

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un Deshidratador de Mango para la Comunidad de Paipayales,
Santa Lucía”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Álvaro Daniel Navarro Sánchez

Raúl Steven Poveda Chacha

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

A mis padres:

Nancy Sánchez Cifuentes

Sabino Navarro Espinoza

A mi tía Grecia Sánchez

Álvaro Daniel Navarro Sánchez

A mis padres:

Marta Chacha Castillo

Raúl Poveda Obregón

A mis tíos Nelson Martínez e Ignacia
Castillo

Raúl Steven Poveda Chacha

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios, a mis padres, mis hermanos y mis tías por el apoyo durante mis años de estudio. A la ESPOL por ser mi segundo hogar durante 6 años y ayudarme a crecer intelectualmente y como persona. A mi tutora y profesora, Ing. Andrea Boero por guiarnos durante el proceso y siempre estar disponible cuando la necesitábamos.

Álvaro Daniel Navarro Sánchez

Mis agradecimientos a Dios, a mis padres y tíos que hicieron un gran esfuerzo para brindarme su apoyo incondicional durante estos años de estudio, a los profesores de las diferentes materias que he visto y a la Ing. Andrea Boero por los distintos consejos brindados durante la realización de este proyecto.

Raúl Steven Poveda Chacha

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Álvaro Daniel Navarro Sánchez* y *Raúl Steven Poveda Chacha* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual".


Álvaro Daniel Navarro
Sánchez


Raúl Steven Poveda
Chacha

EVALUADORES

.....
Ing. Andrea Boero Vera

PROFESOR DE LA MATERIA

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En la comunidad de Paipayales, Santa Lucía - Guayas, el mango es el producto mayormente cultivado y su venta es la principal fuente de ingreso económico. Durante la postproducción del mango, 40% se desecha lo que ocasiona pérdidas económicas. Por dicha razón, se propuso diseñar un deshidratador de mango, generando un valor agregado en la producción. El diseño incluye una cámara, de dimensiones 0.92 m x 0.63 m x 1.21 m, con paredes compuestas de dos capas de acero y una de aislante de lana de vidrio. La deshidratación se realiza por convección forzada, y el calor proviene de la energía rechazada del condensador de un acondicionador de aire tipo ventana de 5000 Btu/h, operando como bomba de calor. Además, el sistema se compone de un ventilador a la entrada y un extractor a la salida, para forzar el flujo de 0.124 m³/s de aire a través de las 11 bandejas que contienen el mango, y una resistencia eléctrica de 1500 W para asegurar que el aire alcance la temperatura óptima de secado antes de ingresar a la cámara. Mediante un análisis térmico y de fluidos, se determinó que la velocidad y temperatura promedio del aire al interior de la cámara son 0.5 m/s y 51°C, respectivamente. Se estimó un tiempo de retorno de la inversión de 1 mes y 3 semanas, lo cual implica que la deshidratación permitiría un aprovechamiento del mango rechazado, y la venta del mango seco sería una nueva fuente de ingreso económico en la comunidad.

Palabras Clave: Bomba de calor, deshidratador de fruta, cámara de secado, convección forzada.

ABSTRACT

In the community of Paipayales, Santa Lucía - Guayas, the mango is the most cultivated product, and its sale is the main source of economic income. During the mango post-production, 40% is wasted, causing economic losses. For this reason, we aimed to design a mango dryer to generate added value in production. The design includes a chamber, with dimensions 0.92 m x 0.63 m x 1.21 m, with walls composed of two layers of steel and one layer of glass wool insulation. The dehydration is carried out by forced convection, and the heat comes from the energy rejected from the condenser of a 5000 Btu/h window-type air conditioner, operating as a heat pump. In addition, the system consists of a fan in the inlet and an extractor in the outlet, to force the airflow of 0.124 m³/s through the 11 trays containing mango, and a 1500 W electric resistance, to ensure that the air reaches the optimum drying temperature before entering the chamber. Through a thermal and fluid analysis, it was determined that the average speed and temperature of the air inside the chamber are 0.5 m/s and 51°C, respectively. A return-on-investment time of 1 month and 3 weeks was estimated, which implies that dehydration would allow the rejected mango to be used, and the sale of dried mango would be a new source of economic income in the community.

