lugar a “la energía no se crea ni se destruye solo se transforma”. Así pues, siendo un sistema abierto intercambio de masa y energía, cuando el sistema pasa del estado A al estado B, su energía cambia.

#### **1.4 Sistema Fotovoltaico Autónomo**

Los sistemas fotovoltaicos son plantas generadoras de electricidad que se utilizan para producir energía eléctrica por medio de la radiación proveniente del Sol. Están compuestos de varios elementos dependiendo del tipo de sistema (Autónomos o Interconectados a la red). La energía fotovoltaica es convertida directamente de la radiación solar generando electricidad en forma de corriente continua. Dicha radiación es capturada por dispositivos semiconductores llamados células fotovoltaicas y un conjunto de estas células componen un módulo fotovoltaico,

tienen la capacidad de absorber fotones de luz y emitir electrones. Cuando estos electrones son conducidos se logra una corriente eléctrica. Estos sistemas son un tipo de energía renovable ya que su fuente de energía es el sol, siendo limpio, disponible, gratuito y respetuoso con el medio ambiente. Su mayor aplicación generalmente consiste en zonas donde el acceso a energía eléctrica no está disponible.

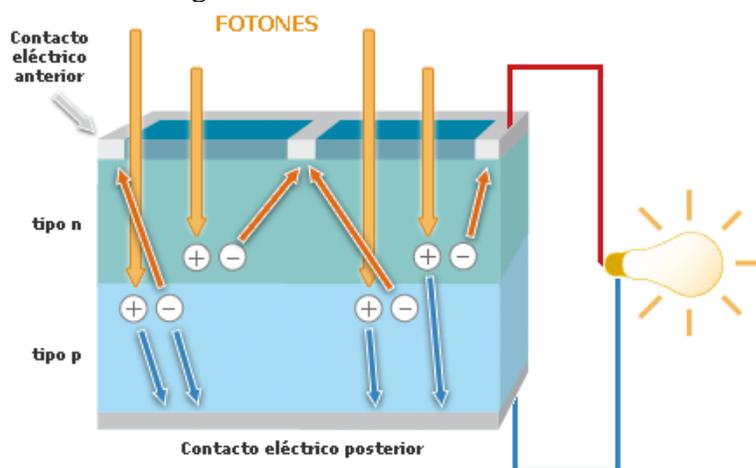
En 1839, se reconoce por primera vez el efecto fotovoltaico por el físico francés Alexandre-Edmond Becquere. En 1883 se construye la primera celda solar con una eficiencia del 1%. Las aplicaciones de la celda de selenio fueron para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas. La celda de silicio que hoy día utilizan proviene de la patente del inventor norteamericano Russell Ohl. Fue construida en 1940 y patentada en 1946. Para el año 1954, los avances logrados con la celda de silicio contribuyeron a la producción comercial, lográndose una eficiencia del 6%. Y en año 2020 la eficiencia de las celdas equivale al 18.7%.

#### **1.4.1 Efecto Fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados, absorbidos o pueden pasar a través de él. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. (Luis Guillermo Fernández García) p.15.

En la figura 1.14 se observa la caracterización del efecto fotovoltaico, donde los fotones transfieren la energía que contienen a los átomos y crear una corriente eléctrica, estos semiconductores tiene dos capas de materiales dopadas tipo P y tipo N, con el único objetivo de formar un campo eléctrico, así que, cuando la luz incide sobre la célula para liberar electrones quedan atrapados por el campo eléctrico, logran una corriente. Tipo N contiene exceso de electrones libre. Tipo P, tiene exceso de huecos. Los electrones empiezan a moverse de una capa a otra y se forman los dos polos.

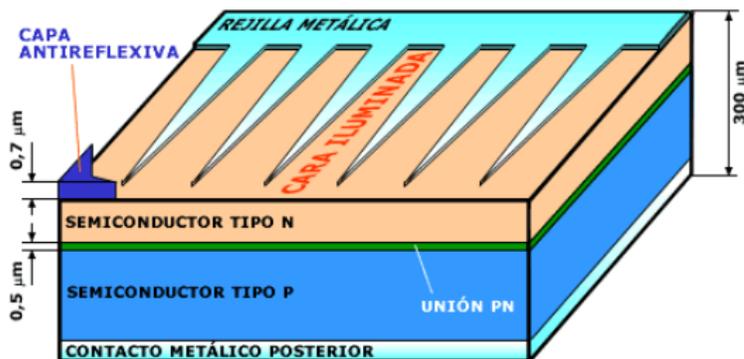
Figura 1.15 Efecto Fotovoltaico



Fuente: (Romillo) p.52.

El efecto fotovoltaico, los semiconductores dopados (tipo N y tipo P) y una capa de silicio (usualmente) forman una célula fotovoltaica, así se tiene un campo eléctrico entre ambos electrodos metálicos, donde los electrones excitados sean atrapados, facilitando la conducción de las cargas eléctricas. Por lo tanto, una celda fotovoltaica es un dispositivo electrónico, que al momento de incidir la energía luminosa sobre su superficie la convierte en energía eléctrica. Las partes más importantes de la celda son las capas de semiconductores ya que es donde se crea la corriente de electrones. Los semiconductores son materiales capaces de cumplir y actuar como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía.

Figura 1.16 Celda Fotovoltaica



Fuente: (Luis Guillermo Fernández García) p.16

Las células fotovoltaicas empleadas en los módulos o paneles solares y con relación a eficiencia-coste, utiliza para su fabricación el material de Silicio y se dividen en tres categorías:

- Silicio Monocristalino, están constituidas por un único cristal de silicio más puro, las placas son de color negro uniforme. Ideal para espacios pequeños. Tienen un alto costo por su fabricación. Ideal para climas fríos, tienden absorber mejor la radiación y lentitud en el proceso de calentamiento. Siendo más eficientes.
- Silicio Policristalino, formadas por un conjunto de cristales de silicio, son más eficientes a altas temperaturas produciendo más energía, rapidez en el proceso de calentamiento (lo absorben a una mayor velocidad). Las placas son de color azul marino. Son más económicos debido a que su fabricación es más rápida.
- Silicio Amorfo, son menos eficientes que las anteriores, pero también más baratas, menos duraderas, se emplean en aplicaciones solares como relojes o calculadoras. (González) p. 10. Proceso de fabricación sencillo.

## **1.4.2 Componentes de un Sistema Fotovoltaico Autónomo**

**1.4.2.1 Módulos Fotovoltaicos**, también llamados paneles solares, están compuestos de una cantidad de celdas fotovoltaicas conectadas en serie o paralelo, de modo que proporcione la tensión y corriente requerida para el suministro eléctrico. Por lo que la producción de energía deriva de la insolación. La potencia que indica cada módulo depende directamente del número de celdas con el que se fabrique, generando corriente directa (DC) y se encuentran con voltaje normalmente de 12v o 24v (voltios) y una variedad de potencia desde 50W hasta los 600W según la marca. La potencia máxima que un módulo entrega está bajo condiciones estandarizadas correspondiente a: Radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$  y temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura no ambiente).

Los paneles fotovoltaicos están formados por la agrupación de células fotovoltaicas. Aunque se pueden encontrar paneles especiales o incluso fabricar paneles a medida, el número de células habituales de los paneles comerciales es de 36, 60 y 72. Se utiliza estos números de células como medida normalizada para fabricar paneles de distintos tamaños que sean adecuados para los diferentes usos comunes. (Guevara) p.39.

Un módulo solar consiste en una cubierta exterior transparente de 3 o 4 mm de espesor de vidrio templado. El material de relleno interior, funciona de encapsulante y que sirve para recubrir las células fotovoltaicas de la humedad o aire. Contiene una cubierta posterior como aislante dieléctrico también ofrece una resistencia a la radiación ultravioleta. Dentro van las

células fotovoltaicas e interconectadas en serie o paralelo, resultando dos tramos finales de salidas (positiva y negativa) de conexión a una caja de bornes para su cableado exterior. Los paneles solares de grado comercial incluyen diodos de bloque para evitar que las baterías envíen energía a los paneles cuando el sol no incide, así evitando que las propias baterías se descarguen, reduciendo los ciclos de carga. Y finalmente el marco estructural de aluminio normalmente del cual se sostiene para su instalación.

Los módulos fotovoltaicos se orientan hacia la dirección del Sur y su inclinación es respecto a la latitud del lugar de instalación, recibiendo la mayor cantidad de luz solar posible durante el día. De esta manera se tendrá un mayor rendimiento de generación de energía. Se debe evitar sombras que afecten al módulo, ya que si una parte de las celdas recibe estas sombras el rendimiento del panel será bajo.

**1.4.2.2 Controlador**, es el dispositivo que regula la intensidad de carga y protege las baterías de los paneles solares ante sobrecargas y descargas profundas. Tiene la capacidad de un control automático dependiendo de las diferentes situaciones del día (clima), y donde sus parámetros de funcionamiento se modifican de manera manual. “la intensidad y tensión producida por los módulos fotovoltaicos es transferida hacia las baterías, pero antes debe ser controlada para asegurar que es adecuada para las baterías, protegiendo así la vida de los acumuladores durante el proceso de carga y descarga”. (Guevara) p.42.

Un regulador de carga solar se coloca entre el módulo fotovoltaico y el conjunto de baterías y básicamente se encarga de controlar el flujo de energía que circula entre ambos equipos. El control del flujo de energía se realiza mediante el control de los parámetros de intensidad (I) y voltaje (V) al que se inyecta en la batería. Este flujo de energía depende del estado de carga de las baterías y de la energía generada por el módulo fotovoltaico. El regulador de carga solar controla constantemente el estado de carga de las baterías para hacer el llenado óptimo y así alargar su vida útil.

Los controladores PWM (Pulse Width Modulation- Modulación por anchura de pulsos), son los más sencillos, básicamente es un interruptor dispone de un diodo haciendo que los paneles funcionen a la misma tensión que las baterías, provocando que no trabajen a su punto máximo de potencia. Se dañan al sobrepasar su intensidad normal, se emplean para sistemas de baja potencia. Existe otro tipo de reguladores que maximizan la energía capturada por el panel solar

son los controladores MPPT (Maximum Power Point Tracking-Seguidor del punto de máxima potencia), los MPPT maximizan su corriente a la salida a baterías, ya que son capaces de adaptar la entrada fotovoltaica a la tensión de baterías. Esto le permite hacer funcionar a la placa en su punto de máxima potencia para obtener la máxima eficiencia de producción de energía. Se dimensionan dependiendo la potencia fotovoltaica y la tensión en baterías. Evita que las baterías se descarguen durante la noche o proporcionan información del estado de carga del sistema e información de la instalación a través de la pantalla incorporada.

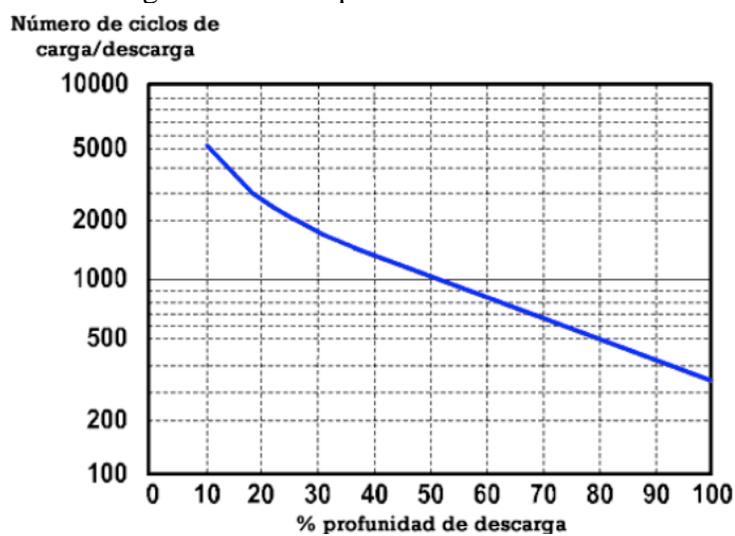
**1.4.2.3 Inversor**, es un dispositivo electrónico capaz de transformar una corriente continua (DC) en una corriente alterna (AC) a un voltaje y frecuencia determinados. Se pueden utilizar en sistemas fotovoltaicos autónomos o también en sistemas conectados a la red eléctrica. Para elegir un inversor que funcione correctamente con el sistema fotovoltaico se debe tomar en cuenta: la tensión nominal de entrada y salida, la potencia, la frecuencia y el tipo de onda.

**1.4.2.4 Baterías**, su propósito es almacenar energía producida durante las horas de sol, y así alimentar la demanda de consumo, que en su mayoría suele ser por las tardes o noche, entregando la carga eléctrica necesaria haciendo funcionar los equipos electrónicos o luminarias. Dependiendo de la situación del sistema, están conectadas en serie o paralelo. La capacidad de una batería se mide en amperios-hora (Ah) para un determinado tiempo de descarga. Tienen un voltaje nominal de 2, 6, 12 y 24 V. Su tiempo de vida se mide como el número de ciclos carga/descarga, por lo que cada fabricante brinda tablas y datos donde muestran las características de cada batería que comercializan, ver figura 1.16. Una batería descargada totalmente sufre daños serios y pierde gran capacidad de carga, así que cuanto menos profundos sean los ciclos de descarga, mayor será la duración de la batería. Existen varios tipos de baterías la cuales son:

- **Baterías de Acido-plomo**, son confeccionadas a base de fibra de vidrio absorbente, de manera que al ensamblar la batería e introducir el electrolito líquido, este se absorbe por la fibra AGM (Absorbent Glass Mat – Fibra de vidrio absorbente) que opera como una esponja. Requiere mantenimiento cada 3 meses, por lo tanto, su vida útil se conserva mejor. Se comercializan una gran variedad de marcas y su gran diferencia es la calidad de fabricación y tiempo de vida útil, precio, por lo que algunas requieren mantenimiento seguido (cada mes).

- Baterías Gel. Soportan descargas profundas y ambientes con vibraciones, golpes y altas temperaturas. No requieren mantenimientos. Deben cargarse con tensiones más bajas, por eso el cargador debe estar correctamente ajustado.
- Baterías de Litio, son baterías de tamaño reducido, ligeras, seguras que acumulan grandes cantidades de energía por tamaño y peso, con un alto voltaje por celda, sin efecto memoria (efecto memoria: reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas) de forma que la primera carga no tiene nada que ver con su duración y se descarga lineal. Su rendimiento disminuye hasta el 25% a bajas temperaturas.

Figura 1.17 Tiempo de vida de una batería



Fuente: (Abelairas) p.34

Los sistemas fotovoltaicos autónomos, su mayor implementación ha sido, en lugares sin acceso a energía eléctrica. En lugar de satisfacer la demanda eléctrica tiene la función de acumular energía para disponer de ella en horas de la noche, y durante el día hacer uso como lo requiere. Por su capacidad con la que cuentan y características de no contaminar, un rendimiento adecuado, mantenimiento simple, tiempo de vida útil alto, se disponen para incluirlos en proyectos innovadores que cumplan y ayuden a las personas satisfaciendo una necesidad, contribuyendo a un mejor desarrollo.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO Y PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE DESHIDRATADOR

#### 2.1 Breve historia de Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango.

Era conocido por el nombre de Morazán, luego la población solicitó que fuera un distrito. Alrededor de 1986 por su desarrollo y progreso se le acreditó la categoría de Villa. Y en ese momento hizo llamarse Franklin, pero por acuerdo gubernativo en 1889 se cambió a Colomba Florida. Un año más tarde quedó oficialmente como Colomba Costa Cuca. Según este nombre es en honor a las hijas del General Manuel Lisando Barillas (presidente período 1886-1892). (Soch, 2018).

Corresponde a uno de los 24 municipios que conforman al departamento de Quetzaltenango, es un lugar que destaca por su producción cafetalera, entre la población le llaman Colomba Flor del Café. Los idiomas que predominan es el Mam, k'iche' y el español. El aniversario del municipio es el 26 de agosto de cada año.

#### 2.2 Aspectos físicos

##### 2.2.1 Ubicación geográfica y Extensión territorial

El municipio se encuentra situado en la parte oeste del departamento de Quetzaltenango, región VI o región Sur-Occidental. Limitado al Norte con San Juan Ostuncalco, San Martín Sacatepéquez, al Este con El Palmar, Quetzaltenango, El Asintal y Nuevo San Carlos (Retalhuleu). Al sur con Flores Costa Cuca y Génova. Al oeste con El Quetzal, San Cristóbal Cucho (San Marcos).

Cuenta con una extensión territorial de 212 kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) y a una altura de 1,011.37 metros sobre el nivel de mar. Latitud Norte de 14°42'26" y longitud Oeste de 91°43'44". Es uno de los territorios más grandes de dicho departamento. (Grajeda, 2020).

##### 2.2.2 Clima

El municipio de Colomba Costa Cuca por su altura y topografía tiene un clima templado húmedo, que comprende una temperatura alrededor de los 20 a 30 °C.

### **2.2.3 Actividades Económicas**

Producción agrícola, cultivan café (como producto principal del municipio), maíz, hule, izote flores, macadamia, cardamomo, banano plantas ornamentales, plantas medicinales, plantas vegetales comestibles, frijol y gran variedad de frutas.

Producción artesanal, muebles de madera, artículos de hierro, hojalata, candelas o velas, zapaterías, sastrerías, estructuras metálicas materiales de construcción.

La situación económica familiar se estima que en su mayoría son personas de escasos recursos económicos, habrá un 75% de extrema pobreza. Gran parte de la población se dedica al trabajo agrícola, ganando el sustento diario con sus fuerzas físicas como jornaleros, desempeñando diferentes actividades como limpia, ahoyados, siembra y cosecha, despulpado, secado y escogida de café, fumigación, deshojado, fertilizar la siembra, elaborar almácigo, crianza de animales, estos y otros trabajos que realizan en cada jornada ya sea por día o por tarea.

El problema nutricional se debe a las condiciones de pobreza y extrema pobreza en que viven las familias, a la falta de educación y la poca preparación de los padres, lo que incide en la calidad del cuidado que les brindan a sus niños en la etapa temprana del desarrollo. (UNICEF, 2020)

Por las condiciones, no todas las familias tienen una buena alimentación, esto se debe en gran parte por ser familias muy numerosas y que al mismo tiempo carecen de información nutricional. Algunas familias gozan de tres tiempos de comida siendo nutritiva por la variedad de alimentos que consumen, pero existe el caso que algunas otras solo cuentan con dos tiempos, no tienen un balance de alimentación. La mala alimentación ocasiona enfermedades, y una de ellas es la desnutrición afectando gravemente a los niños.

## **2.3 Condiciones del lugar para el funcionamiento del deshidratador solar**

### **2.3.1 Descripción del proyecto**

El proyecto consiste en desarrollar el diseño de un deshidratador híbrido solar para secado de alimentos que cultivan a pequeña escala, estos alimentos son diversos en cada una de las temporadas del año, ya que en ocasiones no consiguen venderlos por completo buscando la forma de no desperdiciarlos y satisfaga las necesidades de las personas que lo utilicen,

adquiriendo un desempeño adecuado con materiales locales para su fabricación, un secado en menor tiempo, y los productos finales se comercialicen de manera regular localmente en tiendas rurales alcanzando el área urbana, y a su vez siendo alimentos saludables que contribuya reducir el hambre y la desnutrición en la población.

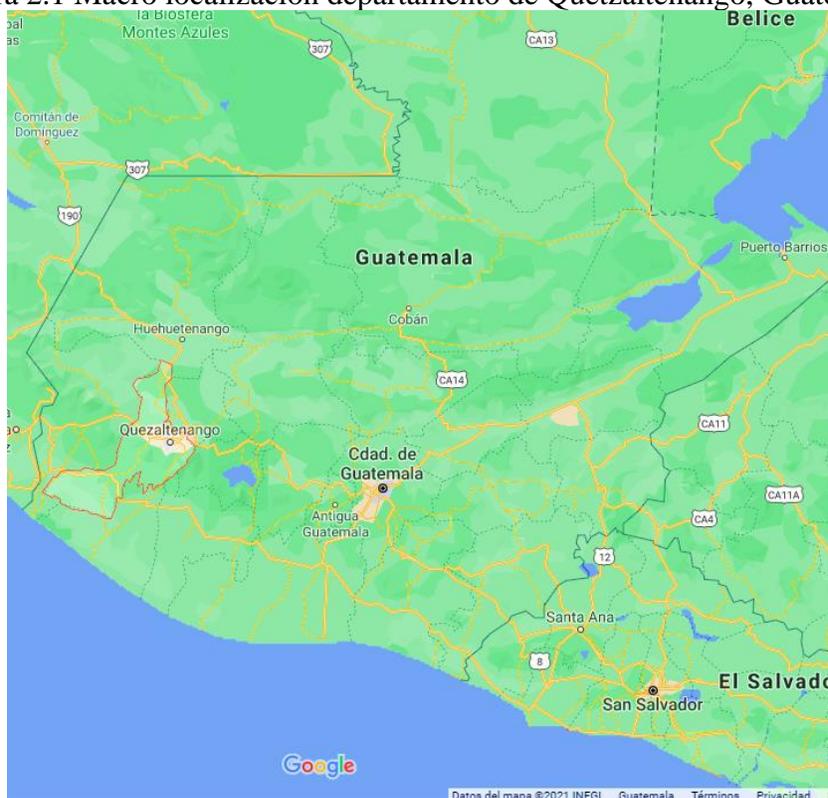
Este diseño cumpla con una tecnología apropiada, siendo de una escala suficiente para crear un beneficio económico y fuente de trabajo en la comunidad. La población necesita un mejor acceso a alimentos saludables. Los pequeños agricultores cultivan y recogen variedad de productos durante el año, muchos de estos productos son para consumo familiar, pero el resto venderse generando ingresos económicos.

