



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

# **Tecnológico Nacional de México**

## **Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico**

### **Tesis de Maestría**

**Diseño y Construcción de un Deshidratador Solar para Frutas  
y Verduras**

presentada por

**Paola Denisse Aquino Domínguez**

como requisito para la obtención del grado de  
**Maestra en Ciencias de la Ingeniería**

Director de tesis

**Dr. Jesús Arce Landa**

Codirector de tesis

**Dr. Juan Reyes Reyes**

Cuernavaca, Morelos, México, Enero de 2025.



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico  
Subdirección Académica

Cuernavaca Mor, **13/enero/2025**

Oficio No. SAC/004/2025

Asunto: Autorización de impresión de tesis

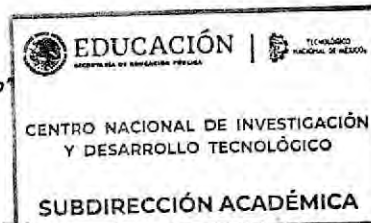
**PAOLA DENISSE AQUINO DOMÍNGUEZ**  
**CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS**  
**DE LA INGENIERÍA**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado "Diseño y construcción de un deshidratador solar para frutas y verduras", ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*"Conocimiento y Tecnología al Servicio de México"*



**CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA**  
**SUBDIRECTOR ACADÉMICO**

C.c.p. Coordinación de Ciencias de la Ingeniería  
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/lmz



**2025**  
Año de  
**La Mujer**  
**Indígena**

Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira,  
C. P. 62490, Cuernavaca, Morelos Tel. 01 (777) 3627770, ext. 4104,  
e-mail: acad\_cenidet@tecnm.mx | tecnm.mx | cenidet.tecnm.mx

**cenidet**  
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN  
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO





**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico  
Coordinación de Ciencias de la Ingeniería

Cuernavaca, Mor., 13/enero/2025

OFICIO No. MCI/001/2025

Asunto: Aceptación de documento de tesis  
CENIDET-AC-004-M14-OFCIO

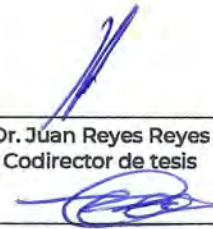
**DR. CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA**  
**SUBDIRECTOR ACADÉMICO**  
**PRESENTE**

Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial de la C. Paola Denisse Aquino Domínguez con número de control M23CE028, de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado "Diseño y construcción de un deshidratador solar para frutas y verduras" y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.



Dr. Jesús Arca Landa  
Director de tesis

Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza  
Revisor 1



Dr. Juan Reyes Reyes  
Codirector de tesis

Dr. Rodolfo Amalio Vargas Méndez  
Revisor 2

C.c.p. Depto. Servicios Escolares.  
Expediente / Estudiante  
Iniciales AMR/mrsr

## **Agradecimientos**

*Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el apoyo económico brindado para poder realizar y culminar mis estudios de maestría.*

*Quiero agradecer al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), por abrirme las puertas y brindarme todos los medios para realizar este trabajo de investigación, así como, a todo el personal administrativo por las recibidas y por su cálido trato.*

*A Dios, por darme la fortaleza, capacidad y permitirme llevar a cabo este trabajo de investigación que para mi ha sido muy satisfactorio.*

*A mi familia, iniciando por mi hijo Iker, quién ha sido mi principal motivador para mi desarrollo profesional, a mi Mamá que todo el tiempo me ha apoyado y dado ánimos para seguir adelante, a mi hermana Pam que siempre ha creído en mí y me ha impulsado y admira lo que hago y me motiva, por lo que mi familia es mi motor, que sin ellos no sería posible cumplir mis objetivos, muchas gracias.*

*A mi director el Dr. Jesús Arce Landa, gracias por su apoyo, por ser mi mentor, por enseñarme mucho más de lo académico a ser una persona sencilla y a potencializar y descubrir nuevas habilidades, las cuales son necesarias como investigador, le estoy infinitamente agradecida.*

*A mi codirector el Dr. Juan Reyes Reyes, muchas gracias, por brindarme el apoyo necesario en diversas ocasiones, y lograr un trabajo de investigación exitoso.*

*A mi comité de revisores, el Dr. Rodolfo Amalio Vargas Méndez y el Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza, por sus valiosos comentarios que enriquecieron este trabajo y me han forjado como investigador, por el interés en cada una de las revisiones y su amistad brindada.*

*A mis amigos: Tlaloc, Yen y Marci, por todo su apoyo en todo momento, por cada risa y vivencia compartida durante nuestra formación.*

## Índice

Lista de figuras .....	VI
Lista de tablas.....	VII
Nomenclatura.....	VIII
Letras griegas .....	VIII
Abreviaturas .....	VIII
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Planteamiento del problema .....	4
1.4 Ventajas y limitaciones .....	5
1.5 Alcances .....	5
1.6 Contribuciones .....	6
1.7 Estructura del documento .....	6
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>8</b>
2.1 Deshidratadores Solares.....	8
2.2 Tipos de Deshidratadores Solares .....	11
2.2.1 Componentes del Deshidratador Solar .....	14
2.2.2 Colector Solar .....	15
2.2.3 Cámara de Secado .....	17
2.3 Tipos de convección para deshidratación .....	17
2.3.1 Deshidratadores Solares que operan por convección natural.....	17
2.3.2 Deshidratadores Solares que operan por convección forzada .....	18
2.4 Deshidratación de frutas .....	19
2.5 Propiedades de la Manzana Granny Smith .....	22
2.5.1 Pretratamiento de frutas .....	24
<b>3. Diseño de Prototipo.....</b>	<b>26</b>

3.1	Diseño de Prototipo .....	26
3.1.1	Selección de materiales .....	27
3.1.2	Propiedades de los materiales .....	28
3.1.2.1	Conductividad térmica .....	28
3.1.2.2	Calor específico .....	29
3.1.2.3	Propiedades del vidrio templado .....	29
3.2	Modelos físicos .....	33
3.2.1	Modelo matemático del colector solar .....	35
3.2.1.1	Ecuación de balance de energía .....	36
3.2.1.2	Modelo de matrices .....	38
3.3	Programación .....	41
<b>4.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>42</b>
4.1	Pruebas de deshidratación por convección natural .....	42
4.1.1	Componentes del colector solar.....	43
4.1.2	Procesos experimentales .....	44
4.2	Pruebas por convección forzada .....	52
4.2.1	Componentes de cámara de secado .....	54
4.2.1	Procesos experimentales .....	54
4.3	Análisis microbiológico .....	55
4.4	Análisis fisicoquímico .....	58
4.5	Modelo de negocios .....	59
4.5.1	Descripción de la propuesta de valor .....	60
4.5.2	Estimación de la demanda .....	63
4.5.3	Descripción del proceso productivo .....	66
4.5.4	Deshidratadores solares de venta en el mercado .....	69
4.5.6	Estructura de costos .....	71
4.5.7	Proyección del flujo de efectivo .....	75
4.5.8	Indicadores de rentabilidad y viabilidad financiera VPN y TIR .....	76

<b>5. Conclusiones</b> .....	<b>78</b>
5.1 Recomendaciones .....	79
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	<b>80</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>83</b>

## Lista de figuras

<b>Figura</b>	<b>Título de figuras</b>	<b>Página</b>
2.1	Clasificación de los deshidratadores solares según la transmisión de calor.	11
2.2	Deshidratador solar indirecto	14
3.1	Dimensiones colector solar	25
3.2	Dimensiones de deshidratador solar	26
3.3	Base de colector solar	26
3.4	Tipos de fragmentación de vidrio	27
3.5	Propiedades de vidrio templado	31
3.6	Imágenes propias de cámara de secado	32
3.7	Modelo físico de colector solar I	33
3.8	Modelo físico de colector solar II	34
3.9	Circuito eléctrico resistivo de colector solar	36
3.10	Diagrama de flujo general de colector solar	39
4.1	Imágenes propias de secador solar (prototipo I)	41
4.2	Imágenes propias de termografías de aluminio, hierro galvanizado.	42
4.3	Proceso de deshidratación de manzana	46
4.4	Imágenes propias de pretratamiento de manzana	47
4.5	Imágenes propias de deshidratación de manzana (prototipo I)	48
4.6	Imágenes propias de deshidratador solar (prototipo II)	51
4.7	Imágenes propias de deshidratación de manzana (prototipo II)	52
4.8	Pruebas microbiológicas y fisicoquímicas	55, 56
4.9	Producto deshidratado	58
4.10	Modelo CANVAS	62
4.11	Instrumento para recolección de datos	64
4.12	Deshidratadores solares comerciales	69
4.13	Punto de equilibrio	74



## Lista de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Título de la tabla</b>	<b>Página</b>
2.1	Materiales propuestos de la construcción de deshidratador solar	16
2.2	Selección de materiales para colector solar de placa plana	20
2.3	Actividad de agua de diferentes alimentos	21
2.4	Naturaleza perecedera de frutas y hortalizas	22
3.1	Frutas alteradas	27
3.2	Conductividad térmica de materiales	28
3.3	Calor específico de materiales	29
4.1	Características de materiales empleados en la construcción de deshidratador solar	41
4.2	Temperaturas reportadas experimentalmente de placas absorbedoras	43
4.3	Reactivos empleados en pretratamiento de manzanas	45
4.4	Muestra de manzana verde expuestas en placas abosorbedoras	48
4.5	Muestras de manzana verde expuestas en cámara de secado	53
4.6	Análisis microbiológico de producto deshidratado	55
4.7	Análisis fisicoquímico de producto deshidratado	57
4.8	Costos de materia prima	71
4.9	Costos de otros materiales	72
4.10	Simulación Punto de equilibrio	73
4.11	Proyección de flujo de efectivo	74
4.12	Indicadores de VPN y TIR	75

## Nomenclatura

Símbolo	Descripción	Unidades
$\eta_G$	Eficiencia global.	%
$\eta_S$	Eficiencia de deshidratado.	%
$\eta_T$	Rendimiento térmico.	%
<b>M</b>	Masa.	kg
<b>L</b>	Longitud.	m
<b>T</b>	Temperatura.	°C, K
<b>t</b>	Tiempo.	s
<b>U</b>	Transmitancia	W/m <sup>2</sup> K
<b>cp</b>	Calor específico	W/m K
<b>k</b>	Conductividad térmica	W/ m K

## Letras griegas

Símbolo	Descripción	Unidades
$\gamma$	Peso específico.	$\frac{Kg}{m^2 s^2}$
$\rho$	Densidad.	$\frac{Kg}{m^3}$

## Abreviaturas

Símbolo	Descripción
<b>Aw</b>	Actividad de agua
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>FS</b>	Factor solar
<b>EA</b>	Absorción energética
<b>EA</b>	Reflexión energética

## Resumen

En este trabajo de tesis se presenta el diseño y construcción de un prototipo para deshidratación, con un enfoque específico en frutas y verduras con Actividad de Agua ( $A_w$ ) superior a 0.70. Este deshidratador solar consta de doble colector solar que alimenta de aire caliente a la cámara de secado

Se diseñaron y construyeron dos versiones de prototipo, la primera versión se trabajó de forma experimental con carga, bajo condiciones de radiación directa y por mecanismo de convección natural. Mientras que la segunda versión de prototipo o Prototipo II, consta de dos colectores y una cámara de secado. El proceso de deshidratación se lleva a cabo por radiación indirecta y por mecanismo de convección forzada, logrando un deshidratado uniforme del producto.

Cabe señalar que se llevó a cabo un diseño y estandarización de técnicas antioxidación, antiparqueo y de reducción de Actividad de Agua ( $A_w$ ), las cuales se aplicaron como pretratamiento al producto, previo a la deshidratación

Para simulación de temperatura de las placas absorbedoras que se encuentran al interior de cada colector solar se utilizó programación en código "C", en el software *Sublime*, en dicho software fue posible realizar balances globales de energía.

Por último, se desarrolló un modelo de negocios CANVAS, desglosado en sus nueve bloques, para evaluar la viabilidad financiera del proyecto. Este análisis garantiza que el deshidratador solar es un producto rentable para su incorporación al mercado del Estado de Morelos.

*Palabras clave: prototipo, deshidratador solar, humedad, temperatura, pretratamiento.*

## **Abstract**

This thesis work presents the design and construction of a prototype for dehydration, with a specific focus on fruits and vegetables with Water Activity ( $A_w$ ) higher than 0.70. This solar dehydrator consists of a double solar collector that feeds hot air to the drying chamber, this drying chamber allows a uniform drying and removal of moisture in the product.

Two prototype versions were designed and built, the first version was worked experimentally with load, under direct radiation conditions and by natural convection mechanism. The second prototype version, or Prototype II, consists of two collectors and a drying chamber.

It should be noted that antioxidation, anti-scalding and water activity ( $A_w$ ) reduction techniques were designed and standardized, which were applied as a pretreatment to the product, prior to dehydration.

To simulate the temperature of the absorber plates inside each solar collector, programming in code "C" was used in the Sublime software, in which it was possible to perform global energy balances.

Finally, a CANVAS business model was developed, broken down into its nine blocks, to evaluate the financial viability of the project. This analysis guarantees that the solar dehydrator is a profitable product for incorporation into the market of the State of Morelos.

*Key words: prototype, solar dehydrator, humidity, temperature, pretreatment..*

# **CAPÍTULO 1.**

## **Introducción**

Todas las actividades que se desarrollan en la vida diaria están relacionadas con el uso ó producción de energía. Al ingerir alimentos se está adquiriendo energía que posteriormente será utilizada para realizar alguna actividad. En los medios de transporte se emplea la energía interna del combustible para generar el movimiento de éste. En las oficinas, hogares o escuelas se utiliza la energía eléctrica para iluminar, para distintos aparatos eléctricos, etcétera; hasta en la naturaleza se puede ver como se cumple la ley de conservación de energía a través de la fotosíntesis. Entonces, se puede afirmar que el mundo no podría existir sin energía.

Desde sus inicios, los seres humanos han buscado los medios para aprovechar la energía para el beneficio propio. El primer descubrimiento fue el fuego, que permitió el desarrollo de la civilización en otras áreas como la caza y la alimentación; así como el calor para sortear las inclemencias del tiempo. Mas tarde, la fuerza del agua y/o el viento facilitó el procesamiento en alimentos y granos en los molinos. Posteriormente, con la invención de la máquina de vapor se dio paso al movimiento de máquinas con más fuerza de trabajo. Y más adelante, los motores de combustión interna que consumen combustibles fósiles derivados del petróleo llevaron a la civilización a disfrutar de un alto grado de confort, tanto en el hogar como en el trabajo

Cada vez que el hombre descubre una nueva forma de producir, transformar y consumir energía aprovecha al máximo la capacidad energética de la materia; sin embargo, los avances producidos por estas nuevas energías no se hacen extensivos a la calidad de vida del hombre. Pues tales avances están acompañados de procesos masivos de extracción y contaminación, provocando un desequilibrio en la naturaleza. La dimensión de los graves problemas medioambientales, y el frágil equilibrio entre las necesidades de la actual sociedad y nuestro medio ambiente, han evidenciado la necesidad de aplicar medidas para el ahorro y uso eficiente de la energía; con el fin de amortiguar el deterioro causado al ambiente. Debido a esta situación, surge la necesidad de utilizar fuentes de energía sustentables, tales como las energías renovables. Éstas provienen de un flujo de energía como el Sol y la Tierra y su disponibilidad prácticamente no disminuye con el tiempo; dentro de este tipo de energías se tiene la energía solar, eólica, mareomotriz, biomasa (biogás), geotérmica e hidráulica.

La energía solar es obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitido por el Sol. Ésta se puede clasificar de acuerdo a su tecnología para aplicación en: energía solar pasiva, energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, energía solar termoeléctrica, energía solar híbrida, energía eólico-solar, etc. El uso más antiguo de la energía solar consiste en beneficiarse del aporte directo de la radiación solar y es la llamada energía solar pasiva. Este tipo de energía se describe como la energía solar utilizada directamente sin ningún tipo de transformación, en definitiva, no requiere sistemas mecánicos ni un aporte extra de energía. [1].

### **1.1 Antecedentes**

El proceso de secado solar es sumamente variable siendo una función de las condiciones medio ambientales del lugar, del tipo de secador y del tipo de producto. Numerosos autores se dedican

al estudio de las tecnologías ya desarrolladas con el objetivo de evaluar formas de mejorar la eficiencia, la posibilidad de aplicarse en un determinado lugar o para un producto determinado, la viabilidad a una determinada escala y producción, o simplemente con el de encontrar dentro de las múltiples maneras de realizar el proceso, cuál sería la más efectiva [4].

Se encontraron 39 artículos correspondientes a 9 países. De acuerdo a la revisión de trabajos publicados, Brasil, México y Argentina, evidencian ser los más activos en el tema, sin embargo, el trabajo de secado con energía solar es claramente materia de interés en un gran número de países y desarrollado para múltiples aplicaciones, muchas de las cuales aún siguen en estudio.

Resalta sobre todo su importancia como alternativa de conservación para pequeños y medianos productores, especialmente aquellos que se encuentran en áreas rurales sin acceso a fuentes convencionales de energía.

Derivado de la revisión de la literatura se ha logrado encontrar una serie de ventajas, a partir de la aplicación de la deshidratación utilizando energía solar. Éstas, no son sólo comparativas respecto al método tradicional, que consiste en la exposición de los productos en secadores al aire libre, sino también respecto a otros métodos de conservación, algunos de los cuales utilizan fuentes convencionales de energía, así como técnicas de pretratamiento de frutas y hortalizas previas al proceso de deshidratación.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Diseñar y construir un deshidratador solar a pequeña escala de frutas y/o verduras

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar frutas y/o verduras que pueden deshidratarse
- Definir materiales y componentes del prototipo
- Definir geometría del prototipo
- Analizar fenómenos de convección
- Analizar procesos de pérdida de humedad.
- Realizar plan de negocios.

### **1.3 Planteamiento del problema**

En esta investigación, es fundamental un buen diseño de deshidratador solar, en el que consideren características propias del ambiente, como son la humedad relativa, temperatura, presión atmosférica; así como la naturaleza de la fruta o verdura a deshidratar, en razón de que la  $A_w$  es fundamental para considerar en el proceso de reducción de agua,  $a_w$  es de gran importancia para la preservación de los alimentos, representa una medida de la factibilidad de reproducción microbiológica y de liberación de toxinas propias de su metabolismo, desarrollo enzimático y no enzimático. Para cada alimento o producto agrícola existe un límite de actividad que por debajo del cual los microorganismos detienen su crecimiento [1]. De igual forma el aprovechamiento de radiación solar como conectarla a fenómenos de convección, La radiación solar se ve afectada por algunos factores que alteran su cantidad emitida, por ejemplo, la ubicación geográfica en las regiones soleadas se presenta mayor radiación solar que en regiones nubladas o lluviosas debido a la incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre y los factores que se interponen en su camino como partículas suspendidas en aire, densidad del



mismo entre otros, así como la selección de materiales y componentes empelados en la construcción del deshidratador solar.

#### **1.4 Ventajas y Limitaciones**

El Deshidratador Solar, consta de dos partes fundamentales: colector solar y cámara de secado, debido a estos componentes, es posible que los productos sean deshidratados por mecanismos distintos, como son la exposición directa e indirecta a la radiación solar, así mismo por mecanismos de convección natural y convección forzada. Dichos procedimientos son funcionales de acuerdo a las características y naturaleza de cada producto a deshidratar.

Sin embargo, los factores ambientales juegan un papel importante en el proceso de deshidratación. Estos factores ambientales son la intensidad de radiación solar, humedad relativa del ambiente, temperatura, velocidad del aire, entre otras.

Por ello, es recomendable que el proceso de deshidratación se lleve a cabo en días y horas con máxima intensidad de radiación solar, así mismo, evitar días con precipitaciones, derivado de que la cámara de secado está construida con una carcasa de madera, misma que se puede deteriorar debido a la exposición prolongada a la humedad.

#### **1.5 Alcances**

El diseño y construcción del prototipo final se encuentra en un Technological Readiness Level (TRL) 7, debido a:

- Cumple con validación de pruebas en condiciones reales.

- El prototipo está diseñado con características que le permite un funcionamiento adecuado.
- Es posible llevar un proceso de deshidratación adecuada y uniforme.
- Se logra una remoción de humedad del producto deshidratado superior al 70%.
- Se tienen identificadas las normativas de productos inocuos y viables para el consumo humano.
- La programación se llevó a cabo en código C, en el software Sublime, el cual permite simular balances globales de energía, así como simular temperaturas alcanzadas por las placas absorbedoras que se encuentran al interior del colector solar.

## **1.6 Contribuciones**

La construcción y diseño del deshidratador solar se fundamentó en un análisis del estado del arte, donde se identificaron las variables críticas y los parámetros óptimos para la deshidratación de frutas y verduras adecuadas para el consumo humano.

Del mismo modo se estandarizaron técnicas de laboratorio con reactivos para dar un pretratamiento a los productos, previo a la deshidratación garantizando el cumplimiento de los estándares recomendados por la Normativa Oficial Mexicana [2,3,4].

## **1.7 Estructura del documento**

Capítulo 1: Introducción. En este capítulo se presenta una introducción que contextualiza el propósito de la tesis. Se identifican las problemáticas abordadas y se proponen los objetivos de la investigación, así como los alcances del estudio. Además, se destaca la contribución de la investigación tanto a nivel científico como social.

Capítulo 2: Marco teórico. En este capítulo se expone la revisión del estado del arte, donde se ubican las aportaciones fundamentales utilizados en la investigación. El cuál se destacan las propiedades e importancia del deshidratador solar, así como los avances y trabajos previos en el área

Capítulo 3: Diseño del Prototipo En este capítulo se detallan los diseños desarrollados a lo largo de la investigación, así como identificación de componentes en cada etapa que llevaron al desarrollo del prototipo final. Así como el modelado matemático que se trabajó en código “C”, a partir del software Sublime.

Capítulo 4: Resultados de la Investigación. En este capítulo se detallan los resultados experimentales obtenidos durante el proceso de deshidratación del producto, a partir de los diferentes mecanismos de secado, por convección natural y por convección forzada, así como por método directo e indirecto de exposición a la radiación solar.

Así mismo se muestran los resultados del modelo de negocios Canvas, con un enfoque en la viabilidad financiera del proyecto. Se presentan análisis financiero, resaltando los datos relevantes y su importancia en cuanto a la rentabilidad y viabilidad del deshidratador solar, en caso de que se decida su incorporación al mercado.

Capítulo 5: Conclusiones generales. Este último apartado incluye el resumen de la investigación, productos obtenidos durante el desarrollo del tema de tesis y de los trabajos futuros que se identificaron como áreas de oportunidad para continuar con la mejora continua.

## **CAPÍTULO 2.**

### **Marco teórico**

#### **2.1 Deshidratadores Solares**

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Este se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la Ley de Planck, a una temperatura de unos 6000K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta [7].

La radiación solar es absorbida por la atmosfera, nubes y partículas suspendidas en la atmósfera, cierta cantidad de radiación es reflejada y devuelta al espacio, y, parte de esta es absorbida por la superficie de la Tierra. Como resultado de la influencia de la cubierta de nubes y de la dispersión de la luz solar, la radiación recibida en cualquier punto es la combinación de radiación directa, reflejada, y difusa.

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire y así retirar el agua de los tejidos de productos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas o madera. Ya que han sido deshidratados, los alimentos pueden conservarse secos hasta por un año sin perder sus propiedades nutritivas, bromatológicas y organolépticas. La deshidratación solar es una alternativa renovable para la microindustria y un mecanismo de desarrollo económico para pequeños productores hortofrutícolas [8].

En la deshidratación, la remoción de humedad es el proceso de interés porque relaciona la transferencia de masa y transferencia de calor, y determina las condiciones del producto final. Los alimentos, particularmente frutas y hortalizas, requieren aire caliente con rango de temperaturas entre 45 y 60 °C, para una deshidratación segura, es decir, que los productos conserven la mayoría de sus propiedades nutricionales y organolépticas [9].

El colector está cubierto con vidrio y tiene en su interior una chapa de color negro lisa, para aumentar su superficie de intercambio de calor con el aire. El aire ambiental ingresa por la extremidad inferior del colector, que está cubierta por una malla de metal tipo cedazo, y se calienta gradualmente hasta una temperatura superior a la temperatura ambiental. Entra finalmente en la cámara, donde atraviesa las bandejas, ejerciendo su poder secador, provocando por convección, una corriente de aire caliente que pasa entre los productos colocados en su camino, secándolos, y arrastrando la humedad al exterior por una chimenea.