Keywords: *Heat pump, fruit dehydrator, drying chamber, force convection.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1	1
1 Introducción	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Fruta deshidratada	3
1.4.2 Métodos de deshidratación	5
1.4.3 Proceso de Secado	6
1.4.4 Curvas de secado	8
1.4.5 Normativas para el proceso de deshidratación	8
CAPÍTULO 2	9
2 Metodología.....	9
2.1 Alternativas de solución	9
2.1.1 Deshidratación por convección empleando una bomba de calor	9
2.1.2 Deshidratación por convección empleando un colector solar.....	10

2.1.3	Deshidratación por liofilización	11
2.1.4	Deshidratador por convección empleando resistencias eléctricas	12
2.2	Selección de la mejor alternativa	13
2.3	Procedimiento para el cálculo del calor requerido para el secado	17
2.3.1	Análisis energético	17
2.3.2	Determinación de las dimensiones de la bandeja y cámara de secado	20
2.3.3	Balance de energía en la cámara de secado	21
2.3.4	Cantidad de sólido seco	22
2.3.5	Calor requerido para calentar el mango	22
2.3.6	Calor sensible del agua	22
2.3.7	Calor latente de vaporización del agua	23
2.3.8	Pérdidas de calor en la cámara de secado	23
2.3.9	Balance de energía en la bomba de calor	25
2.3.10	Balance de masa en la cámara de secado.....	25
2.3.11	Flujo Volumétrico.....	26
2.3.12	Cantidad de mango después del deshidratado	26
2.3.13	Temperatura de salida del condensador	26
2.3.14	Calor disipado por la resistencia eléctrica	26
2.3.15	Costo de energía empleada	27
CAPÍTULO 3		28
3	Resultados y Análisis	28
3.1	Selección de materiales	28
3.2	Dimensionamiento de la cámara de secado	29
3.3	Selección del acondicionador de aire	30
3.4	Selección de ventilador	31
3.5	Selección de resistencia eléctrica	32

3.6	Análisis de costos	33
3.7	Análisis técnico	36
3.8	Análisis de impacto social y ambiental.....	38
CAPÍTULO 4		39
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	39
4.1	Conclusiones	39
4.2	Recomendaciones	40
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
BM	Banco Mundial
CFD	Computational Fluid Dynamics
AENOR	Asociación Española de Normalización
A/C	Acondicionador de Aire
AISI	American Iron and Steel Institute

SIMBOLOGÍA

m	Metro
cfm	Cubic feet per minute
kg	Kilogramo
g	Gramo
cm	Centímetro
V	Voltio
W	Vatio
BTU	British thermal unit
°C	Grado Celsius
K	Kelvin
kJ	Kilojoule
s	Segundo
h	Hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de un deshidratador por convección empleando bomba de calor.	10
Figura 2.2 Esquema de un deshidratador por convección empleando colector solar....	11
Figura 2.3 Esquema de un deshidratador por liofilización.	12
Figura 2.4 Esquema de un deshidratador por convección empleando resistencias eléctricas con flujo (1) perpendicular, (2) paralelo	13
Figura 2.5 Diseño conceptual de deshidratador por convección empleando bomba de calor.....	17
Figura 2.6 Esquemático de transferencia de calor y masa en bomba de calor y cámara de secado	18
Figura 2.7 Bosquejo del conducto de aire para dirigir el flujo desde el A/C.....	21
Figura 3.1 Prototipo de deshidratador de mango	29
Figura 3.2 Trayectoria de flujo de aire y velocidad en diferentes puntos de la cámara de secado.....	36
Figura 3.3 Comportamiento de la temperatura en cada zona de la cámara de secado.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Comparación por pares	14
Tabla 2.2 Tabla morfológica	15
Tabla 2.3 Matriz de selección	16
Tabla 2.4 Datos iniciales y propiedades del mango	19
Tabla 2.5 Parámetros psicrométricos del aire a la entrada y salida de la cámara de secado.....	20
Tabla 3.1 Propiedades del material y aislante de la cámara de secado	28
Tabla 3.2 Características del deshidratador de mango	30
Tabla 3.3 Datos del acondicionador de aire	31
Tabla 3.4 Características del ventilador	32
Tabla 3.5 Características del extractor de aire	32
Tabla 3.6 Características de resistencia eléctrica	32
Tabla 3.7 Costos de materiales y equipos.....	33
Tabla 3.8 Costos de manufactura.....	34
Tabla 3.9 Costos de operación por lote	34
Tabla 3.10 Tiempo de retorno de la inversión	35
Tabla 3.11 Costo total de implementación.....	36