## 2.3.2 Localización del proyecto

### 2.3.2.1 Macro localización

Teniendo en cuenta que la nación es Guatemala y su región es el departamento de Quetzaltenango, ver figura 2.1.

Figura 2.1 Macro localización departamento de Quetzaltenango, Guatemala.



Fuente: Google Maps.

## Mercado

- Actividad principal la agricultura y se enfoca en la cosecha de café.
- Todo tipo de frutos por el clima que los favorece.

## Servicios públicos

- Cuenta con los servicios municipales principales para suministrar a las comunidades cercanas.
- En aldeas muy lejanas es difícil el acceso.

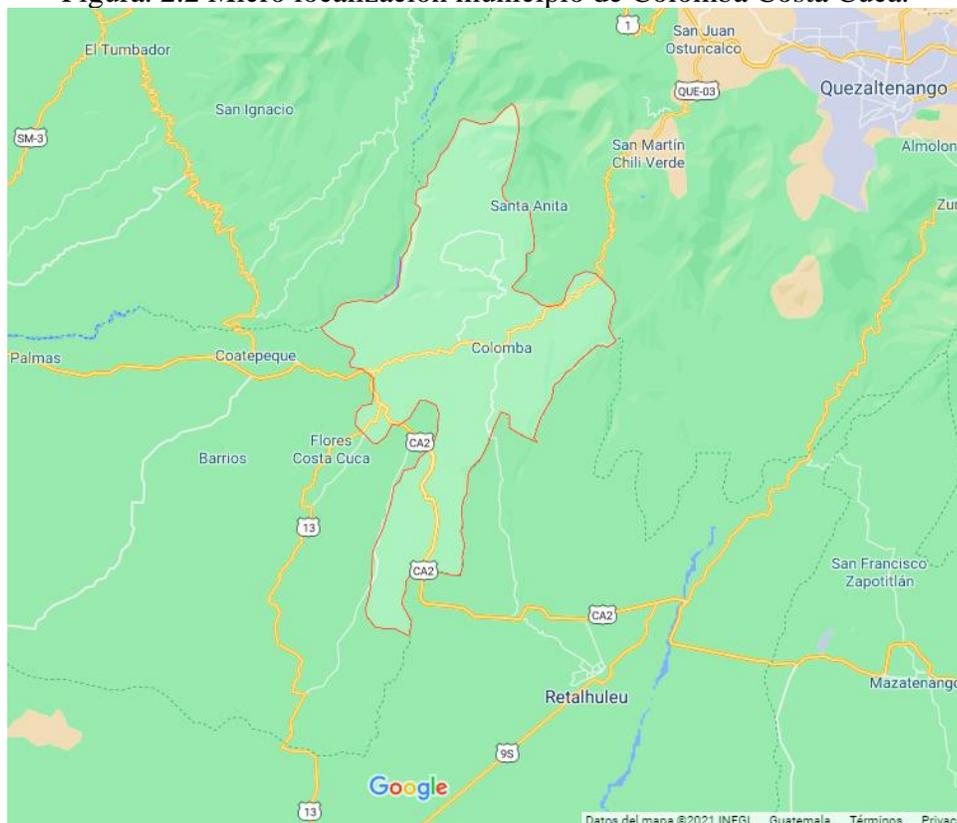
### ***2.3.2.2 Micro localización***

En el departamento de Quetzaltenango se encuentra ubicado el municipio de Colomba Costa Cuca. Figura 2.2. Es uno de los municipios que destaca por su gran extensión territorial. Tiene un pequeño valle, llanuras y hondonadas, cimas con árboles gigantescos y plantaciones de cafetales de hojas verdes y brillantes.

La mano de obra ha crecido teniendo un enfoque a su actividad económica principal siendo la agricultura, produciendo todo tipo de productos por el clima del lugar. El municipio prospera, su población es de escasos recursos y aun así muchas personas han sobresalido en el comercio y campo profesional. Pero suceden los casos donde algunos tienen que emigrar a otros lugares por motivo de mejores salarios y así ayudar a su familia.

El proyecto pretende beneficiar a comunitarios de Finca La Florida, aldea de Colomba Costa Cuca. Utilizando las habilidades y materiales locales. Empleando energía solar como fuente de calor para la deshidratación de productos agrícolas, y se conserven por más tiempo.

Figura. 2.2 Micro localización municipio de Colomba Costa Cuca.



Fuente: Google Maps.

#### Transportes

- Disposición de vías principales para la comunicación entre municipios aledaños.
- Vías rurales para la circulación de una comunidad a otra.

#### Disponibilidad de materiales y tecnología

- El municipio se encuentra cercano a otros para suministros de cualquier necesidad.
- Acceso a locales en materiales de la construcción, madera y metalmecánica.

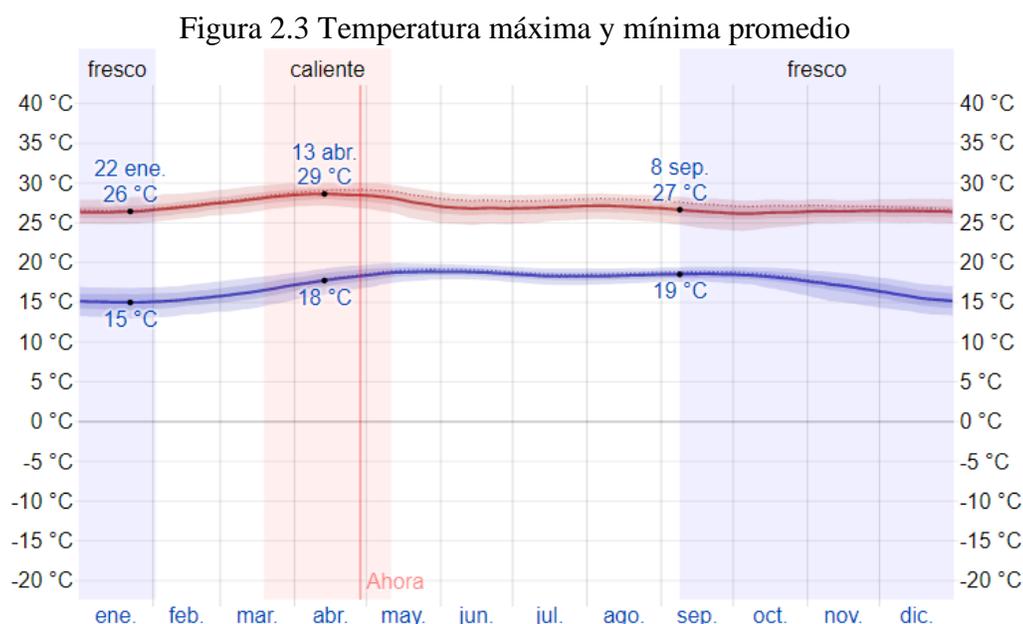
### 2.4 Factores Climáticos

La época de lluvia es bochornosa, la temporada seca es despejada, tiende a ser sofocante y caliente durante todo el año. La temperatura generalmente varía de 15°C a 29°C, y en pocas ocasiones baja a 13°C o sube a más de 30°C.

### 2.4.1 Temperatura

La temperatura calurosa ocurre entre los meses de marzo a mayo, alcanzando una temperatura máxima promedio diaria de 26°C y una temperatura mínima promedio de 18°C.

La temporada fresca sucede durante los meses de septiembre hasta inicios de febrero, con una temperatura promedio diaria menor a 27°C, y una temperatura mínima promedio de 15°C. Enero es el mes con temperaturas más bajas para el municipio. En la figura 2.3, se muestra el comportamiento de la temperatura durante el actual año.



Fuente: es.weatherspark.com

Tabla 2.1 Temperatura promedio del municipio

Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Máxima	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	28 °C	27 °C	27 °C	27 °C	26 °C	26 °C	26 °C	26 °C
Temp.	20 °C	21 °C	22 °C	23 °C	23 °C	22 °C	21 °C	21 °C				
Mínima	15 °C	15 °C	16 °C	18 °C	19 °C	19 °C	18 °C	18 °C	19 °C	18 °C	17 °C	16 °C

Fuente: es.weatherspark.com

### 2.4.2 Nubosidad

El cielo cubierto por nubes varía durante todo el año. La época más despejada comprende los meses de noviembre hasta aproximadamente abril. Y viceversa alrededor de finales de abril empieza la parte más nublada del municipio terminando aproximadamente a mediados de

noviembre, durando 7 meses, pero durante este tiempo varía mayormente despejado o parcialmente nublado. Figura 2.4 indica el comportamiento de las nubes.

La temporada lluviosa dura alrededor de 9 meses, a inicios de marzo y finaliza a principios de diciembre. Pero la temporada de mayor lluvia empieza en mayo y termina a inicios de noviembre, que equivale a 5.7 meses de duración. Figura 2.5 muestra la probabilidad de lluvia durante el año en el municipio de Colom Costa Rica.

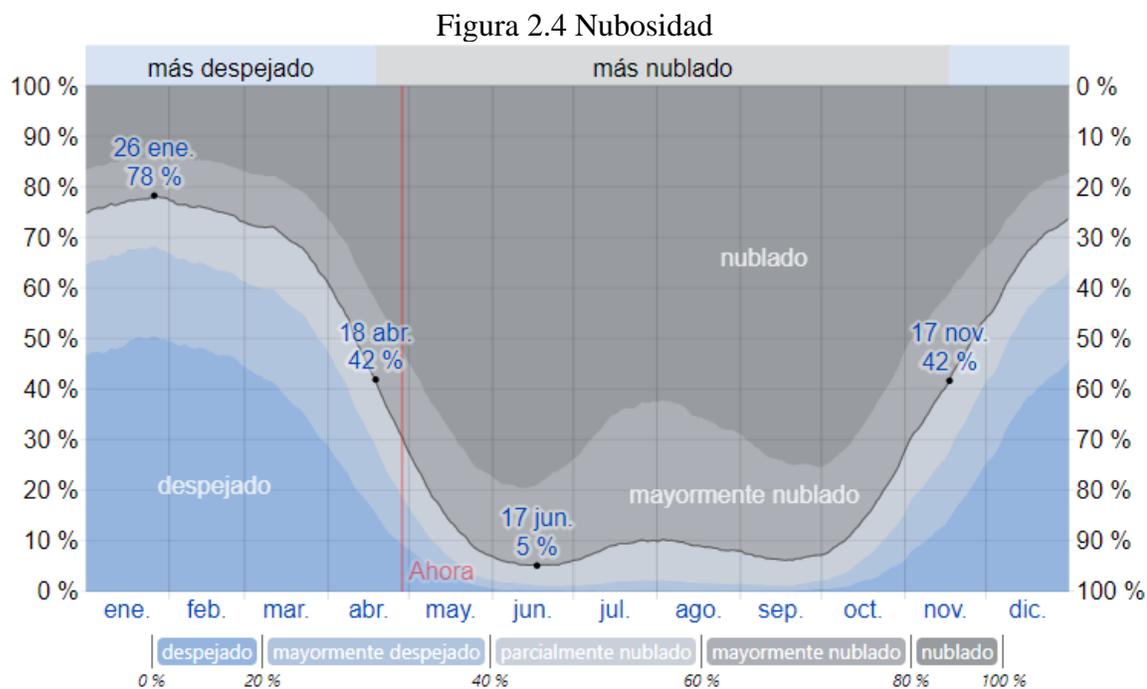
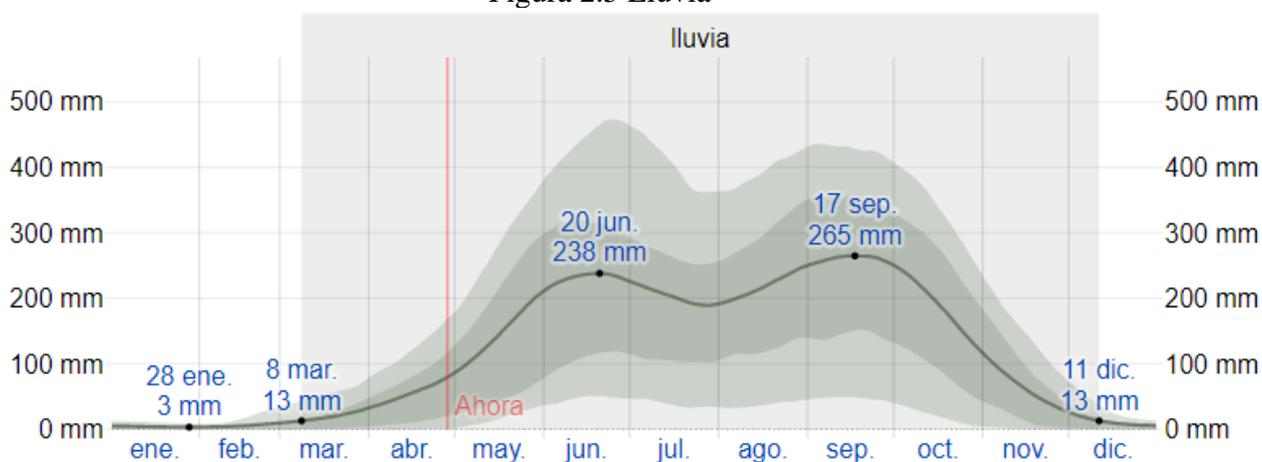


Figura 2.5 Lluvia

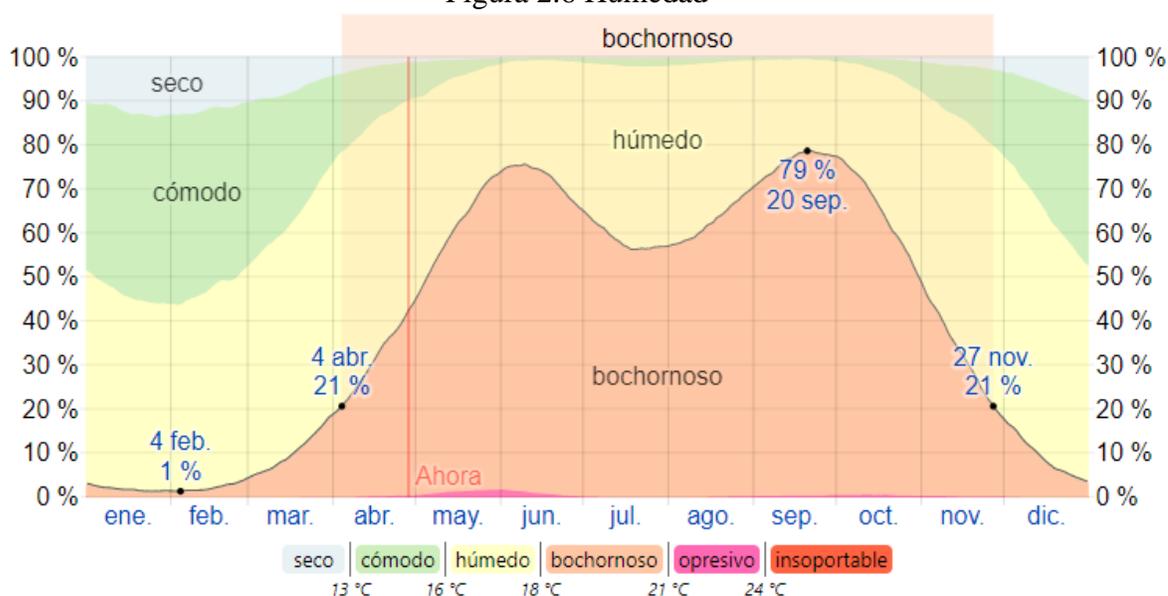


Fuente: es.weatherspark.com

### 2.4.3 Humedad

Cuando los puntos de rocío son más bajos es seco y cuando son altos es más húmedo, tiende a cambiar más lentamente, aunque la temperatura baje por la noche, en un día húmedo sucede que la noche también así lo sea. En Colomba la húmeda varía drásticamente, observar figura 2.6. Se estima que durante abril y noviembre es el tiempo más húmedo. Bochornoso, es decir, insoporable, sofocante (Real Academia Española, 2021). Opresivo es una percepción de ahogo.

Figura 2.6 Humedad



Fuente: es.weatherspark.com

#### 2.4.4 Dirección del Viento

El viento depende en gran medida de la topografía del lugar. En general la dirección predominante en Colomba varia durante el año en cada uno de los cuatro puntos cardinales. El viento con mayor frecuencia proviene del Sur con un tiempo estimado de abril a octubre, posteriormente del Norte durante los meses de octubre a marzo, de la dirección Oeste entre marzo a abril, y con una frecuencia menor en dirección del Este.

#### 2.4.5 Horas de Sol

El tiempo de horas de Sol durante un día es aproximadamente de 12 horas, como lo muestra la figura 2.7. Teniendo en cuenta que varía la luz natural mientras transcurren las estaciones del año, debido a la esfericidad del planeta Tierra como a su inclinación con respecto al astro Sol. De esta manera las horas de luz natural correspondientes a cada mes del año lo indica la tabla 2.1 en promedio.

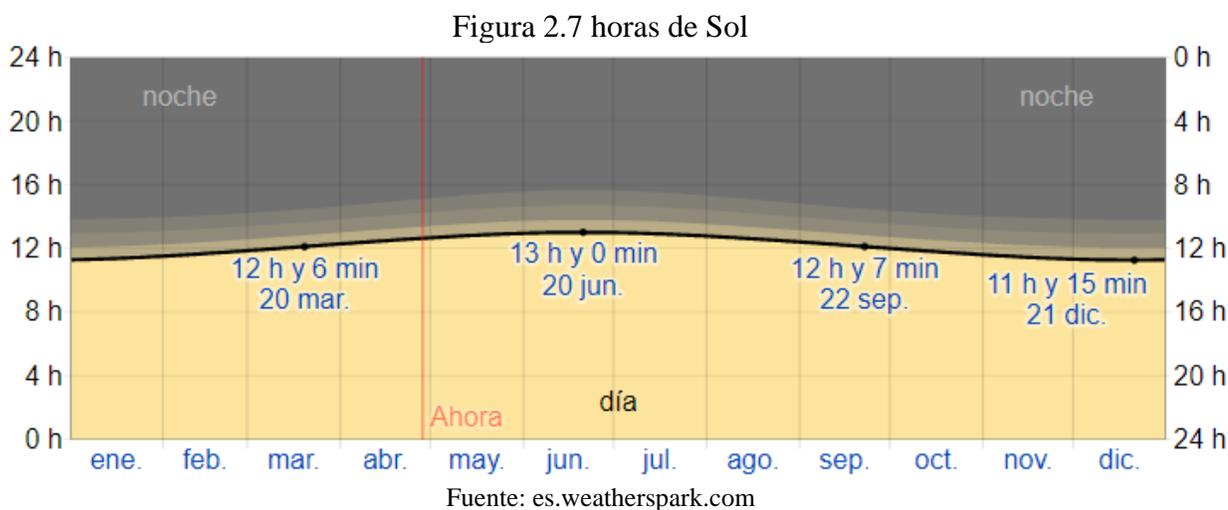


Tabla 2.2 Horas de sol

Horas de	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Luz natural	11.4h	11.7h	12.1h	12.5h	12.8h	13.0h	12.9h	12.6h	12.2h	11.8h	11.4h	11.3h

Fuente: es.weatherspark.com

#### 2.4.6 Energía solar

La energía solar en forma de radiación electromagnética proveniente del Sol, es un tipo de energía renovable disponible en la naturaleza y capacidad de regeneración continua, sin acción humana e inagotable siendo el presente y futuro para convertirse en fuente y producción de

energía eléctrica a nivel mundial. La cantidad de energía que llega a la superficie de la tierra varía por las estaciones del año, como los cambios de clima durante un día a otro, la absorción de las nubes, la dispersión y otros elementos atmosféricos que las debilitan. La radiación contiene luz visible y radiación ultravioleta (UV).