El tiempo de deshidratación de las frutas y verduras, depende de varios factores. Los más importantes son [9]:

- Tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo)
- Tamaño de los trozos del producto (más grande, mayor tiempo)
- Temperatura del aire (más elevada, menor tiempo)
- Humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo)
- Velocidad del aire (más elevada, menor tiempo)
- Radiación solar (mayor radiación, mayor temperatura en la cámara del deshidratador, mayor temperatura en el colector).

El deshidratado solar, es el procedimiento para llevar a cabo el secado o deshidratado debe seguir una determinada secuencia. Primeramente, la fruta u hortaliza debe ser dispuesta en bandejas con fondo de malla de modo que no se toquen o superpongan. La fruta debe ser cargada en las bandejas tan pronto como se prepara, para evitar que las piezas se peguen entre sí. Se debe evitar la luz solar directa ya que blanquea el color y reduce el nivel de vitaminas A y C. La temperatura de secado debe ser controlada para evitar el sobrecalentamiento y el deterioro. Si la temperatura de secado es muy alta, especialmente al inicio del secado, el exterior de la fruta u hortaliza se seca muy rápido y se endurecerá; esta capa dura y seca evitará la pérdida de humedad, por lo que el centro podría deteriorarse durante el almacenado. La mayoría de los frutos se secan a 60-70 °C. Las frutas se secan hasta alcanzar un contenido de humedad final deseado (15% convencionalmente).

En la Figura 2.1, se describen algunos sistemas solares empleados en la deshidratación de frutas y verduras.

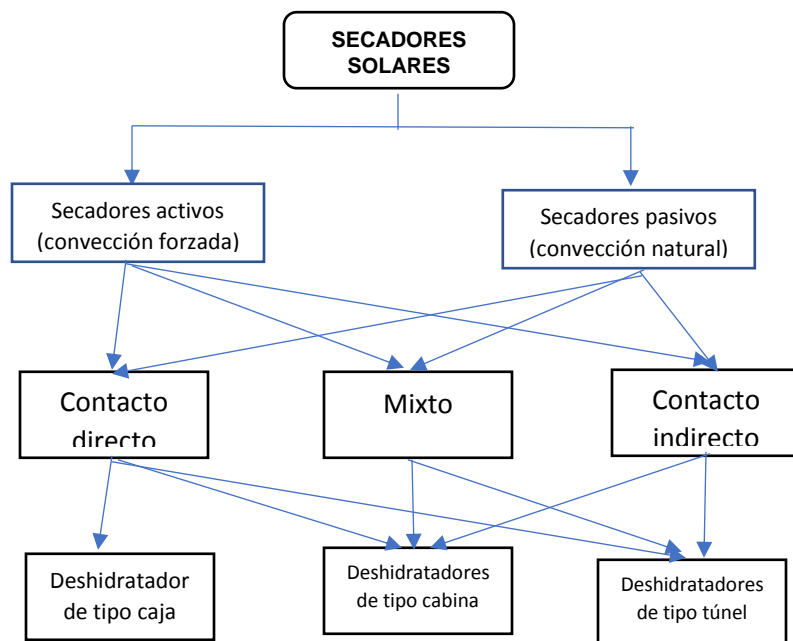


Figura 2.1. Clasificación de los deshidratadores solares según la transmisión de calor.

## **2.2 Tipos de deshidratadores solares**

### **i) Secadores solares pasivos.**

Aún común en regiones de África, el mediterráneo, Asia. Su configuración es el de una “caja caliente” expuesta al sol, el calentamiento se realiza por convección natural y utiliza una cubierta transparente, su costo es bajo, fácil de instalar y su instalación se sugiere en lugares donde no hay disponibilidad de energía eléctrica.

### **ii) Tipo cabina y efecto invernadero.**

Constan de una cubierta transparente del lado sur y de una cubierta negra del lado norte. Por los lados este y oeste están abiertos para permitir la circulación de aire. El producto se distribuye en una rejilla. Estos secadores son baratos y de fácil instalación. Se pueden construir con estructuras de madera y cubiertas de malla para permitir el paso de aire en donde es requerido. Los secadores del tipo cabina son sencillos y baratos se sugieren para el secado de productos agrícolas, normalmente se construyen con áreas de secado de 1 a 2 m<sup>2</sup> y capacidades de 10 a 20 kg.

### **iii) Sistemas de secado pasivos con convección natural.**

Se caracterizan por el acomodo de múltiples superficies de secado en posición y para vencer la resistencia al flujo del aire de ascenso se aplica el concepto de chimenea solar o con un ventilador. De estos sistemas también existen estudios para el diseño y estimación de la eficiencia de secado.

En estos sistemas el aire viaja debajo del colector a una velocidad de 0.13 m/s. Este sistema de secado permite manejar granos en alturas de 1 – 2 m de profundidad.

**iv) Secadores con colector y efecto invernadero.**

Consisten en un túnel con una cubierta transparente y un colector. Estos sistemas tienen la capacidad de manejar grandes cantidades de materiales.

Su inclinación es de 18 ° y una orientación siguiendo hacia el sur. El fondo del túnel está constituido por una hoja de plástico negra. Se utiliza para secar frutas, vegetales, hierbas aromáticas como el laurel, y eneldo

**v) Deshidratador solar tipo túnel**

El proceso de deshidratación permite manejar los productos agrícolas en temporadas posteriores a la cosecha, permitiendo conservarlos sin causar cambios significativos en las propiedades del producto. Este estudio se enfoca en realizar la evaluación energética a un deshidratador solar de frutas tipo túnel por convección natural ubicado en la región la vereda las Mangas, municipio Santa Rosa de Cabal, Departamento de Risaralda, para los procesos de secado de plátano y tomates como alimentos que registran altos índices de cultivo y producción en la zona. En tal virtud, identificadas en primera instancia las características constructivas del equipo, se prosiguió a efectuar la evaluación operativa que consistió en estudiar el dispositivo aplicando conceptos de transferencia de calor al colector, como también balance de masa y energía al proceso de secado. De este modo, dicho análisis permitió cuantificar el rendimiento térmico  $\eta T$  cercano al 30%, el desempeño durante el proceso de deshidratado  $\eta S$  con promedios de 11,2 %, 14,6 % y 18,3 % para los casos analizados: sin carga, con banano y con tomate respectivamente y la eficiencia global  $\eta G$  del sistema, con promedios de 30,5 %, 33,2 % y 41,2 % para los mismos casos respectivamente. Algunas recomendaciones para mejorar el diseño del deshidratador y así su desempeño se sugieren en este trabajo.



En esencia, se destacan dos aspectos que caracterizan el funcionamiento del equipo, que son: la forma en cómo se captura y se transmite la energía al producto, y la manera en que se presenta la circulación de aire a través del equipo. En primer lugar, se define por emplear el modo mixto de secado solar, donde el flujo energético hacia los alimentos será producto tanto de la exposición directa a la radiación solar, como del aire caliente circulando sobre ellos; y, en segundo lugar, dicho flujo de aire se caracteriza por ser en convección forzada, pues en su configuración cuenta con un medio externo que inducirá el movimiento del fluido.

#### **vi) Deshidratador solar indirecto**

En el secado indirecto no se exponen los alimentos directamente a la radiación solar, para disminuir la decoloración y el agrietamiento en la superficie de estos. Los secadores solares indirectos poseen una unidad colectora solar donde ingresa el aire y una cámara de secado separada donde se almacenan los productos a secar. En el secado solar indirecto el calor necesario para la evaporación se transfiere de forma convectiva desde el aire caliente hacia el material húmedo. Con el secado indirecto se alcanza un mayor control de las condiciones de secado, por lo que se obtiene un producto de mejor calidad [13].

#### **Ventajas**

1. Ofrece un mejor control sobre el secado, por lo que el producto obtenido es de mejor calidad que el obtenido mediante secado al sol.
2. La caramelización y daño por calor localizado no ocurren como los productos que están protegidos contra la radiación directa.
3. Se puede operar a mayor temperatura.

4. Muy recomendable para los cultivos fotosensibles.

5. Tienen una mayor eficiencia que el secado solar directo.

La selección del tipo de secador solar debe adaptarse al manejo del producto tanto húmedo como seco, acomodando el proceso de secado al producto con las características deseadas. El secador debe ser evaluado según sus costos y rendimientos.

### 2.2.1 Componentes del Deshidratador Solar

El deshidratador solar se compone de:

Área de captación. - Es el área que recibe la radiación solar y la transforma en el calor con el cual se van a deshidratar los productos

Área de desecado. - Donde se encuentra el producto a desecar

Área de evacuación de la humedad. - Lugar donde el aire cargado de humedad se pierde en la atmósfera.

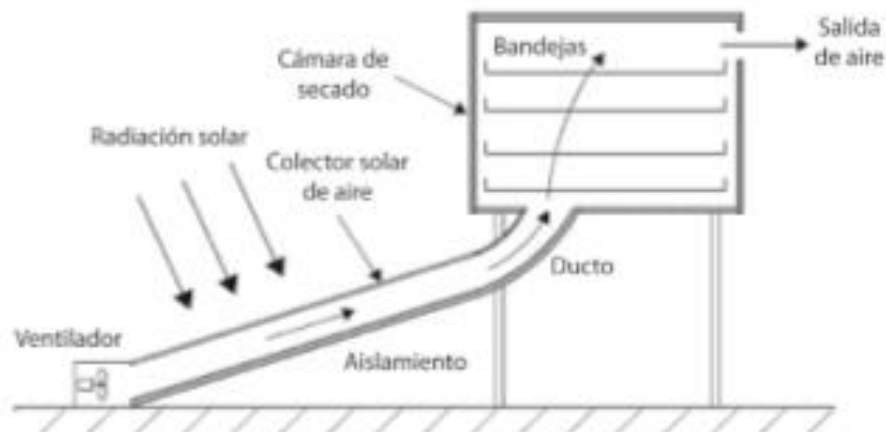


Figura 2.2. Deshidratador solar indirecto.

*ii) Los componentes de un secador solar son los siguientes:*

### **2.2.2 Colector**

Cubierta transparente: Es un material que permite la entrada de la radiación solar y minimiza las pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente, además ofrece protección y resistencia mecánica hacia las agresiones externas; su funcionamiento se basa en el principio del efecto invernadero.

De esta manera, el material empleado para la cubierta debe poseer alta transmitancia y baja reflectancia, generando así que la mayor parte de la radiación incidente sea transferida por convección al aire.

Placa absorbidora: El material empleado para dicho elemento debe ser capaz de absorber la radiación solar y transformarla eficientemente en energía térmica para transferirla en forma de calor al fluido de trabajo. Dentro de los parámetros a considerar están: alta absorción, bajo nivel de emisividad, buena conductividad térmica y alta durabilidad [11].

Se han realizado diversas investigaciones con el fin de aumentar la transferencia de calor entre la placa absorbidora y el fluido de trabajo, logrando favorecer la eficiencia energética. Entre éstas, se fijaron deflectores de geometría determinada [5], ondulaciones y/o porosidades en el material de dicha placa; logrando así un aumento en el área de contacto entre el fluido y la placa, para generar turbulencia en el aire e incrementar la temperatura de salida del colector.

Otra de las características importantes a tener en cuenta en el diseño del colector, es la ubicación de la placa absorbidora y la disposición del flujo del aire [11]. La disposición empleada en este estudio es el paso del aire por la parte inferior de la placa absorbidora, con el fin de aumentar

la eficiencia y disminuir las pérdidas que se puedan generar por el paso del fluido entre la cubierta y el absorbedor.

**Aislamiento del colector:** Es el material utilizado en zonas del captador que no son transparentes (lateral e inferior), cuya función es reducir las pérdidas de calor al exterior. Para ello deben tener un buen coeficiente de aislamiento o baja conductividad, resistir las altas temperaturas sin deteriorarse, soportar la humedad, poseer baja degradación y evitar que éste desprenda vapores al descomponerse por el calor.

**Carcasa del colector:** Su función es contener y proteger todos los elementos del colector aportando rigidez y resistencia estructural al conjunto, para así ser fijado sobre un soporte que le dé inclinación y orientación al sistema; además, debe ser construida de un material que posea resistencia a las condiciones ambientales, aplicar geometrías que no permitan la acumulación de agua, implementar orificios en dicha carcasa para permitir su aireación y evacuación del condensado en zonas que no generen pérdidas por calor o la entrada de contaminantes.

En la Tabla 2.1, se ilustran los materiales seleccionados para el colector solar de placa plana estudiados en la literatura consultada para efectos del deshidratador solar diseñado.

*Tabla 2.1 Materiales seleccionados en la construcción de colector solar*

<b>Características</b>	<b>Selección</b>
Cubierta transparente	Vidrio templado
Placa absorbedora	Hierro galvanizado, (recubrimiento de pintura negra)
Aislamiento del colector	Fibra de vidrio
Carcasa del colector	Hierro galvanizado

### **2.2.3 Cámara de secado**

La cámara de secado es un sistema que permite la ejecución de procesos de transferencia de masa y calor para la obtención de alimentos deshidratados. Su diseño varía de acuerdo a la cantidad de alimentos, al sentido del flujo del aire y al gusto del fabricante.

Los componentes principales de la cámara de secado y los principios de funcionamiento son:

**Carcasa de la cámara de secado:** Al igual que en el colector, es una estructura externa que le brinda rigidez a la cámara, por tal razón se debe emplear un material que soporte las condiciones a la intemperie y posea alta resistencia para soportar altas cargas.

**Cámara interna:** Es un componente expuesto a cambios de temperatura y presión, en contacto directo con los alimentos a deshidratar. Por esta razón se emplea un material que posee alta resistencia a la corrosión y es adecuado para el manejo de alimentos.

**Aislamiento de la cámara de secado:** Es un material que recubre todas las paredes de la cámara, reduciendo las pérdidas térmicas; se debe caracterizar por poseer baja conductividad y degradación para lograr un alto tiempo de servicio.

**Bandejas:** Son los elementos de soporte de los alimentos, cuya cantidad varía de acuerdo a la capacidad de la cámara y a su dimensionamiento. El material empleado debe poseer resistencia a altas cargas y a la corrosión, ya que se encuentra en contacto directo con los alimentos; además, debe permitir el contacto entre el aire caliente y el producto a secar.

### **2.3 Tipos de Convección para deshidratación**

Se caracterizan por el acomodo de múltiples superficies de secado en posición y para vencer la resistencia al flujo del aire de ascenso se aplica el concepto de chimenea solar o con un

ventilador. De estos sistemas también existen estudios para el diseño y estimación de la eficiencia de secado [21].

En estos sistemas el aire viaja debajo del colector a una velocidad de 0.13 m/s. Este sistema de secado permite manejar granos en alturas de 1 – 2 m de profundidad.

#### **i) Deshidratador Solar Indirecto por Convección Forzada**

Este tipo de deshidratador está compuesto por un armario o cámara que puede albergar uno o dos ventiladores que hacen circular aire caliente a través de un grupo de bandejas, sobre las cuales se coloca el alimento a secar, apiladas en estantes o carretes. El aire puede ser calentado por medio de vapor, algún combustible o con corriente eléctrica, con el fin evaporar la humedad del alimento.

El deshidratador solar que se ha diseñado tiene cuatro partes fundamentales que son: colector solar, la cámara de deshidratación, ventilador y panel fotovoltaico.

Para determinar la eficiencia térmica del sistema de deshidratación se realiza un balance de masa y energía del mismo, hallando la energía útil por la cantidad de agua evaporada y el calor latente de extracción del agua. Esta se halla con el método de peso seco de muestras horarias o diarias de producto en balanzas de precisión durante todo el proceso de secado. Simultáneamente, se halla la energía incidente o radiación solar global mediante piranómetros de alta precisión. En general, el nivel de error relativo de los instrumentos empleados no supera entre 2 y 5 %. [22,23].

Se analizaron distintos trabajos donde se evalúan deshidratadores solares. Según estos autores [11], los parámetros que mayormente se utilizan para medir los secaderos solares pueden sintetizarse en:

- Características físicas del secadero.
- Rendimiento térmico.
- Calidad del producto desecado.
- Costos y tiempo de amortización [25]

#### **2.4 Deshidratación de Frutas**

La operación de secado de frutas y residuos vegetales, involucra mecanismos de transferencia de materia y calor, estos se controlan para manejar un proceso ecoeficiente y obtener un producto de mejor calidad. Los parámetros de interés en una operación de secado son: actividad del agua, transferencia de materia y calor, difusión de la humedad y curvas de secado [26].

La eliminación de agua se da en una serie de etapas diferenciadas entre sí por la velocidad de secado, la etapa inicial ocurre cuando el producto y el agua en él contenida se calientan ligeramente. Posteriormente se produce una reducción importante del contenido en agua a velocidad de secado constante, esta etapa tiene lugar a temperatura constante (bulbo húmedo del aire). En general la etapa de velocidad de secado constante finaliza al alcanzarse la humedad crítica; luego se presenta uno o varios períodos de velocidad de secado decreciente. La humedad crítica se identifica por el cambio brusco de la pendiente en la curva de velocidad de secado. [27].

La reducción de humedad en los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados de conservación, al reducir el contenido de agua se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y otros mecanismos asociados a él. La mayoría de los frutos se secan a **60-70 °C**. Las frutas se secan hasta alcanzar un contenido de humedad final deseado (15% convencionalmente).

Uno de los parámetros más importantes en el secado de alimentos es la condición de equilibrio que determina el límite del proceso. En la Tabla 2.2 se hace referencia de Actividad de agua (Aw) de diferentes alimentos, la cual es el factor determinante en el estudio de la estabilidad de los alimentos deshidratados.

La Aw es función de:

- Contenido de agua del alimento
- Temperatura
- Mecanismo: Si se elimina agua (desorción), o se incorpora agua (sorción).

*Tabla 2.2 Actividad de Agua de diferentes alimentos.*

<b>Intervalo de Aw</b>	<b>Microorganismos</b>	<b>Alimentos</b>
0.95 - 1.00	<i>Pseudomonas, Escherachia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringers, algunas levaduras,</i>	Alimentos frescos, fruta enlatada, vegetales, carne, pescado, leche.
0.91 - 0,95	<i>Salmonella, Serratia, Lactobacillus, Pedicocus, Vibrio Parahemolyticus, Clostridium botulinium, Bacilus cereus, Staphylococcus aureus, algunos hongos y levaduras.</i>	Quesos frescos, carnes curadas.

La maduración de los frutos suele estar acompañada por una modificación del color. La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con una degradación de la clorofila. Se produce, además, una importante síntesis de otros pigmentos rojos y amarillos, característicos de las frutas maduras. El contenido en licopeno del tomate, por ejemplo, se



incrementa notablemente durante la maduración. Lo mismo sucede con los carotenoides de los cítricos y el mango. La formación de antocianos suele activarse por la luz.

El paso del tiempo conlleva una pérdida de agua por difusión a través de las paredes celulares, lo que causa un arrugado o marchitamiento a medida que las membranas celulares se separan de las paredes, y las hortalizas pierden firmeza. También pueden ser golpeadas y presentar manchas negras. Las hortalizas constituyen un sustrato muy bueno para una alteración rápida, debido a su alto contenido en agua y a que, en su composición, se encuentran presentes numerosas enzimas que, en determinadas condiciones, pueden actuar de forma negativa. Esto obliga a asegurar no sólo su recolección, sino también su conservación a corto o a largo plazo, de forma que lleguen a los mercados de destino en el mejor estado posible [27].






La maduración de los frutos suele estar acompañada por una modificación del color. La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con una degradación de la clorofila. En la Tabla 2.3 se muestra la vida potencial de distintas frutas y verduras durante la maduración natural de los mismos. Del mismo modo se puede notar la formación de antocianos suele activarse por la luz [28].

*Tabla 2.3 Naturaleza perecedera de frutas y hortalizas.*

<b>Índice de perecibilidad</b>	<b>Vida potencial (semanas)</b>	<b>Productos</b>
Muy alto	Menos de 2 semanas	Brócoli, coliflor, mora, frambuesa.
Alto	2 a 4 semanas	Apio, tomate.
Moderado	4 a 8 semanas	Limón, sandía, mango, papa.
Bajo	8 a 16 semanas	Cebolla, manzana, ajo, pera.
Muy bajo	Más de 16 semanas	Frutos secos.

Las frutas pueden deteriorarse por causas naturales de índole: física, química y/o biológica o derivada de tratamientos tecnológicos inadecuados, ha sufrido modificación y/o deterioro de sus características organolépticas, composición y/o valor nutritivo. Así mismo en la Tabla 2.4 se pueden observar los distintos tipos de alteraciones naturales, por presencia microbiana y/o enzimática, así como por causas externas como son de tipo ambientales y mecánicas, así como de tipo internas como son las fisiológicas.

*Tabla 2.4 Frutas alteradas.*

Presencia de hongos. (blancos, verdes, azulados o incluso negros)	<b>ACTIVIDAD MICROBIANA</b>	
Cambios de coloración.	<b>ACTIVIDAD ENZIMÁTICA</b>	
Deshidratación, crecimiento de brotes, marchitamiento	<b>CAUSAS FISIOLÓGICAS</b>	
Granizo, heladas, sobrecalentamiento, congelación.	<b>CAUSAS MEDIO AMBIENTALES</b>	
Daños, cortes, golpes, grietas o machucones.	<b>CAUSAS MECANICAS</b>	

## 2.5 Propiedades de la Manzana Granny Smith

La manzana, por su valor nutritivo y sus características fisicoquímicas y organolépticas, ha sido objeto de investigación. Los tratamientos más importantes se realizan a través de los fenoles derivados del ácido hidroxicinámico, presente en la manzana. El ácido clorogénico, seguido de

las catequinas, son responsables del oscurecimiento. Diferentes estudios han concluido que la polifenoloxidasas en frutas como la manzana, se encuentra principalmente en el centro, y de forma secundaria cerca de la cáscara [29].

El mayor componente de la manzana es el agua (85% BH), seguido de carbohidratos (12%) proteínas (0,3%) y micronutrientes como vitaminas, minerales y enzimas, entre otros [30].

La tecnología de secado es responsable de los procesos de deshidratación para la conservación, pero hay que tener en cuenta la geometría del producto y el tipo de secador. Los métodos más aplicados en los procesos de secado son, convectivo, convectivo microondas, vacío y liofilización.

El secado convectivo transmite el calor necesario para la evaporación; “la tecnología de deshidratación solar remueve gran parte del agua, proporcionando una ventaja que distingue este método de los otros convencionales [32] la liofilización busca alcanzar valores de 5% de humedad o menores, disminuyendo las pérdidas de los componentes volátiles y termo sensibles el secado al vacío es un sistema adecuado para materiales sensibles al calor y a la oxidación, como es el caso de las frutas y vegetales. El cambio de color se ve afectado por el grosor del material y la temperatura, además de la tecnología empleada [33]

### **2.5.1 Pretratamiento de Frutas**

Las frutas pueden deteriorarse por causas naturales de índole: física, química y/o biológica o derivada de tratamientos tecnológicos inadecuados, ha sufrido modificación y/o deterioro de sus características organolépticas, composición y/o valor nutritivo.

Uno de los desafíos más importante en la industria de alimentos es la conservación de las propiedades nutricionales y organolépticas del alimento para generar un alimento de calidad. Sin embargo, los alimentos contienen nutrientes que se pierden o degradan fácilmente durante el proceso de deshidratación [34].

Los cambios nutricionales que sufra el alimento dependen del alimento en cuestión como también del proceso de secado empleado. En este contexto, parámetros como sólidos solubles, contenido de vitaminas y color son utilizados comúnmente para cuantificar la calidad de los jugos y frutas que son llevados a procesos térmicos en general [35].

Es común el uso de la vitamina C como parámetro de referencia para determinar la calidad nutricional de un alimento que ha sido llevado a un proceso térmico ya sea de esterilización o deshidratación.

Cuando trozos de frutas o verduras frescas se sumergen en una solución de azúcar o de sal, que tiene una concentración de este soluto mayor a la de los alimentos, el agua pasa del alimento a la solución bajo la influencia del gradiente de presión osmótica generando con esto una reducción en la actividad del agua del alimento. Este método para eliminar la humedad de los alimentos se conoce como deshidratación osmótica, este término puede ser engañoso ya que el producto final es rara vez estable y el procesamiento adicional es necesario para extender su vida útil. Concentración osmótica sería una descripción más exacta de este proceso, durante la ósmosis, las paredes celulares actúan como membranas semipermeables, liberando el agua y reteniendo sólidos.

Una serie de nuevas tecnologías utilizadas a modo de pretratamientos en deshidratación indican que la aplicación de ultrasonido en combinación de deshidratación osmótica, aumenta la difusividad del agua y reducen los tiempos de deshidratación por aire convectivo, en piñas frescas [30]. Otros ejemplos lo constituyen la aplicación de campos eléctricos y vacío combinados con deshidratación osmótica, para la posterior deshidratación por aire caliente, en alimentos vegetales [36].