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

Los principales productos agrícolas que se cultivan en las pequeñas comunidades de la provincia del Guayas son el banano, cacao y mango. En la comunidad de Paipayales, ubicada al norte de la provincia del Guayas, con una población de 320 personas, se llega a producir hasta 84 kg de mango por semana durante el tiempo de cosecha; que ocurre desde principios de octubre hasta finales de diciembre. De estos, se llega a dañar hasta un 40% de la producción a vender por diversos motivos: caída repentina de la fruta en el árbol, aplastamiento al ser transportadas a otras localidades o la calidad no llega a ser la óptima para la venta. A pesar de que dicha cantidad de mango no vendido puede ser reutilizado, no logra ser comercializado; ocasionando una menor ganancia económica en la comunidad.

Muchas de estas comunidades trabajan en conjunto, por lo que un cambio económico positivo o negativo en una de ellas, puede afectar a las demás. Estas comunidades tienen un rol importante en la economía del país; en el Ecuador, según el Banco Mundial (BM) en 2019 se estimó que un 36% de la población ecuatoriana habita en la ruralidad, pero tienen un 30% de participación del empleo nacional. (Cobos, 2021).

Un factor importante a mencionar para la realización del proyecto es que la comunidad Paipayales cuenta con energía eléctrica estable de 110 a 220 V y además según el Banco Mundial (BM) en 2020, el Ecuador cuenta con un acceso del 98.8% a electricidad (Banco Mundial, 2020).

Durante la temporada de cosecha que comprende desde octubre a diciembre, la humedad del aire se encuentra entre 58% y el 84%; siendo diciembre unos de los meses más húmedos en la comunidad y una temperatura oscilante entre 25 y 26 °C (Mantilla, 2018). Cabe indicar que, la comunidad cuenta con

un centro de acopio accesible para todos los miembros de la comunidad, para un área de trabajo máxima de 2 m de largo, 2 m de ancho y 2 m de altura. Es importante considerar esta limitante al momento de generar y seleccionar la posible solución.

1.2 Justificación del proyecto

Con el fin de aprovechar el mango que se pierde, se propone a la deshidratación de dicha cantidad de mango, y sea reinsertado en el ciclo económico de la comunidad. Una de las formas de deshidratación más común es al ambiente. Pero esta tiene algunos inconvenientes: los tiempos de secado dependen de las condiciones climáticas, por tanto, el secado puede durar entre 1 y 2 días o incluso más por la humedad del recinto; además es necesario un control intensivo en la fruta debido a animales, insectos u otros.

Por lo que se plantea, la deshidratación forzada de la fruta. Al momento de deshidratarla, el producto tendrá una mayor calidad por lo que se le está dando un valor agregado; y dado que se pierde un porcentaje de masa con la evaporación del agua, se mejora otros aspectos como el transporte.

Dicha deshidratación es procesamiento posterior a la cultivación del mango y se basa al artículo 105 de la Normativa Técnica Sanitaria para Alimentos Procesados (ARCSA, 2016), orientado en el control de las condiciones de manufactura. El mango y muchas de las frutas deben deshidratarse entre valores del 15 al 10% o menor para evitar el desarrollo y crecimiento de microorganismos (Zaluaga, Rodriguez, & Cortes, 2010).

De igual manera, la comunidad al ser de bajos recursos económicos, no pueden adquirir una máquina industrial, por su alto valor en el mercado. Se espera que la propuesta de solución incluya materiales disponibles en el mercado y que su construcción pueda realizarse dentro de la comunidad. La tecnificación de parte de la cadena de producción de mango con un deshidratador es una de las muchas soluciones que se pueden aplicar al desarrollo de las diferentes comunidades que hay en el Ecuador, en especial

a las que cuentan con productores de frutos, representaría un cambio positivo en sus actividades económicas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un deshidratador de mango para la comunidad Paipayales que permita un mejor aprovechamiento de la fruta y otorgue un valor agregado a sus ingresos económicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar un equipo que permita una deshidratación del mango en menos de 1 o 2 días, y reduzca su humedad final a un valor menor o igual al 10%.
2. Analizar la factibilidad técnica del diseño mediante una simulación de la cámara de secado utilizando análisis de fluidos computacional.
3. Analizar la factibilidad económica del mango deshidratado como una nueva fuente de ingreso para la comunidad de Paipayales

1.4 Marco teórico

En esta sección se da una breve explicación e información respecto a la deshidratación de la fruta y sus características, los diferentes métodos de deshidratación en alimentos y frutas. Finalmente se menciona los procesos de transferencia que ocurren en el secado, así como una explicación de curvas de secado.