En el municipio de Colomba Costa Cuca, como se muestra en la figura 2.8, indica que entre los meses de febrero a abril es el período más resplandeciente, con una energía diaria promediado por metro cuadrado a 6.2KWh. Para los meses de agosto a octubre, se tiene un periodo menor de incidencia diaria de energía, en promedio es de 4.7 KWh. Esta disminución se debe a que durante estos meses esta mayormente lluvioso y nublado. En la tabla 2.2 se ve a detalle la cantidad de energía durante cada mes del año.

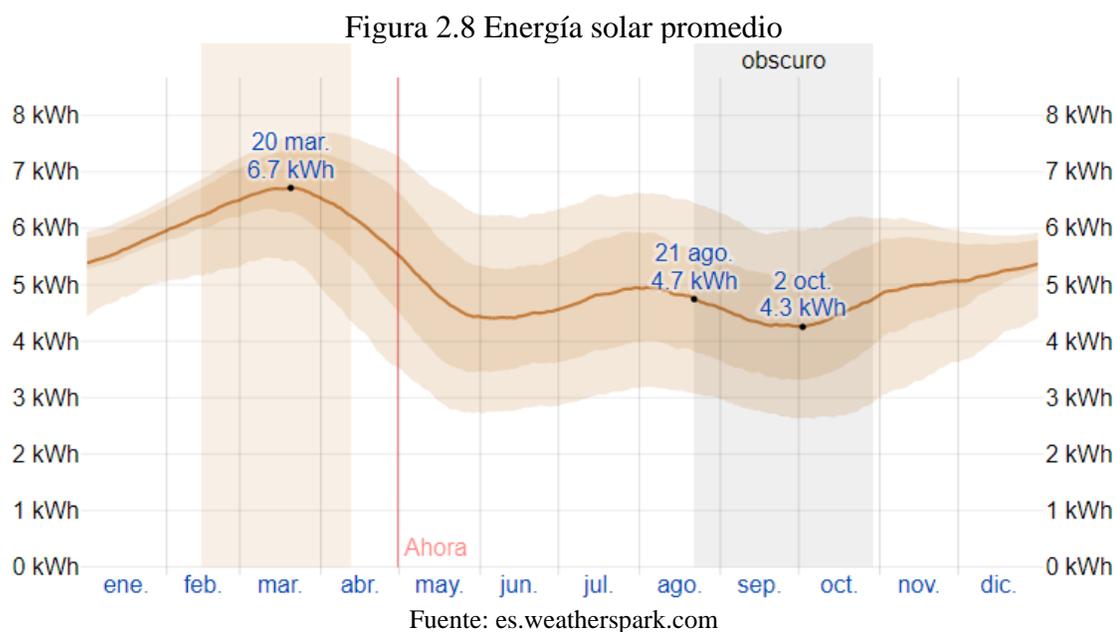


Tabla 2.3 Energía solar por mes

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Energía solar kWh	5.6	6.2	6.6	6.0	4.8	4.5	4.8	4.8	4.4	4.5	5.0	5.2

Fuente: es.weatherspark.com

## 2.5 Análisis de factores/parámetros para la deshidratación de productos agrícolas

El periodo de siembra en el municipio de Colomba Costa Cuca tiene las condiciones ideales, suficientemente cálidas durante el año para cultivar diferentes productos agrícolas. La mano de obra ha crecido con personal idóneo en varios ámbitos y habilidades, siendo su actividad agricultura como fuente económica principal.

Tabla 2.4 Factores/parámetros para proceso de deshidratación

Ítems	Descripción/Detalles
Zona de ubicación	Situado al sur del departamento de Quetzaltenango, uno de los municipios de mayor territorio con abundante vegetación. Con acceso mediante diferentes vías, por la ruta CA-2, también por el municipio de San Martín Sacatepéquez, San Juan Ostuncalco y desde la cabecera departamental que lo comunican con las principales rutas.
Temperatura	Varia de 16°C a 28°C, y en pocas ocasiones disminuye unos cuantos grados. La temperatura promedio es de 21.75°C (tabla 2.1)
Humedad	En el municipio se manifiesta de manera caliente húmedo en los meses de abril hasta noviembre. Si la temperatura sube el aire contiene más vapor de agua, quiere decir, cuanto más cálido sea el clima los niveles de humedad aumentan.
Energía Solar	Guatemala por su ubicación geográfica tiene una radiación solar potencial, promediando 5.2 KWh al año de energía solar por metro cuadrado. Observar tabla 2.3. Disminuyendo la radiación de mayo a septiembre por la época lluviosa.  Este tipo de energía renovable es inagotable, amigable con el medio ambiente, gratis.
Horas de Sol	12 horas aproximadas. Ver tabla 2.2

Nubosidad/lluvia	Corresponde los meses de mayo a octubre, donde el tiempo es más afectado por las lluvias. Mayormente despejado (un poco más del medio día) o parcialmente nublado.
Producto Agrícolas	Se cosecha una variedad de alimentos durante todo el año.  Se desea deshidratar frutas para consumo local y más adelante distribuirlo a otros lugares.

Fuente: elaboración propia.

## CAPITULO 3

### REVISIÓN DE PROTOTIPO

#### 3.1 Prototipo

El deshidratador solar que ha estado en uso, llevando a cabo pruebas de campo desde 2018 con la colaboración de usuarios en una cooperativa de la comunidad Quixaya aldea de San Lucas Tolimán, Sololá, consiste en un prototipo desarrollado con el equipo de trabajo de ATC basándose en el modelo del reporte final titulado Spring 2015 (Primavera 2015) ME491 de estudiantes de la Universidad del estado de Michigan y tutores de dicho proyecto, figura 3.1, siendo un deshidratador tipo pasivo indirecto, que cuenta con 5 bandejas para el secado de los productos agrícolas, adaptándolo con materiales disponibles localmente. En anexos 2 se adjunta parte del reporte.

Figura 3.1 Prototipo deshidratador



Fuente: Appropriate Technology Collaborative (ATC)

#### 3.2 Productos

Los productos que han deshidratado antes del proceso se preparan alrededor de una cantidad estimada entre 8-10 libras (Lbs), que luego del proceso de deshidratado se obtiene una cantidad reducida de 1-3 libras (Lbs), a continuación, se mencionan los alimentos utilizados:

- Banano

- Naranja
- Plátano
- Fresa
- Manzana
- Tomate
- Remolacha
- Yuca

Cada uno de estos productos son cosechados por los mismos agricultores de la localidad en las diferentes épocas del año, son cortados en rodajas, algunos se les retira la cascara porque tiene un espesor grueso provocando que el proceso sea lento y al mismo instante el aire caliente no lo penetre y colocados en las bandejas para después ser introducidas en la cámara deshidratadora figura 3.2. Los alimentos son puestos ordenadamente sin que se combinen o uno sobre otro. El tiempo de secado aproximadamente varía entre dos a tres días.

Figura 3.2 Alimentos en rodajas



Fuente: Appropriate Technology Collaborative (ATC)

### **3.3 Estado del prototipo**

#### **3.3.1 Materiales**

El deshidratador por ser del tipo indirecto muestra una gran ventaja sobre los productos, ya que los rayos solares no los impacta directamente, de esta manera no los deteriora rápidamente conservando sus propiedades nutritivas. Por tal razón los materiales juegan un papel importante para generar las ventajas que ayudan al proceso y protegen a todo el equipo, los materiales implementados para su construcción son resistentes y no ocasionen daños a los alimentos y nocivos para la salud.

La estructura está hecha con madera para soportar el peso y mantener una estabilidad ante las inclemencias del clima. Las paredes del colector solar, la cámara deshidratadora, la puerta son de plywood de  $\frac{1}{4}$  y de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (plg), los soportes son vigas de 2\*3 pulgadas (plgs), con un recubrimiento de pintura cuya principal finalidad es la protección del material. El techo es del tipo de dos aguas para que no se acumule agua en ninguna parte y las hojas se deslicen con facilidad.

La cubierta del colector solar es una lámina transparente sujeta en todos sus bordes con tornillos, la placa absorbente es un tablón de madera pintado de color negro para una mejor absorción de la radiación solar y también tiene instalado bolsas de plástico negras a los lados. Las aberturas con las que cuenta son rectangulares ubicándose en la parte de enfrente del colector solar es la entrada de aire, el aire ingresa impulsado por el efecto de tiro natural y la abertura de salida en la parte superior trasera abarcando el ancho de la cámara deshidratadora, tienen una malla plástica de protección y solo permite el paso de aire, además cuenta con pequeñas puertas corredizas para evitar el ingreso de insectos cuando no se utiliza o bien para contener la temperatura dentro de la cámara.

Respecto a las bandejas su construcción consiste en un marco de madera de pino, con malla plástica grado alimenticio. El interior del deshidratador solar cuenta con un aislante térmico de marca no determinada evitando así las fugas de energía.

#### **3.3.2 Incidencias del clima**

Las condiciones climatológicas afectan al equipo en las partes expuestas al exterior, en sus laterales el plywood presenta algunos desprendimientos de las capas del mismo material, los dos pasadores corredizos de la puerta presentan oxidación por falta de mantenimiento y no son

los más adecuados para estar en contacto con el agua, no siendo prácticos para el cierre por la posición en la que se encuentran. La lamina del colector solar es resistente a la lluvia. En general el viento no afecta al equipo.

### 3.4 Adaptabilidad

#### 3.4.1 Ergonomía

La interacción del manejo y uso del deshidratador solar entre los usuarios y equipo debe ser cómodo óptimo con el objeto de presentar bienestar a las personas, haciendo que el trabajo sea accesible para la movilidad de las bandejas como el traslado del equipo a otro lugar.

La mayor dificultad que presenta es con la abertura y cierre de la puerta figura 3.3, donde se puede notar que las bisagras están colocadas en la parte inferior de forma horizontal, esto da lugar a que la puerta se abra por completo al querer ingresar las bandejas, complicando el cierre ya que los pasadores están en la parte de arriba. Una persona de estatura promedio baja le sería complejo el manejo de la puerta. Otro problema que presenta es la movilidad del equipo ya que no cuenta con un lugar fijo, las mismas personas de la comunidad se organizan para moverlo a un lugar adecuado para su funcionamiento, alrededor de seis a ocho personas son quienes lo mueven.

Figura 3.3 Puerta de la cámara deshidratadora



Fuente: Appropriate Technology Collaborative (ATC)

Algunos alimentos durante las pruebas que han realizado necesitan ser removidos como lo son las tiras de yuca y al momento de abrir la puerta se pierde la temperatura dentro de la cámara

y luego se cierra donde el proceso inicia de nuevo generando un atraso. Si las bandejas se encuentran arriba es problemático para las personas al momento de alcanzarlas deben sacarlas e inclinarlas como se muestra en la figura 3.4. Lo recomendable es evitar detener el proceso y en lo más mínimo la intención de los usuarios con los productos en las bandejas, para no contaminarlos.

Figura 3.4 Remoción de productos en las bandejas



Fuente: Appropriate Technology Collaborative (ATC)

### **3.5 Mediciones del proceso**

#### **3.5.1 Temperatura**

El deshidratador solar no contiene algún aparato que ayude a medir y controlar la temperatura del aire para evaporar el agua de los alimentos. La manera en que lo realizan es al tanteo o con revisiones periódicas con solo viendo el aspecto de las rodajas e inclusive palpando los productos para sentir si tiene aún humedad, este último método no es el recomendable.

#### **3.5.2 Aire de entrada/salida**

La entrada del aire es mediante el efecto del tiro natural que pasa por el colector ganando energía generando que el aire sea más liviano ascendiendo por las bandejas y la diferencia de temperatura provoca que sea expulsado al medio.

#### **3.5.3 Cantidad de producto de entrada/salida**

Por la variedad de productos que manejan y preparan para secar el peso cambia (figura 3.5), algunos son más ligeros que otros, también les retiran la cascara o piel que los protege, las rodajas también son de diferente grosor para que el aire caliente logre atravesarlos. Cada una de las bandejas pueden contener dos libras de peso, dando como resultado una capacidad total de

diez libras, los usuarios colocan entre siete a nueve libras y al final se tiene una cantidad reducida de dos a tres libras de productos secos. Los productos no se combinan para cuando son almacenado sea práctico

Figura 3.5 Secado de los alimentos

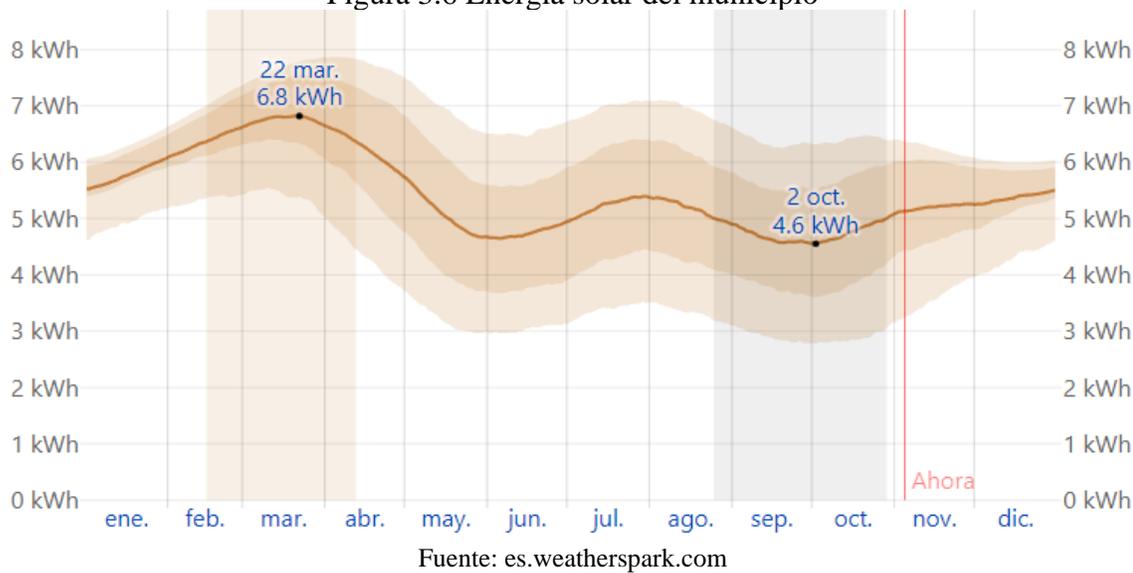


Fuente: Appropriate Technology Collaborative (ATC)

#### 3.5.4 Tiempo de secado

La temperatura va depender de como son los días en la comunidad, hablando propiamente del municipio de San Lucas Tolimán la temporada seca es mayormente despejada y caliente, entonces rondan entre 35°, 40° o incluso llegar a los 45° grados la temperatura dentro del deshidratador solar esto se logra determinar con un termómetro ambiental de pared. Con estos datos se establece que los productos pueden tardar un tiempo aproximado entre dos a tres días para secarse. En la figura 3.6 se muestra la energía solar del municipio, tomando en cuenta las variaciones estacionales en el día, las nubes entre otros elementos atmosféricos. Una energía máxima de 6.8kWh y una mínima de 4.6kWh.

Figura 3.6 Energía solar del municipio



La energía solar es favorable para que opere el deshidratador solar logrando promedios durante cada uno de los meses del año como se muestra en la figura 3.7.

Figura 3.7 Promedio de energía solar

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.
Energía solar kWh	5.8	6.4	6.8	6.2	5.1	4.8	5.2	5.2	4.7	4.8	5.2	5.4

Fuente: es.weatherspark.com

### 3.6 Secado de los productos agrícolas

#### 3.6.1 Factores que influyen en el deterioro de los productos

Los usuarios indican que los productos pueden dañarse o deteriorarse, por ejemplo, al momento de ser recolectados los alimentos y ser trasladados reciban golpes y no mantengan su uniformidad, un daño también puede ocurrir del corte de las rodajas no queden del mismo espesor, esto provoca que algunas se sequen más rápido que otras haciendo que pasen el límite de secado, tomando una forma dura y quebradiza y no se puedan consumir, difícil de masticar perdiendo valor comercial.

El tener los productos mucho tiempo almacenados provoca el enranciamiento y el pardeamiento esto hace desechar los alimentos por completo.

## CAPÍTULO 4

### CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO

#### 4.1 Selección tipo de deshidratador

Los alimentos como verduras, frutas no se deben botar a la basura cuando la cosecha ha sido abundante, sino buscar la forma de no desperdiciarlos y deshidratarlos es una manera para aprovecharlos como otra fuente de alimentación, por lo tanto, el deshidratador debe cumplir con los requerimientos para un funcionamiento y uso adecuado, logrando como resultado un producto de buena textura, calidad, apariencia y sabor.

La forma más practica es el secado al aire libre, colocando los productos directamente al sol sobre alguna superficie durante varios días, pero este proceso causa pérdidas disminuyendo la calidad, el valor del producto, la aparición de hongos, entre otros microorganismos, por las noches los productos se deben recoger, empleando mayor tiempo de secado y al mismo instante una contaminación a dichos productos, todo lo anteriormente mencionado, genera que este método sea el menos favorable de secado.

La implementación de un deshidratador híbrido solar indirecto para productos agrícolas, permite el secado y la conservación de las propiedades nutricionales por mayor tiempo, protección contra la contaminación ambiental, evita que insectos entren en contacto directo y durante el proceso de deshidratado, los rayos solares no impactan directamente a las rodajas de los productos. Esta operación se basa en la utilización de un elemento llamado colector de placa plana, este tiene como función captar la radiación solar y contenerla e incrementa la temperatura del aire cuando ingresa por este, para luego producir la deshidratación del producto en la cámara de secado que es herméticamente cerrada, con una temperatura controlada. El aire caliente al pasar por las bandejas donde se tiene colocado las rodajas de los alimentos retira el agua y sale de la cámara de secado por una abertura al medio ambiente sin ser nocivo.

Otras fuentes de energía utilizadas en los deshidratadores para su funcionamiento se basan en combustibles fósiles, leña, *“En la actualidad existen secadores los cuales son muy costosos, funcionan a electricidad, combustibles fósiles como el carbón y productos derivados del petróleo, emanan CO2 que produce el efecto invernadero y causa el calentamiento global”* (Germán Leonardo Roa Marín) p.17. Este tipo de fuentes energéticas conllevan inconvenientes

económicos y ecológicos, no son una alternativa ventajosa para los productores. En la zona reina del departamento de Quiché, cosechan y secan cardamomo logrando hacerlo con una secadora que emplea leña para general el fuego que calentara el aire y combustibles (diésel) para los motores de los ventiladores que impulsan el aire caliente y pase por las semillas de cardamomo, el sistema funciona aproximadamente por dos días gastando los combustibles y las personas que estarán a cargo del secado.

El uso de energías renovables se convierte en una gran alternativa y tecnología apropiada para ser aplicada en el funcionamiento de un deshidratador solar, por lo cual el uso de energía solar ayuda a preservar el medio ambiente.

Tabla 4.1 Criterios para selección del tipo de deshidratador

Productos	frutas y verduras que cosechan durante cada época del año, son los considerados a deshidratar por la sobreproducción que se da en épocas de lluvia.
Lugar	El municipio de Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango cuya radiación promedio es de 5.2 Kwh/m <sup>2</sup> (tabla 2.3), es apropiada para el proceso de secado.
Deshidratador solar indirecto	Consiste en un sistema de captación de rayos irradiados por el sol, que son atrapados por una caja llamado colector solar que succiona una corriente de aire debido a la diferencia de temperatura que existe al calentarlo, que asciende por ser más ligero. Esta cámara dispone una serie de bandejas que contienen los alimentos, el aire caliente que entra en contacto remueve la humedad, logrando resultados superiores al secado natural. Reduciendo el tiempo de secado, las propiedades no se alteran drásticamente, con un peso más ligero y aumenta la duración de conserva para su consumo.
Tecnología	El deshidratador indirecto, su funcionamiento es con energía solar, la cual está disponible, es gratis y renovable. Evitando así el uso de cualquier tipo de combustibles que emitan contaminante que dañen al medio ambiente. Es una opción viable y menos costoso que otros mecanismos de secado.
VARIABLES	Cantidad de alimento, humedad, temperatura, son las variables a controlar en el proceso de secado.

Materiales	Los materiales para la fabricación del deshidratador deben estar disponibles en el mercado nacional. Resistentes al calor, corrosión, que brinden protección. Los materiales que se encuentren en contacto con los productos a deshidratar no agreguen o cambien las propiedades de dichos productos acomodados en las bandejas en forma de rodajas.
Clima	Colomba Costa Cuca tiene un clima favorable para lograr el secado de los productos. En los meses de mayo a octubre se ve afectado por la lluvia, pero mayormente despejado un poco más del medio día y en ocasiones mayormente nublado.
Tiempo	El tiempo a considerar para el secado de cada producto dependerá de la cantidad de agua que contienen. Lo que tiene relevancia con el tamaño de los productos, cortados de una manera uniforme.
Latitud	La inclinación recomendada y adecuada para el colector solar será indicada por la latitud del lugar, logrando una mejor captación de energía solar. Con respecto a la orientación de dicho colector para un máximo rendimiento como ocurre en los paneles solares será colocado hacia la dirección del sur.
Espacio disponible	Se debe evitar que árboles formen sombras sobre el colector solar, reduce la eficiencia. Así como la entrada de aire este despejada.
Ergonomía	Disponer de un tamaño y dimensiones que se acomoden al espacio disponible y las personas para su manejo, limpieza y deshidratado de los productos agrícolas. De esa manera la interacción y los elementos, las partes del aparato sea de bienestar para el encargado logrando un resultado óptimo.