En cuanto a los tratamientos químicos es importante destacar la utilización de compuestos azufrados [33,34]. La utilización de la deshidratación osmótica como pretratamiento se ha utilizado sobre todo en países en desarrollo. Este proceso se basa en la concentración de productos alimenticios por inmersión en una solución hipertónica [36] lo que produce la salida del agua y otras sustancias solubles desde el alimento, hacia una solución concentrada a través de una membrana natural semipermeable [37,38]. El proceso de osmosis llega a su término una vez que los potenciales químicos del alimento y la solución llegan al equilibrio. Este proceso no genera productos estables por si solo en el tiempo, por lo que preferentemente se utiliza como pretratamiento de otros procesos como el congelado, pasteurizado y deshidratado entre otros [36].

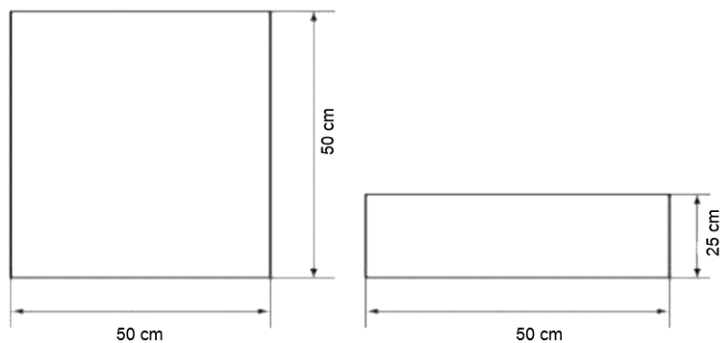
## CAPÍTULO 3.

### Diseño de Prototipo

#### 3.1 Propuesta de diseño de Deshidratador Solar

En la Figura 3.1, se puede observar el diseño y dimensiones propuestas en el diseño de colector solar de placa plana, el cual consta de una estructura de vidrio crudo y cristal templado.

#### *Colector solar*



*Figura 3.1. Dimensiones colector solar.*

Así mismo en la Figura 3.2, se observa el diseño propuesto y las dimensiones del sistema de deshidratación completo, el cual consta de un colector solar y de una cámara de secado.

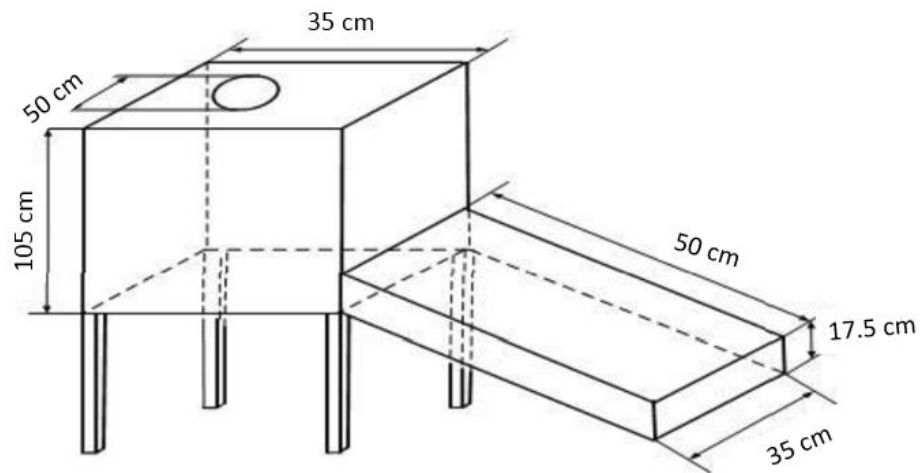


Figura 3.2. Dimensiones Deshidratador solar.

### 3.1.1 Selección de Materiales

En la Figura 3.3 se observa la estructura y diseño de la base para el colector solar propuesto, considerando el estudio previo de las propiedades térmicas, ópticas y mecánicas de los componentes.

<b>Colector solar</b>	Cubierta transparente: Vidrio templado espesor 5 mm
	Placa absorbidora: Placas de aluminio y placas de hierro galvanizado de espesor 3 mm, con pintura absorbente
	Aislante colector: Madera
	Carcasa del colector: Vidrio crudo, espesor 5 mm.



Figura 33. Base colector solar.

### 3.1.2 Propiedades de los Materiales

En la Figura 3.4, aparecen los distintos tipos de vidrio, según su composición, pueden clasificarse en función del tipo de rotura que estos sufren:

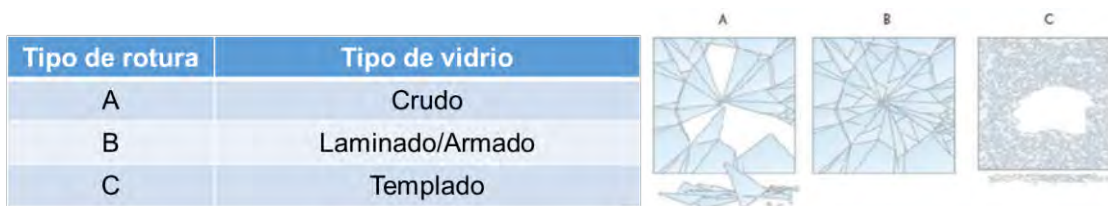


Figura 3.4 Tipos de fragmentación de vidrio

#### 3.1.2.1 Conductividad térmica

La transmisión de calor se encuentra definida por una característica denominada Conductividad Térmica: Es la capacidad del material para transmitir el calor [19]. En la Tabla 3.1 se encuentran los valores obtenidos experimentalmente en la literatura de los distintos materiales estudiados y que se consideran viables para formar parte de la construcción del prototipo.

##### *Placa absorbidora*

Tabla 3.1 Conductividad térmica de materiales

Material	Conductividad térmica (W/m K)
Aluminio	205.0
Hierro	79.5

##### *Aislante colector*

Material	Conductividad térmica (W/m K)
Madera	0.274



### 3.1.2.2 Calor específico

El calor específico es el equivalente de la capacidad calorífica a presión cte., calculada por kg de material (es el resultado de dividir la capacidad calorífica por el peso atómico o molecular del material). El calor específico tiene unidades típicas de  $\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$  [19]. En la Tabla 3.2 se cuenta con los valores de calor específico de los materiales seleccionados

en la construcción del deshidratador solar.

#### *Placa absorbedora*

*Tabla 3.2 Calor específico de materiales*

Material	Calor específico (cal/g °C)
Aluminio	0.219
Hierro	0.11

### 3.2.1.3 Propiedades mecánicas de Vidrio Templado FT

El vidrio templado es aproximadamente cuatro veces más resistente que el vidrio recocido del mismo espesor y configuración, cuando se rompe, por impacto, el vidrio templado se fractura en trozos relativamente pequeños que satisfacen los requisitos del vidrioado de seguridad, reduciendo de manera significativa la posibilidad de lesiones graves cortantes o punzantes en comparación con un vidrio recocido común.

*Tabla 3.3 Propiedades mecánicas de vidrio templado.*

<b>Características</b>	<b>Vidrio templado</b>
Resistencia al impacto al vidrio crudo.	4 veces más
Flexión respecto al vidrio crudo	Igual
Forma de rotura	Pequeños fragmentos, sin aristas cortantes
Soporta cambios de temperatura de hasta	250° C
Presenta rotura espontánea	Si
Sobre vidrios reflectantes	Puede presentar distorsiones
Se considera vidrio de seguridad	Si

Las prestaciones energéticas de un vidrio están determinadas por dos factores principales:

- Transmitancia térmica (U)
- Factor Solar (FS)

Estos dos factores condicionan en gran medida el nivel de aislamiento térmico del vidrio, así como la cantidad de energía calorífica que dejará pasar a través de él [18].

Complementariamente, hay otras variables que intervienen en las prestaciones energéticas de un vidrio, las cuales no se tendrán en cuenta en el análisis que se plantea en este estudio, ya que relevantes en comparación a los otros dos factores expuestos (U y FS), o bien, intervienen indirectamente en la definición de alguno de ellos (principalmente el Factor Solar). Estos son:

- Absorción energética (EA): Indica el porcentaje del flujo energético solar incidente que es absorbido por el vidrio y que, a su vez, se divide entre la energía que es emitida hacia el interior ( $q_i$ ) y la que es emitida hacia el exterior ( $q_e$ ).
- Reflexión energética (ER): Indica el porcentaje del flujo energético solar incidente que es reflejado por el vidrio hacia el exterior y que, por lo tanto, nunca llega a penetrar al interior del cerramiento.
- Transmitancia térmica (U): La Transmitancia térmica de un cerramiento se define como la cantidad de calor que atraviesa el cerramiento (en nuestro caso, el vidrio), en estado estable, p diferencia de temperatura de  $1^\circ\text{C}$ , entre las dos atmósferas de cada lado de la hoja del vidrio. Se expresa en  $“\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})”$  y se designa con la letra “U” o “Ug”.

La Transmitancia térmica es la inversa de la Resistencia térmica de un cerramiento ( $U=1/R$ ), por lo tanto, como mayor sea la resistencia térmica de un cerramiento, menor será su transmitancia, y viceversa.

Las prestaciones energéticas de un vidrio están determinadas por dos factores principales:

Estos dos factores condicionan en gran medida el nivel de aislamiento térmico del vidrio, así como la cantidad de energía calorífica que dejará pasar a través de él.

Complementariamente, hay otras variables que intervienen en las prestaciones energéticas de un vidrio, las cuales no se tendrán en cuenta en el análisis que se plantea en este estudio, ya que o bien no son relevantes en comparación a los otros dos factores expuestos (U y FS), o bien, intervienen indirectamente en la definición de alguno de ellos (principalmente el Factor Solar).

La Transmitancia térmica de un cerramiento se define como la cantidad de calor que atraviesa el cerramiento (en nuestro caso, el vidrio), en estado estable, por unidad de superficie, para lograr una diferencia de temperatura de 1°C, entre las dos atmósferas de cada lado de la hoja del vidrio.

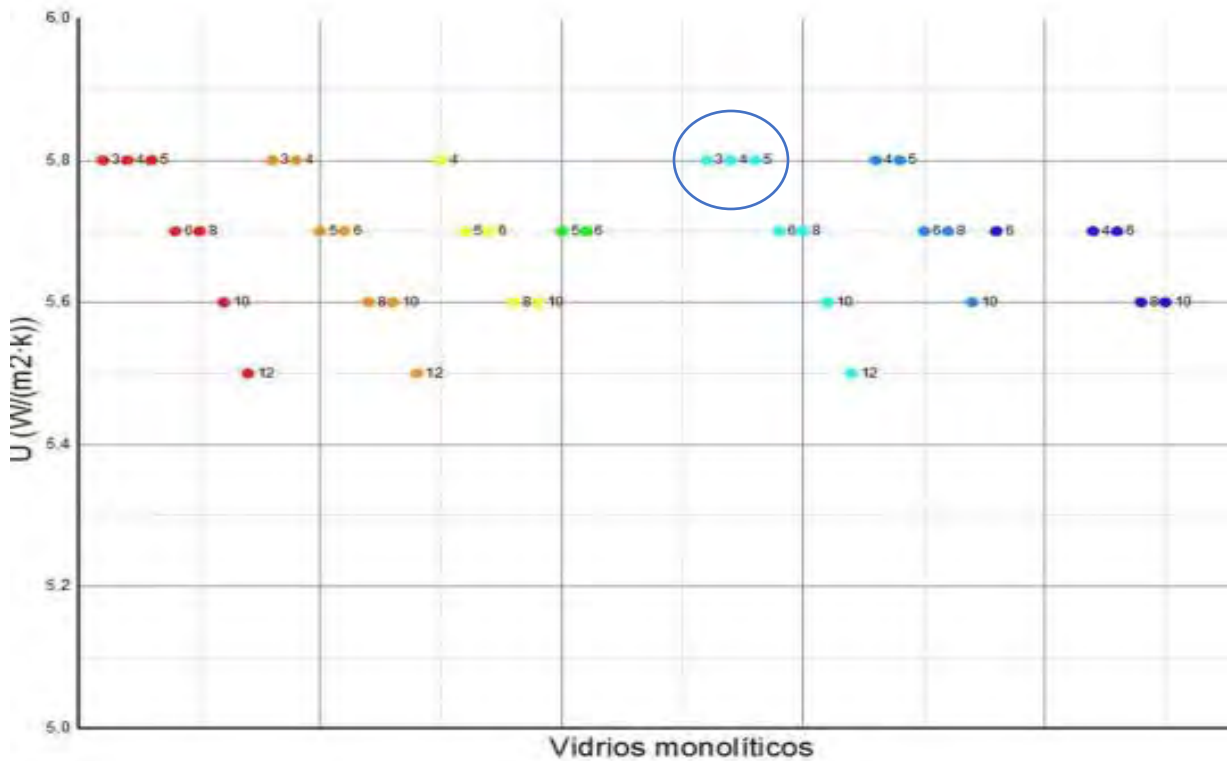
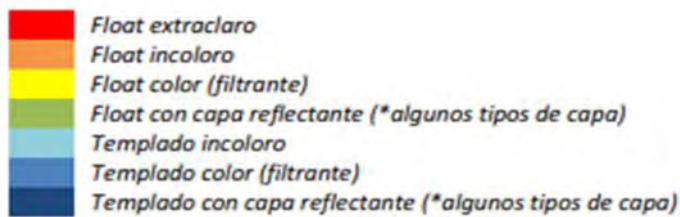


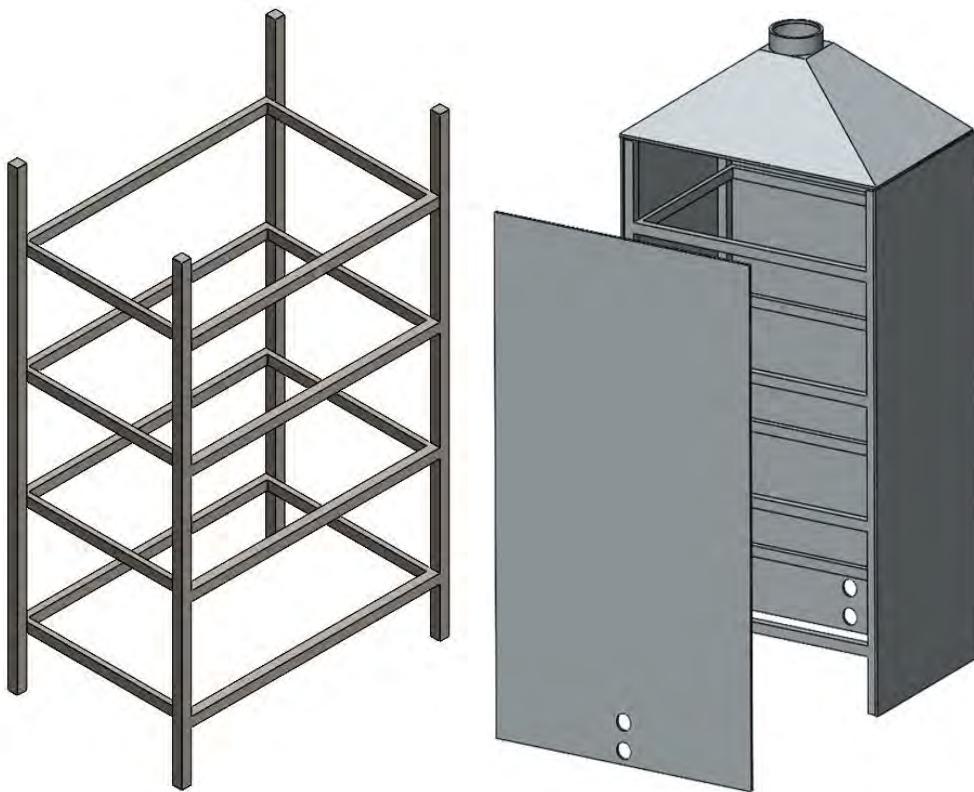
Figura 3.5 Propiedades del vidrio templado



## Cámara de Secado

La cámara de secado es considerada un parte esencial en el proceso de secado uniforme de los productos expuestos sobre bandejas de acero inoxidable la interior de la misma. Los estudios consultados afirman que el proceso de deshidratación de frutas y verduras al interior de cámaras de secado son funcionales para obtener un óptimo secado conservando las propiedades organolépticas y fisicoquímicas de producto.

En la Figura 3.6, se observa un diseño tridimensional propio, creado SOLIDWORKS, el cual es un software de modelado mecánico.



*Figura 3.6. Imágenes de cámara de secado.*

### 3.2 Modelo Físico

Un colector solar de aire esta definido como una clase especial de intercambiador de calor que transforma la energía radiante solar en calor [21]. En general, un captador solar convencional este compuesto por una estructura que sostiene un absorbedor, una cubierta y un aislamiento en la parte trasera. En condiciones normales de operación un colector solar de aire (CSA) recibe radiación solar en la cubierta superior, una parte de esta energía se pierde debido a diversas causas como lo son: la reflexión y absorción de la cubierta superior, convección forzada provocada por la velocidad del viento, convección y radiación entre la cubierta de vidrio y la placa absorbedora, etc., y la otra parte de dicha energía es transferida al fluido de trabajo. Por lo tanto, al lograr que la mayor parte de la energía, proveniente de la radiación solar, sea transferida al fluido provocar a un incremento en la eficiencia térmica del captador.

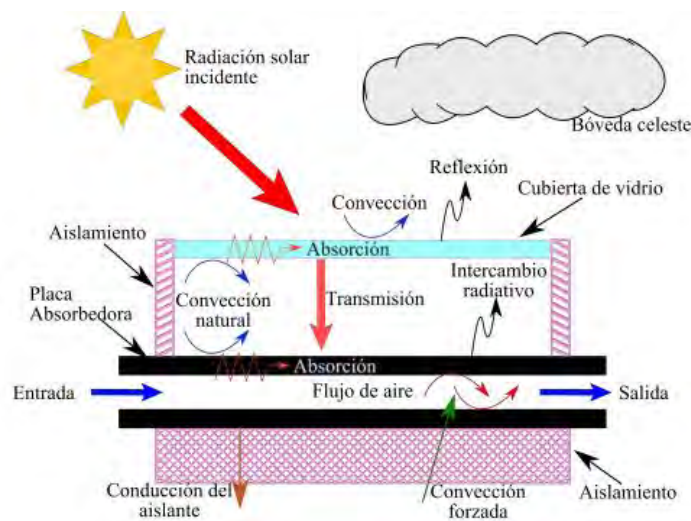


Figura 3.7 Modelo físico de colector solar.

En la Figura 3.7 se muestra un modelo físico de un colector de aire solar de un solo flujo, se indican cada uno de los componentes que lo conforman, así como los procesos de transferencia

de calor involucrados. La radiación solar incidente experimentar la transmisión, reflexión y absorción en la cubierta, la mayor parte de energía que se transmite se retiene en la placa de absorbidora en donde las pérdidas de energía están asociadas con la radiación, convección y conducción. La energía se transfiere mediante convección natural entre la placa absorbidora y la cubierta de vidrio, por convección forzada o libre entre la cubierta superior y el ambiente y por convección forzada entre la placa absorbidora, el fluido de trabajo y la superficie inferior. Del mismo modo, existen pérdidas por conducción a través del aislante.

En la Figura 3.8 se muestra el CSA. Con una configuración circular un fluido de trabajo fl en el canal 1, el cual está compuesto por una cubierta de vidrio 1, una placa absorbidora 2, una superficie o cubierta inferior 3 la cual está aislada con cierto material en la parte inferior. En este sentido, en la presente configuración se forman 2 canales

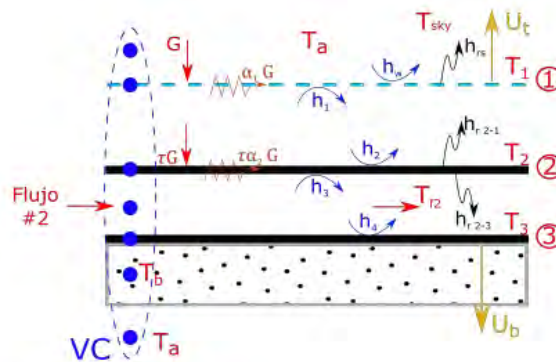


Figura 3.8 Modelo físico de colector solar.

El primer canal se forma en la sección comprendida entre la cubierta de vidrio y la placa absorbidora, cabe resaltar que en este canal no circula ningún fluido de trabajo y se establece que solo existe convección natural. El segundo canal se forma en la sección comprendida entre la superficie inferior de la placa absorbidora y la superficie inferior por este canal es donde

circula el fluido de trabajo  $f_2$ . Del mismo modo, se aprecian los coeficientes de transferencia de calor ( $h_x$ ) asociados a dicha configuración, así como las temperaturas involucradas, irradiancia solar ( $G$ ) y los coeficientes de pérdida de calor ( $U_x$ ).

### 3.2.1 Modelo Matemático del Colector Solar

Se parte de la premisa del modelo presentado, el cual pueden ser representado mediante un circuito eléctrico resistivo, considerando las siguientes analogías:

$$\Delta T \Rightarrow \Delta V \quad (3.1)$$

$$Q \Rightarrow I \quad (3.2)$$

$$R_t \Rightarrow R \quad (3.3)$$

#### 3.2.1 .1 Ecuaciones de balances de energía

De tal manera que el captador anteriormente descrito presenta un total de 6 variables de interés ( $T_{glass1}$ ,  $T_{glass2}$ ,  $T_{f1}$ ,  $T_{absorber}$ ,  $T_{f2}$ ,  $T_{bottom}$ ). Conviene subrayar que el objetivo de estudiar la configuración del CSA es determinar la eficiencia, al transferir mayor energía al fluido de trabajo disminuyendo lo más posible las pérdidas de energía hacia el ambiente o los materiales involucrados.



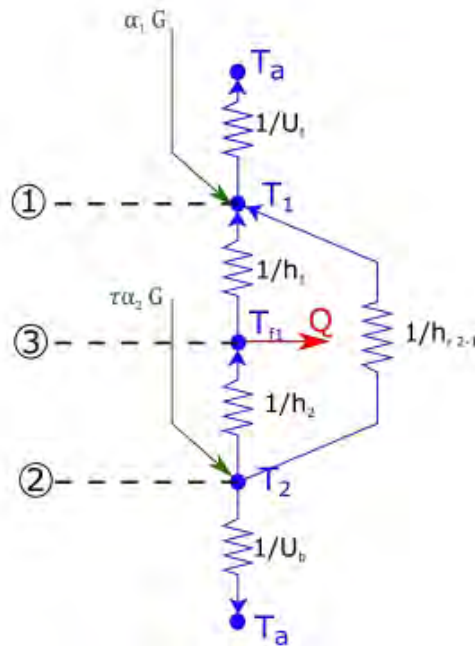


Figura 3.9 Circuito eléctrico resistivo de colector solar.

Por lo tanto, al realizar un balance de energía y aplicando un análisis nodal, el cual parte de la ley de corrientes de Kirchhoff (4).

$$\sum I = 0 \quad (3.4)$$

Además de la ley de Ohm:

$$V = R \cdot I \quad (3.5)$$

Sustituyendo las ecuaciones (1, 2, 3) en (5) y despejando I se obtiene lo siguiente:

$$I = \frac{V}{R} = \approx \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{\Delta T}{1/h} = h \Delta T \quad (3.6)$$

Al aplicar las ecuaciones (4) y (6) para los nodos 1,2,3 mostrados en la Figura se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

- Nodo 1 (Cubierta de vidrio):

$$\begin{aligned} \infty_1 G + h_{r2-1}(T_2 - T_1) + h_1(T_{f1} - T_1) &= U_t(T_1 - T_a) \\ (h_1 + h_{r2-1} + U_t)T_1 - h_1 T_{f1} - h_{r2-1} T_2 &= U_t T_a + S_1 \end{aligned} \quad (3.7)$$

- Nodo 2 (Placa absorbedora):

$$\begin{aligned} \tau \alpha_2 G &= U_b(T_2 - T_a) + h_2(T_2 - T_{f1}) + h_{r2-1}(T_2 - T_1) \\ -h_{r2-1}T_1 - h_2 T_{f1} + (h_2 + h_{r2-1} + U_b)T_2 &= S_2 + U_b T_a \end{aligned} \quad (3.8)$$

- Nodo 3 (Fluido de trabajo, Aire):

$$h_2(T_2 - T_{f1}) = Q_f + h_1(T_{f1} - T_1) \quad (3.9)$$

Las ecuaciones (3.7, 3.8, 3.9) conforman el sistema de ecuaciones que debe ser resuelto en cada sección del captador para obtener las temperaturas promedio de cada volumen de control analizado. Sin embargo, para poder resolverlo mediante un solver, como es el método de Jacobi, se deben desarrollar las ecuaciones y agrupar ciertos termino. Además, se deben realizar ciertas consideraciones para expresar el calor útil del fluido ( $Q_{f1}$ ), que surge en la ec. (9), en términos de la temperatura del fluido.