1.4.1 Fruta deshidratada

La deshidratación de la fruta comprende la eliminación parcial del agua contenida en ésta, a niveles en el que los microorganismos no puedan desarrollarse, y disminuya las reacciones enzimáticas y bioquímicas. Se dan mediante tratamientos físicos, utilizando calor artificial. Las principales ventajas comprenden la prolongación de la vida útil, reducción de peso y volumen para facilitar el transporte y empacamiento, y fácil almacenamiento posterior al tratamiento (deMichelis & Ohaco, 2015).

Durante el tratamiento de deshidratación, la fruta sufre cambios en su apariencia, especialmente en su color. Al disminuir las reacciones enzimáticas existe un oscurecimiento en la parte externa de la fruta; la fotooxidación u oxidación mediante luz de los pigmentos, también influye en la decoloración. Esta oxidación de los pigmentos se puede controlar, disminuyendo la duración del proceso de deshidratación y la temperatura de secado. El mango deshidratado tiene una textura un poco dura y una coloración naranja oscuro, mientras que la dulzura ha sido incrementada (Zaluaga, Rodriguez, & Cortes, 2010). Es fundamental que el deshidratado sea el adecuado ya que una correcta coloración y textura es importante para la comercialización de las mismas. Generalmente las coloraciones muy oscuras suelen relacionarse a que la fruta tiene un estado envejecido, de igual manera si es demasiado dura (Roman, 2022).

El mango “de manzana” (Tommy atkins) llega a pesar entre 300 – 400 g y puede deshidratarse a un valor menor del 10% de humedad sin dañarse. La humedad del mango ya maduro y cosechado se encuentre entre 80% y 85%. Los factores más importantes en la deshidratación del mango incluyen: temperatura de secado, velocidad de secado y espesor de la rodaja de mango. La temperatura no debe sobrepasar los 60°C, donde los nutrientes del mango pueden llegar a destruirse (Mercer, 2012). Así mismo un menor grosor de la rodaja de mango, tendrá un secado más rápido; debido a que el agua en el mango tiene menos recorrido hacia la superficie. Generalmente se cuenta con un grosor entre 0.5 a 0.6 cm. Una mayor velocidad del aire acelera el secado del mango, se puede contar con velocidades de 0.5 m/s (Mercer, 2012). Se utiliza software como: Mecánica de Fluidos Computacional o CFD por sus siglas en inglés; para estudiar el comportamiento del fluido en la cámara de secado, lo que indica que el flujo másico del aire debe estar entre 0.10 y 0.20 kg/s. (Arce & Reyna, 2020)

1.4.2 Métodos de deshidratación

Existe una gran variedad de mecanismos de deshidratación, a continuación, se presentan diseños que difieren entre sí de acuerdo a la estructura, los parámetros de secado, contenido de humedad, fuente de energía, dimensiones y superficie expuesta a la velocidad de transferencia (Umaña, 2022).

Deshidratación al aire libre: Esta es una técnica en la que la fruta o alimento es llevado al exterior donde haya una interacción directa con la radiación solar, esta producirá el calor suficiente para que el agua en el interior de la fruta pueda extraerse. Este procedimiento está limitado a varios factores ambientales como la misma radiación y la humedad del ambiente, la ventaja que posee es que es la más económica comparándola con el resto de los métodos.

Deshidratación por convección: Este método modifica la temperatura y el agua que tenga el aire, es decir la humedad, en este proceso al igual que en los anteriores se usa la fruta en forma de rodajas o en pasta, el calor necesario se suministra por medio de aire caliente o por gas, el cual pasará por el alimento retirando el agua dentro y fuera de él. En este proceso hay que tener en cuenta las propiedades de la fruta o alimento a secar ya que cambia la facilidad de remoción del agua en su interior, por ende, el tiempo de secado no será el mismo.

Deshidratación al vacío: Este método usa la ventaja de que, al someter al agua a bajas presiones, la evaporación será de forma más rápida, aquí la transferencia de calor es mediante conducción y radiación, su funcionamiento se puede realizar mediante bandas continuas o por secciones. Se puede usar para una gran variedad de vegetales sin perder sus propiedades gustativas; sin embargo, se utiliza equipos complicados de manejar y de elevados costos.