Fuente: Elaboración propia

Siendo un área rural donde se colocará el deshidratador y la energía eléctrica es limitada, el método de secado a considerar, es la alternativa de algún tipo de energía renovable como lo es la energía solar. Los sistemas de deshidratado en su proceso, en el colector solar tiene un mayor contacto del aire de entrada con la radiación solar, de esta manera, la temperatura del secado aumente proporciona una eficiencia considerable. Estos tipos de deshidratadores garantizan que el flujo de aire que circula en su interior sea elevado, teniendo en cuenta que la transferencia de calor se da por el movimiento de masas de

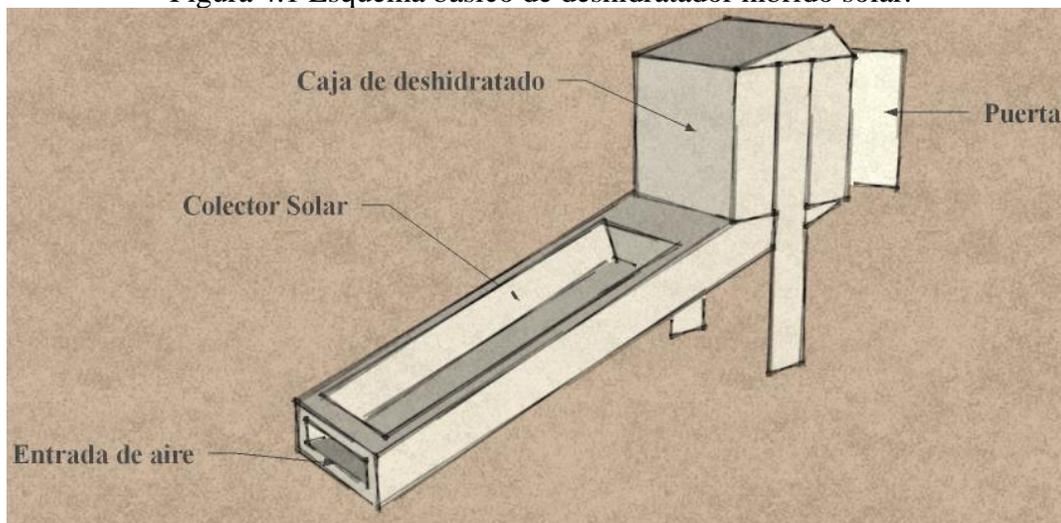
aire que transporta elevados niveles de temperatura. La convección forzada (ventiladores) aumenta las cantidades de aire de entrada, lo que conlleva una mejora con respecto a la transferencia de temperatura. (Viveros Folleco & Mayorga Castellanos, 2017) p.24.

Los deshidratadores solares son una opción posible, económica que reducen las emisiones nocivas al ambiente, en comparación a otros deshidratadores con sistemas mecanizados.

#### **4.2 Esquema básico**

La representación de un sistema de captación de energía solar, como se muestra en la figura 4.1, básicamente consiste en la radiación proveniente del sol hacia el aparato, la cual es atrapada por un elemento llamado colector solar de tipo efecto invernadero, la energía es aprovechada al contenerse en este componente y por el cual ingresa un flujo de aire que se calienta mediante convección, dicho sistema ejerce una fuerza de succión debido a las aberturas superiores en la caja de deshidratado y a la diferencia de temperatura, ya que el aire caliente asciende siendo más ligero y es evacuado hacia el medio ambiente sin ser contaminante. Cuando el aire caliente entra en la caja de deshidratado, se disponen una serie de rejillas con los alimentos acomodados para el proceso de secado, esta etapa se da por convección entre el aire caliente y los alimentos en el interior del equipo, al pasar el aire caliente sustrae el agua que se encuentra en el interior de los productos, la transferencia de calor se da por conducción desde la superficie del producto hasta su interior, empezando así un proceso de deshidratación con el cual obtener frutas, verduras secas que conserven sus propiedades nutritivas, aumenten su duración o vida comestible.

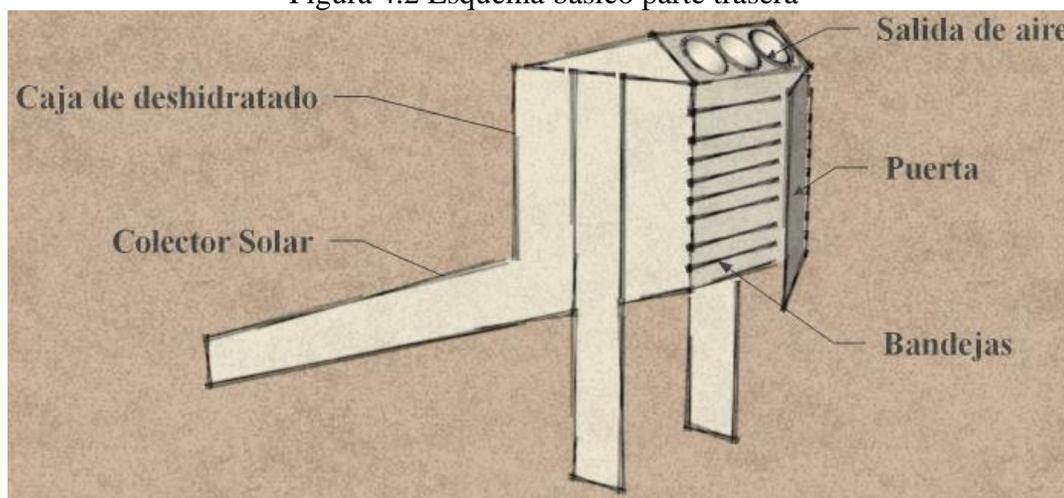
Figura 4.1 Esquema básico de deshidratador híbrido solar.



Fuente: Elaboración propia

Esquemáticamente el diseño del sistema del secador solar, el aire pasa por el colector gana energía, la que se traduce en un incremento de temperatura, la que causa una diferencia de densidades dentro del sistema que es en definitiva la causa de la circulación. El fenómeno de calentamiento del aire se da por convección natural. El fluido circula del colector a la cámara de secado y sube hasta salir por la chimenea. El componente principal es el colector se dispone con una inclinación respecto a la horizontal para una mejor captación de la radiación solar. (Germán Leonardo Roa Marín) p. 22. Figura 4.2.

Figura 4.2 Esquema básico parte trasera



Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.1 Frases en el desarrollo de la deshidratación

Tabla 4.2 Fases en la deshidratación de los productos

Fase 1	Se presenta la radiación proveniente del sol hacia el equipo, cuya energía es aprovechada acorde a los requerimientos del proceso y el proceso a deshidratar.
Fase 2	Convección desde la superficie captadora de calor proveniente de la radiación solar hacia el flujo de aire inducido dentro del sistema.
Fase 3	Convección entre el aire caliente y el producto a deshidratar en el interior del equipo.
Fase 4	Transferencia de calor (conducción) desde la superficie del producto a deshidratar hasta su interior.
Fase 5	Transferencia de masa desde el interior del producto a deshidratar hasta la superficie
Fase 6	Transferencia de masa desde la superficie del fruto y el aire circundante, evacuándose por la chimenea.

Fuente: (Luis Eduardo García, 2012).

### 4.3 Partes del deshidratador híbrido solar

*“El uso del deshidratador solar otorga valor agregado a los excedentes de producción, teniendo así, más tiempo para comercializar o aprovechar los alimentos” (CAMACHO-MARTINEZ, 2019) p. 27.*

### 4.3.1 Colector Solar

Al mencionar este elemento en los deshidratadores, el colector solar es el componente más importante, incrementa el rendimiento térmico del proceso de secado, según el tamaño, diseño y materiales empleados para su fabricación, el concepto es utilizar la radiación solar para aumento de la temperatura del aire. *“La correcta selección de las características, materiales, dimensionamiento, etc., que deben tener cada uno de los componentes del equipo de deshidratación, permite reducir la humedad que poseen los productos.”* (Luis Eduardo García, 2012) p. 12.

El colector solar de placa plana como se le llama comúnmente, se emplea en los deshidratadores solares del tipo indirecto, es utilizado en pequeños productores por su bajo costo. Este elemento es el encargado de captar la radiación solar y calentar la corriente de aire que ingresa por la parte frontal donde tiene las aberturas, *“convección desde la superficie captadora de calor proveniente de la radiación solar hacia el flujo de aire dentro del sistema”* (Luis Eduardo García, 2012) p. 12. La corriente de aire puede darse de dos formas natural o de manera forzada por medio de un ventilador. Las dimensiones del colector pueden variar según la cantidad de alimentos a procesar, y tamaño de la caja deshidratadora. Si se requiere elevar la temperatura del aire que entra, por consiguiente, aumentar la longitud del colector solar, ganando así más energía el flujo de aire.

El sistema del colector solar produce el efecto invernadero para el secado, que se logra mediante ciertas partes para su funcionamiento, como lo es: una cubierta transparente, una placa absorbente generalmente con pintura negra para aumentar la absorción de radiación solar global y difusa, un aislamiento térmico, ya que la radiación se transforma en energía térmica. Con el objetivo de establecer la mayor cantidad de incidencia en el colector solar, requiere de una inclinación apropiada, esto depende de la localización del lugar, que está en función de la latitud, en Coloma Costa Rica concierne a una latitud de  $14^{\circ}42'26''$ .

Entre los componentes del colector solar de placa plana se encuentra:

- Cubierta traslucida
- Placa absorbente
- Aislamiento del colector
- Aberturas de aire

- Carcasa

#### ***4.3.1.1 Cubierta traslucida***

Durante el proceso de deshidratado, los alimentos no quedan expuestos directamente hacia la radiación solar, la energía se transfiere por convección a un flujo de aire que entra constantemente, así, reducir la decoloración y agrietamiento en la superficie de las rodajas de dichos alimentos. El colector solar está ensamblado junto a la cámara de secado donde se colocan los productos, por lo tanto, el colector tiene una cubierta traslucida que desempeña un papel importante para su funcionamiento.

La cubierta debe implementar un material que permita el paso de la radiación solar, así como evitar la fuga y pérdida de la misma, siendo absorbida por la superficie inferior en el interior del colector. Otra función que desempeña está cubierta es la de protección ante las condiciones ambientales y resistencia mecánica hacia fuentes externas. Otras características con las que deben disponer estos materiales son, un algo grado de transmitancia y un nivel de reflectancia baja, logrando una mejor transferencia de energía. Los materiales pueden ser del tipo: policarbonato alveolar transparente, vidrio, plástico, policarbonato.

#### ***4.3.1.2 Placa absorbente***

El colector solar cuenta con otro elemento que lo conforma, el cual consiste en una superficie absorbente, en el interior, principalmente una placa con pintura negra, que absorbe la radiación que incide sobre toda la superficie y la transfiere en forma de calor al aire entrante para el secado. Esta placa absorbente puede ser de aluminio, de metal, con un revestimiento de pintura negra para aumentar la absorción de la radiación solar. Entre sus características importantes y así el material posea un desempeño adecuado se encuentra: alta absorción, bajo nivel de emisividad, conductividad térmica y un grado alto de durabilidad.

La placa dentro del colector será del tipo suspendida, esto significa que la superficie absorbente se encuentre colocada entre la cubierta traslucida y el aislamiento, de modo que el aire entrante circule por ambos lados de la placa absorbente, lo cual permite aumentar la superficie de transferencia de calor y a su vez disminuir la pérdida de radiación.

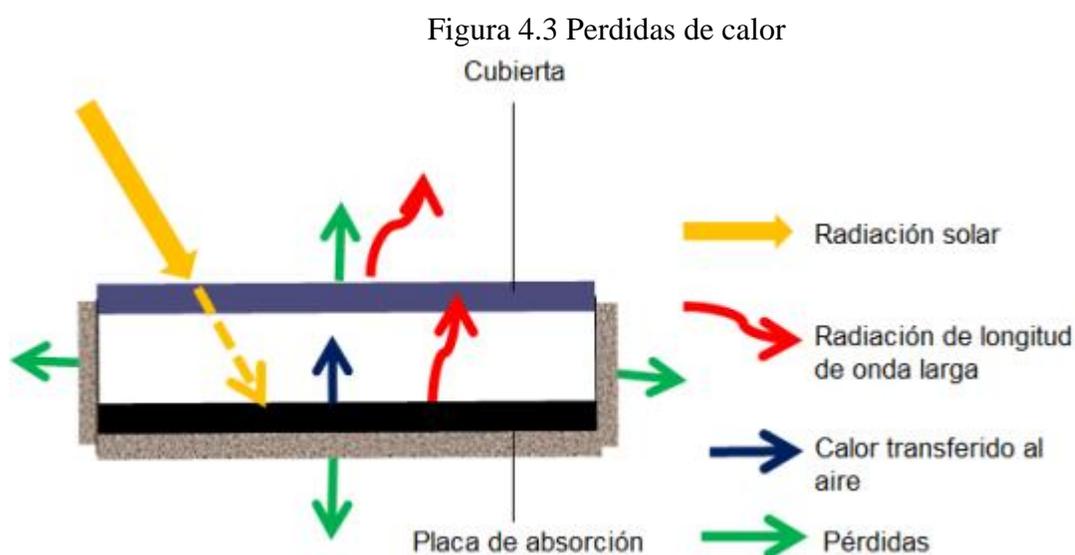
Para mejorar la eficiencia energética se estima colocar, “*deflectores de geometría, ondulaciones y/o porosidades en el material de dicha placa, logrando así un aumento en el área de contacto entre el flujo y la placa, para generar turbulencia en el aire e incrementar la temperatura de salida del colector*” (Luis Eduardo García, 2012) p. 12.

#### 4.3.1.3 Aislamiento del colector

Entre la placa absorbente y la carcasa del colector, se encuentra un elemento que su función es impedir y disminuir la pérdida de calor al entorno (medio ambiente). Un aislante del tipo poliuretano con especificaciones de baja conductividad, soportar la humedad, resistencia a altas temperaturas, que no genere ningún tipo de emanación ni deteriorarse y con una degradación baja.

El aislante se colocará en los bordes internos y en el fondo, de manera que cubra y queden herméticamente y aisladas térmicamente cada una de las partes con una capa de poliestireno aproximadamente de 5 centímetros de espesor.

La cubierta translúcida no solo permite el paso de la radiación solar hasta la placa absorbente, sino también reduce la pérdida de calor por radiación y convección al entorno por la parte superior del colector solar, esto amerita que el aislamiento térmico se coloque generalmente en la parte posterior y laterales del colector, lo que ayuda a reducir las pérdidas de calor hacia el medio ambiente en estas partes, como se observa en figura 4.3



Fuente: Coursey Esáa, Fraute Hernández, (trabajo especial de grado).

#### **4.3.1.4 Aberturas de aire**

Estas aberturas se ubicarán en la parte delantera del colector solar por donde ingresara el flujo de aire por tiro natural. Con un tamaño uniforme en las aberturas, con una protección tipo malla mosquitera plástica o de acero galvanizado, fácil de limpiar para evitar el ingreso de insectos, roedores o cualquier otro contaminante que obstruya el paso de aire y afecte el proceso de secado.

La corriente de aire durante la deshidratación es vital, es uno de los elementos esenciales, donde se tiene que con una circulación insuficiente puede perjudicar el producto. A su vez, la temperatura disminuye y todo el proceso avanzara de manera lenta.

#### **4.3.1.5 Carcasa**

La carcasa estará construida con un material resistente a las condiciones climatológicas de la zona y que este material se comercialice en el mismo lugar de ubicación, que brinde protección a los elementos que conforman al colector solar, manteniéndolos en su posición, un buen funcionamiento, que también contribuya a la rigidez y soporte del equipo.

#### **4.3.1.6 Parámetros de selección de colector solar**

Tabla 4.3 Selección de colector solar

Variables a considerar	Descripción
Temperatura ambiente promedio	Valor de la temperatura circundante ( $T_a$ ) promedio es de 26.9 °C
Temperatura en la cámara de deshidratación	diferencia de temperatura dentro del deshidratador a la de entrada y salida ( $\Delta T$ ) 13°C
Radiación solar promedio	cantidad promedio de radiación (I) en el lugar es de 5.2 KWh/m <sup>2</sup> .
Eficiencia del colector	con el método de Suleiman la eficiencia ( $\eta$ ) es 0.6
Calor específico del aire	

	(CP) Temperatura para que el aire cambie 1 °C, es un valor estándar a 1012 J/Kg °C
Masa específica del aire	(P) esta constante es de 1.29 Kg/m <sup>3</sup>
Velocidad del aire	(Va) Según el estándar ANSI/ASHRAE 93-2003 (Métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico de los colectores solares) el valor es de 3 m/s velocidad para el proceso de secado.

Fuente: Elaboración propia

Flujo volumétrico, corresponde al volumen de aire dentro del sistema, como se indica en la siguiente ecuación.

Ecuación 2: Flujo volumétrico

$$q = V_a * A$$

donde:

V<sub>a</sub>= Velocidad del aire

A= Área transversal

$$q = (3\text{m/s}) * (\pi * (0.08\text{m})^2) = 0.06031\text{m}^3/\text{s}$$

Área del colector solar, para lograr obtener el área de dicho elemento, se calcula la potencia para calentar el aire entrante (Q<sub>1</sub>) ver a continuación la ecuación.

Ecuación 3: Aire entrante

$$Q_1 = P * q * C_p * \Delta T$$

Lo siguiente es calcular la potencia real del colector Q<sub>2</sub> mediante la ecuación 4. Se considera la eficiencia propuesta.

Ecuación 4: Potencial real del colector

$$Q_2 = Q_1 / \eta$$

Finalmente, para obtener el área se divide la potencia real entre la irradiancia promedio, como se indica en la ecuación 5.

Ecuación 5: Área colector solar

$$A = Q_2 / I$$

Los resultados son los siguientes.

Para que no exista la desnaturalización en los productos las temperaturas deben mantenerse entre 40 y 45 grados. Y la temperatura promedio del lugar es de 27 grados, por lo tanto, la diferencia de temperatura corresponde a la resta las anteriores mencionadas.

Ecuación 6: Diferencia de temperatura

$$\Delta T: T_e - T_p$$

Entonces:

$$\Delta T = 40 - 27 = 13$$

$$Q_1 = 1.29 \text{ Kg/m}^3 * 0.06031 \text{ m}^3/\text{s} * 1012 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} * 13 ^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 1023.535 \text{ w}$$

Hallar  $Q_2$  real:

$$Q_2 = 1023.535 / 0.6$$

$$Q_2 = 1705.89 \text{ w}$$

El área corresponde a, sabiendo que se usara 6 horas aproximadamente el deshidratador

$$(5200/6 = 866.66 \text{ w/m}^2).$$

$$\text{Área} = 1705.89 \text{ w} / 866.66 \text{ w/m}^2$$

$$\text{Área} = 1.96 \text{ m}^2$$

Ya definida la superficie donde se captará la energía solar se proponen las dimensiones del colector solar en la sección 4.4 de esta manera desarrollar las demás partes que lo componen.

### **4.3.2 Cámara de deshidratación**

La cámara de deshidratación o de secado es donde se almacenarán las bandejas con los productos agrícolas preparados, ya que por su diseño y tipo de deshidratador este no recibe los rayos solares de manera directa, sino el aire caliente proveniente del colector solar. Como menciona (Puertas) la cámara de este tipo es adaptable para su uso.

De las diferentes formas posibles de cámaras de secado (según el tipo de producto a secar, la capacidad de producción específica, la forma de calentamiento solar el sistema de carga y descarga, etc.), se seleccionó la configuración tipo cabina. Con ella se posibilita transformar el modo de funcionamiento, controlar de forma sencilla el proceso, determinar la cinética de los subproductos con bajos niveles de carga, variar el tipo de subproducto (sustitución del tipo de bandeja) y realizar la carga y descarga con facilidad.