### 3.2.1.2 Modelo de matrices para las temperaturas del colector solar

Para el captador se forma la siguiente matriz de  $5 \times 5$ :

$$\begin{bmatrix} A_{11} & -h_1 & -h_{r2-1} & 0 & 0 \\ -h_1 & A_{22} & -h_2 & 0 & 0 \\ -h_{r2-1} & -h_2 & A_{33} & -h_3 & -h_{r2-3} \\ 0 & 0 & -h_3 & A_{44} & -h_4 \\ 0 & 0 & -h_{r2-3} & -h_4 & A_{55} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_{f1} \\ T_2 \\ T_{f2} \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_t T_a + S_1 \\ \Gamma_1 T_{f1in} \\ S_2 \\ \Gamma_2 T_{f2in} \\ U_b T_a \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

dónde

$$A_{11} = h_1 + h_{r2-1} + U_t \quad h_{22} = h_1 + h_2 + \Gamma_1 \quad A_{33} = h_2 + h_3 + h_{r2-1} + h_{r2-3}$$

$$h_{44} = h_3 + h_4 + \Gamma_2 \quad h_{55} = h_{r2-3} + h_4 + U_b$$

En general, la matriz puede ser expresada de la siguiente forma:

$$[A] \cdot [T] = B \quad (3.1)$$

El vector de la temperatura promedio puede ser resuelto por medio de la inversión de matriz, usando paquetes de cómputo comerciales. Sin embargo, en el presente trabajo la solución del sistema de ecuaciones se obtendrá mediante el desarrollo de un código numérico realizado en SUBLIME conformado por subrutinas independientes.

Para el cálculo de la mayoría de los coeficientes que aparecen en las matrices anteriormente mostradas se emplearon las correlaciones utilizadas por Ong [22].

### 3.3 Programación en código C, “*Sublime*”

El código simula el comportamiento térmico de un calentador solar de aire de doble canal. Para obtener la solución de los sistemas de ecuaciones algebraicas en estado permanente obtenidos

para el captador analizado en el presente trabajo se desarrolló 1 código numérico en lenguaje de programación SUBLIME

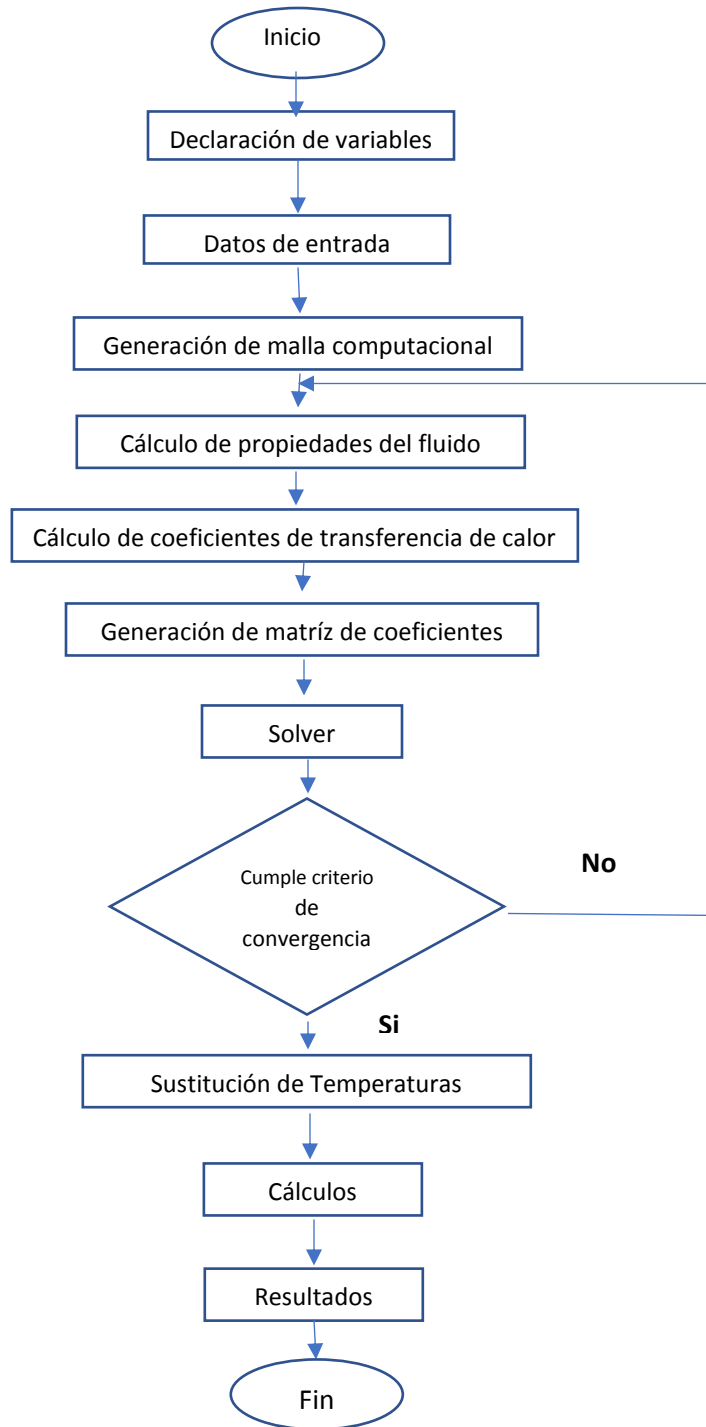


Figura 3.10. Diagrama de flujo general de colector solar

## **CAPÍTULO 4.**

### **Resultados**

#### **4.1 Pruebas de Deshidratación por Convección Natural**

El proyecto realiza el diseño, construcción y muestra el funcionamiento de un secador solar indirecto de convección natural, para la demostración experimental se ha decidido elegir las frutas siguientes: Manzana Golden. Manzana Granny Smith (manzana verde) y Pera verde; para ello se tomarán las medidas de las temperaturas en diferentes zonas del secador solar como: placas absorbedoras, empleando “Herramienta para adquisición de imágenes térmicas”, antes de proceso de carga, con el objetivo de contar con un referente en las temperaturas alcanzadas por las placas de aluminio y de hierro.

De inicio dicho secador solar opera bajo condiciones de convección natural, realizando mediciones de temperatura y obteniendo datos de secado en horario de 10 h a 16 h.

En las imágenes se muestra el primer diseño propio de colector solar que incluye en total cuatro placas absorbedoras; dos placas de aluminio y dos placas de hierro galvanizado.



*Figura 4.1 Imágenes. Secador solar propio (Prototipo I)*

#### **4.1.1 Componentes de secador solar**

En la Tabla 4.1, se ilustran los materiales seleccionados para el colector solar de placa plana, a partir del estudio y análisis de características y propiedades de los materiales previamente estudiadas.

*Tabla 4.1. Características de materiales empleados en la construcción del secador solar.*

<b>Características</b>	<b>Selección</b>
Cubierta transparente	Vidrio templado, espesor 5 mm
Placa absoberbedora	Aluminio Hierro galvanizado
Aislamiento del colector	Madera, espesor 1 in
Carcasa del colector	Vidrio crudo, espesor 5 mm

### 4.1.2 Proceso experimental

A continuación, en la Figura 4.2, se presentan imágenes propias obtenidas durante la fase experimental, las cuales muestran el calentamiento de las placas absorbedoras de aluminio y de hierro galvanizado, expuestas a condiciones ambientales.

#### i) Termografías de placa absorbedora

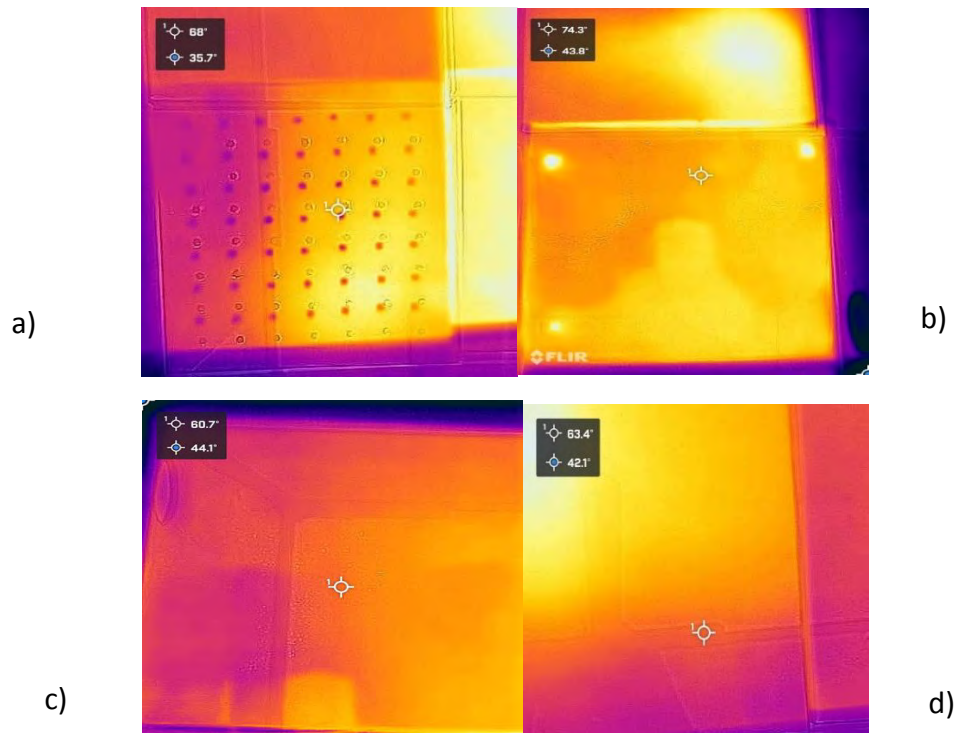


Figura 4.2. Termografías aluminio, hierro galvanizado

A continuación, se presenta la Tabla 4.2, Temperatura de Placas absorbedoras (Aluminio, Hierro galvanizado), en donde se observa el aumento de la temperatura con respecto al tiempo.

*Tabla 4.2. Temperaturas reportadas experimentalmente de placas absorbedoras.*

<b>Temperatura °C</b>				
<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Placa 1 Hierro Galvanizado (orificios)</b>	<b>Placa 2 Hierro Galvanizado</b>	<b>Placa 3 Aluminio</b>	<b>Placa 4 Aluminio</b>
0	25	24.5	26	26
30 min	45	44	51	51.5
60 min	54.9	55	57	59
90 min	58.1	60.3	70.2	71.5
120 min	66	65.6	77.4	75
150 min	70.4	70	80.2	80

Del mismo modo, en el Gráfico 1 se puede observar el comportamiento de dichas placas absorbedoras de aluminio, así como de hierro galvanizado, alcanzando ligeramente las placas de aluminio una mayor temperatura, mientras que las placas de hierro galvanizado mantienen una temperatura estable en el proceso de calentamiento.



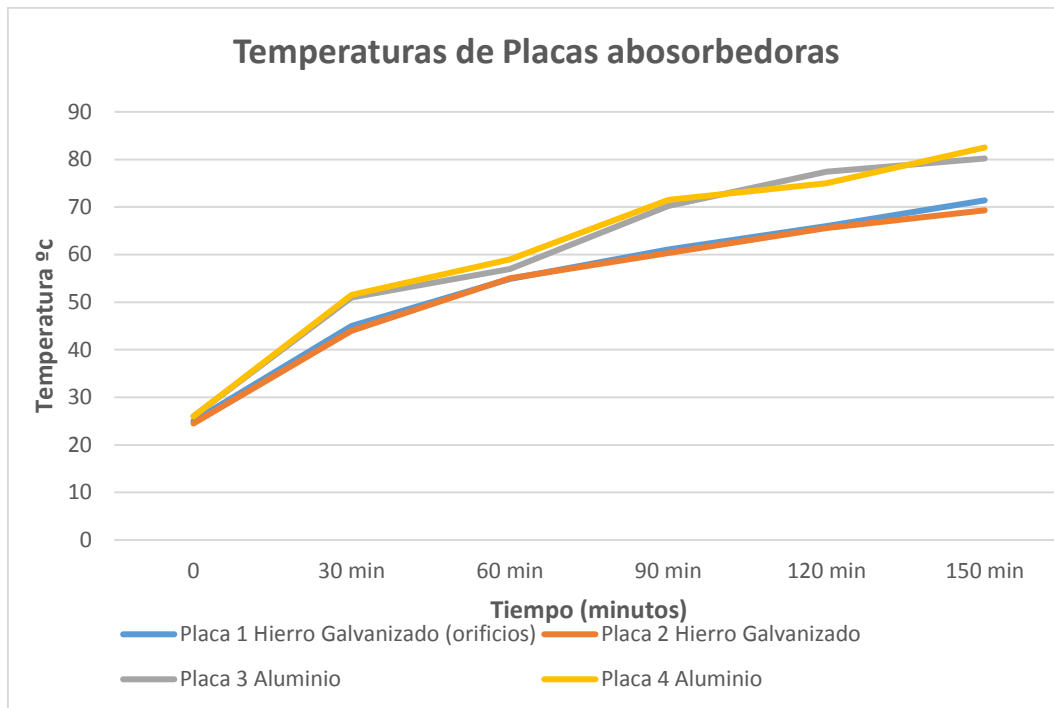


Gráfico 1. Temperaturas reportadas experimentalmente de placas absorbedoras.

**ii) Proceso de deshidratación de Manzana verde**

La deshidratación de manzanas además de seguir un proceso adecuado de deshidratación, debe asegurarse en su proceso cumplir con las especificaciones de calidad de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), en especial la NOM-121-MX, la cuál da los lineamientos a considerar desde la recepción de materia prima, hasta el proceso de deshidratación del producto.

A continuación, se detallan las condiciones esenciales que se requieren para el producto previo a deshidratar.

**Condiciones iniciales**

- Tipo de producto: Manzana Granny Smith (verde)
- Refrigeración 2 °C

- Espesor de corte: 4 mm
- Tratamientos aplicando: ácido ascórbico y ácido cítrico en combinación.
- Tiempo de pre tratamiento: 30 minutos.

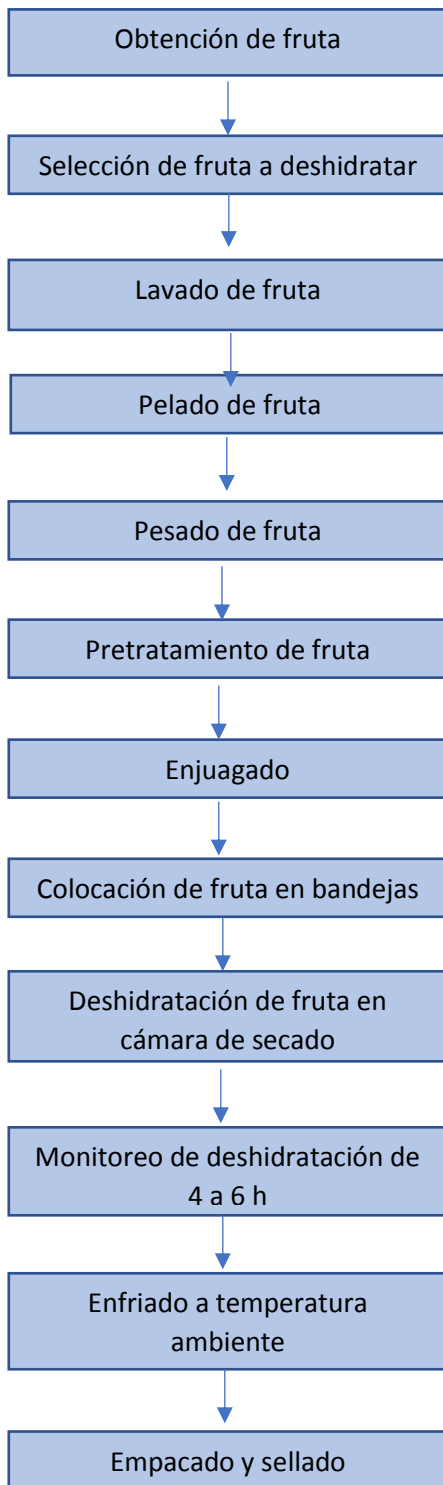
En la Tabla 4.3 se muestran los reactivos empleados en las técnicas estandarizadas de pretratamiento de manzana verde, considerando los beneficios de antioxidación y antipardeo para el producto deshidratado.

*Tabla 4.3 Reactivos empleados en pretratamiento de manzana verde.*

Reactivo	Función bioquímica
Ácido ascórbico	Preparación función antioxidación
Ácido cítrico	Preparación función antipardeo
Sacarosa	Disminución de Actividad de Agua
Glucosa	Disminución de Actividad de Agua

#### **4.1.2.1 Proceso de Deshidratación de Manzana Verde**

De acuerdo a las especificaciones de la NOM-030-MX, el producto debe ser seleccionado de forma rigurosa, lavado y desinfectado para su posterior tratamiento de deshidratación, [2] en las siguientes imágenes se ilustran ejemplos de dichos pasos, así mismo se detalla la metodología del proceso de deshidratación en la Figura 4.4.



a)



b)



c)



*Figura 4.3 Proceso de deshidratación de manzana verde*

### Condiciones solución anti pardeo

- 1.5 L de agua destilada
- 30 g de ácido ascórbico
- 15 g de ácido cítrico



*Figura 4.4. Imágenes propias: Pretratamiento de manzana Granny Smith*

En la Figura 4.6 se puede observar el proceso de deshidratación de manzana verde expuesto sobre placas observadoras de aluminio, así como hierro galvanizado al interior del colector solar.

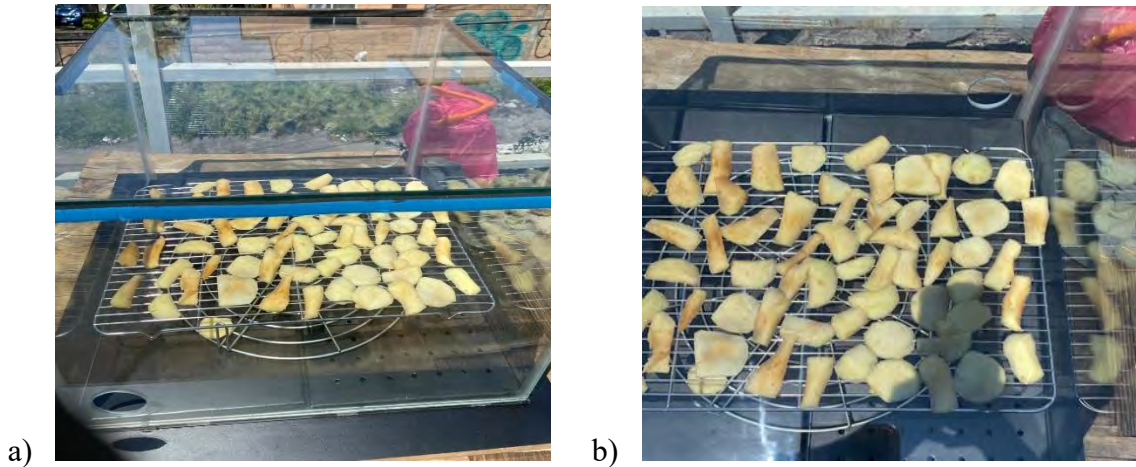


Figura 4.5 Deshidratación de manzana Granny Smith (Prototipo I)

Una de las variables críticas en el proceso experimental es la pérdida de humedad y disminución de Actividad de Agua ( $A_w$ ), para ello se procede a la determinación de masa de muestras de manzana verde expuesta a la radiación solar. Cabe señalar que se realizaron mediciones de masa de muestra a partir del minuto cero, hasta los 240 minutos, obteniendo los resultados que se observan en la Tabla 4.4, empelando los cuatro tipos de placas absorbedoras, las cuales son de hierro galvanizado y aluminio.

Tabla 4.4 Muestras de manzana verde expuestas en placas absorbedoras.

Tiempo (minutos)	Masa de la muestra			
	Placa 1 (Al)	Placa 2 (Al)	Placa 3 (HG)	Placa 4 (HG)
0	100	100	100	100
30 min	94.9	95.3	96.3	97
60 min	90	91.3	92	91.4
90 min	75.3	76	83	82.05
120 min	65.4	66.4	69.1	69.3
150 min	50.7	51.7	56.8	56.6
180 min	40.5	42.3	49.3	48.8
210 min	38.3	40.5	45.3	45
240 min	35.5	36.03	44	43.8

Del mismo modo es interesante observar el comportamiento de secado y pérdida de humedad en las muestras de manzana verde expuestas a la radiación solar de manera directa y por mecanismo de transferencia de calor por convección natural, dicha pérdida de humedad se determina a partir de la técnica estandarizada anteriormente descrita en la metodología de “Determinación de pérdida de humedad”, la cuál se expresa en gramos. El análisis se contabiliza desde el minuto cero, con muestras de 100 gramos de manzana, hasta que transcurren 240 minutos, haciendo mediciones cada 30 minutos.

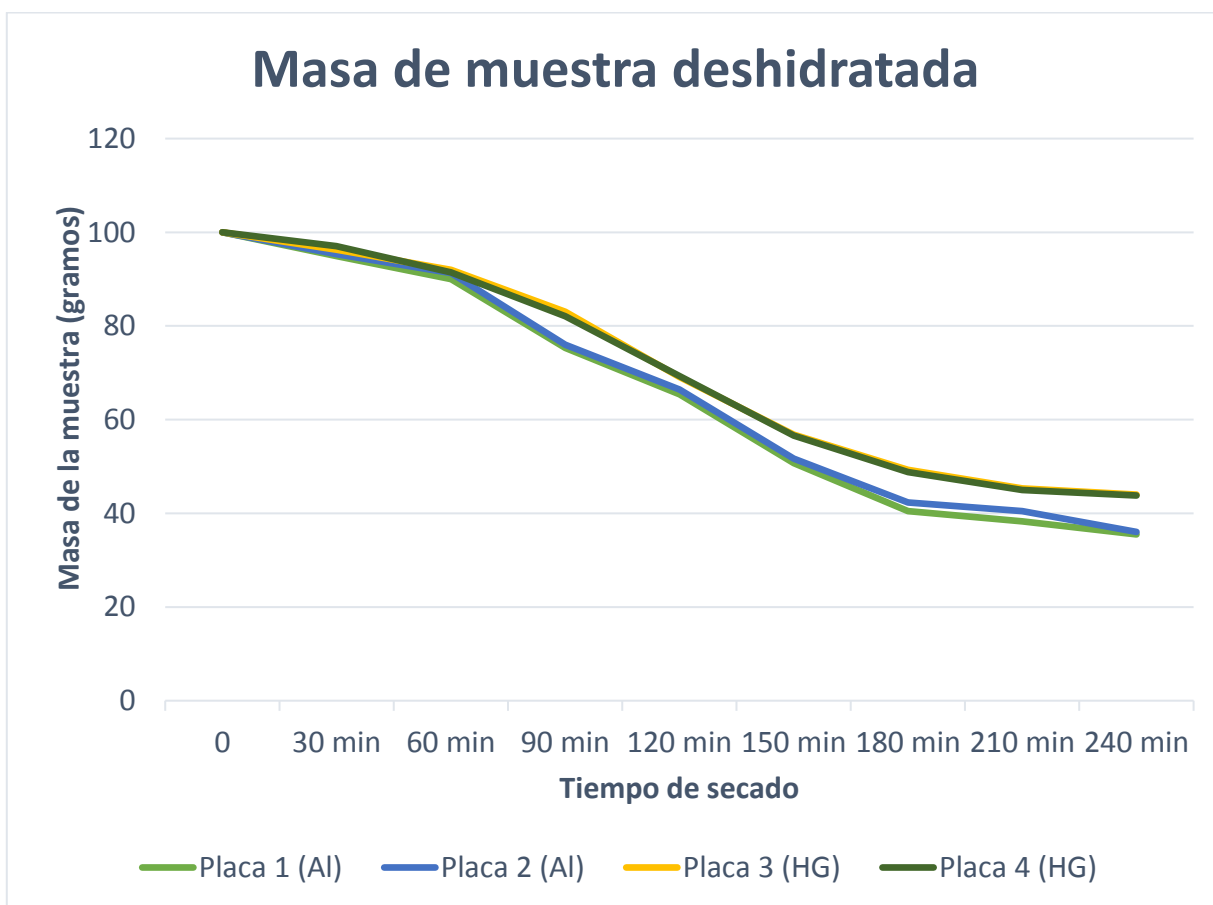


Gráfico2. Pérdida de humedad de muestras de manzana verde deshidratada por método directo.



El producto a deshidratar se colocó en el sistema de deshidratación con pretratamiento antipardeo y antioxidación y sin ningún tipo de pretratamiento, obteniendo datos de interés en la disminución de la Actividad de Agua ( $A_w$ ), notando una disminución importante en el producto que fue previamente tratado, lo cual se puede observar en los gráficos 3 y 4.

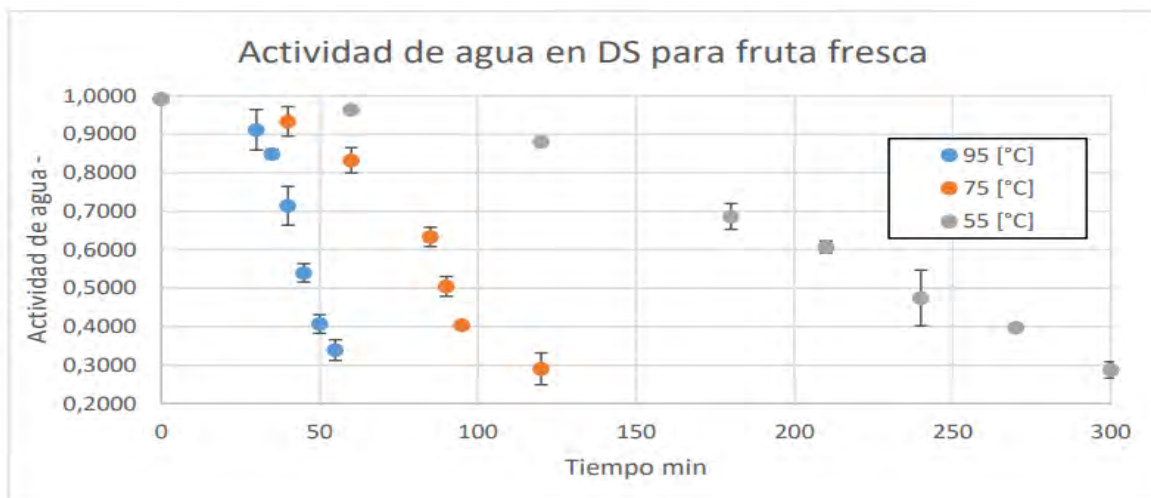


Gráfico3. Actividad de Agua en muestras de manzana verde deshidratada por método directo, sin pretratamiento.

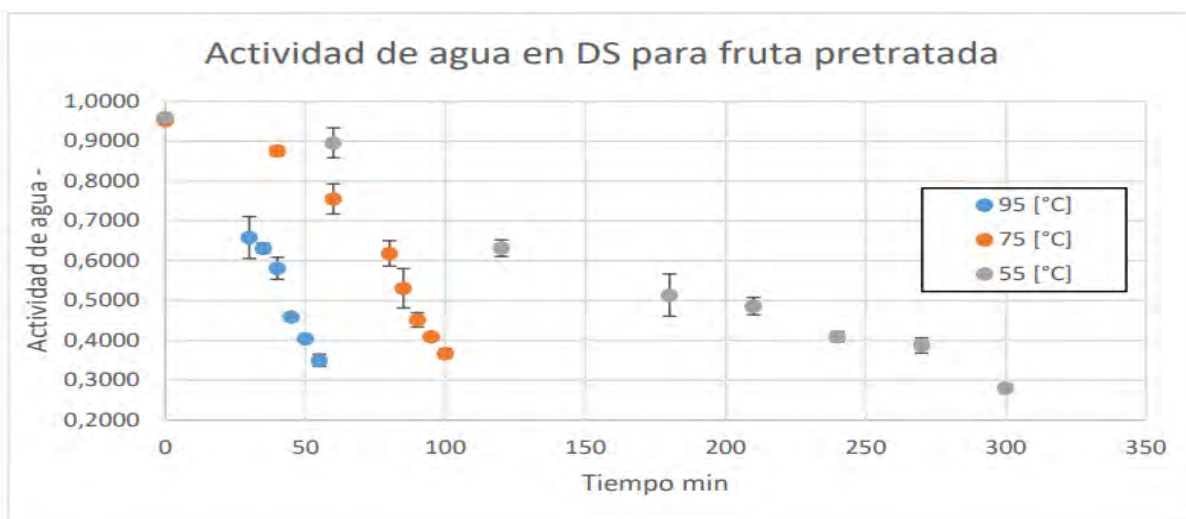


Gráfico4. Disminución de Actividad de Agua en muestras de manzana verde deshidratada por método directo, con pretratamiento: ácido ascórbico y ácido cítrico.

## 4.2 Pruebas de Deshidratación por Convección Forzada

En el diseño del Prototipo II que se muestra en las Figuras 4.7 y 4.8, se considera además de dos colectores solares con placas absorbedoras de hierro galvanizado que reciben la radiación solar de forma directa y estos a su vez alimentan de aire caliente a la cámara de secado, la cuál tiene en su interior bandejas en las cuales se colocan los productos a deshidratar.

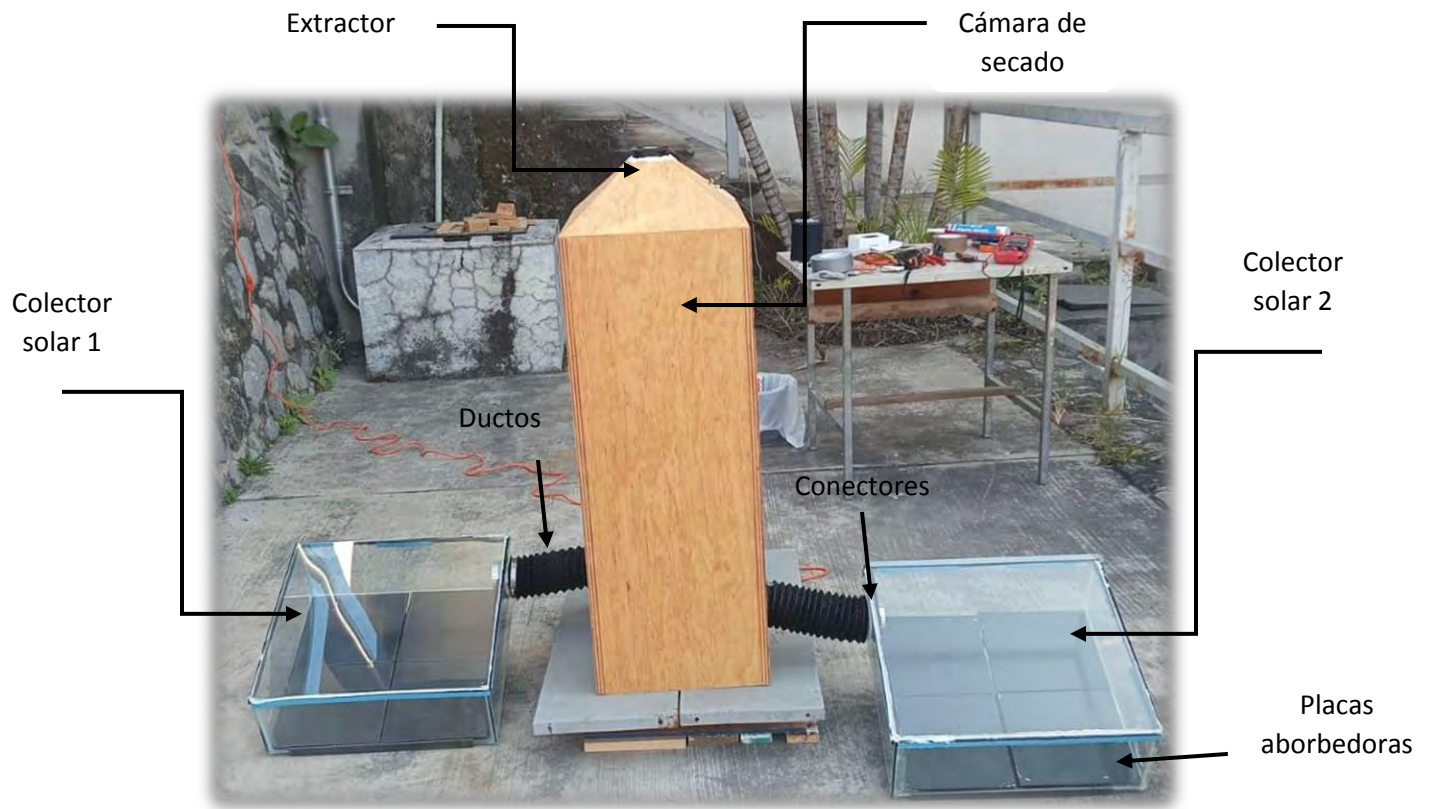
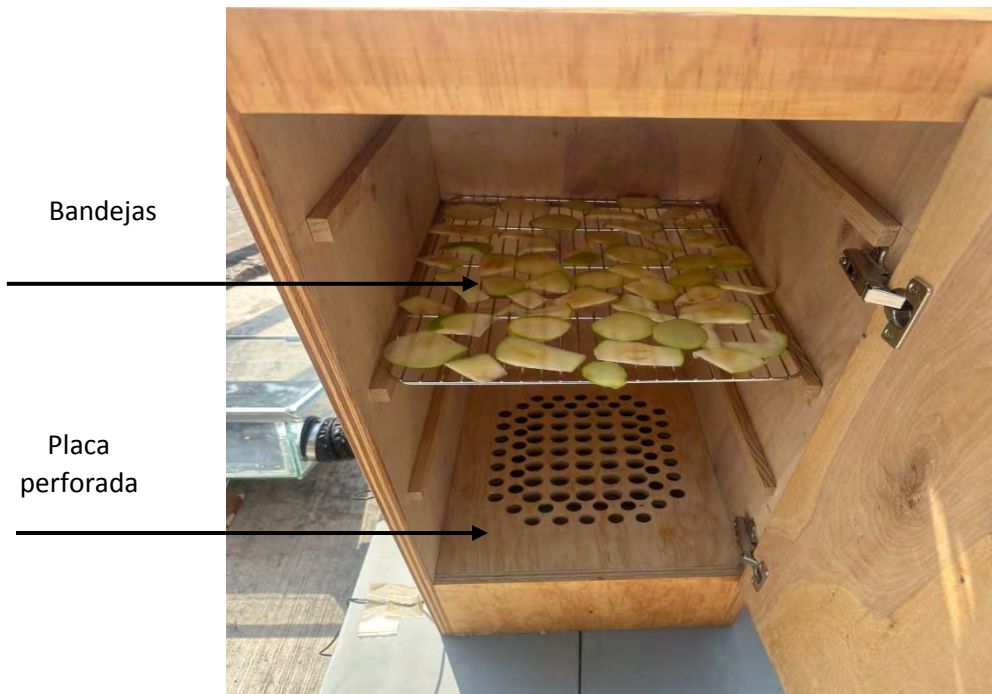


Figura 4.6 Imágenes propias: Deshidratación Solar (Prototipo II)





*Figura 4.7 Imágenes propias: Deshidratación de manzana Granny Smith en cámara de secado (Prototipo II)*

#### 4.2.1 Cámara de secado

Se realizaron pruebas de deshidratación de fruta, específicamente de manzana verde, de forma indirecta en cámara de secado y en paralelo por el mecanismo de transferencia de calor por convección forzada, de esta forma fue posible determinar la pérdida de humedad del producto, a partir de la técnica estandarizada anteriormente descrita en la metodología de “Determinación de pérdida de humedad”, la cual se expresa en gramos.

#### 4.2.2 Proceso experimental

En la tabla 4.5 se muestra el análisis en el que se contabiliza desde el minuto cero, con muestras de 100 gramos de manzana, hasta que transcurren 480 minutos, haciendo mediciones cada 60 minutos.

*Tabla 4.5 Muestras de manzana verde expuestas en cámara de secado*

Masa de la muestra (Manzana verde)				
Tiempo (minutos)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	100	100	100	100
60 min	97.3	96.7	96.3	97.1
120 min	94	93.3	95	91.4
180 min	85.2	87	86	86.5
240 min	75.7	76.2	79.1	79.6
300 min	55.1	55.2	56.8	56.3
360 min	42.3	42.8	44.3	43.8
420 min	36.1	38.5	36.3	36.3
480 min	33.3	34.7	36.1	32.4

Así mismo en el gráfico 5, se puede observar de manera detallada la pérdida de Actividad de Agua y de humedad de la manzana verde deshidratada, tras el proceso de deshidratación a partir del mecanismo de radiación indirecta y por convección forzada durante 8 horas. Cabe señalar que la fruta se expuso a un pretratamiento antipardeo y antioxidación el cual fue descrito anteriormente, previo al proceso de deshidratación,

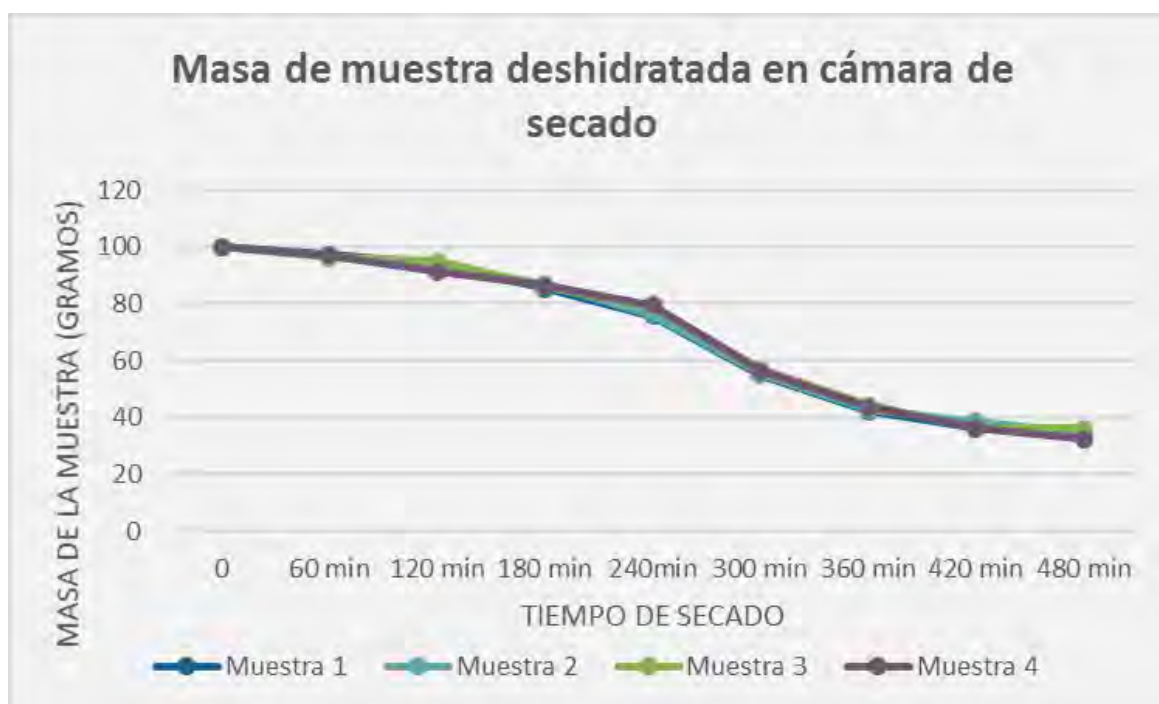


Gráfico 5 Pérdida de humedad de muestras de manzana verde deshidratada por método indirecto y convección forzada.

### 4.3 Análisis Microbiológico

Para el análisis de coliformes totales y fecales se utilizó la técnica del número más probable (NMP).

Las muestras fueron diluidas 1/10 y homogenizadas durante cinco minutos para preparar las diluciones de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  en agua peptonada (pet).

Los tubos conteniendo 1 ml de cada dilución con 10 ml de caldo brillante fueron incubados a 37 °C por 48 h. Para hongos filamentosos y levaduras, alícuotas de 1 ml de cada dilución fueron sembradas en cajas Petri con medio papa-dextrosa-ágar, acidificado con 0,1 % ácido tártrico.

La incubación se llevó a cabo a 25 °C por cinco días. En la tabla 4.6 se pueden visualizar los valores obtenidos en el análisis realizado desde el día 0, día 30 y día 60 respectivamente [39].

*Tabla 4.6 Análisis microbiológico de producto deshidratado*

Tiempo (días)	Temperatura del producto	Hongos filamentosos y levaduras (ufc/g)
0	60°C	2.7X10 <sup>2</sup>
	70°C	3.1X10 <sup>2</sup>
30	60°C	5.3X10 <sup>2</sup>
	60°C +pet	2.9X10 <sup>2</sup>
60	70°C	4.2X10 <sup>2</sup>
	70°C+pet	3.8X10 <sup>2</sup>

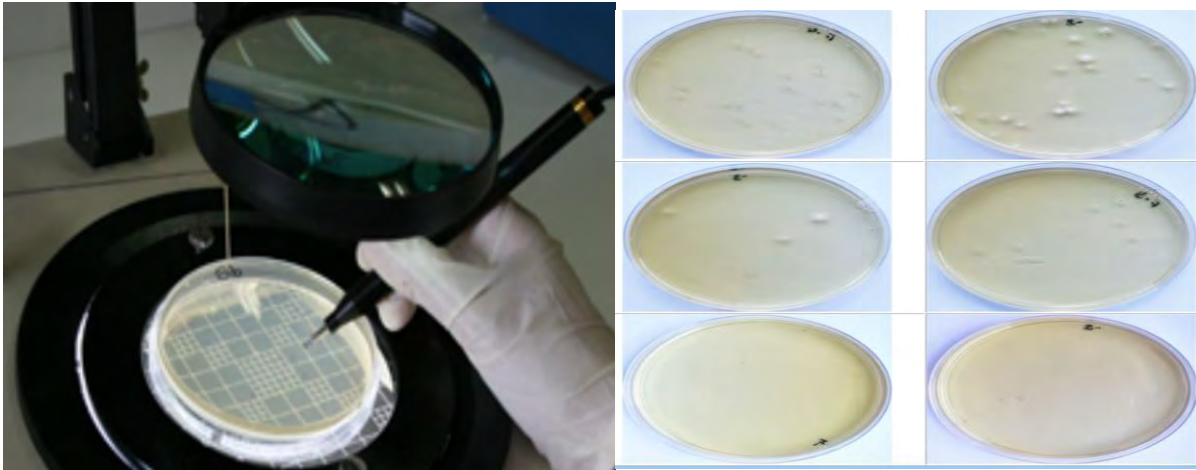


a) Pesado de reactivos

b) Preparación de reactivos

c) Dilución de muestras

*Figura 4.8. Pruebas microbiológicas*



*d) Conteo de unidades formadoras de colonias*



*e) Tinción*



*f) Calibración y observación al  
microscopio*

*NOM-111-SSA: Considerar las cuentas de placas con valores MENORES a 1600 colonias como las adecuadas para el informe [2].*

#### 4.4 Análisis fisicoquímico

En la tabla 4.7 se reportan las evaluaciones fisicoquímicas del contenido de humedad, pH y acidez titulable, dichas evaluaciones se realizaron en triplicado, en el tiempo cero y cada 5 días, por un período de 1 a 30 días de almacenamiento.

Una unidad (muestra con 50 g de manzana verde) referente a cada una de las combinaciones de temperatura de secado, fue utilizada en cada tiempo para la realización de los análisis [39].

*Tabla 4.7 Análisis fisicoquímico de producto deshidratado*

Tiempo (días)	Temperatura del producto	pH	Acidez
0	60°C	4.4	1.78
	70°C	4.57	1.52
30	60°C	4.48	1.79
	60°C +pet	4.55	1.68
	70°C	4.49	1.59
	70°C+pet	4.61	1.43



#### 4.5 Modelo de Negocios

Los alimentos al contar con un contenido alto de humedad, generan hongos o mohos, levaduras y bacterias que alteran de forma negativa la naturaleza del producto, para evitar esto, normalmente se hace pasar aire caliente (incremento de calor latente) sobre el producto para retirar parte de su humedad, esto es posible gracias a los procesos de deshidratación de los alimentos. Dichos procesos presentan una alta eficiencia en la remoción de humedad natural que contienen las frutas y verduras, con ello se reduce de forma importante un parámetro conocido como “Actividad de agua”.



*Figura 4.9 Producto deshidratado*

El bien y servicio a ofertar consiste en la construcción de un deshidratador solar que opere bajo condiciones de convección forzada y radiación indirecta, dichas condiciones permitirán remover humedad de las frutas, conservando sus propiedades nutrimentales, entre las que destaca la “vitamina D”, así como conservando sus propiedades organolépticas, tales como el aroma, color sabor y apariencia. Esto es posible lograrlo a partir de una buena eficiencia y desempeño por parte del deshidratador y de igual manera aprovechando la radiación solar que se da naturalmente en la Ciudad de Cuernavaca Morelos. El producto deshidratado será manzana Golden y manzana red, así como pera verde, dichos productos no se encuentran de forma convencional a la venta directa, hay un gran nicho de oportunidad, ya que, en el mercado, frecuentemente se encuentra mango y plátano deshidratados. Es por ello que se considera un producto innovador para ofertar y que atiende a un segmento de mercado infantil, así como a un segmento de mercado consciente del cuidado de la salud. Derivado del aporte nutrimental que provee el producto al cuerpo, conservando sus propiedades organolépticas y deshidratándose por mecanismos naturales y amigables con el ambiente. Impactando en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, principalmente en “Fin de la Pobreza” (ODS 1), “Salud y Bienestar” (ODS 3), “Energía Asequible y no contaminante” (ODS 7).

#### **4.5.1 Descripción de la propuesta de valor**

Los Deshidratadores solares se caracterizan por el uso de energía asequible y no contaminante y el aprovechamiento de las condiciones climatológicas del ambiente. Lo cual permite contar con un proceso de energías limpias impactando en el Objetivo de la Agenda 2030 “Energía asequible y no contaminante”. Del mismo modo la geometría del prototipo, la selección de



materiales de acuerdo a las propiedades térmicas y mecánicas hacen posible que la eficiencia energética sea tal que permita la remoción de humedad presente en frutas y verduras.

Las frutas son una fuente importante de vitaminas y minerales necesarios para el ser humano. Su cultivo cada día está siendo un sector importante para la economía de muchos países y su consumo día a día está en aumento, por lo que se necesita procesos de conservación para lograr incrementar la vida de almacenamiento. Además, en ciertas épocas del año este tipo de alimentos escasea por lo que es conveniente darles un tratamiento que permita consumirlos en épocas de escases [1]. El secado o deshidratado es una de las tecnologías más frecuentes de la agroindustria y consiste en la eliminación del agua del producto procesado. Esto se realiza mediante la evaporación del agua a través de una corriente de aire caliente permitiendo mantener el producto por más tiempo, reduciendo costos de transporte, de empaque y [3].

Manzana Golden, manzana red y pera verde deshidratadas por métodos naturales a partir del aprovechamiento de energía renovable mediante deshidratación solar. Con la técnica empleada se logra un deshidratado uniforme del producto, conservando su color, olor y potenciando su sabor, logrando un mejor aprovechamiento de los nutrimentos presentes en el producto y alargando el periodo de conservación en condiciones óptimas durante 12 semanas.

Cabe mencionar que las frutas a deshidratar, de acuerdo a la literatura consultada son de las más vulnerables y susceptibles a la oxidación y a la presencia de mohos, debido a su alta Actividad de Agua, la cual está por encima de un valor de 0.85.

Con la técnica de deshidratación por radiación indirecta y convección forzada se espera obtener resultados que cumplan con los estándares establecidos en las NOM-251-SSA, la cual hace

referencia a las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) e implementación de un Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (H.A.C.C.P.). Una vez obtenido el producto con los parámetros esperados se puede suponer que la técnica de deshidratación será funcional para cualquier fruta o verdura con menor predisposición oxidativa [2,3,4] .

A continuación, se muestra en un lienzo CANVAS, los aspectos clave del modelo de negocios del deshidratador solar construido, así como el análisis de cada uno de los nueve elementos d ellos cuáles se constituye.