En esta unidad, el calor entra por la parte inferior y sube a los compartimientos superiores, pero para mayor eficiencia, se caracteriza por ser un sistema dinámico en donde se pueden bajar los compartimientos superiores e intercambiarlos por los inferiores para que todos pasen por el mismo ciclo de secado. Esta es otra de las ventajas de este tipo de deshidratador indirecto. Las partes que forman a la cámara de deshidratación son las siguientes:

- Aislamiento interno de la cámara deshidratadora
- Carcasa de la cámara deshidratadora
- Bandejas
- Tipo de techo

#### ***4.3.2.1 Aislamiento interno de la cámara deshidratadora***

Es el material expuesto a cambios de temperatura que debe caracterizarse por tener una baja conductividad térmica, no deteriorarse, uso adecuado para alimentos, una alta duración de rendimiento, fácil de montar y reemplazar. Este recubre las paredes de la cámara deshidratadora reduciendo la pérdida de calor para el proceso de secado. Al igual que en el colector solar es el mismo material que se implementara para cumplir con las funciones estimadas.

#### ***4.3.2.2 Carcasa de la cámara deshidratadora***

Es la estructura que aporta rigidez a todo el equipo, donde se conectaran los demás elementos que conforman al deshidratador, debe ser apto para condiciones a la intemperie y soporte cargas. Ofrezca protección a las bandejas, a los alimentos y asegurar la durabilidad de la cámara.

#### ***4.3.2.3 Bandejas***

Las bandejas estarán fabricas para contener los diferentes alimentos agrícolas, serán de un material antiadherente manteniendo una circulación de aire uniforme, permitir el contacto entre aire caliente y productos, fácil de limpiar, que los alimentos conserven sus sabores naturales sin aditivos ni conservantes. La cantidad de estas bandejas varía según la capacidad de la cámara deshidratadora, para este equipo se estima una cantidad de 8 bandejas con una separación entre ellas de 15 cm.

Los tipos de mallas a considerar son: malla de acero inoxidable o tela metálica de acero inoxidable grado alimenticio, por su durabilidad, resistencia a solventes y a la corrosión. Otro tipo de material es una malla de plástico de calidad alimentaria, por su contacto directo con los productos.

#### ***4.3.2.4 Puerta***

La puerta es el elemento para un cierre hermético de la cámara deshidratadora, de tal modo evitara la salida de aire caliente, manteniendo la temperatura e incluso que ingrese aire u otro tipo de fluido. Estará recubierta con el mismo aislante térmico que se usará en el colecto solar, sujeta con bisagras en uno de sus lados, con una abertura y cierre practico para quienes lo utilicen.

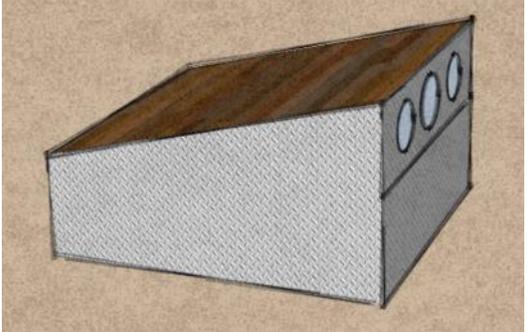
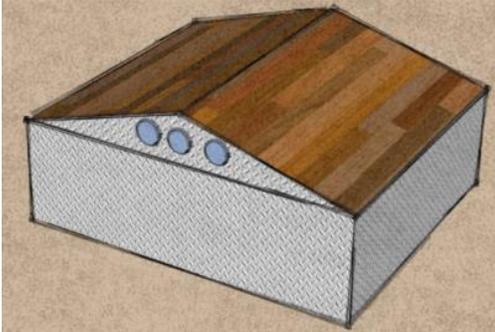
#### ***4.3.2.5 tipo de techo***

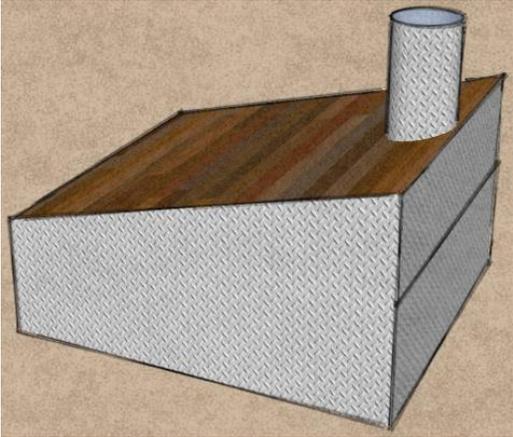
Los factores determinantes de un techo son:

- Impermeabilidad
- Duración
- Estético
- Mantenimiento practico
- Brinde seguridad
- Evacuación del agua

- El propio peso de la cubierta se recomienda de  $100 \text{ Kg/m}^2$  (Torres)
- Aislación térmica (Torres)

Tabla 4.4 Tipo de techos

	<p><b>Techo con pendiente:</b></p> <p>Como se muestra en la figura uno de los lados está más elevado que el otro.</p> <p>Permite que el agua no se acumule debido a la pendiente y por la misma gravedad desciende.</p> <p>Evita que el agua pueda caer entro de la cámara deshidratadora.</p> <p>La salida de aire estará por la parte de atrás.</p>
	<p><b>Techo de dos aguas:</b></p> <p>Impide que el agua se estanque y se evacua rápido de las cubiertas, porque es doblemente inclinado.</p> <p>Las salidas de aire pueden estar en los laterales o en parte posterior.</p> <p>Es desmontable. Los dos planos inclinados unidos en el medio por una cumbrera.</p>

 <p>El diagrama muestra un modelo tridimensional de un techo con una inclinación hacia la izquierda. En el centro del techo se encuentra una chimenea cilíndrica vertical. El techo está representado con líneas de madera o listones, y las paredes laterales tienen un patrón de ladrillo o similar.</p>	<p><b>Techo con chimenea:</b></p> <p>Consiste en un techo con inclinación y una chimenea colocada en la parte superior, también se puede dar el caso con una cubierta a cuatro aguas y la chimenea en el centro donde escapara el aire húmedo al medio ambiente.</p> <p>Es durable, y resistente al viento de entorno.</p> <p>No permite el ingreso de insectos.</p>
---	--

Fuente: Elaboración propia.

#### ***4.3.2.6 Características del diseño de la cámara deshidratadora a considerar***

- Contar con un método que posibilite su limpieza de una forma fácil.
- Impedir que insectos, polvo o agentes contaminantes de otro tipo ingresen a la cámara deshidratadora.
- Permitir la evacuación del aire húmedo, con facilidad, logrando que la salida sea fluida sin producir estancamientos.
- En la entrada de aire caliente de dicha cámara debe distribuirse de manera homogénea.
- Elegir materiales idóneos que estarán en contacto directo con los productos agrícolas, no modifiquen y/o cambien sus propiedades.
- El diseño de todo el sistema debe ser aceptable, cómoda construcción, ajuste al espacio donde se colocará.
- Debe ser ergonómico para quienes lo usaran.
- Los materiales a utilizar estarán disponibles en el mercado nacional, económicos.
- Una movilidad sencilla de las bandejas al momento de sacarlas y volverlas a ingresar con las rodajas o intercambiarlas de lugar.
- La puerta incorpore un mecanismo de cerrado y abertura segura.

- En el techo tener el espacio suficiente para colocar el panel fotovoltaico.

En la tabla 4.3 se encuentran una variedad de aislantes térmicos con las características para su uso, y en la tabla 4.4 están los materiales para la cubierta traslucida del colector solar.

Tabla 4.5 Propiedades de los aislantes térmicos.

<b>Aislante/características</b>	<b>origen/presentación</b>
<b>Amianto</b> Densidad media: 180 a 200 kg/m <sup>3</sup> Temperatura límite aplicación: 550 °C. Coef. de conductividad térmica: 0.038 kcal/m-h-°C @ 20 °C Resistencia mecánica: regular Resistencia al fuego: satisfactoria Límite de elasticidad: 2 bar	fibra natural. Compuesto de silicatos de magnesio. Placas, planchas, duelas, granular
<b>Corcho</b> Densidad media: 100 a 300 kg/m <sup>3</sup> Temperatura límite: desde -200 °C y hasta 130 °C. Coef. de conductividad térmica: 0.038 kcal/m-h-°C @ 20 °C. Resistencia mecánica: regular Resistencia al fuego: difíciles de inflamar, pero arden Resistencia a la compresión: -hasta 200 kg/m <sup>3</sup> : 5 bar y de - 300 kg/m <sup>3</sup> : 10 bar.	de origen vegetal, procede del árbol alcornoque. Se presenta en aglomerados expandidos puros y aglomerados con resinas.
<b>Fibra de vidrio</b> Densidad media: 5 a 110 kg/m <sup>3</sup> Temperatura límite aplicación: desde 450 °C Coef. de conductividad térmica: 0.030 kcal/m-h-°C @ 20 °C Resistencia mecánica: buena Resistencia al fuego: buena, incombustible Resistencia a la tracción: 3500 kg/mm <sup>2</sup> Buen acondicionador acústico	hilos de vidrio fundido, en forma de mantas, paneles, losetas, coquillas, etc.
<b>Lana mineral</b> Densidad media: 8 a 300 kg/m <sup>3</sup> Temperatura límite aplicación: desde 750 °C Coef. de conductividad térmica: 0.032 kcal/m-h-°C @ 20 °C Resistencia mecánica: buena Resistencia al fuego: buena, incombustible Resistencia a la tracción: 350 kg/mm <sup>2</sup>	De rocas silíceas, basálticas, de escorias de alto horno, en forma de mantas, paneles, losetas, coquillas
<b>Magnesita</b> Densidad media: variada en función de las mezclas Temperatura límite aplicación: hasta 1000 °C Coef. de conductividad térmica: variada Resistencia mecánica: buena Resistencia al fuego: buena, incombustible	a partir del carbonato de magnesio, cloruro de magnesio, fibras de amianto, etc. Paneles, coquillas, polvo, granulado para emplearlo como cemento aislante.

<p><b>Vermiculita</b>  Densidad media: 50 a 130 kg/m<sup>3</sup>  Temperatura límite aplicación: max. 1300 °C  Coef. de conductividad térmica: 0.038 kcal/m-h-°C @ 20 °C  Resistencia mecánica: buena  Resistencia al fuego: buena, incombustible</p>	<p>a partir del silicato de aluminio y de magnesio hidratado. Forma de escamas brillantes. Se presenta en sacos para uso a granel</p>
<p><b>Perlita</b>  A la densidad media: 50 a 60 kg/m<sup>3</sup> el coef. de conductividad varía entre 0.030 a 0.033 kcal/m-h-°C.  A la densidad media: 90 a 100 kg/m<sup>3</sup> el coef. de conductividad varía entre 0.035 a 0.038 kcal/m-h-°C.  A la densidad media: 110 a 120 kg/m<sup>3</sup> el coef. de conductividad varía entre 0.039 a 0.041 kcal/m-h-°C.  A la densidad media: 120 a 130 kg/m<sup>3</sup> el coef. de conductividad varía entre 0.041 a 0.044 kcal/m-h-°C</p>	<p>Es un silicato de alúmina, de sosa, de potasio y de calcio, que encierre alrededor del 3% de agua. Cristal de origen volcánico, pulverulento, en forma de bolitas de vidrio natural, que se expande a altas temperaturas hasta 20 veces el volumen inicial. Se comercializa en bolsas o sacos</p>
<p><b>Poliestirenos expandidos</b>  Densidad media: 15 a 40 kg/m<sup>3</sup>  A 15, Coef. de conduct.: 0.038 kcal/m-h-°C @ 20 °C  A 40, Coef. de conduct.: 0.028 kcal/m-h-°C @ 20 °C  Temperatura. Límites aplicación: -200 °C hasta 80 °C  Calor específico: 0.33 kcal/kg °C  Permeabilidad agua: prácticamente impermeable.  Resistencia al fuego: se inflama rápidamente y arde.</p>	<p>Es un plástico termosensible obtenido de la polimerización del monómero estireno y que contiene pentano como agente de expansión. Se fabrica en forma de perlas, paneles.</p>
<p><b>poliuretanos expandidos</b>  Densidad media: 30 a 150 kg/m<sup>3</sup>  A 30, Coef. de conduct.: 0.0245 kcal/m-h-°C @ 20 °C  A 150, Coef. de conduct.: 0.018 kcal/m-h-°C @ 20 °C  Temperatura. Límites aplicación: -200 °C hasta 130 °C</p>	<p>Se obtienen por la acción de un policiosanato sobre un poliéster saturado. Se presenta en forma de bloques, placas y coquillas.</p>
<p><b>Iflex AA</b>, reduce la temperatura en ambientes calientes. Ligero, de fácil manejo e instalación. Evita la condensación. Impermeable, duradero. Refleja el calor por radiación. Aísla el calor por conducción. No es nocivo para la salud</p>	<p>Iflex AA de Epacsa  Revestida de película aluminizada.</p>

Fuente: Ingeniería Energética General – General Energetic Engineering. ISSN 23266880

Tabla 4.6 Materiales para la cubierta traslúcida

Material	Características
Vidrio	Una transmisión óptica y térmica más óptima. No es combustible, resistente a la radiación UV y a la polución manteniendo sus propiedades iniciales a lo largo de su vida. Vulnerable a los impactos, otro inconveniente es su peso, espesor de 2 a 4 mm con una densidad de 2.400 kg/m <sup>3</sup> .
Polimetacrilato de metilo (PMM)	Material acrílico, que procede del acetileno mediante formación de acrilato de metilo y polimerización de este último. Se conoce comercialmente como vidrio acrílico o plexiglass. Es un material ligero con una densidad de 1.180 kg/m <sup>3</sup> . presenta buena resistencia mecánica y estabilidad. alta transmisibilidad de más del 80%.
Polycarbonato (PC)	El policarbonato es un polímero termoplástico con gran resistencia al impacto y más ligero que el PMM. El grosor de las placas, que se puede encontrar en el mercado es de 4 a 16mm. Transmisibilidad del 85%.
Poliéster con fibra de vidrio	Está fabricado con poliésteres insaturados y reforzados con fibras minerales u orgánicas. Éstas proporcionan resistencia mecánica y mejoran la difusión de la luz. Afectadas por la radiación que produce en ellas cambios de color. Transparencia entre 80-90% pero disminuye con el tiempo. espesor 2-3mm.
Policloruro de vinilo (PVC)	Principal ventaja una opacidad a la radiación térmica menor del 40%, y una alta transmitancia a la radiación visible del 90%. Placas lisas u onduladas con espesores entre 1 a 1.5mm. Los materiales de PVC tienen el inconveniente de fijar bastante el polvo en su superficie.
Poliétileno (PE)	Plástico flexible más empleado para forzado de cultivos en invernaderos, túneles y acolchado, por su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones. El PE junto al PVC, son los termoplásticos de más consumo. Densidad 940 kg/m <sup>3</sup> . transparencia de 70-85%.

Fuente: Infoagro Systems, S.L.

En la tabla 4.5 hace notar los materiales para implementar en la placa absorbente con su índice de emisividad, cuanto mayor sea la emisividad de 0 a 1, mayor calor disipa, ya que los cuerpos tienen la característica de ser emisor y receptor de energía.

Tabla 4.7 Materiales para placa absorbente

Emisividades de algunos materiales a 300 K		Emisividades de algunos materiales a 300 K	
Material	Emisividad	Material	Emisividad
Hoja de Aluminio	0.07	Papel blanco	0.92 - 0.97
Aluminio Anodizado	0.82	Pavimento de asfalto	0.85 - 0.93
Cobre pulido	0.03	Ladrillo Rojo	0.93 - 0.96
Oro pulido	0.03	Piel humana	0.95
Plata pulida	0.02	Madera	0.82 - 0.92
Acero Inoxidable pulido	0.17	Suelo	0.93 - 0.96
Pintura Negra	0.98	Agua	0.96
Pintura blanca	0.9	Vegetación	0.92 - 0.96

Fuente: Transferencia de calor y masa 4ª. Ed. Yunus A. Cengel.

### 4.3.3 Contacto fluido solido

Dentro de la cámara de deshidratado, puede haber diferentes maneras en las que el fluido (aire caliente) entra en contacto con los productos que están colocados en las bandejas. Estas distintas formas se dan, por ejemplo, el flujo es paralelo a la superficie de las rodajas, donde se tiene una absorción ligera del aire. Contacto de flujo contracorriente tanto el aire como las rodajas se mueven en la misma dirección, con la desventaja que los productos pueden ser arrastrados si la velocidad del aire no es moderada. También se puede dar el caso donde el flujo de aire va en una dirección y el desplazamiento del producto en otra dirección, llamándose contacto de flujo transversal.

Para el diseño estimado, el contacto de fluido solido en la cámara deshidratadora será con circulación directa y de forma perpendicular, esto significa que las rodajas estarán reposadas sobre las bandejas sin movimiento y el flujo de aire es perpendicular chocando contra estos, teniendo más área de contacto donde la absorción del aire es mayor gracias a la circulación directa y sigue su paso a las demás bandejas desplazándose entre los orificios que contribuyen a que el aire siga más o menos libre ya que debe pasar a través de las partículas.

### 4.3.4 Medidor de temperatura

Un termostato es un componente integrado de un sistema que regula y controla la apertura o el cierre de un circuito eléctrico según los cambios de temperatura. Este dispositivo es una herramienta fundamental y asegure así la eficiencia energética de una instalación de calefacción y/o aire acondicionado (Arnabat, 2020).

El módulo XH-W1209 es un termostato de temperatura se utiliza para medir y controlar temperaturas en ambientes controlados y activar un equipo eléctrico por medio de un relé. Puede funcionar en modo calefacción o en modo enfriamiento. Este componente se adapta a las condiciones necesarias en el diseño del deshidratador híbrido solar, donde se establecerá una temperatura mínima y una temperatura máxima que medirá el sensor y cuando se alcance una temperatura superior se active el relé enviando la señal a los ventiladores conectados y entren en funcionamiento para remover de forma más controlada el aire caliente y mantener siempre la temperatura dentro de la cámara deshidratadora logrando que el proceso sea continuo y los productos alcancen las condiciones ideales de secado.

Dicho módulo tiene varias aplicaciones donde se puede implementar, por ejemplo, incubadoras, aires acondicionados, cajas térmicas, acuarios y cuenta con las siguientes partes:

**Sensor de temperatura:** es un sensor tipo termistor NTC 10K 0.5%, resistente al agua.

**Pantalla:** está compuesta por tres dígitos para indicar la temperatura y los parámetros de ajuste.

**Teclado:** cuenta con tres botones, muestra botón SET para seleccionar el modo de ajuste y establecer los parámetros de operación, botón + permite navegar en el menú y subir los valores, botón – de igual forma navegar en el menú y bajar los valores.

**Relé:** este bloque recibe la señal de activar o desactivar el equipo eléctrico que se conecte. Su capacidad de operación es de 20 amperios a 125V AC.

**Conectores:** K0 y K1 para conectar las fases de alimentación de cualquier equipo eléctrico a controlar y son activadas o desactivadas por el relé. +12V y GND en estas terminales se conecta la alimentación de 12 voltios con el que opera el termostato.

En la figura 4.4 se muestra el termostato con cada uno de sus elementos que lo conforman y en la tabla 4.7 indica los rangos de operación para los ajustes de funcionamiento.

Figura 4.4 Termostato controlador de temperatura

Fuente: [www.arduinove.com](http://www.arduinove.com)

Tabla 4.8 Rangos de operación

Código	Descripción	Rango	Seteo de fábrica
P0	Cooling / Heating	C/H	C
P1	Seteo de histeres	0.5~15	2
P2	Límite superior de temperatura	115	115
P3	Límite inferior de temperatura	-50	-50
P4	Corrección de temperatura	-7 ~ 7 °C	0
P5	Demora en activación	0-10 minutos	0
P6	Alarma de alta temperatura	0-110 °C	OFF

Fuente: [www.arduinove.com](http://www.arduinove.com)

### 4.3.5 Ventiladores

Se implementará un tipo de ventilador helicoidal/axial, en el cual el flujo de aire pasa en dirección paralela a su eje. Estos ventiladores pueden remover grandes volúmenes de aire. En otras palabras, su función será la de extracto de aire generando menos margen de error para el medidor de temperatura porque disipan el calor en lugar de enfriarlo. Son conocidos como ventiladores de computadora de 12V.

En la cámara de deshidratado estarán colocados en la parte interna superior para remover el aire caliente hacia el exterior, de esta forma ingresara aire nuevo desde el colector solar para continuar con el proceso de secado. El medidor de temperatura tendrá establecido una

temperatura mínima y máxima, cuando esta temperatura sea superada los ventiladores entraran en accionamiento, así evacuar el aire manteniendo un rango de temperatura en los productos agrícolas.