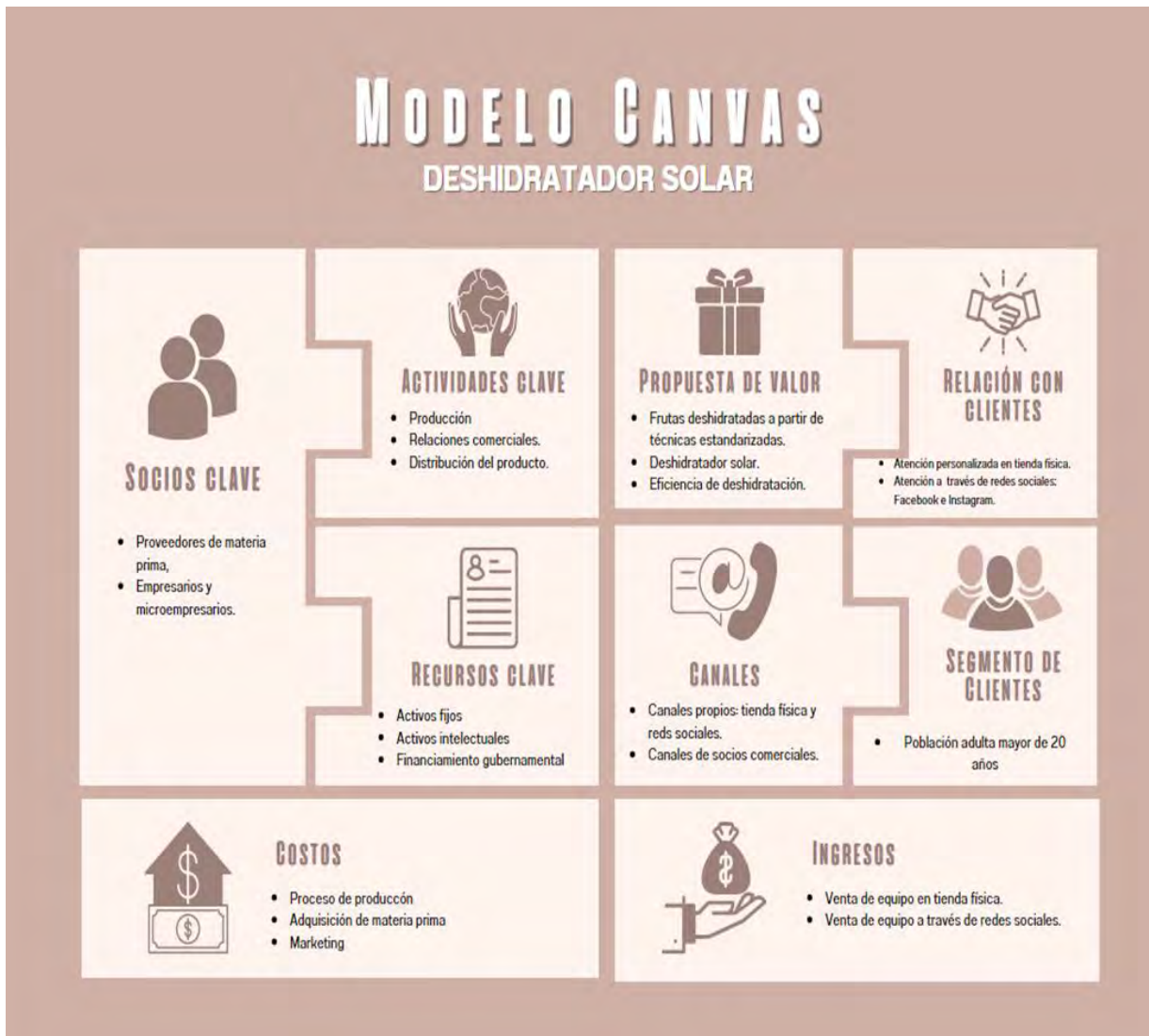


Figura 4.10 Modelo CANVAS

### 4.5.2 Estimación de la demanda

Para cuantificar la demanda potencial de este tipo de productos, la población se estratifica a partir de alguna característica económica o social que el investigador considere que influye en el consumo del producto.

La fórmula para calcular el tamaño de la muestra para población finita, es la siguiente:

$$n = \frac{NZ^2pq}{E^2(N-1) + Z^2pq}$$

En Cuernavaca Morelos, según datos reportados por INEGI (2021), cuenta con una población de 378,476 habitantes.

donde:

N = población total de 378,476 habitantes.

Si  $Z = 1.96$  el porcentaje de confiabilidad es de 95%

$p = 0.5$

$q = 0.5$

$E = 5\%$

Sustituyendo los valores en la ecuación

$$n = \frac{(378,476)(1.96)^2(0.5)(0.5)}{0.05^2(378,476 - 1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)} = 382$$

Con base en el cálculo anterior se recomienda encuestar a 382 personas.

Aplicando la técnica de encuestas como mecanismo para la recolección de datos, se consideró el método de muestreo aleatorio, considerando un 10% de la muestra obtenida, encuestando a 39 personas, entre los ítems que se consideran en el instrumento aplicado a la población.



Figura 4.11 Instrumento para recolección de datos

**Producto deshidratado**

¿Qué precio máximo estás dispuesto a pagar por 50 gr de manzana y/o pera deshidratada?

- a) \$30      b) \$35      c) \$40

Precio	\$30	\$35	\$40
Número de personas	15	20	4

Considerando en 2022 el índice inflacionario de 8.15% (INEGI 2021), a partir del método de mínimos cuadrados, obteniendo una correlación de 0.93, se estiman los siguientes valores:

Año	Índice inflacionario	Precio del producto
2019	2.83%	
2020	3.7%	
2021	7.36%	
2022	8.15%	
2023	8.4%	\$ 35.00
2024	10.765%	\$ 44.85
2025	12.324%	\$ 51.35
2026	13.883%	\$ 57.85
2027	15.442%	\$ 64.34
2028	17.001%	\$ 70.84

### **Deshidratador solar**

*¿Qué precio máximo estás dispuesto a pagar por un Deshidratador Solar de Frutas y Verduras?*

b) \$30      b) \$35      c) \$40

<b>Precio</b>	<b>\$5000</b>	<b>\$5800</b>	<b>\$6500</b>
Número de personas	13	25	1

*Considerando en 2022 el índice inflacionario de 8.15% (INEGI 2021), a partir del método de mínimos cuadrados, obteniendo una correlación de 0.93, se estiman los siguientes valores:*

<b>Año</b>	<b>Índice inflacionario</b>	<b>Precio del producto</b>
2019	2.83	
<b>2020</b>	<b>3.7</b>	
<b>2021</b>	<b>7.36</b>	
<b>2022</b>	<b>8.15</b>	
<b>2023</b>	<b>8.4</b>	<b>\$ 5,800.00</b>
<b>2024</b>	<b>10.765</b>	<b>\$ 7,432.98</b>
<b>2025</b>	<b>12.324</b>	<b>\$ 8,509.43</b>
<b>2026</b>	<b>13.883</b>	<b>\$ 9,585.88</b>
<b>2027</b>	<b>15.442</b>	<b>\$ 10,662.33</b>
<b>2028</b>	<b>17.001</b>	<b>\$ 11,738.79</b>

### **4.5.3 Descripción técnica del proceso productivo**

#### ***Localización óptima de la planta***

Una limitante de la ubicación geográfica de la planta es la disponibilidad de materia prima. En razón del estudio previamente realizado, considerando la disponibilidad de las frutas a deshidratar, como son “Manzana Golden, manzana red y pera verde”, se considera viable la ubicación de la planta en Cuernavaca, Morelos México.

Datos generales de la ciudad de Cuernavaca (síntesis estadística municipal de Cuernavaca, 2021).

- Superficie: 199.7 Km<sup>2</sup>
- 376,494 mil de personas

#### ***Especificaciones del producto***

Un deshidratador solar es un dispositivo que aprovecha la radiación solar y la convección forzada o natural del aire para disminuir el contenido de humedad de algún material. Cuando se incrementa la temperatura del aire, también se disminuye la humedad relativa del entorno y esto mejora las condiciones para disminuir también la del alimento. “Deshidratar o secar un alimento consiste en disminuir su contenido de agua hasta un nivel seguro de humedad que permita garantizar condiciones adecuadas para su almacenamiento o para un proceso posterior” [7].

Los deshidratadores tienen dos componentes principales: el captador solar y la cabina o cámara de secado. El captador solar recibe la energía solar y la transmite a un fluido para aumentar su temperatura y transferir energía térmica al producto por deshidratar, ya sea de manera directa o indirecta por medio de un intercambiador de calor.

“La cámara de secado cumple la función de contener el producto que se va a deshidratar, protegiéndolo de agentes externos o de daños mecánicos” [8]. Los secadores solares se clasifican en activos y pasivos, según la forma como se hace circular el aire dentro de la cabina de secado.

En los sistemas activos se integran ventiladores con la finalidad de favorecer el arrastre de humedad, mientras que en los sistemas pasivos el aire circula de manera natural. Tanto los secadores pasivos como los activos se clasifican de acuerdo con la distribución de los componentes del dispositivo en: integrales, distribuidos y mixtos. En los deshidratadores distribuidos, el captador y la cabina de secado se encuentran separados

### ***Especificaciones de materias primas e insumos***

El deshidratador solar para frutas y verduras contiene los siguientes componentes:

#### **Colector solar.**

El colector que se va a utilizar en este proyecto es de placa plana el cual tiene como función capturar la radiación solar y convertirla en calor. Este colector es utilizado para elevar la temperatura de los fluidos que se induzcan dentro del equipo utilizando los principios de transferencia de calor, puntualmente la convección forzada y es aplicado en el sector agrícola en deshidratación de alimentos por ser un equipo rentable, eficiente y de bajo costo.

- Cubierta transparente. Con el fin de evitar las pérdidas térmicas por convección natural (enfriamiento por el flujo de aire), se interpone entre el receptor y el ambiente una cubierta transparente. Esta cubierta transparente puede ser vidrio o plástico (policarbonato, poliestireno, etc.) el material empleado debe poseer alta transmitancia y baja reflectancia, esto se hace con el fin de crear un efecto invernadero, ya que, esta película atrapa los rayos de onda larga aumentando el calor y evitando pérdidas térmicas.
- Placa absorbidora. Tiene la función de absorber la radiación solar, por ende, debe ser un material con características como: absorción, baja emisividad para evitar pérdidas por radiación de cuerpo negro, durabilidad y conductividad térmica.
- Aislamiento del Colector. Es usado para reducir las pérdidas térmicas del colector hacia el exterior y se ubica en las zonas laterales e inferiores del mismo. El material del aislante debe ser con baja conductividad térmica, tolerar la humedad y no emitir gases al desintegrarse cuando su vida útil allí terminado.



- Carcasa del Colector. Es el elemento que le da soporte y rigidez al colector solar, también es el encargado de dar la inclinación que este necesite para aprovechar mejor la radiación solar. El material debe ser resistente a la corrosión y maleable.

Cabina de secado. La cámara de secado es el elemento en el cual se ejecutan los procesos de transferencia de masa y de calor para el deshidratado de las plantas. El diseño de esta varía de acuerdo con el flujo del aire, la carga solicitada y otras exigencias del cliente.

Los componentes de la cámara de secado son:

Carcasa de la cámara

Hace referencia a la estructura externa que brinda rigidez a la cámara. Se emplean materiales que soporten las condiciones a la intemperie y que posea alta resistencias a las cargas definidas por el cliente.

- Cabina interna. Este elemento está en contacto con el producto a deshidratar, además está expuesto a cambios de temperatura y presión. Por estas razones se emplean materiales que posean alta resistencia a la corrosión y mantengan las condiciones salubres de los productos.
- Aislamiento. Este material recubre todas las paredes de la cámara y sirve para reducir las pérdidas térmicas, debe poseer baja conductividad y degradación para asegurar la durabilidad en la cámara.

Bandejas

Este elemento sirve como soporte y está en contacto directo con el producto, la cantidad de bandejas varía de acuerdo con la capacidad de la cámara y su dimensionamiento. Se debe emplear un material que posea alta resistencia a la corrosión y que permita el contacto directo con los productos.

Soportes de la estructura.

Este elemento hace referencia al soporte tanto de la cámara de secado como el colector solar, se debe emplear un material que posea resistencia a altas cargas con un recubrimiento anticorrosivo.

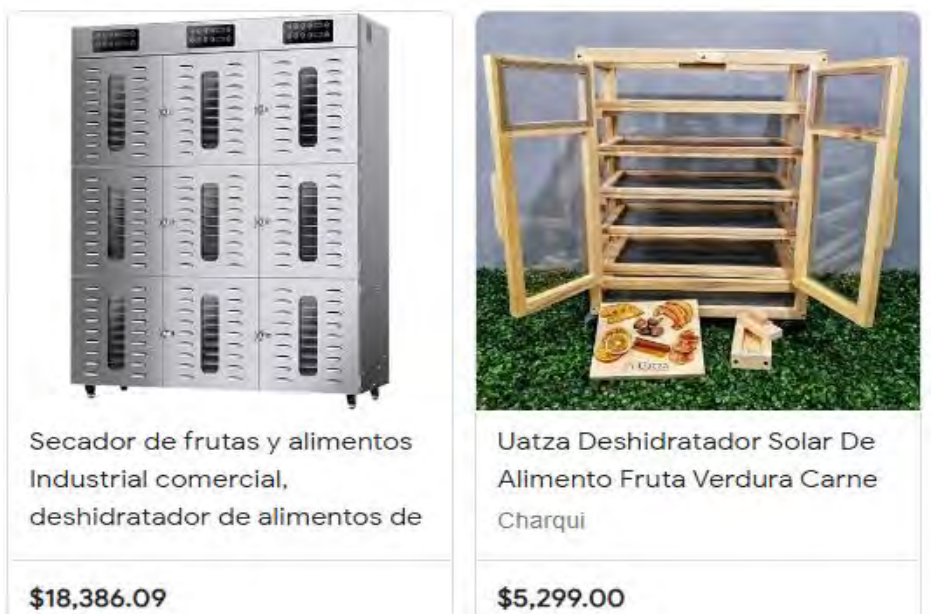
#### 4.5.4 Deshidratadores Solar de venta en el mercado




Los Deshidratadores Sociales de venta en el mercado, operan por lo general bajo un solo régimen, radiación directa, además de encontrarse a un precio elevado, el equipo como tal es pesado y difícil de manipular en la mayoría de los casos.

De igual forma, la capacidad de los equipos comerciales, para carga de materia prima en la mayoría de los casos es de 5 a 8 kg de masa de producto fresco, obteniendo una eficiencia de secado superior al 65% y conservando parcialmente los nutrientes y vitaminas esenciales del producto.

De acuerdo a la revisión bibliográfica se estima que hay una pérdida sustancial de vitamina “D”, así mismo, las propiedades organolépticas se ven parcialmente afectadas.

En la figura 4.10 se muestran algunos ejemplos de Deshidratadores Solares empleados de manera industrial y con similitud en cuanto a dimensiones con el prototipo propio.



		
<p>ECO DESHIDRATADOR E.S.I</p>	<p>COLZER 16 bandejas deshidratador de alimentos de acero inoxidable deshidratador Charqui</p>	<p>Deshidratador de Alimentos 10 Charolas - 78450 - Proctor Silex Charqui</p>
<p><b>\$7,070.63</b> (EUR 373.00)</p>	<p><b>\$11,024.31</b></p>	<p><b>\$18,853.00</b></p>

*Figura 4.12 Deshidratadores solares comerciales.*

#### 4.5.5 Estructura de costos

En las tablas 4.8 y 4.9 se muestra la estructura de costos de materia prima y de otros materiales empleados en la construcción del Deshidratador Solar, considerando cada uno de los componentes citados en el Capítulo III de este trabajo de investigación, los cuales consideran tanto al colector solar como a la cámara de secado y demás elementos.

Tabla 4.8 Costos de materia prima.

**Costos de Materia prima:  
Deshidratador Solar**

**AÑOS  
1-5**

Materia Prima	Cantidad por equipo	Costo unitario	Costo total	Consumo mensual (10 equipos)	Consumo anual (120 equipos)	Costo anual
Vidrio templado: espesor 5 mm, (50x50 cm)	1	\$450	\$450	10	120	\$54,000
Vidrio crudo: 4 caras, (35x35 cm)	4	\$85	\$315	40	480	\$12,240
Bandeja de acero inoxidable: espesor 3 mm, (50x50 cm)	1	\$220	\$220	10	120	\$26,400
Lámina de aluminio: espesor 3 mm, (60x60 cm)	1	\$220	\$220	10	120	\$26,400
Hierro galvanizado: espesor 3 mm (60x60 cm)	1	\$205	\$205	10	120	\$24,600
Pintura Anticorrosiva: color negro, 300 MK	1	\$235	\$235	10	120	\$28,200
Termopares: tipo Y	5	\$80	\$400	50	600	\$48,000
Madera: espesor 15 mm (60x60 cm)	1	\$200	\$200	10	120	\$24,000
Tornillos, rondana y tuerca: espesor 6 mm	4	\$1	\$4	40	480	\$144
Silicón	1	\$120	\$120	10	120	\$14,400
<b>Total=</b>						<b>\$258,384</b>

Tabla 4.9 Costos de otros materiales

Otros materiales

Materia Prima	Consumo mensual	Costo unitario	Consumo anual	Costo total
Bata	1 pieza	\$150	6	\$900
Cubre bocas	20 piezas	\$1.6	240	\$384
Guantes de látex	20 piezas	\$9.8	240	\$2,352
Cofias	20 piezas	\$2	240	\$480
Botas industriales	1 par	\$350	6	\$2,100
Franela: 30 cm x 30 cm	3 piezas	\$18	6	\$108
Detergente liquido	6 L	\$18	72	\$1,296
Escobas	1 pieza	\$45	4	\$180
			<b>Total=</b>	<b>\$7,800</b>

#### 4.5.6 Determinación de Punto de Equilibrio

El punto de equilibrio es un cálculo importante para determinar el nivel de ventas necesario para cubrir todos los costos y alcanzar el equilibrio financiero [41]. Utilizando la fórmula proporcionada y los datos proporcionados, podemos determinar el punto de equilibrio.

El costo fijo (CF) es de \$209,680.70, mientras que los costos variables son de \$2,153.20.

Punto de Equilibrio = Costo Fijo / (Precio de venta por unidad - Costos variables por unidad).

Según los cálculos, se necesitaría vender 58 deshidratadores solares al año para alcanzar el punto de equilibrio, en la Tabla 4.10 se muestra la simulación de punto de equilibrio en donde se puede observar el número de deshidratadores solares que se deben vender para obtener utilidad.

Tabla 4.10 Simulación de Punto de Equilibrio

<b>PRODUCTO</b>	Deshidratadores Solares de Morelos S.A	<i>Resultado:</i>	<b>PUNTO DE EQUILIBRIO</b>	57.50	a vender como mínimo para equiparar los costos
<b>PRECIO UNITARIO</b>	\$ 5,800.00				

Detalle los costos

<b>COSTO FIJO</b>	\$ 209,687.70
-------------------	---------------

<b>COSTO VARIABLE</b>	\$ 2,153.20
-----------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	VALOR
Luz	\$ 3,930.00
Agua	\$ 2,448.00
Internet	\$ 3,360.00
Sueldos	\$ 122,400.00
Impuestos	\$ 77,549.70

DESCRIPCIÓN	VALOR	CANTIDAD	IMPORTE
Materias primas			\$ 258,384.00

*Simulador*

UNIDADES A PRODUCIR	120.00
VENTAS TOTALES	COSTOS TOTALES
\$ 696,000.00	\$ 468,071.70
	UTILIDAD TOTAL
	\$ 227,928.30

Gráfico

UNIDADES	VENTAS	COSTOS	UTILIDAD
30.00	\$ 174,000.00	\$ 274,283.70	-\$ 100,283.70
120.00	\$ 696,000.00	\$ 468,071.70	\$ 227,928.30
150.00	\$ 870,000.00	\$ 532,667.70	\$ 337,332.30

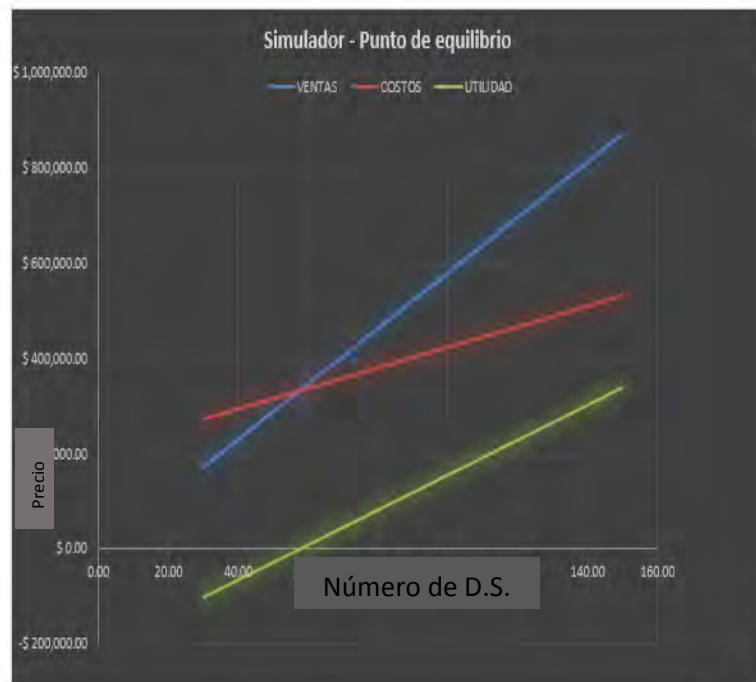


Figura 4.13 Punto de Equilibrio

#### 4.5.7 Proyección de flujo de efectivo

En la Tabla 4.11 se muestra la proyección de flujo de efectivo a 5 años, considerado desde 2024 hasta 2027, se puede observar el costo de materia prima y el costo neto, así como las ventas anuales estimadas [41].

Tabla 4.11 Proyección de flujo de efectivo

Producción de 120 Deshidratadores Solares					
Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$3,480,000.00
\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$2,536,253.50
\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$943,746.50

#### 4.5.8 Indicadores de rentabilidad del negocio y viabilidad financiera (VPN y TIR)

En la Tabla 4.11 se concentran los cálculos de VPN (Valor Presente Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno), los cuales estiman los egresos en la proyección realizada a 5 años, así como la utilidad recibida en la venta de deshidratadores solares, cabe mencionar que se considera como base de cálculo la TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento), misma que en el Estado de Morelos es del 12% anual [42].

Como la  $TIR > TMAR$ , existe una viabilidad financiera y como consecuencia el proyecto es aceptado para su puesta en marcha, debido a que según las estimaciones genera una utilidad significativa [43].

Tabla 4.12 Indicadores de VPN y TIR

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00
Egresos	\$300,000.00	\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70
FNE	\$300,000.00	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30

**TMAR**

**12%**

**TIR**

**56%**

**VPN**

**\$380,398.98**



## **CAPÍTULO 5.**

### **Conclusiones**

En la investigación realizada, se pueden observar el diseño y construcción de dos prototipos, los cuáles cumplen con el propósito de deshidratar frutas y verduras. En el Prototipo I fue posible deshidratar productos por método directo, el cuál consistió en captar a partir de placas aborbedoras la radiación solar y aprovechar la energía recibida para el secado del producto, así mismo por el mecanismo de transferencia de calor por convección natural.

Por su parte en el Prototipo II, la deshidratación del producto se fue posible por método indirecto y por convección forzada, en dicho prototipo se implementó un colector solar adicional, así como una cámara de secado que hizo posible la deshidratación del producto de manera uniforme.

El producto deshidratado se sometió a un proceso de pretratamiento antioxidación y antipardeo previo a ser sometido al secado. Dicho pretratamiento tiene el objetivo de evitar la oxidación y el deterioro para la exposición del producto a las condiciones ambientales y con ello lograr un producto que cumple con las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas : NOM-030-MX y NOM-111-SSA, lo cual confirma que se trata de un producto completamente viable para el consumo humano, desde el punto de vista organoléptico y microbiológico es un producto

confiable para su consumo, libre de agentes patógenos y con una vida útil mínima de 60 días de almacenaje [2,3].

Desde el punto de vista térmico, se logra la eficiencia esperada en el proceso de deshidratación, el sistema térmico y sus componentes hacen posible una pérdida de humedad mayor al 70% del producto deshidratado. El sistema térmico, específicamente en el colector solar se alcanzan temperaturas de 81°C en las placas absorbedoras, mientras que la temperatura del aire es superior a los 60°C.

Sin duda, el prototipo final, es una nueva tecnología que impacta el en Objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas es "energía asequible y no contaminante". Este objetivo busca que todas las personas tengan acceso a una energía segura, moderna, sostenible y asequible [40].

Finalmente, el prototipo cuenta con una TRL (Technology Readiness Level), que se traduce como "nivel de madurez tecnológica", en la escala aplicable, puede considerarse un valor de 7, que corresponde a la innovación en entornos reales mientras (TRL 7-9). De acuerdo con el modelo de negocios realizado, el Prototipo es viable para su comercialización, así como el producto deshidratado, contando con un VPN (valor presente positivo), lo cual los hace redituables para posicionarse en el mercado local del estado de Morelos.