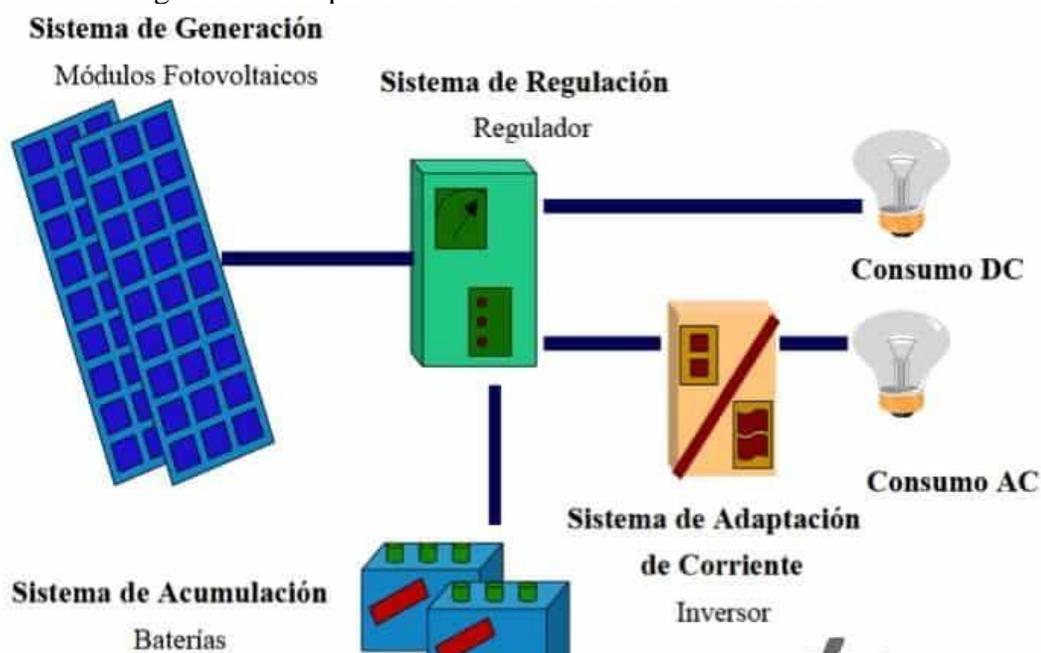
#### 4.3.6 Sistema fotovoltaico autónomo

La energía que proporciona el astro Sol en forma de radiación solar puede convertirse y producir energía eléctrica, utilizando paneles fotovoltaicos, que aprovechan las propiedades de los materiales con los que son fabricados (semiconductores). Los componentes para un sistema solar autónomo son: módulo solar, regulador de carga, batería e inversor. Es importante considerar la selección de los elementos con una excelente calidad, que demostraran la vida y rentabilidad del proyecto.

- **Módulos fotovoltaicos:** encargados de generar energía eléctrica de baja tensión, mediante el efecto fotoeléctrico, se pueden encontrar con tecnología monocristalina y policristalina con diferentes configuraciones de 12-18 voltios o 24-34 voltios según se comercialice.
- **Regulador de carga:** como su propio nombre lo dice, regular la carga que se dirige hacia las baterías prologando su vida útil, así como evitar cargas o descargas excesivas. Prácticamente funciona como un interruptor, cerrado y conectado en serie entre paneles y batería para cargar y abierto en el instante que las baterías están cargadas. Su capacidad se maneja en amperios.
- **Baterías:** almacenar la energía eléctrica producida para mantener el funcionamiento del medidor de temperatura como el del ventilador en días parcialmente nublados o en horas del día que no brille el sol. Si la descarga de una batería es intensa menos energía será capaz de suministrar correspondiendo a su ciclo de vida.
- **Inversor:** es el elemento que transforma la corriente continua a corriente alterna para algún consumo. Su potencia requerida es la suma de todas las cargas a conectar.

Como se muestra en la figura 4.5 el conjunto de elementos descritos anteriormente que componen un sistema fotovoltaico autónomo.

Figura 4.5 Componente de un sistema fotovoltaico autónomo



Fuente: SunFields Europe-SFE Solar Logistic SL – CIF: ESB70251030

#### 4.3.6.1 Estimación de consumo

Para dimensionar una instalación fotovoltaica del tipo aislada, el primer paso es conocer el consumo que debe cubrir el sistema fotovoltaico. Establecer la potencia unitaria de cada carga, por las horas estimadas de funcionamiento diario, con esto se tendrá un consumo energético siendo este en vatios hora día (Wh/día), y así obteniendo una energía total para realizar los cálculos. A continuación, se muestra el consumo a detalle en la tabla 4.8

Tabla 4.9 Cargas y energía total

Carga	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Horas de uso (H)	Energía (W/h)
Lámparas led	2	5	5	50
Fuente de alimentación 12V	1	9	9	81
			Energía total	131 Wh/día

Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta, la potencia de los paneles solares del mercado en el suroccidente, como también la radiación de la zona de instalación siendo en hora sol pico (HSP).

Para el siguiente cálculo se estima que en el mercado se encuentran paneles de 60 watts siendo el que se pretende utilizar y con referencia a la tabla 4.8 tomando el valor de la energía total de 131Wh. De esta manera poder determinar la cantidad de paneles necesarios:

La cantidad de energía total se divide entre la capacidad del panel, luego el resultado se divide entre las horas sol pico, donde se estima un valor de 2 HSP

Ecuación 7: Cantidad de paneles solares

$$131 \text{ Wh} / 60\text{W} = 2.18 / 2 \text{ HSP} = 1.09$$

1.09 este resultado se redondeará a 1, siendo este el panel solar necesario para el sistema solar.

Ahora se calcula la cantidad de baterías para disponer de la energía en días de poco sol y durante la noche. Tomando el valor de la energía total de la tabla 4.8 siendo de 131 Wh se proceda a realizar:

- Energía total = 131 Wh
- Se considera que durante la noche se usara un 60% de la energía total

Ecuación 8: Energía requerida de las baterías

$$\text{Energía total} * \text{porcentaje de uso}$$

$$131 \text{ Wh} * 60\% = 78.6 \text{ Wh de energía que se requiere de las baterías}$$

El estándar mundial recomienda que las baterías no superen hasta el 50% de su descarga profunda ya que reduce el tiempo de vida de dicho elemento. El valor nominal de una batería de 12v y 20 Ah de capacidad es:

Ecuación 9: Energía total nominal disponible

$$12\text{v} * 20 \text{ Ah} = 240 \text{ Wh energía total nominal disponible}$$

Ahora

Ecuación 10: Energía disponible

$$240 \text{ Wh} * 50\% = 120 \text{ Wh energía disponible}$$

Teniendo como resultado que una batería nos proporciona 120 Wh y se requiere de 78.6 Wh entonces:  $78.6 \text{ Wh} / 120 \text{ Wh} = 0.655$  aproximando a 1 siendo la cantidad de baterías para el sistema.

Calculo del inversor consiste en sumar la potencia de las cargas con un margen de seguridad de 20%, se tiene:

Ecuación 11: Potencia de las cargas

$$\text{Potencia de cargas} = 1.2 * (50+81) = 157.2\text{w}$$

El inversor a seleccionar para esta potencia requerida es de 200w o 300w, en ocasiones los aparatos tienen picos de arranque para su funcionamiento demandando mayor potencia, pero este sistema no lo requiere, por lo tanto, la potencia del inversor a utilizar se aproxima a los valores antes mencionados y de los cuales se encuentran en el mercado. Para estimar el valor del controlador, se tiene que tomar en cuenta las especificaciones técnicas del panel solar de 60 w, el dato a considerar es de Corriente corto circuito ( $I_{sc}$ ) = 3.7A porque es la corriente máxima que genera el módulo, con este dato se procesa a realizar el siguiente calculo:

$$I_{sc} = 3.7\text{A}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1.25$$

Ecuación 12 Corriente máxima

$$I_{\text{controlador}} = \text{Factor} * I_{sc}$$

$$I_{\text{controlador}} = 1.25 * 3.7 = 4.625 \text{ A}$$

Se encuentran controladores de 10A o 20A, los cuales funcionarían correctamente. En la siguiente tabla 4.9 se muestra en detalle los componentes del sistema solar con su respectivo valor.

Tabla 4.10 Componentes del sistema solar

Elemento	Capacidad
Panel solar	60W
Batería	12v 20Ah o 35Ah
Inversor	200W
Controlador de carga solar	10A o 20A

Fuente: Elaboración propia.

Para aprovechar la energía eléctrica producida por el panel solar y almacenada en la batería, se estima conectar de dos a tres focos para iluminar el espacio donde se colocará el deshidratador solar durante unas cuantas horas de la noche o iluminar algún otro lugar cercano al sistema.

#### **4.4 Modelo en CAD y dimensionamiento**

Teniendo en cuenta los requerimientos indicados en este capítulo para el diseño, existen diferentes métodos, dimensiones, materiales, tecnología y equipos para deshidratar alimentos como se ha indicado en secciones anteriores. La mayoría de estos métodos de secado involucran el contacto con el medio siendo generalmente aire, en el proceso se calienta por energía solar para eliminar la cantidad de humedad necesaria de los productos acomodados en bandejas. “Con la deshidratación se consigue un incremento de las posibilidades de conservación y reducción de peso. Estos son los dos factores que aconsejan la utilización de este proceso, puesto que además de conseguir la conservación del alimento asegura una reducción substancial de los costos de almacenamiento y/o transporte” (Larios Saldaña & Teixeira Da Silva) p.7.

Para el modelo del deshidratador híbrido solar se utilizará el diseño asistido por computadora (siendo sus siglas en inglés CAD, computer aided design) para crear, generar, modificar y representar cada una de las partes que lo conforman según el boceto estimado y características definidas.

##### **4.4.1 Colector Solar**

Haciendo uso del software autoDesk inventor profesional para el modelado, se inicia con el **colector solar** como se muestra en la figura 4.6, en dicha imagen se observa la entrada de aire en la parte inferior en forma de rectángulo y en la parte superior las aberturas que conectar con la cámara de deshidratado con estilo de circunferencia, sus centros se encuentran equidistantes, donde el aire ya eleva su temperatura en dirección hacia los productos. Las dimensiones correspondientes serán de 1.07 \* 1.83 \* 0.15 metros. Para un mejor aprovechamiento de la radiación tendrá una inclinación de 14.5° con respecto a la horizontal. Estará despegado de la superficie a una altura de 0.10 metros, los soportes serán de 3 \* 2 pulgadas así, evitar contacto con pasto o cualquier tipo de insectos que pretendan ingresar. Cada una de las entradas tendrá una malla protectora que solo permita el paso del aire.

El colector solar estará recubierto con un aislante térmico en todas sus paredes internamente, generando la menor pérdida de energía, y donde se colocará la placa absorbente. Otro elemento que tendrá como protección y que será para contener la energía solar evitando su escape, es la cubierta traslúcida que va ir sujeta y reposada en soportes de 3\*2 cm. por cada una de sus laterales.

Figura 4.6 Colector solar



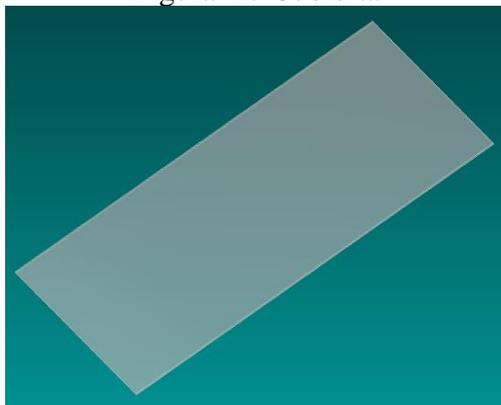
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 Cubierta traslúcida

La **cubierta traslúcida**, es otro elemento que será incorporado en la parte superior del colector solar, como se mencionó anteriormente, brindando protección de las condiciones climáticas y conteniendo la energía que será trasladada al aire. Las dimensiones estimadas son de 1.03 \* 1.79 metros, con la variabilidad que puede tener al momento de su construcción debido al espesor de las paredes del material que se seleccionara para la fabricación del colector.

El material para la cubierta traslúcida será el que mejor se adapte a los costos de los agricultores, teniendo en consideración su posible reemplazo si llega a deteriorarse con el tiempo y el que se encuentre en el mercado local facilitando su traslado, entre los cuales están, lamina de policarbonato acanalada transparente, nylon o plástico para invernaderos, lamina de policarbonato lisa o vidrio, figura 4.7 se nota la cubierta.

Figura 4.7 Cubierta



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3 Placa absorbente

Un elemento importante dentro del colector solar es la **placa absorbente**, en la figura 4.8 se muestra el diseño de la placa. “*Otra forma de aumentar el contacto entre la placa absorbedora y el aire a calentar incorporando aletas rectangulares adheridas a la placa perpendiculares a la dirección del flujo*” (Laborde & Williams, 2016) p.60, el diseño consta de 4 elementos distribuidos a la misma distancia, su función es generar turbulencia ocasionando que durante el paso del aire gane energía, así incrementa el contacto entre el flujo-placa y una mayor eficiencia térmica. Dichas partes reciben el nombre de deflectores tendrán dimensiones de 40 \* 4 cm sujetos a la base.

Figura 4.8 Diseño de placa absorbente



Fuente: Elaboración propia.

La placa es tipo lisa, estará recubierta con pintura negra para una absorción conveniente. Será colocada con una separación de dos a tres centímetros del aislante térmico, haciendo que circule aire por debajo de la placa. Sus dimensiones estimadas son de 1.031 \* 1.765 metros. Puede existir una variante en el diseño según los materiales que se tengan en el mercado local, la placa puede ser corrugada con el perfil de diente de sierra o acanalada.

En cada una de las entradas de aire y salidas del mismo colector solar, figura 4.9, estarán protegidas con una malla solo permitiendo el paso de aire y ningún otro elemento evitando así la contaminación dentro de los componentes. La malla es del tipo mosquitera plástica o galvanizada.

Figura 4.9 Aberturas



Fuente: Elaboración propia, entra de aire y salida hacia la cámara deshidratadora.

#### 4.4.4 Cámara de deshidratado

En la cámara se desarrolla el proceso de secado, este elemento corresponde a estar sellado herméticamente y la única salida que tendrá se ubica en la parte superior (techo) siendo la abertura de los ventiladores que se accionaran para evacuar el aire y renovarlo haciendo que el proceso sea continuo y con ello el tiempo de deshidratado sea el menor posible. Sus dimensiones correspondientes son de 1.07 \* 0.5 \* 1.19 m. sin contar los soportes que lo sostienen. Figura 4.10.

Figura 4.10 Cámara deshidratadora



Fuente: Elaboración propia

La abertura inferior corresponde a la unión entre el colector solar y la cámara de deshidratado con tornillos para madera, dándole paso a la corriente de aire. En uno de sus lateras se ubicará el medidor de temperatura como también el controlador del sistema fotovoltaico, con un fácil acceso y visiblemente para verificar los parámetros del proceso de secado, cubiertos dentro de una caja de 24\* 24 \* 10 cm. así protegerlos de la intemperie. Contará con cuatro soportes, dos por cada uno de sus lados con vigas de 3\*2 pulgadas, que elevaran la cámara de la superficie a una altura de 56 cm logrando una adaptación ergonómica hacia las personas que utilizaran el equipo. En el techo de la cámara se colocará la estructura como base para el panel fotovoltaico de 60W. También contará con una lámina tipo teja u ondulada entre la abertura del techo y la estructura del panel evitando que la lluvia pueda caer dentro de la cámara deshidratadora y dañe a los ventiladores, en otras palabras, será una cubierta inclinada para protección.

Dentro de la cámara de deshidratado se tiene un espacio para siete bandejas distribuidas y separadas a la misma distancia sobre soportes en los extremos, donde se deslizarán para una movilidad practica y sencilla del operador, permitiendo el flujo de aire entra cada una de ellas de manera perpendicular a la superficie de las rodajas de los productos, figura 4.11. El tamaño de las **bandejas** es de 46 \* 90 cm, su construcción corresponde a un marco de madera con una malla plástica o metálica sin perjudicar la salud, siendo la parte donde reposaran los alimentos.

Las paredes de la cámara estarán recubiertas con aislante térmico que abarque todos los espacios, fácil de manejar, de instalar, siendo ligero y resiste al agua.

Figura 4.11 Interior de cámara de deshidratado



Fuente: Elaboración propia.

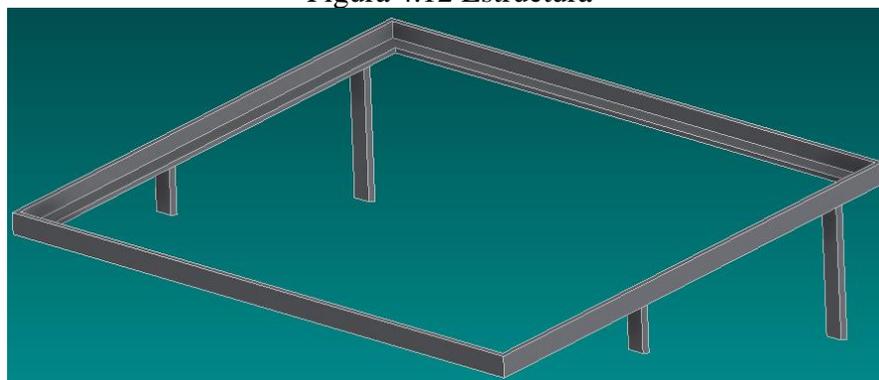
La puerta es otro componente importante para la cámara de deshidratado, el cierre o sellado durante el **proceso** determina si es eficiente o deficiente si existe alguna fuga de aire por este medio. Debajo de la cámara deshidratadora se tiene un espacio destinado, para los componentes restantes del sistema fotovoltaico, la batería e inversor, deben estar protegidos para evitar que se dañen con el agua, polvo o algún otro tipo de contaminante. Contenidos en un cajón de madera de 34 \* 34 \* 27 cm, sujeto a la base.

#### 4.4.5 Estructura para panel fotovoltaico

Para el buen funcionamiento de un sistema solar se consigue, en gran medida por la orientación del panel solar y la estructura donde se instalará dicha placa, con un ángulo de inclinación adecuado, con dirección hacia el sur para el máximo aprovechamiento de la radiación solar y máximo rendimiento del panel, sujeto con pernos para evitar que el viento lo mueva.

Las medidas de la base corresponden a las mismas del panel solar de 60w siendo de 63 \* 67 cm, como se muestra en la figura 4.12, los soportes tienen una diferencia de tamaño para dar la inclinación de 14.5°. el plano de dicha pieza se adjunta en anexos.

Figura 4.12 Estructura



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5 Diseño establecido en CAD

Como resultado de todas las características, parámetros, sugerencias por los agricultores y datos relevantes para definir el diseño del deshidratador híbrido solar, se unifican para conformar el equipo que se muestra en la figura 4.13, tanto el colector solar como la cámara deshidratadora se unen con tornillos, facilitando su separación cuando se requiera su traslado a otro lugar y no dificulte su movilidad en una sola pieza sufriendo algún daño.

Figura 4.13 Deshidratador Solar



Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 5

### TECNIFICACIÓN DEL DESHIDRATADOR HIBRIDO SOLAR

#### 5.1 Selección de materiales

Las características, dimensiones y sobre todo los materiales de cada componente del deshidratador híbrido solar al ser seleccionarlos adecuadamente proporcionan y ayudan a reducir gran parte del contenido de humedad que los productos poseen en su interior, permitiendo mínimas pérdidas térmicas en las distintas partes del deshidratador, un proceso continuo disminuyendo el tiempo de secado, a su vez el equipo sea económico y de una construcción simple.

En las siguientes tablas se detalla los materiales para la construcción del deshidratador solar:

Tabla 5.1 Materiales colector solar

Componente	Materiales
Cubierta traslucida	Lamina lisa de PVC rígido transparente Vidrio Lamina transparente de policarbonato Nylon o plástico para invernadero
Placa absorbente	Tablero de madera Plástico o nylon negro Lamina lisa delgada galvanizada Lamina ondulada, troquelada galvanizada cada uno de estos elementos recubiertos con pintura negra.
Deflectores	Lamina delgada Piezas de madera recubiertos con pintura negra
Carcasa	Madera de pino Madera de nogal Madera estufada (Horneada) Plywood ¾ pulgada Hierro Galvanizado

Aislante térmico	Iflex AA de Epacsa (manta térmica)
Aberturas	Malla mosquitera de plástico Malla mosquitera de acero galvanizado Malla fibra natural rattan tejida a mano

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.2 Materiales cámara de deshidratado

Componente	Materiales
Aislante térmico	Iflex AA de Epacsa (manta térmica)
Bandejas	Marco de madera estufada o de pino Malla de acero inoxidable Malla fibra natural rattan tejida a mano Malla plástica
Carcasa	Madera de pino Madera de nogal Madera estufada (Horneada) Plywood ¾ pulgada Hierro galvanizado
Puerta	Recubierta con aislante térmico, del mismo material de la carcasa. Para el cierre dos pasadores abatibles
soportes	Vigas de madera de 3*2 pulgs.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.3 Materiales sistema fotovoltaico autónomo

Componente	Material
Cable para instalación solar	Cable solar 4mm, negro y rojo (6m c/u)
Panel solar de 60W	Marca certificada
Batería	Gel de ciclo profundo Acido plomo ciclo profundo

Controlador de carga solar	PWM
Estructura para panel solar	Con material disponible en la comunidad puede ser de madera o de metal.
Conectores	1 par de conectores mc4
Inversor de corriente	Onda pura Onda Modificada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.4 Otros materiales

Componente	Material
Cable	Cable THHN #12, 6 metros Espiga polarizada
ventiladores	Ventilador de computadora 120mm de 12v Fuente de alimentación de 110v AC a 12v. DC
Medidor de temperatura	módulo XH-W1209 Fuente de alimentación de 110v AC a 12v. DC
focos	3-5watts Plafoneras
Otros elementos	Cinchos plásticos Tomacorriente sobrepuesto Apagador simple Tarugos de madera 6mm. Tornillos para madera de ½ y 1 pulgs.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Planos del equipo

Se enlista el conjunto de planos del deshidratador solar, los cuales se encuentran adjuntos en el anexo 1 del informe.

- Plano de medidas del colecto solar

- Plano de medidas de la cubierta traslucida y la placa absorbente
- Plano de medidas de la cámara deshidratadora
- Plano de caja de protección
- Plano de la estructura de soporte del panel solar
- Plano circuito eléctrico del sistema solar autónomo

## CONCLUSIONES

1. Según la investigación, la energía llega del sol como radiación, es decir, que el sol cede energía interna mediante ondas electromagnéticas que inciden en el colector solar. Las paredes del colector se calientan por conducción absorbiendo el calor y lo transmiten directamente a las partes adyacentes que conforman las paredes. El aire fresco que entra se calienta y circula hacia la cámara de deshidratado por un proceso de convección, las partículas de aire absorben calor aumentando su energía cinética disminuye su densidad ascendiendo y entra en contacto con los alimentos para retirar la humedad que contienen.
2. Los parámetros evaluados para la selección del tipo de deshidratador son: ubicación geográfica, condiciones climáticas, temperatura, la energía solar por metro cuadrado que es muy favorable para el país de Guatemala, y criterios de diseño como la cantidad de productos a deshidratar, los materiales disponibles para la fabricación, los alimentos, estos aspectos son válidos y auténticos para realizar esta práctica de deshidratación.
3. Los deshidratadores solares se han convertido en una innovadora alternativa implementado el uso de energía renovable y así mismo un impulso económico para pequeños productores. Considerándose también como una técnica de conservación de alimentos, manteniendo en gran porcentaje las propiedades nutritivas de los alimentos durante el proceso.
4. El diseño del deshidratador solar consiste en el tipo indirecto, favoreciendo a que los productos no estén expuestos a los rayos del sol, disminuyendo el peso, como su volumen lo que reduce su empaque, extiende la vida útil de los alimentos obteniendo productos con valor agregado.
5. Sobre los materiales se seleccionan los más ideales que brinden protección, rigidez o no causen algún daño para la salud humana, por lo que el aislante térmico es sumamente imprescindible para evitar pérdidas térmicas para su buen funcionamiento y un manejo e instalación sencilla eligiendo el Iflex AA a comparación de la fibra de vidrio siendo

dañino desprendiendo sus fibras (lana de vidrio) adhiriéndose a los productos a consumir, siendo inalado por las vías respiratorias afectando nariz y garganta, irritación en los ojos.

6. La transformación de energía solar a energía calorífica también será transformada a energía eléctrica mediante un equipo solar fotovoltaico, permitiendo el funcionamiento del controlador de temperatura dentro de la cámara de deshidratado. Este equipo solar a la vez proporcionara energía a un par de luminarias mediante una batería que se cargara durante el día e inclusive en días nublados conectado a un inversor de corriente.
7. La eficiencia energética de los colectores solares ha contribuido al desarrollo de nuevos métodos de captación de energía para diversos fines. Estableciendo que a mayor área de captación solar mayor temperatura en la cámara de secado, donde la proporción de aire juega un papel importante una mayor cantidad de aire entrante requiere mayor energía para calentarse. En otras palabras, a mayor volumen de aire mayor cantidad de energía y menor volumen de aire menor energía.
8. Los combustibles fósiles por diferentes motivos o conflicto entre países se escasean elevando su precio por barril, dando lugar a la utilización de energías renovables que su contaminación respecto al CO<sub>2</sub> resultada siendo inexistente, son fuentes que están disponibles de manera ilimitada en el planeta Tierra y se tiene un acceso libre.

## RECOMENDACIONES

1. En cuanto al colector solar se recomienda que la orientación debe ser con dirección al Sur y un ángulo de inclinación utilizando la latitud del lugar de ubicación, sin ningún tipo de obstáculo que provoque sombras sobre el colector logrando aprovechar lo máximo de energía solar en el día.
2. La temperatura de deshidratación se recomienda dentro de un rango de 40 °C a 60 °C siendo la más óptima para el proceso de deshidratado, si la temperatura es mayor a 60 °C se genera oxidación, oscurecimiento, ocasionar que las rodajas se endurezcan.
3. Es importante destacar el posible seguimiento de construcción de un deshidratador híbrido solar, se recomienda llevar a cabo pruebas de secado, para lograr una adaptación y control de temperaturas en los alimentos de esta manera crear un proceso eficiente.
4. Siendo la placa absorbente el componente indispensable e importante del equipo deshidratador para el uso de la energía solar, el cual transforma la radiación solar en energía calorífica para incrementar la temperatura del aire que ingrese, se recomienda una superficie plana, ondulada, también perforada, corrugada y este provista con aletas firmes, esto con el fin de conseguir el efecto invernadero dentro del colector solar.
5. Las bandejas tienen contacto directo con los alimentos, se debe tomar en cuenta que la malla plástica corresponda a un grado alimenticio o en su lugar se recomienda en las posibilidades utilizar malla de acero inoxidable AISI 316 es particularmente adecuado para el contacto con alimentos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alma Rosa Guevara Blanco, J. S. (2017). Diseño y construcción de un deshidratador solar para fresa. *Revista Jóvenes en la Ciencia, volumen 3 NE-2*.
- Almada, F. C. (s.f.). *Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. UNESCO, Montevideo: COSUDE, Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación.
- Antonio de Michelis, E. O. (s.f.). *Deshidratación y Desecado de Frutas, Hortalizas y Hongos. Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*. Argentina : Inta Ediciones "Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria", Colección DIVULGACIÓN .
- ArduinoVe. (2022). *ArduinoVe*. Obtenido de [www.arduinoVe.com](http://www.arduinoVe.com)
- Arnabat, I. (28 de Octubre de 2020). *Caloryfrio.com*. Obtenido de Tipos de termostatos para regular la temperatura (infografía): <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/herramientas-y-regulacion/tipos-de-termostatos-para-regular-la-temperatura-infografia.html>
- Bala, B. K. (2009). Solar Drying of fruits, vegetables, spices, medicinal plants and fish Developments and Potentials. Department of Farm Power and Machinery. Bangladesh Agricultural University, Mymensingh, Bangladesh. *international Solar Food Processing Conference*.
- CAMACHO-MARTINEZ, H. A.-G. (2019). Deshidratador solar híbrido para el secado de plátano. *Revista de Sistemas Experimentales Vol.6 No.21 26-33, 26-33*.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México, D.F.: McGraw Hill.
- Comité Técnico ISO/TC Energía solar. (2017). *ISO 9806:2017 Energía Solar. Colectores solares térmicos. Métodos de ensayo*. SCI: 27.160 ingeniería de energía solar.

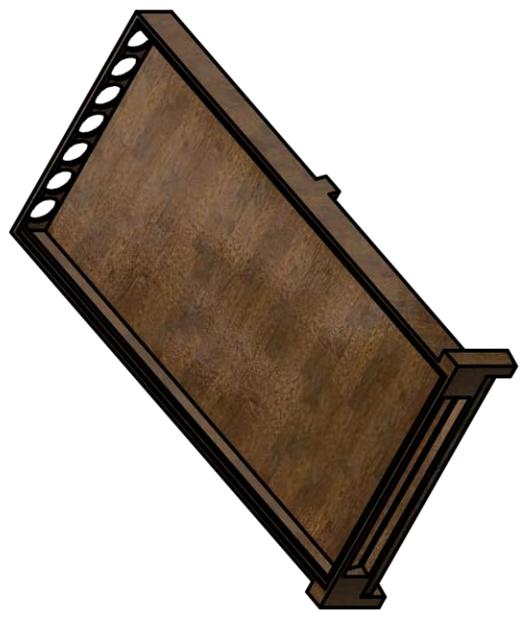
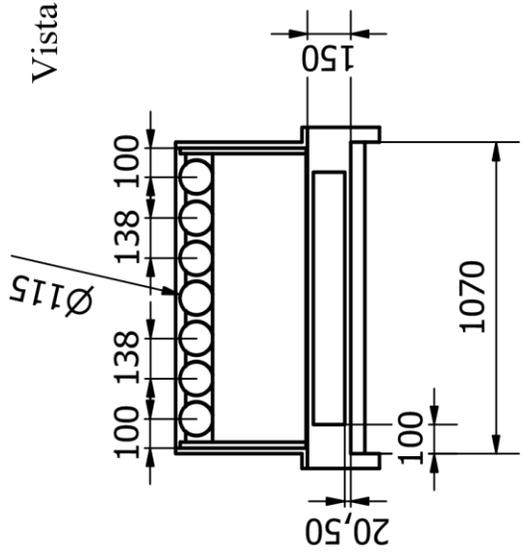
- Coursey Esáa, A. D., & Fraute Hernández, M. E. (s.f.). Construcción y determinación del rendimiento térmico de un deshidratador indirecto de cacao para pruebas de laboratorio. *Trabajo especial de grado*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2013.
- Domingo, A. M. (julio 2013). *Apuntes de Transmision del Calor*. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Física e Instalaciones. Madrid,: Universidad Politécnica de Madrid. Version 2.4.
- Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Revista chilena de ingeniería, vol. 24. Número Especial, 72-80*.
- Germán Leonardo Roa Marín, D. B. (s.f.). Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de Café para la Universidad Nacional de Loja. *teiss de grado*. Universidad Nacional de Loja, loja, Ecuador. 2011.
- González, J. F. (s.f.). Estudio y Diseño de una intalación fotovoltaica de autoconsumo en una nave industrial. *Máster en Energía Solar y Renovables*. Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche.
- Grajeda, C. (28 de mayo de 2020). *Geografía, Historia*. Obtenido de Municipio de Colomba Costa Cuca en Quetzaltenango: <https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/municipio-colomba-costa-cuca-quetzaltenango/>
- Guevara, J. A. (s.f.). *Diseño y Cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de ingenieros Industriales, Madrid.
- Laborde, M. Á., & Williams, R. J. (2016). Energía Solar. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN), Serie publicaciones científicas No. 10. Edición especial - Ciudad Autónoma de Buenos Aires ISBN978-987-4111-00-5, 161*.
- Larios Saldaña, L. Á., & Teixeira Da Silva, J. M. (s.f.). Diseño y construcción de un deshidratador indirecto de cacao mediante el uso de aire calentado por energía solar. (*Trabajo especial de grado*). Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- Lindow, A. B. (2018). *Deshidratador Solar y Secado Solar de alimentos*. Obtenido de Gastronomía solar: <https://gastronomiasolar.com/deshidratador-solar-secado-alimentos/>
- Luis Eduardo García, M. F. (2012). Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales. *AVANCES Investigación en ingeniería Vol. 9 No. 2*, 9-19.
- Luis Guillermo Fernández García, A. C. (s.f.). Proyecto de Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira. *Maestro en Energías Renovables*. Universidad Tecnológica de Altamira, Altamira, Tamaulipas, marzo 2017.
- Ministerio de Energía y Minas. (23 de mayo de 2018). Energía Solar en Guatemala. Guatemala.
- Mundo, B. (3 de agosto de 2017). *BBC News*. Obtenido de El sorprendente descubrimiento sobre el núcleo del Sol que desconcierta a los científicos : <https://www.bbc.com/mundo/noticias-40815576>
- Muñoz Abelairas, S. (2016). Diseño de una instalación fotovoltaica para una estación base en Teruel, España. *Ingeniero Técnico de Telecomunicación*. Universidad de Cantabria, Teruel, España.
- Puertas, I. M. (s.f.). Modelo y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos. (*Tesis doctoral*). Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Real Academia Española. (2021). *Diccionario de la lengua española*.
- Recinos, E. E. (Febrero 2017). Diseño, Construcción y Caracterización de Prototipo de deshidrtador solar para productos agrícolas. *Maestro en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Universidad de El Salvador, San Salvador, Febrero 2017.
- Renovables, E. (2013). *Los Deshidratadores Solares*. Obtenido de Sitio Solar: <https://www.sitiosolar.com/los-deshidratadores-solares/>

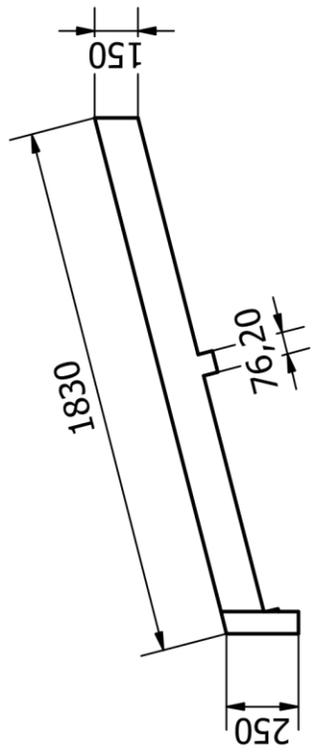
- Reyes, E. O. (2013). Tecnologías de Deshidratación para la Preservación de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, Biotecnía. Volumen XV número 2. Universidad de Sonora* , 39-46.
- Rogers Moya-González, L. P.-P.-S.-H. (2011). El uso de la energía solar para la deshidratación de frutas y vegetales. *Revista CitriFrut. Vol 28 No. 2*, 3-6.
- Romillo, G. E. (s.f.). Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar la red eléctrica instalada en área comercial. *Ingeniero electricista. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala*, 2012.
- Saeca. (2019). Tecnología Solar Aplicada. *Catálogo 2019*, 85-94.
- Soch, J. (10 de enero de 2018). *Municipalidad de Colomba Costa Cuca*. Obtenido de Síntesis histórica del municipio: <http://municolomba.gob.gt/2019/07/21/sintesis-historica-del-municipio/>
- Torres, S. A. (s.f.). Ingeniería de plantas . *Ingeniero Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala C.A.*
- UNICEF. (2020). *Desnutrición en Guatemala*. Obtenido de UNICEF-para cada niño: <https://www.unicef.es/noticia/desnutricion-en-guatemala>
- Viveros Folleco, A. M., & Mayorga Castellanos, E. L. (2017). Diseño e implementación de un Prototipo de Deshidratador Híbrido (Solar-Eléctrico) e Implementación de su Sistema de Control. *Monografía al título de Ingenieros Eléctricos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia*.
- Yunus A Cengel, M. A. (2012). *Termodinámica, 7ma. Edición*. México: McGrawHill.

**ANEXO 1: PLANOS DE DESHIDRATADOR HIBRIDO SOLAR**

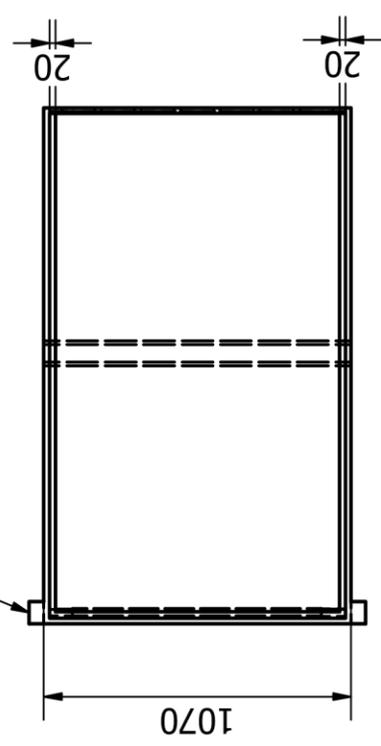
Vista Frontal



Vista Lateral



SopORTE externos vigas de 2 \* 3 pulgs.



Vista Superior

Diseño: Giulio Noé Pérez Quijivix	
Fecha	Dimensional
Octubre 2022	Milímetros

**CUNOC / USAC**

Contenido: Ángulo de inclinación 14,5°. En las paredes internas van soportes para colocar la cubierta traslúcida.

Colector Solar Hoja 1 / 1



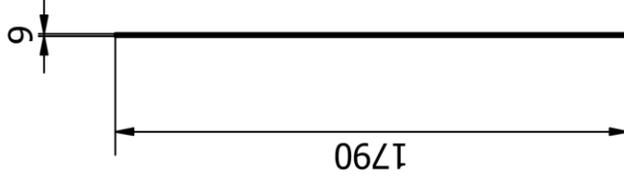
Diseño: Giulio Noé Pérez Quijivix  
Fecha: Octubre 2022  
Dimensional: Milímetros

**CUNOC / USAC**

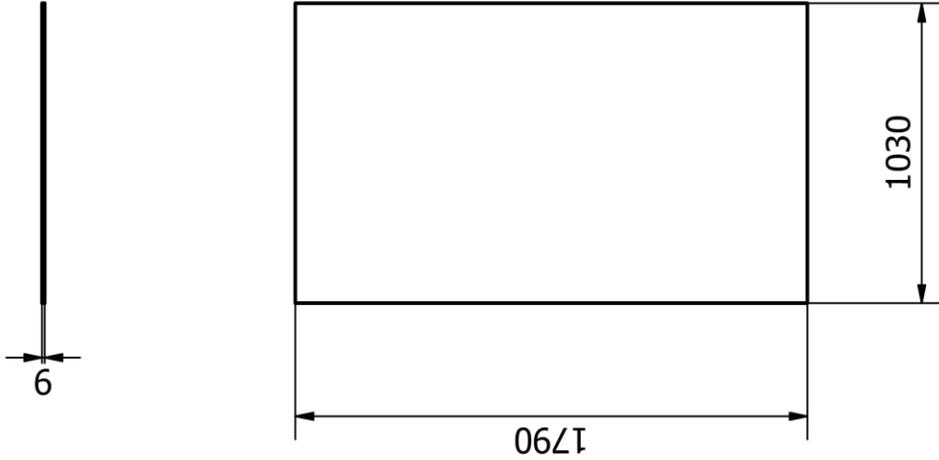
Contenido: Medidas de la cubierta y su construcción depende del material disponible para su elaboración

Hoja 1 / 1

Cubierta Traslucida



Perfil



Vista Superior



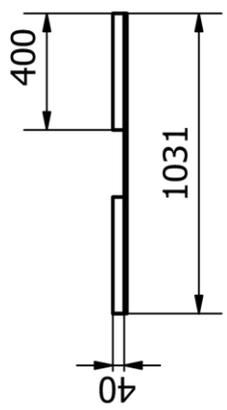
Diseño: **Giulio Noé Pérez Quijivix**  
 Fecha: **Octubre 2022**  
 Dimensional: **Milímetros**

**CUNOC / USAC**

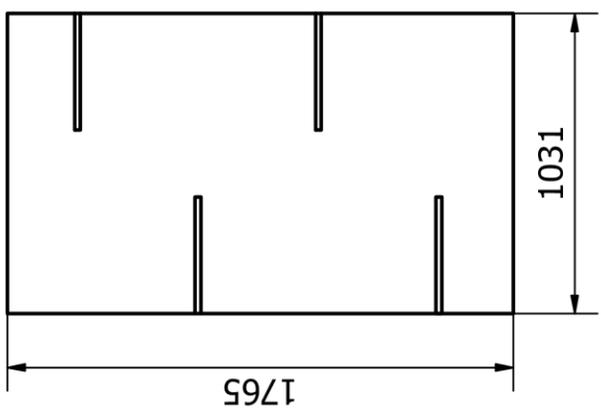
Contenido: La placa estará puesta en el interior del colector solar, con cuatro deflectores.