## 5.1 Recomendaciones

Respecto al principio de funcionamiento del Deshidratador Solar, es conveniente que el horario de operación sea a partir de las 12 del día y en días en donde la intensidad de radiación solar sea superior a  $823 \text{ W/m}^2\text{K}$  para asegurar que el proceso de deshidratación sea uniforme en el producto.

Se recomienda en trabajos futuros llevar a cabo un proceso de instrumentación, colocando termopares en el interior del colector solar, así como en el interior de la cámara de secado. A partir de los termopares será posible llevar a cabo el monitoreo a la par de la simulación en software, lo cual permitirá tener un control de dichas variables.

Por otro lado, explorar nuevas oportunidades de negocio, comercializando tanto el deshidratador solar como el producto deshidratado, ya que se trata de un nicho de mercado viable en el Estado de Morelos, para un segmento de mercado preocupado por su salud y por el cuidado del medio ambiente.

## Referencias bibliográficas

- [1] Manual de deshidratación. 2018, Publicación de la Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.
- [2] NORMA Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- [3] NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios.
- [4] Alianza Internacional HACCP (2010). Información general sobre la organización, tópicos más comunes e información de inocuidad alimentaria.
- [5] Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. Revista chilena de ingeniería, 24, 72-80.
- [6] Villarroel, D. (2007). Introducción al secado y deshidratación. Quito: Universidad de las Américas.
- [7] Arreola, R., Quevedo, A., Castro, M., Bravo, A. & Reyes, D. (2015). Design, construction and evaluation of a solar tracking system for a photovoltaic panel. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. ISSN 2007-0934.
- [8] González, C., Ponce, C., Valenzuela, R. & Campos, D. (2013). Selección de un sistema solar fotovoltaico para un vehículo eléctrico. Revista Culcyt. ISSN 2007-0411.
- [9] Bejarano Martinez, c. a. (2018). Evaluacion del Efecto de Uso de un Deshidratador Solar pasivo Indirecto de flujo Turbulento y de un Deshidratador Solar pasivo en Propiedades Fisioquimicas y Organolecticas de mango, Naranjas y mandarinas . Tesis de Maestria, Tocaima. Recuperado el 19 de Mayo de 2020.
- [10] Moncayo, M. V., Roa M, G. L., & Ortega Torres, D. B. (2011). 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 Maestría.
- [11] Moraga Castro, J. J. (2013). Evaluación del proceso de secado de café pergamino en Beneficio Sajonia S.A. Matagalpa 2012. tesis de grado. Recuperado el 5 de mayo de 2020.
- [12] Martínez, C. A. (2018). Evaluación del Efecto del Uso de un Deshidratador Solar Pasivo Indirecto de Flujo Turbulento y de un Deshidratador Solar Pasivo en Propiedades Fisicoquímicas y Organolépticas de Mango, Naranja y Mandarina. Colombia

- [13] Berques, C. & Díaz, J. (2014). Diagramas de tendencia para la generalización sostenible de secadores solares directos de productos agropecuarios. *Revista Tecnología Química*. ISSN 2224-6185.
- [14] Ives R. A., Queiroz A. J. D. M., de Figueirêdo R. M., Silva W. P. D., y Gomes J. P. (2019). Solar drying of cowpea bean combined with drying in a heat accumulator dryer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 709-715. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p709-715>
- [15] Iriarte, A., Bistoni, S., García, V. & Luque, V. (2013). Evaluación de un secadero solar tendalero túnel: estudio de secado de manzanas. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. ISSN 2314-1433.
- [16] Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Revista Chilena de Ingeniería*. ISSN 0718-33
- [17] [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com). (Abril de 2008). Obtenido de <https://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla.htm>
- [18] Araya, G. (2012). Manual de recomendaciones para el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L). San José, Costa Rica: MAG/INTA. Recuperado el 12 de Julio de 2022, de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10393.PDF>
- [19] Brewster, J. (1994). *Onions and vegetable alliums* (Segunda ed.).
- [20] Bancho Luján, Carballo Sergio, Telesca Juan, (2008). Manual de secado solar de especies medicinales y aromáticas para predios familiares. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA, Montevideo –Uruguay
- [21] Castillo Téllez Margarita ; Ovando Sierra Juan Carlos ; Lezama Zárraga Francisco ; Méndez Álvarez Diana C . Nut drying of India cultivated in Campeche, México through direct solar technologies and under controlled conditions. *Revista Bistua*.2019.17(3):60-69.
- [22] V. Belessiotis y E. Delyannis (2011). “Solar Drying”. *SolarEnergy*, vol 85, *Progress in solar energy* 1,2011, pp. 1665-1691.
- [23] Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de Proyectos* (7a ed.). Mc Graw Hill.
- [24] Duffie, JA y Beckman, WA (2013) *Ingeniería solar de procesos térmicos*. 2.ª edición, Madison, Nueva York; John Wiley & Sons, Hoboken. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- [25] Ong K. S. (1995b), ‘Thermal performance of solar air heaters-experimental correlation’, *Solar Energy*, Vol. 55, 209–220
- [26] LOMBARD, G.; OLIVEIRA, J.; FITO, P.; ANDRE’S, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying, *J. Food Engineering*, 85 (2), 277-284, 2008.

- [27] GENINA-SOTO, P., ALTAMIRANO- MORALES, S. Deshidratación osmótica de prismas de camote, manzana y papa. *Interciencia*, 30 (8), 485-487, 2005.
- [28] MOREIRA, R. & SERENO, A. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non- static conditions. *J. Food Engineering*, 57 (1), 25-31, 2003.
- [29] VALERA, A.; ZAMBRANO, J.; MATERANO, W.; QUINTERO, I. Efectos de la concentración de soluto y la relación fruta/jarabe sobre la deshidratación osmótica de mango en cilindros (*Mangifera indica*). *Agronomía Tropical*, 55 (1), 117-132, 2005.
- [30] MADHIYANON, T.; PHILA, A.; SOPONRONNARIT, S. Models of fluidized bed drying for thin-layer chopped coconut. *Applied Thermal Engineering*, 29 (14- 15), 2849-2854, 2009.
- [31] DOYMAZ, I. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry, *J. Food Engineering*, 78 (2), 591-596, 2007.
- [32] Sima E. (1999), Estudio, caracterización evaluación de un secador solar de granos de tipo indirecto, Master's thesis, cenidet.
- [33] Moo C. M. (2005), Construcción y evaluación de un secador solar de granos, Master's thesis, cenidet.
- [34] Nieves A. y Domínguez F. C. (2010), Probabilidad y estadística para ingeniería un enfoque moderno, McGraw-Hill.
- [35] Ong K. S. (1995a), 'Thermal performance of solar air heaters: mathematical model and solution procedure', *Solar Energy*, Vol. 55, 93–109.
- [36] Mikel Mesonero and Juan Carlos Alcaide. *Marketing industrial: cómo orientar la gestión comercial a la relación rentable y duradera con el cliente*. ESIC editorial, 2012
- [37] Muna Hashim Ghazzay. Propagation of kefir in various sugar media. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 14(5):41–45, 2014.
- [38] Edwin Gamboa Poveda, Robinson Alvarez Martinez, and Oscar Prieto. *Acero inoxidable 316 y 316 l propiedades y características físico-químicas*. Fundación Universitaria los Libertadores, 2011.
- [39] Pedro González Huerta. *La viabilidad financiera en el emprendimiento*. 2015.
- [40] Humberto Gutiérrez Pulido et al. *Calidad y productividad*. 2014.
- [41] Naciones Unidas (año), *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G. 2681-P/Rev.)*

- [42] José Luis Jiménez Rosales, Jesús Francisco Vergara López, Luis Fernando Ruiz Chincoya, Adriana Hernandez Calva, et al. Métodos ópticos en el análisis físicoquímico del tepache. 2018.
- [43] Alexander Osterwalder and Yves Pigneur. Generación de modelos de negocio. 2011.
- [43] Alexander Osterwalder, Yves Pigneur, Greg Bernarda, Alan Smith, and Trish Papadacos. Diseñando la propuesta de valor. Leader Summaries, 2015.
- [44] Forsythe, S.J. y Hayes, P.R. (2002) “Higiene de los alimentos, microbiología y HACCP”.
- [45] HACCP (2010) “Los siete principios HACCP

## Anexos

### A) Resultados experimentales, temperaturas de placas absorbedoras

*Tabla A-1. Temperatura alcanzada en placas absorbedoras.*

Temperatura °C				
Tiempo (minutos)	Placa 1 Hierro Galvanizado (orificios)	Placa 2 Hierro Galvanizado	Placa 3 Aluminio	Placa 4 Aluminio
0	25	24.5	26.2	26.3
30 min	44.5	44.1	50.8	51.7
60 min	54.7	55.3	57.5	59.3
90 min	58.3	60.1	70.4	71.3
120 min	66.1	65.4	77.3	73
150 min	70.2	72	80.2	80.1

*Tabla A-2. Temperatura alcanzada en placas absorbedoras.*

Temperatura °C				
Tiempo (minutos)	Placa 1 Hierro Galvanizado (orificios)	Placa 2 Hierro Galvanizado	Placa 3 Aluminio	Placa 4 Aluminio
0	25.3	24.3	26.2	26.4
30 min	45.2	43.9	51.3	51.3
60 min	54.7	55	57	59
90 min	58.1	60.3	70.1	71.3
120 min	66	65.6	77.4	75
150 min	70.4	70.3	80	80



## B) Resultados experimentales, convección natural

*Tabla B-1. Muestras de manzana verde expuestas en placas absorbedoras.*

Masa de la muestra				
Tiempo (minutos)	Placa 1 (Al)	Placa 2 (Al)	Placa 3 (HG)	Placa 4 (HG)
0	100	100	100	100
30 min	93.9	95.1	95.2	97.1
60 min	91.5	91.4	92.1	91.2
90 min	75.1	75.9	82.7	82.1
120 min	65.2	66.2	69.3	69.2
150 min	50.4	51.5	56.6	56.6
180 min	40.5	42.2	48.3	47.8
210 min	37.1	40.3	45.3	45.2
240 min	35.2	36.7	43	43.6

*Tabla B-2. Muestras de manzana verde expuestas en placas absorbedoras.*

Masa de la muestra				
Tiempo (minutos)	Placa 1 (Al)	Placa 2 (Al)	Placa 3 (HG)	Placa 4 (HG)
0	100	100	100	100
30 min	93.7	95.15	96.2	97.3
60 min	91.7	91.1	92.7	91.1
90 min	75.3	75.7	83.7	83.4
120 min	65.6	66.3	69.4	69.1
150 min	51.5	52.7	55.3	57.3
180 min	40.1	42.8	48.3	47.9
210 min	37.7	42.3	44.5	45.7
240 min	35.0	36.7	43.3	43.3

### C) Resultados experimentales, convección forzada

*Tabla C-1 Muestras de manzana verde expuestas en cámara de secado*

Masa de la muestra (Manzana verde)				
Tiempo (minutos)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	100	100	100	100
60 min	97.3	96.7	96.3	97.1
120 min	94	93.3	95	91.4
180 min	85.2	87	86	86.5
240min	75.7	76.2	79.1	79.6
300 min	55.1	55.2	56.8	56.3
360 min	42.3	42.8	44.3	43.8
420 min	36.1	38.5	36.3	36.3
480 min	33.3	34.7	36.1	32.4

*Tabla C-1 Muestras de manzana verde expuestas en cámara de secado*

Masa de la muestra (Manzana verde)				
Tiempo (minutos)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	100	100	100	100
60 min	97.3	96.7	96.3	97.1
120 min	94	93.3	95	91.4
180 min	85.2	87	86	86.5
240min	75.7	76.2	79.1	79.6
300 min	55.1	55.2	56.8	56.3
360 min	42.3	42.8	44.3	43.8
420 min	36.1	38.5	36.3	36.3
480 min	33.3	34.7	36.1	32.4

*Tabla C-2 Muestras de manzana verde expuestas en cámara de secado*

Masa de la muestra (Manzana verde)				
Tiempo (minutos)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	100	100	100	100
60 min	97.3	96.7	96.3	97.1
120 min	94.4	93.3	95	91.4
180 min	85.2	87.4	86	86.5
240min	75.7	76.1	79.3	79.6
300 min	55.1	55.2	56.0	56.3
360 min	42.3	42.5	44.3	43.8
420 min	36.1	38.5	36.3	36.3
480 min	33.5	34.5	35.9	32.6

*Tabla C-4 Muestras de manzana verde expuestas en cámara de secado*

Masa de la muestra (Manzana verde)				
Tiempo (minutos)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	100	100	100	100
60 min	97.1	96.7	96.3	97.1
120 min	94	93.3	95	90.3
180 min	85.3	87.4	86.4	86.3
240min	75.5	76.0	79.3	79.7
300 min	55.3	55.0	56.5	56.2
360 min	42.7	42.6	44.1	43.9
420 min	36.3	38.5	36.1	36.2
480 min	33.5	34.9	36.4	32.2

## D) Modelo de Negocios

### Deshidratadores Solares de venta en el mercado






 <p>Secador de frutas y alimentos Industrial comercial, deshidratador de alimentos de</p>	 <p>Uatza Deshidratador Solar De Alimento Fruta Verdura Carne Charqui</p>	
<p><b>\$18,386.09</b></p>	<p><b>\$5,299.00</b></p>	
 <p>ECO DESHIDRATADOR E.S.I</p>	 <p>COLZER 16 bandejas deshidratador de alimentos de acero inoxidable deshidratador Charqui</p>	 <p>Deshidratador de Alimentos 10 Charolas - 78450 - Proctor Silex Charqui</p>
<p><b>\$7,070.63</b> (EUR 373.00)</p>	<p><b>\$11,024.31</b></p>	<p><b>\$18,853.00</b></p>

Figura 21. Deshidratadores solares comerciales.

## D-1 Estructura de costos

### *Deshidratador Solar*

<b>Periodo anual</b>	<b>Producción anual</b>
1	120 deshidratadores
2	120 deshidratadores
3	120 deshidratadores
4	120 deshidratadores
5	120 deshidratadores

### **Costos de Materia prima: Deshidratador Solar**

**AÑOS 1-  
5**

<b>Materia Prima</b>	<b>Cantidad por equipo</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>	<b>Consumo mensual (10 equipos)</b>	<b>Consumo anual (120 equipos)</b>	<b>Costo anual</b>
Vidrio templado: espesor 5 mm, (50x50 cm)	1	\$450	\$450	10	120	\$54,000
Vidrio crudo: 4 caras, (35x35 cm)	4	\$85	\$315	40	480	\$12,240
Bandeja de acero inoxidable: espesor 3 mm, (50x50 cm)	1	\$220	\$220	10	120	\$26,400

Lámina de aluminio: espesor 3 mm, (60x60 cm)	1	\$220	\$220	10	120	\$26,400
Hierro galvanizado: espesor 3 mm (60x60 cm)	1	\$205	\$205	10	120	\$24,600
Pintura Anticorrosiva: color negro, 300 MK	1	\$235	\$235	10	120	\$28,200
Termopares: tipo Y	5	\$80	\$400	50	600	\$48,000
Madera: espesor 15 mm (60x60 cm)	1	\$200	\$200	10	120	\$24,000
Tornillos, rondana y tuerca: espesor 6 mm	4	\$1	\$4	40	480	\$144
Silicón	1	\$120	\$120	10	120	\$14,400

**Total= \$258,384**

### Otros materiales

Materia Prima	Consumo mensual	Costo unitario	Consumo anual	Costo total
Bata	1 pieza	\$150	6	\$900
Cubre bocas	20 piezas	\$1.6	240	\$384
Guantes de látex	20 piezas	\$9.8	240	\$2,352
Cofias	20 piezas	\$2	240	\$480
Botas industriales	1 par	\$350	6	\$2,100
Franela: 30 cm x 30 cm	3 piezas	\$18	6	\$108

Detergente liquido	6 L	\$18	72	\$1,296
Escobas	1 pieza	\$45	4	\$180
<b>Total=</b>				<b>\$7,800</b>

**D-2 Personal: Deshidratador solar**

Puesto	Número de empleados	Sueldo mensual	Sueldo anual
Operativo/Producción	1	\$5,000	\$60,000
Almacenista	1	\$5,200	\$62,400
<b>Total=</b>			<b>\$122,400</b>

**D-3 Pago de servicios**

Tipo de servicio	Consumo bimestral	Costo bimestral	Costo anual
Energía eléctrica	533000 KW	\$655	\$3,930
Agua	1827 L	\$408	\$2,448
Internet	300 M	\$560	\$3,360
<b>Total=</b>			<b>\$9,738</b>

## D-4 Equipo

Tipo de equipo	Costo de equipo	Años de vida útil	Porcentaje de depreciación anual	Año 2023
2 Mesas de acero inoxidable	\$7,000	20	5	\$350
1 Monitor y CPU	\$4,000	3	33.3	\$1,333
1 Refrigerador industrial	\$15,000	10	10	\$150
1 Escritorio	\$3,000	10	10	\$300
4 Sillas	\$3,200	10	10	\$320
4 multicontactos	\$300	5	20	\$60
10 focos	\$350	3	33.3	\$117
1 teléfono	\$1,500	1.5	66.6	\$999
1 ventilador	\$1,000	5	20	\$200
<b>Total=</b>	<b>\$35,350</b>			<b>\$3,829</b>



**D-5 ESTADO DE RESULTADOS**

Nombre de la Empresa: **DESHIDRATADORES SOLARES DE MORELOS S. A**  
Ejercicio: **dic-23**

**INGRESOS:**

Ventas brutas	\$ 696,000.00	
Ventas netas		\$ 696,000.00

**COSTO DE PRODUCCIÓN, ADMINISTRACIÓN Y DE VENTA**

Costos de materias primas	\$ 258,384.00
Costo de mano de obra	\$ 122,400.00
Costo de servicios	\$ 9,738.00
Otros materiales	\$ 7,800.00
Equipo	\$ 35,350.00

<b>Depreciación</b>	\$ 3,829.00	
<b>Costos</b>		\$ 437,501.00
<b>Utilidad bruta</b>		\$ 258,499.00

<b>UTILIDAD DE OPERACIÓN</b>		\$ 258,499.00
------------------------------	--	------------------

<b>Menos: Impuestos</b>	\$ 77,549.70	
-------------------------	-----------------	--

<b>UTILIDAD NETA</b>		\$ 180,949.30
----------------------	--	------------------

<b>Depreciación</b>		\$ 7,800.00
---------------------	--	----------------

<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>		\$ 188,749.30
--------------------------	--	------------------

## Determinación de Punto de Equilibrio

El punto de equilibrio es un cálculo importante para determinar el nivel de ventas necesario para cubrir todos los costos y alcanzar el equilibrio financiero. Utilizando la fórmula proporcionada y los datos proporcionados, podemos determinar el punto de equilibrio.

El costo fijo (CF) es de \$209,680.70, mientras que los costos variables son de \$2,153.20.

Punto de Equilibrio = Costo Fijo / (Precio de venta por unidad - Costos variables por unidad).

Según los cálculos, se necesitaría vender 58 deshidratadores solares al año para alcanzar el punto de equilibrio.

PRODUCTO	Deshidratadores Solares de Morelos S.A
PRECIO UNITARIO	\$ 5,800.00

*Resultado:*

PUNTO DE EQUILIBRIO	57.50	a vender como mínimo para equiparar los costos
---------------------	-------	--

*Detalle los costos*

COSTO FIJO	\$ 209,687.70
------------	---------------

COSTO VARIABLE	\$ 2,153.20
----------------	-------------

DESCRIPCIÓN	VALOR
Luz	\$ 3,930.00
Agua	\$ 2,448.00
Internet	\$ 3,360.00
Sueldos	\$ 122,400.00
Impuestos	\$ 77,549.70

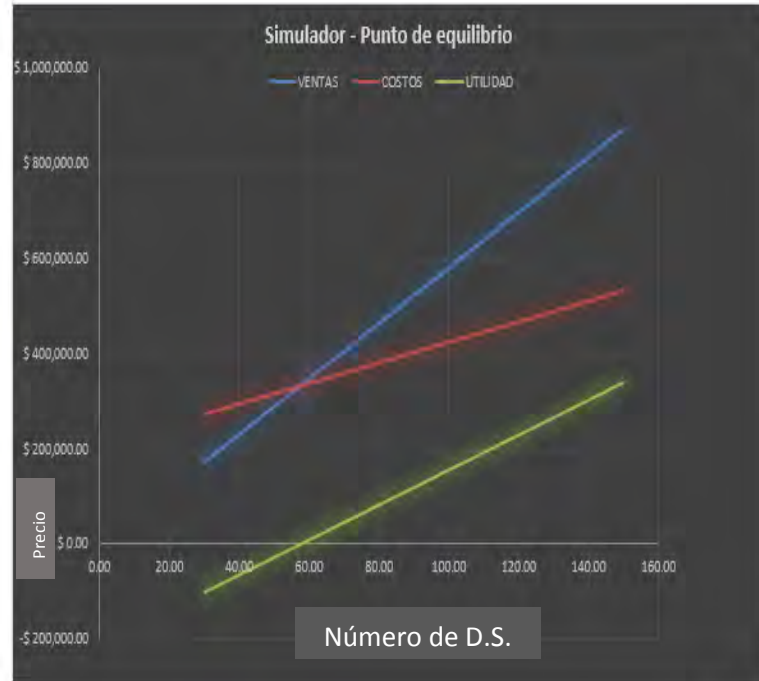
DESCRIPCIÓN	VALOR	CANTIDAD	IMPORTE
Materias primas			\$ 258,384.00

Simulador

UNIDADES A PRODUCIR	120.00	
VENTAS TOTALES	COSTOS TOTALES	UTILIDAD TOTAL
\$ 696,000.00	\$ 468,071.70	\$ 227,928.30

Gráfico

UNIDADES	VENTAS	COSTOS	UTILIDAD
30.00	\$ 174,000.00	\$ 274,283.70	-\$ 100,283.70
120.00	\$ 696,000.00	\$ 468,071.70	\$ 227,928.30
150.00	\$ 870,000.00	\$ 532,667.70	\$ 337,332.30



**D-6 Proyección de flujo de efectivo**

**Producción de 120 Deshidratadores Solares**

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$3,480,000.00
\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$507,250.70	\$2,536,253.50
\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$943,746.50

**D-7 Indicadores de rentabilidad del negocio y viabilidad financiera (VPN y TIR)**

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ingresos		\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00	\$696,000.00
Egresos	- <b>\$300,000.00</b>	<b>\$507,250.70</b>	<b>\$507,250.70</b>	<b>\$507,250.70</b>	<b>\$507,250.70</b>	<b>\$507,250.70</b>
FNE	-\$300,000.00	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30	\$188,749.30

**TMAR**  
**12%**

**TIR**  
**56%**

**VPN**  
**\$380,398.98**

## E) Código de Programación

```
/*El siguiente código simula el comportamiento térmico de un calentador
solar de aire de doble canal

// macros
// #define sind(z) (sin(fmod((z),360.00) * M_PI /180.00)) // para
convertir en grados

#include<stdio.h>           //Declaracion de librerias
#include<stdlib.h>         //Declaracion de librerias
#include<math.h>           //Declaracion de librerias
#include<string.h>         //Declaracion de librerias |

    /* Prototipo de funciones*/

void
inicializar(double*,double*,double*,double*,double*,double*,double*,
            double*,double*,double*,double*,double*,double*,double*,
            double**, int, int);

void coordenadas(double*,double*,double,int);

void propiedadesF(double*, double*, double*, double*, double*, double*,
double, double);

void ANusselt(double*, double, double, double, double, double, double);

void Coeficientes (double*, double*, double*, double*, double*, double*,
double*, double*, double*, double*, double, double,
double,
double, double, double, double, double,
double, double, double);

void CoeficientesSolver(double*, double*, double*, double*, double*,
double*,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double,
double, double);
```

```

void Solver(double*, double*, double*, double*, double*, double*,
double*, double*);

double Residuofhi(double*, double*);

void Impresion1(FILE*, double**, double*);

    /*Lista de variables y constantes globales*/

int nx=91, ny=6; // Numero de
nodos en las direcciones x, y
int Itermax=1000; // Numero de
iteraciones maximas

double epsilon=0.00001; // Criterio de
convergencia o paro del programa
double Fc=273.15, g= 9.81, sigma=5.67e-8; // Constantes a utilizar en
el programa

double Hx=1.86, Hz=0.605; // Dimensiones del
captador solar
double Hy1=0.004, Hy2=0.055, Hy3=0.001, // Dimensiones de los
espesores de los elementos
    Hy4=0.050, Hy5=0.00045, Hy6=0.003,
    Hy7=0.0254, Hy8=0.00045; // Espesores de los
distintos elementos en metros

double E_1=0.90, E_3s=0.95, E_3i=0.35,
    E_5=0.35, E_6=0.95; // Emisivdades de los
elementos
double alfa_1=0.15, alfa_3=0.903; // Absortividades
double tau_1=0.80; //
Transmisividad del vidrio
double conter_1=0.688, conter_3=58.00,
    conter_5=58.00, conter_6=0.040,
    conter_7=0.040, conter_8=58.00; //conductividades
double rho_1=2500.00, rho_3=7850.00,
    rho_5=7850.00, rho_6=7850.00; // Densidades de los
materiales
double Cp_1=750.00, Cp_3=460.00,
    Cp_5=460.00, Cp_6=460.00; // Calores
especificos
double Gamma=0.5; // Constant de
aproximacion
double V_f1=1.0, V_f2=1.0; // Velocidades del
fluido canal 1 y 2
double Alt=1350.00; // Altura sobre el
nivel del mar
double tilt=18.888, PI=3.1415926536; //Angulo del captador

int main(int argc, char const *argv[]) //Inicia programa principal