Placa Absorbente

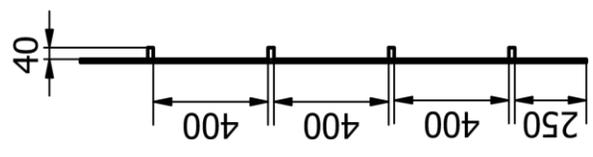
Hoja 1 / 1



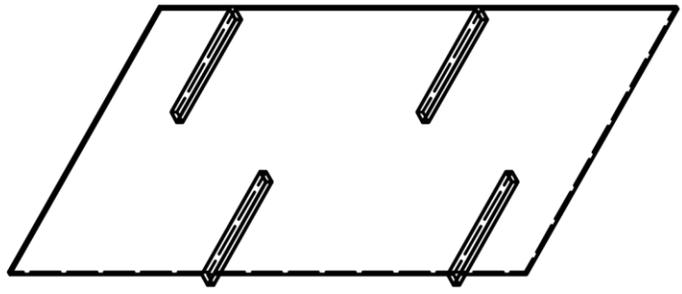
Vista Frontal

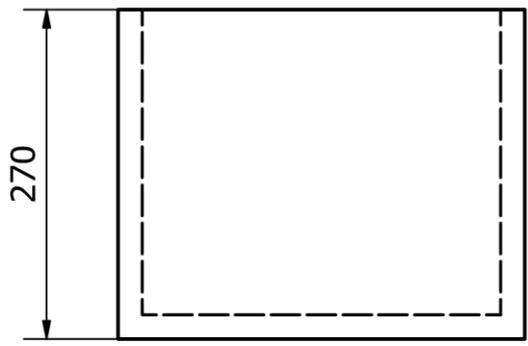
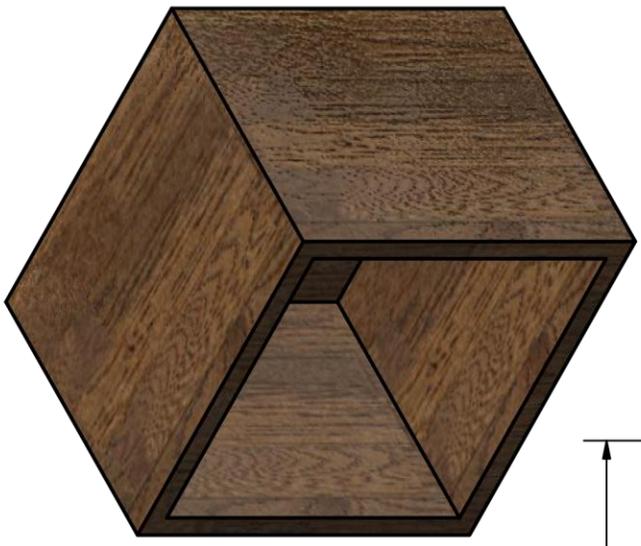


Vista Superior

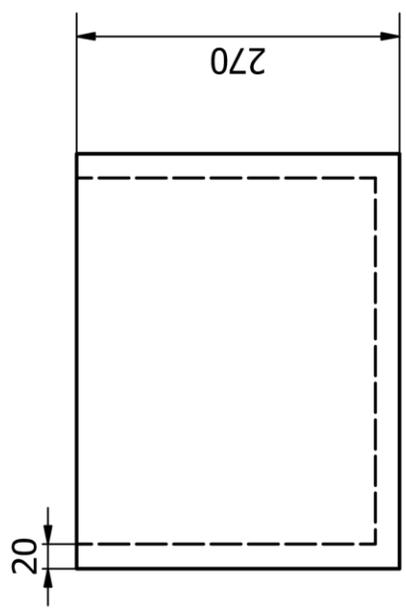


Vista Lateral

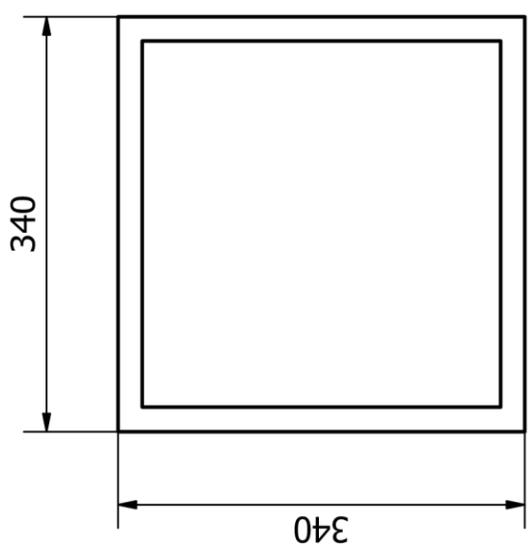




Vista Lateral



Vista Superior



Vista Frontal

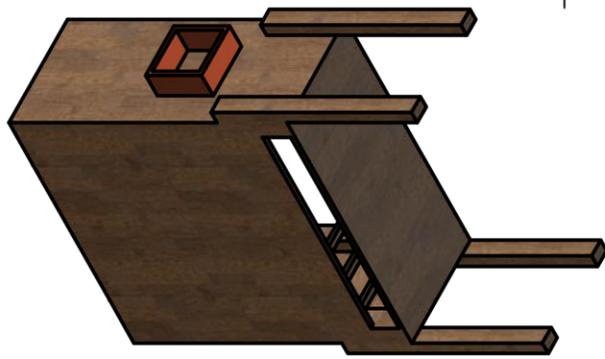
Diseño: Giulio Noé Pérez Quijivix	
Fecha Octubre 2022	Dimensional Milímetros

**CUNOC / USAC**

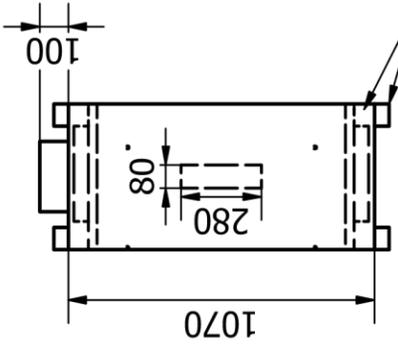
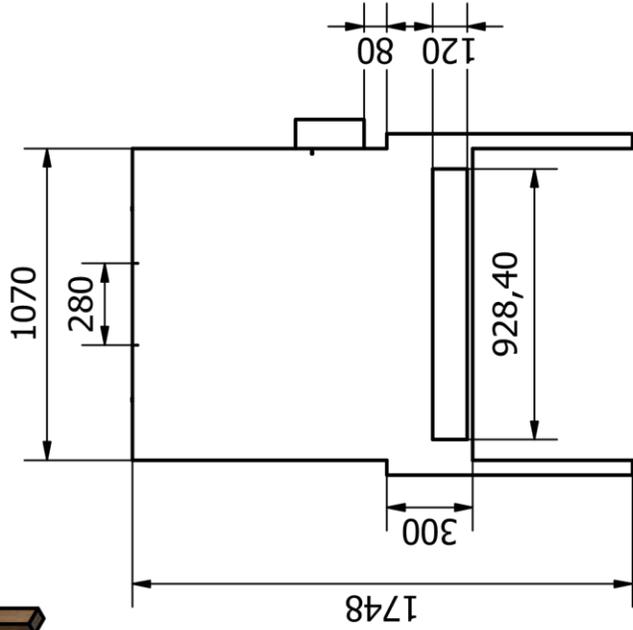
Contenido: Caja para inversor y batería del sistema solar se coloca debajo de la cámara deshidratadora.

Hoja 1 / 1



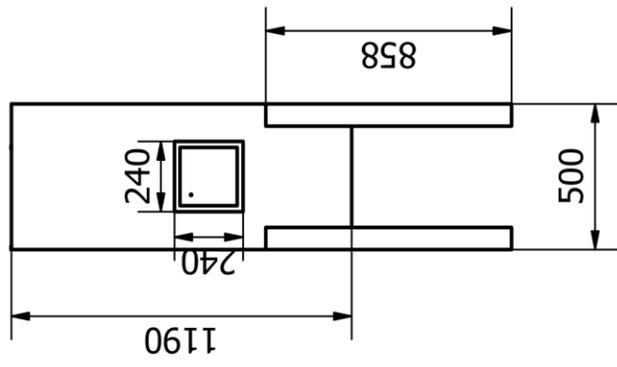


Vista Frontal



Soportes internos y externos

Vista Superior



Vista Lateral

Diseño: Giulio Noé Pérez Quijivix	
Fecha Octubre 2022	Dimensional Milímetros

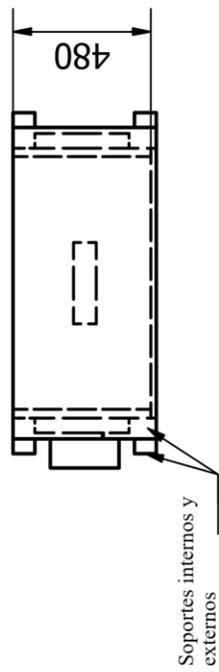
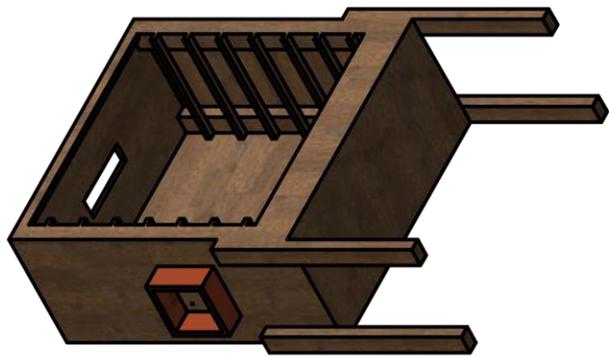
**CUNOC / USAC**

Contenido: Exterior de la cámara deshidratadora y abertura que conecta con el colector solar. Los soportes internos y externos son de 2\*3 plgs.

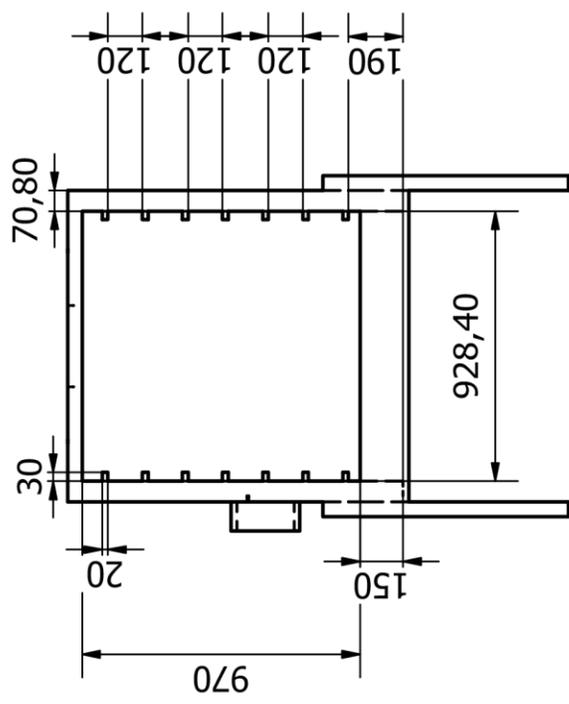
Cámara Deshidratadora

Hoja 1 / 2

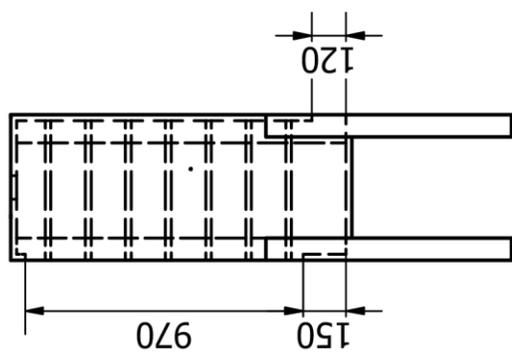




Vista Superior



Vista Posterior



Vista Lateral

Diseño:  
Giulio Noé Pérez Quijivix

Fecha  
Octubre 2022

Dimensional  
Milímetros

**CUNOC / USAC**

Contenido: La cámara deshidratadora tendrá espacio para siete bandejas. Los soportes internos y externos son de 2\*3 plgs.

Cámara Deshidratadora

Hoja 2 / 2



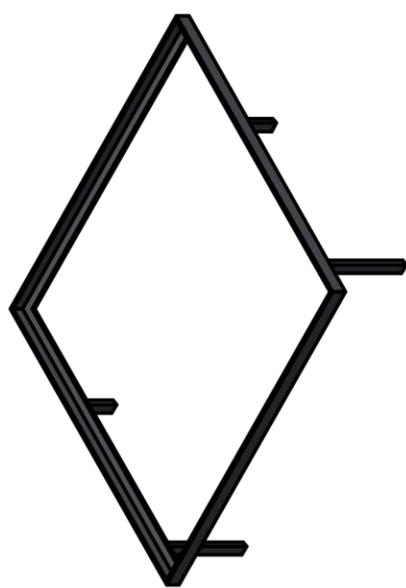
Diseño: Giulio Noé Pérez Quijivix	
Fecha Octubre 2022	Dimensional Milímetros

**CUNOC / USAC**

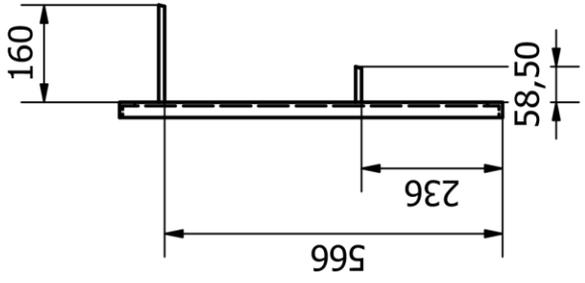
Contenido: La estructura su inclinación es de 14,5°, orientada al sur.

Estructura Panel Solar

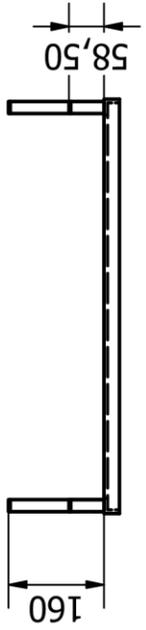
Hoja 1 / 1



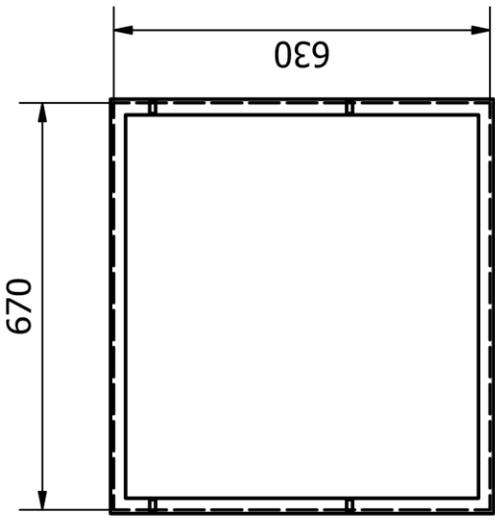
Vista Lateral



Vista Frontal



Vista Superior





Diseño:  
Giulio Noé Pérez Quijivix

Fecha  
Octubre 2022

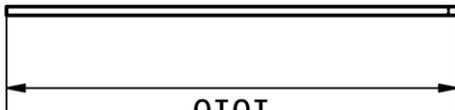
Dimensional  
Milímetros

**CUNOC / USAC**

Contenido: La puerta proporcionará el cierre hermético para el proceso.  
Contara con dos pasadores ablatibles y aislante térmico.

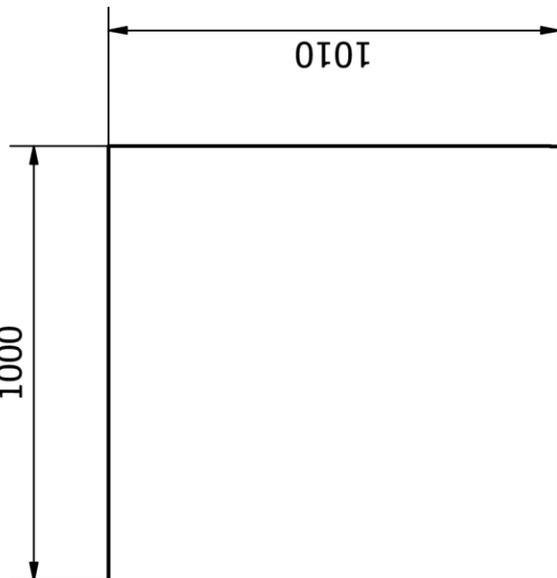
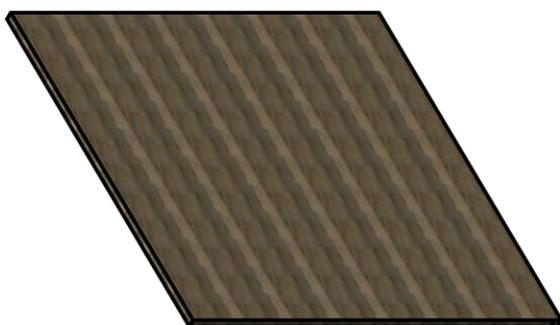
Puerta de Cámara

Hoja 1 / 1



1010

Perfil



1000

1010

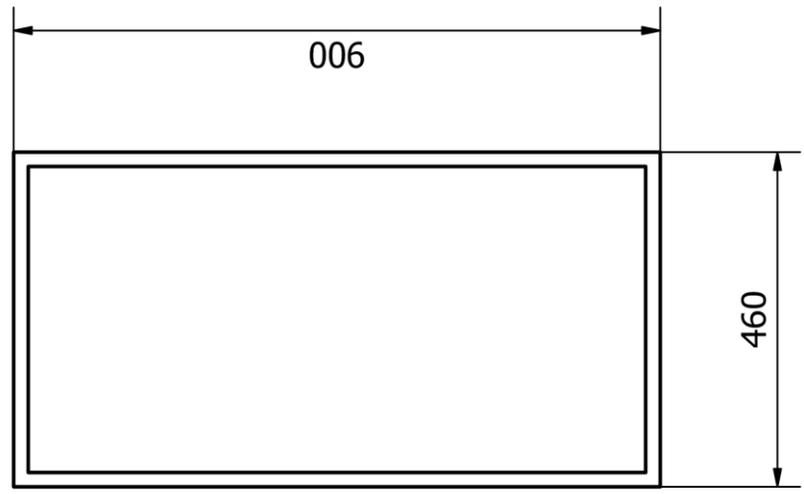
Vista Superior



20



Vista Superior



Vista Frontal



Vista Lateral



Diseño:  
Giulio Noé Pérez Quijivix

Fecha:  
Octubre 2022

Dimensional:  
Milímetros

**CUNOC / USAC**

Contenido: Bandejas con marco de madera y malla plástica

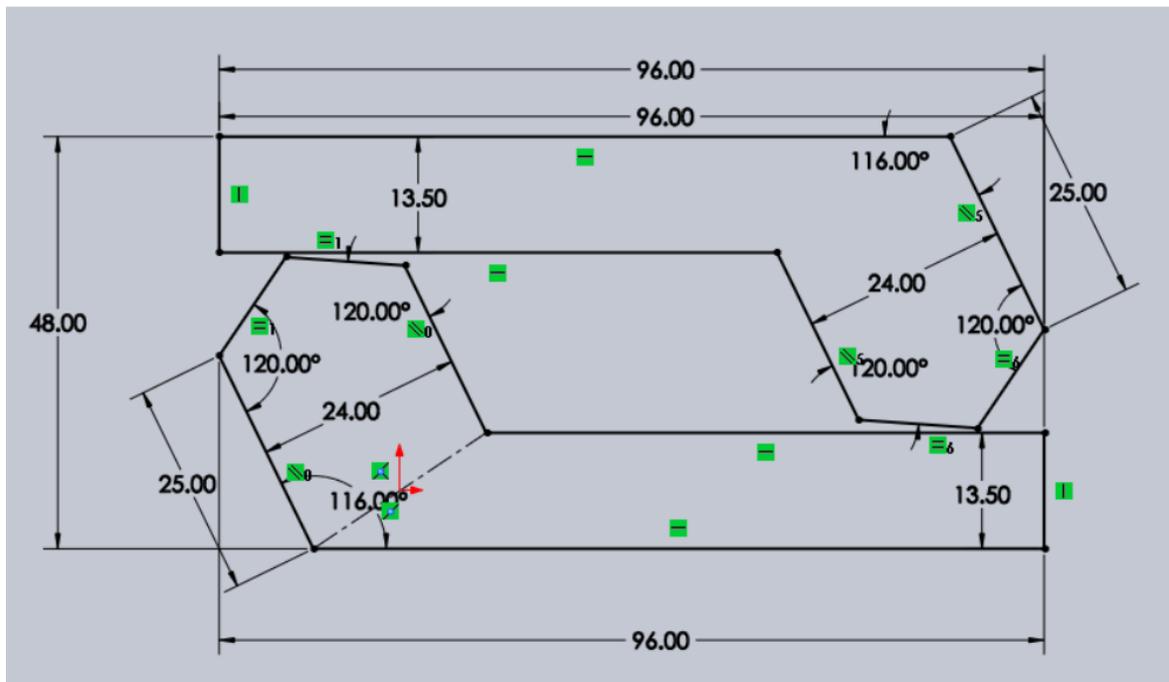
Bandeja

Hoja 1 / 1



**ANEXOS 2: PLANOS E IMÁGENES DEL REPORTE FINAL DEL PROYECTO  
USADO PARA EL PROTOTIPO DEL DESHIDRATADOR SOLAR**

Plano



Corte de piezas





Armado de la estructura