```

```
{
```

```
/*reservando memoria para las variables*/

double      *x = (double*) malloc(sizeof (double)*nx);
double      *dx = (double*) malloc(sizeof (double)*nx);
double      *x1 = (double*) malloc(sizeof (double)*nx);
double      *Tx = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *Tnew = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *Tprom = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *AP = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *AN = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *ANN = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *AS = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *ASS = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *B = (double*) malloc(sizeof (double)*ny);
double      *Tair_1 = (double*) malloc(sizeof (double)*nx);
double      *Tair_2 = (double*) malloc(sizeof (double)*nx);

double      **T = (double**) malloc(sizeof (double)*nx);

for (int i = 0; i < nx; i++)
{
T[i]=(double*) malloc(sizeof (double)*ny);
}

/*Declarando variables locales del main, inicializando en cero*/

int k=0, kk=0; // Contadores
para las secciones (k) y para las iteraciones (kk)
double dl=0.00, error=0.00; // Longitud de la seccion,
double Tf1_in= 0.00, Tf2_in=0.00,
Tsky=0.00; //Temperaturas
del fluido 1 y 2
double Cp1=0.00, Cp2=0.00; //Calor especifico
del
double ACp1=0.00, ACp2=0.00; //Para el calculo de
double Cp1_f1=0.00, Cpf1_3=0.00,
Cp3_f2=0.00, Cpf2_5=0.00; //Calor especifico
double mu1=0.00, mu2=0.00, mu1_w=0.00,
mu2_w=0.00; //viscosidades
double mu1_f1=0.00, muf1_3=0.00,
mu3_f2=0.00, muf2_5=0.00; // viscosidades
double muw_1=0.00, muw_3=0.00,
muw_5=0.00; //Viscosidades
double rho1=0.00, rho2=0.00,
conter1=0.00, conter2=0.00; // densidades
double rho1_f1=0.00, rhof1_3=0.00,
rho3_f2=0.00, rhof2_5=0.00; // densidades
double conter1_f1=0.00, conterf1_3=0.00,
conter3_f2=0.00, conterf2_5=0.00;// Conductividades
termicas
```



```

double h1_f1=0.00, hf1_3=0.00,
      h3_f2=0.00, hf2_5=0.00;           // Coeficientes de
transferecia de calor convectivos y radiativos
double hr_s=0.00, hw_s=0.00,
      hr_i=0.00, hw_i=0.00;
double hr1_3=0.00, hr3_5=0.00;
double Nul_f1=0.00, Nuf1_3=0.00,
      Nu3_f2=0.00, Nuf2_5=0.00;
double Pr1_f1=0.00, Prf1_3=0.00,
      Pr3_f2=0.00, Prf2_5=0.00;
double Rel_f1=0.00, Ref1_3=0.00,
      Re3_f2=0.00, Ref2_5=0.00;
double Rel=0.00, Re2=0.00,
      Pr1=0.00, Pr2=0.00;
double Dh1=0.00, Dh2=0.00;
double Fm1=0.00, Fm2=0.00;
double H=0.00, Ta=0.00, V=0.00;
double Area=0.00;
double rho_air=0.00, conter_air=0.00, muair=0.00, muair_w=0.00;
double Cp_air=0.00, Pr_air=0.00, Dh_air=0.00, Re_air=0.00,
Nu_air=0.00;
double Beta_air=0.00, Gr_air=0.00, Ra_air=0.00;

/* Inicializamos los vectores y matrices en 0 */

inicializar(x1,x,dx,Tx,Tnew,Tprom,AP,AN,ANN,AS,ASS,B,Tair_1,Tair_2
,T,nx,ny);

//printf("x1[1]=%0.25lf\n",x1[1] );

// Abrir archivos para escritura

char name1[] = "Salida1.DAT";
char name2[] = "Salida2.DAT";
char name3[] = "Salida3.DAT";
char name4[] = "Salida4.DAT";

FILE *archivo1 = fopen(name1, "w+");
FILE *archivo2 = fopen(name2, "w+");
FILE *archivo3 = fopen(name3, "w+");
FILE *archivo4 = fopen(name4, "w+");

if (archivo1 == NULL) {
    perror("Error en la creacion del archivo 1 \n");
}
if (archivo2 == NULL) {
    perror("Error en la creacion del archivo 2 \n");
}
if (archivo3 == NULL) {
    perror("Error en la creacion del archivo 3 \n");
}

```

```

    }
    if (archivo4 == NULL) {
        perror("Error en la creacion del archivo 4 \n");
    }

    fprintf(archivo1, "TITLE=PERFIL DE TEPERATURAS \n");
    fprintf(archivo1, "VARIABLES= X[i], T(Glass), T(Air),
T(Absorber1), T(air2), T(Absorber2), T(Bottom), T(Amb), Radiacion\n");
    fprintf(archivo1, "ZONE I= %d DATAPACKING=POINT \n",1);

    fprintf(archivo2, "TITLE=FKUJOS DE CALOR \n");
    fprintf(archivo2, "VARIABLES= Time Radiacion Qutil Qconv Qrad
Qcond \n");
    fprintf(archivo2, "ZONE I= %d DATAPACKING=POINT \n",1);

/*****
*****
* *****/ Lectura de datos de entrada
*****
* *****/ Velocidad del viento
*****
*
*****
*****
*/
/*Generacion de la malla computacional*/

    coordenadas(x,dx,Hx,nx);
    dl=dx[0];
    x1[0]=0.00;
    for (int i = 1; i < nx-1; i++)
    {
        x1[i]=x[i]-dx[0]/2.00;
    }
    x1[nx-1]=Hx;

    /*for (int i = 0; i < nx; i++)
    {
        printf("X[%d]=%0.15lf \t X1[%d]=%0.15lf \n",i,x[i],i,x1[i]);
    }
    */

/*****Calculo de los diametros hidraulicos*/

    Dh1=2.00*(Hz*Hy2)/(2.00*Hz+Hy2);
    Dh2=2.00*(Hz*Hy4)/(2.00*Hz+Hy4);

    Area= Hx*Hz; // Area de captacion

// Definir variables metereologicas

```

```

H=500.00;
Ta=297.15;
V=1.00;

/* Método de solución

Tprom[0]=Ta+1.00;
/Â"Temperatura supuesta a la entrada del captador*/

for (int j = 0; j < ny; j++)
{
    Tx[j]=Ta+1.00;
}

// Condiciones al exterior

Tsky=0.0552 * pow(Ta,1.5); // Temperatura de la boveda celeste
hw_i=5.7+3.8*V;           // Coeficiente convectivo de
transferencia de calor en el Glass
Dh_air=(4.00*Hz*Hx)/(2.00*(Hz+Hx)); //Diametro hidraulico

// Calculo de propiedades del aire del exterior

/*
    propiedades(&muair,&muair_w,&rho_air,&conter_air,&Cp_air,&Pr_air,T
a,Tpro[0]);
    Gr_air=pow(Dh_air,3.00)*pow(rho_air,2.00)*g*(2.00/(Ta+Tprom[0]))*(
Tprom[0]-Ta)/poe(muair,2.00);
    Ra_air=Gr_air*Pr_air;

    if (Ra_air>1e5 && Ra_air<2e7)
    {
        Nu_air=0.54*pow(Gr_air,0.25)*pow(Pr_air,0.85);
    }
    if (Ra_air>=2e7 && Re_air<1e8)
    {
        Nu_air=0.15*pow(Ra_air, 0.334)*sind(tilt);
    }

hw_s=Nu_air*conter_air/Dh_air;*/

Tf1_in=Ta;
Tf2_in=Ta;

ACp1=0.00;
ACp2=0.00; //calculo de los cps promedio del canal 1 y 2

// Contador k, corresponde a cada seccion del captador

for (int k = 0; k < nx; k++)
{

```

```

        /* Guardado de la temp inicial en cada seccion*/
        Tair_1[k]=Tf1_in;
        Tair_2[k]=Tf2_in;

        error=10.00;      // se supone un error inicial
        kk=0;             // Contador kk, para el numero de
iteraciones

        while (kk <=Itermax && error > epsilon){

            kk=kk+1;

propiedadesF(&muair,&muair_w,&rho_air,&conter_air,&Cp_air,&Pr_air,(Ta+Tx
[0])/2.00,Tx[0]);

            Gr_air=pow(Dh_air,3.00)*pow(rho_air,2.00)*g*(2.00/(Ta+Tx[0]))*(Tx[
0]-Ta)/pow(muair,2.00);
            Ra_air=Gr_air*Pr_air;

            if (Ra_air>1e2 && Ra_air<2e5)
            {

                Nu_air=0.48*pow(Ra_air*cos(tilt*PI/180.0),0.25)/pow((1.0+pow(0.618
/Pr_air,9.0/16)),9.0/25.0); //
            }
            if (Ra_air>=1e5 && Re_air<3e10)
            {
                Nu_air=0.17*pow(Ra_air,0.25); // Vliet 1975
            }

            hw_s=Nu_air*conter_air/Dh_air;

// Calculo de propiedades canal 1 (Centro)

propiedadesF(&mu1,&mu1_w,&rho1,&conter1,&Cp1,&Pr1,Tx[1],Tx[0]);
Fm1=(Hy2*Hz)*V_f1*rho1;

// Calculp de propiedades canal 2 (Centro)

propiedadesF(&mu2,&mu2_w,&rho2,&conter2,&Cp2,&Pr2,Tx[3],Tx[2]);
Fm2=(Hy4*Hz)*V_f2*rho2;

/*Calculo de las propiedades entre el elemento 1 y el fluido 1*/
propiedadesF(&mu1_f1,&muw_1,&rho1_f1,&conter1_f1,&Cp1_f1,&Pr1_f1,(
Tx[1]+Tx[0])/2.0,Tx[0]);
Re1_f1=rho1_f1*V_f1*(Dh1)/mu1_f1;

ANusselt(&Nul_f1, x[k], Re1_f1, Pr1_f1, mu1_f1, muw_1, Dh1);

```

```

/*Calculo de las propiedades entre el fluido 1 y el elemnto 3*/
propiedadesF(&muf1_3, &muw_3, &rhof1_3, &conterf1_3, &Cpf1_3,
&Prf1_3, (Tx[1]+Tx[2])/2.0,Tx[2]);
Ref1_3=rhof1_3*V_f1*(Dh1)/muf1_3;

ANusselt(&Nuf1_3, x[k], Ref1_3, Prf1_3, muf1_3, muw_3, Dh1);

/*Calculo de las propiedades entre el elemento 3 y el fluido 2*/
propiedadesF(&mu3_f2,&muw_3, &rho3_f2, &conter3_f2, &Cp3_f2,
&Pr3_f2, (Tx[3]+Tx[2])/2.0,Tx[2]);
Re3_f2=rho3_f2*V_f2*(Dh2)/mu3_f2;

ANusselt(&Nu3_f2, x[k], Re3_f2, Pr3_f2, mu3_f2, muw_3, Dh2);

/*Calculo de las propiedades entre el fluido 2 y el elemnto 5*/
propiedadesF(&muf2_5, &muw_5, &rhof2_5, &conterf2_5, &Cpf2_5,
&Prf2_5, (Tx[3]+Tx[4])/2.0,Tx[4]);
Ref2_5=rhof2_5*V_f2*(Dh2)/muf2_5;

ANusselt(&Nuf2_5, x[k], Ref2_5, Prf2_5, muf2_5, muw_5, Dh2);

//Clculo de los coeficientes de transferencia de calor
Coeficientes (&hr_s,&hr_i,&hr1_3,&hr3_5,&h1_f1,&hf1_3,
&h3_f2,&hf2_5,Tx,Tsky,conter1_f1,conterf1_3,
conter3_f2,conterf2_5,Nu1_f1,Nuf1_3,Nu3_f2,Nuf2_5,
Dh1, Dh2,Ta);

// importante para la ultima seccion
if (k== nx-1){
    Tf1_in=T[nx-2][1]; //importante
    Tf2_in=T[nx-2][3];
}

// Generacion de coeficientes para el solver

CoeficientesSolver(AP, AN, ANN, AS, ASS, B, hr_s, hr_i, hw_s,
hw_i, hr1_3, hr3_5,
h1_f1, hf1_3, h3_f2, hf2_5, Tf1_in,
Tf2_in, Ta, Tsky, Fm1,
Fm2, H, Cp1, Cp2, dl);

// SOLVER

Solver(Tnew, AP, AN, ANN, AS, ASS, B, Tx);

// Calculo del Error

```

```

error= Residuofhi(Tnew, Tx);

// Asignacion de temperaturas para la nueva iteracion

for (int j = 0; j < ny; j++)
{
    Tx[j]=Tnew[j];
}

}

//Guardado de temperatura convergida de cada seccion

for (int j = 0; j < ny; j++)
{
    T[k][j]=Tx[j];
}

//Calculo de la temperatura inicial del fluido en cada
seccion

Tf1_in= (T[k][1]-(1-Gamma)*Tf1_in)/Gamma;
Tf2_in= (T[k][3]-(1-Gamma)*Tf2_in)/Gamma;

}

Impresion1(archivo1, T, x);

fflush(archivo1);
fclose(archivo1);
fflush(archivo2);
fclose(archivo2);
fflush(archivo3);
fclose(archivo3);
fflush(archivo4);
fclose(archivo4);

return 0;

free(x);
free(dx);
free(x1);
free(Tx);
free(T);
free(AN);
free(Tnew);
free(AP);
free(AN);
free(ANN);
free(AS);
free(ASS);

```

```

    free(B);
    free(Tair_1);
    free(Tair_2);
    free(T);
}

/* Funcion para inicializar variables */ // Funcion vacia

void inicializar(double *x1, double *x, double *dx, double *Tx, double
*Tnew, double *Tprom,
                double *AP, double *AN, double *ANN, double *AS,
double *ASS, double *B,
                double *Tair_1, double *Tair_2, double **T, int
nx, int ny)
{
    for (int i = 0; i < nx; i++)
    {
        x[i]=0.01e-20;
        x1[i]=0.01e-20;
        dx[i]=0.01e-20;
        Tair_1[i]=0.01e-20;
        Tair_2[i]=0.01e-20;
    }

    for (int j = 0; j < ny; j++)
    {
        Tx[j]=0.01e-20;
        Tnew[j]=0.01e-20;
        Tprom[j]=0.01e-20;
        AP[j]=0.01e-20;
        AN[j]=0.01e-20;
        ANN[j]=0.01e-20;
        AS[j]=0.01e-20;
        ASS[j]=0.01e-20;
        B[j]=0.01e-20;

        for (int i = 0; i < nx; i++)
        {
            T[i][j]=0.01e-20;
        }
    }
}

/**/Determinacion de la malla computacional ***/

void coordenadas(double *x,double *dx,double Hx,int nx)
{

```

```

dx[0]= Hx/(double)(nx-1);
x[0]= dx[0]/2.00;
for (int i = 1; i < nx-1; i++)
{
    dx[i]=Hx/(double)(nx-1);
    x[i]=(double)(i)*dx[i] + dx[i]/2.00;
}
dx[nx-1]=0.00;
x[nx-1]=Hx;
}

// Calculo de propiedades

void propiedadesF(double *mu, double *mu_w, double *rho, double *Conter,
double *Cp, double *Pr, double T, double Tw){
    *mu=-2.341108765714e-05+6.3944967734608e-06*pow(T,0.33);
//viscosidad dinamica en Pa-s
    *mu_w=-2.341108765714e-05+6.3944967734608e-06*pow(Tw,0.33);
    *rho=348.42*(1.00-Alt*1.05e-4)/T; //Densidad, kg/m3
    *Conter=-0.0129994322896+0.0014979685*pow(T,0.57);
    *Cp=1.012422382422484e+3 -5.064489285970383e+05*pow(T,-2.00); //
Numero de Prandtl

    *Pr= *Cp * *mu / *Conter; // Numero de Prandtl
}

void ANusselt (double *Nu, double x,double Re, double Pr, double mu_f,
double mu_w, double Dh){
//Definimos las constantes que se ocupan en el metodo
    double Nu_inf= 4.4, a=0.00190, b=0.00563, m=1.71,
n=1.17,Pr1=0.7,c=0.00;

    //Calculo del Nu por conveccion forzada entre placas paralelas
    if (Re<=2100.0)
    {
        c=Re*Pr*(Dh/x);
        *Nu=Nu_inf+a * pow(c,m)/(1.00+b * pow(c,n)); // Heaton
    }

    if (Re>2100.00 && Re<10000.00){
        *Nu=0.116 * (pow(Re, 2.00/3.00)-125.00)*
pow(Pr,1.00/3.00)*(1.00+ pow(Dh/x,2.00/3.00))*
        pow(mu_f/mu_w,0.14); // Housen
    }
    if (Re>10000.00){
        *Nu=0.036* pow(Re,0.8) * pow(Pr, 1.00/3.00)* pow(Dh/x,0.055);
// Nusselt

    }
}

```



```

}

void Coeficientes (double *hr_s, double *hr_i, double *hr1_3, double
*hr3_5, double *h1_f1, double *hf1_3,
double *h3_f2, double *hf2_5, double *Tx,
double Tsky, double conter1_f1, double conterf1_3,
double conter3_f2, double conterf2_5, double
Nul_f1, double Nuf1_3, double Nu3_f2, double Nuf2_5,
double Dh1, double Dh2, double Ta){

// Coeficientes radiativos superior e inferior

*hr_s=sigma*E_1*(Tx[0]+Tsky)*(pow(Tx[0],2.0)+pow(Tsky,2.0));

*hr_i=sigma*E_6*(Tx[5]+Ta)*(pow(Tx[5],2.0)+pow(Ta,2.0));

*hr1_3=sigma*(pow(Tx[0],2.0)+pow(Tx[2],2.0))*(Tx[0]+Tx[2])/(1.0/E_
1 + 1.0/E_3s -1.0);
*hr3_5=sigma*(pow(Tx[2],2.0)+pow(Tx[4],2.0))*(Tx[2]+Tx[4])/(1.0/E_
3i + 1.0/E_5 -1.0);

// Calculo del coeficiente de transferencia de calor por conveccion
forzada en el canal 1

*h1_f1= Nul_f1 * conter1_f1/Dh1;
*hf1_3= Nuf1_3 * conterf1_3/Dh1;

// Calculo del coeficiente de transferencia de calor por conveccion
forzada en el canal 1

*h3_f2= Nu3_f2 * conter3_f2/Dh2;
*hf2_5= Nuf2_5 * conterf2_5/Dh2;
}

void CoeficientesSolver(double *AP, double *AN, double *ANN, double *AS,
double *ASS, double *B,
double hr_s, double hr_i, double hw_s,
double hw_i, double hr1_3, double hr3_5,
double h1_f1, double hf1_3,
double h3_f2, double hf2_5, double Tf1_in,
double Tf2_in, double Ta,
double Tsky, double Fm1, double Fm2,
double H, double Cp1,
double Cp2, double dl){

double a1=0.00, a2=0.00, a3=0.00, a4=0.00, b1=0.00, b2=0.00,
b3=0.00, c1=0.00, c2=0.00;
double c3=0.00, c4=0.00, e1=0.00, e2=0.00, e3=0.00, f1=0.00,
f2=0.00, f3=0.00, g1=0.00, g2=0.00;

```

```

a1=1.00/hw_s + Hy1/(2.00*conter_1);
a2=1.00/hr_s;
a3=Hy1/(2.00*conter_1) + 1.00/h1_f1;
a4=1.00/hr1_3;

b1=Hy1/(2.00*conter_1) + 1.00/h1_f1;
b2=1.00/hf1_3 + Hy3/(2.00*conter_3);
b3=Fm1*Cp1/(Hz*d1);

c1=1.00/hf1_3 + Hy3/(2.00*conter_3);
c2=1.00/hr1_3;
c3=Hy3/(2.00*conter_3) + 1.00/h3_f2;
c4=1.00/hr3_5;

e1=Hy3/(2.00*conter_3) + 1.00/h3_f2;
e2=1.00/hf2_5 + Hy5/(2.00*conter_5);
e3=Fm2*Cp2/(Hz*d1);

f1=1.00/hf2_5 + Hy5/(2.00*conter_5);
f2=1.00/hr3_5;
f3=Hy5/(2.00*conter_5) + Hy6/conter_6 + Hy7/conter_7 +
Hy8/(2.00*conter_8);

g1=Hy5/(2.00*conter_5) + Hy6/conter_6 + Hy7/conter_7 +
Hy8/(2.00*conter_8);
g2=Hy8/(2.00*conter_8) + 1.00/(hw_i + hr_i);

//Coeficientes Nodo 1, T1-vidrio

AP[0]=a1*a2*a3 + a1*a2*a4 + a1*a3*a4 + a2*a3*a4;
AN[0]= 0.00;
ANN[0]= 0.00;
AS[0]=a1*a2*a4;
ASS[0]=a1*a2*a3;
B[0]= a2*a3*a4*Ta + a1*a3*a4*Tsky+a1*a2*a3*a4*alfa_1*H;

//Coeficientes Nodo 2, Tf1-fluido 1

AP[1]=b1+b2+(b1*b2*b3/Gamma);
AN[1]= b2;
ANN[1]= 0.00;
AS[1]=b1;
ASS[1]= 0.00;
B[1]= b1*b2*b3*Tf1_in/Gamma;

//Coeficientes Nodo 3, T3-Placa

AP[2]=c1*c2*c3+ c1*c2*c4+ c1*c3*c4+ c2*c3*c4;
AN[2]= c2*c3*c4;

```

```

ANN[2]= c1*c3*c4;
AS[2]=c1*c2*c4;
ASS[2]= c1*c2*c3;
B[2]= c1*c2*c3*c4*tau_1*alfa_3*H;

//Coeficientes Nodo 4, Tf2-fluido2

AP[3]=e1+e2+ e1*e2*e3/Gamma;
AN[3]= e2;
ANN[3]= 0.00;
AS[3]=e1;
ASS[3]= 0.00;
B[3]= e1*e2*e3*Tf2_in/Gamma;

//Coeficientes Nodo 5, T5-Placa2

AP[4]=f1*f2+f1*f3+f2*f3;
AN[4]= f2*f3;
ANN[4]= f1*f3;
AS[4]=f1*f2;
ASS[4]= 0.00;
B[4]= 0.00;

//Coeficientes Nodo 6, T6-Envolvente

AP[5]=g1+g2;
AN[5]= g2;
ANN[5]= 0.00;
AS[5]= 0.00;
ASS[5]= 0.00;
B[5]= g1*Ta;
}

void Solver(double *Tnew, double *AP, double *AN, double *ANN,
double *AS, double *ASS, double *B, double *Tx){

for (int j = 0; j < ny; j++)
{
Tnew[j]=( ANN[j]*Tx[j-2]+AN[j]*Tx[j-
1]+AS[j]*Tx[j+1]+ASS[j]*Tx[j+2]+B[j])/AP[j]; // JACOBI
}

}

double Residuofhi(double *Tnew, double *Tx){

double error_fhi=0.00;
for (int j = 0; j < ny; j++)
{
error_fhi=error_fhi+ fabs(Tnew[j]-Tx[j]);
}
}

```

```

    }
    error_fhi=error_fhi/(double)(ny);

    return error_fhi;
}

void Impresion1(FILE *archivo, double **T, double *x){

    for (int i = 0; i < nx; i++)
    {
        fprintf(archivo, "%0.15lf %0.15lf %0.15lf %0.15lf
%0.15lf %0.15lf %0.15lf\n",x[i], T[i][0]-Fc, T[i][1]-Fc, T[i][2]-Fc,
T[i][3]-Fc, T[i][4]-Fc, T[i][5]-Fc);
    }

}

```