Deshidratación por congelación: En este método se busca eliminar el agua mediante la evaporación partiendo del hielo, esto se obtiene cuando se llega a una temperatura y presión inferior a las del punto triple del agua. El aspecto físico del producto no varía mucho, como por ejemplo en las hortalizas y la oxidación se reduce igualmente.

Deshidratación osmótica: Es un método aplicado a los productos que son fruti-hortícola, con esta se puede reducir hasta un 50% a 60% de la humedad, de tal manera que los sólidos solubles que se encuentran en la fruta aumentarán. El producto que se obtiene por este método no es adecuado para poder conservarse, pero si se aplica posteriormente un secado con aire caliente, se obtendrá un producto de buena calidad.

1.4.3 Proceso de Secado

En el proceso de secado las propiedades de la fruta o alimento a secarse y las propiedades del aire, tienen una gran influencia en la eficiencia del mismo y las características finales del producto. Este proceso cuenta con métodos combinados de transferencia de calor y transferencia de masa, y la mayor parte de los procesos de secado se realizan por mecanismo de convección. En la convección de calor, se involucra la conducción de calor y el movimiento del fluido, como se muestra en la ecuación 1.1.

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad (1.1)$$

Donde:

- \dot{Q}_{conv} es la transferencia de calor por convección [W]
- h_{conv} es el coeficiente de transferencia de calor [W/m²K]
- A_s es el área [m²]
- $T_s - T_{\infty}$ es la diferencia de temperatura. [K]

En la convección de masa, se comporta de forma análoga a la convección de calor, en este caso involucra la difusión de la masa y el movimiento del fluido, como se muestra en la ecuación 1.2.

$$\dot{m}_{conv} = h_{masa}A_s(C_s - C_\infty) \quad (1.2)$$

Donde:

- \dot{m}_{conv} es la razón de transferencia de masa por convección [kmol/s]
- h_{masa} es el coeficiente de transferencia de masa [m/s]
- A_s es el área [m²]
- $C_s - C_\infty$ es la diferencia de concentración [kmol/m³]

Durante el proceso, la humedad es el parámetro principal a controlar teniendo en cuenta la humedad inicial y final del producto a secar, así como la humedad del ambiente de trabajo. Casi todos los procesos de secado involucran el contacto del producto con una mezcla de aire y vapor de agua. Durante el secado el producto se pone en contacto con aire a humedad y temperatura constantes, y alcanza un equilibrio de humedad entre el aire y el producto, que dependerá de la temperatura y la humedad del aire proporcionado. La transferencia de masa que se da debido a un gradiente de presión de vapor; al igual que cuando la transferencia de calor por conducción y convección se da mediante un gradiente de temperatura entre el producto y el aire caliente (Orrego, 2003).

Esta humedad en el producto no se encuentra en total “libertad”, las moléculas de agua se encuentran ligadas al producto mediante la presión de vapor ejercida por éste. El parámetro *actividad de agua* (A_w) indica que tan fuerte están ligadas estas moléculas y también si un producto deshidratado será estable; teniendo en cuenta que se quiere una actividad de agua de 0.6 o menor (deMichelis & Ohaco, 2015).

1.4.4 Curvas de secado

Las curvas de secado ayudan a determinar el contenido de agua de un alimento o material a través del tiempo, durante el proceso de secado o deshidratación. Estas curvas son obtenidas experimentalmente mediante la medición de varios factores que influyen en el secado como humedad del aire, velocidad del aire, contenido de agua del alimento o material, dimensiones del equipo de secado (Velásquez, 2017).

Con base a estudios sobre el secado del mango, se obtiene diversas curvas de secado, parámetros guías de temperatura y tiempo de secado. El primer estudio comprende el secado de mango cultivado en Colombia durante 10 horas a 5 temperaturas diferentes por el método de convección forzada (Murillo, 2007). El segundo estudio corresponde a una deshidratación de 14 kg de pulpa de mango Tommy Atkins utilizando un calentador, soplador y una cámara de deshidratación de poliestireno (Campo, 2006). Se puede encontrar las curvas de secado de estos estudios en el Apéndice A.

1.4.5 Normativas para el proceso de deshidratación

Para el proceso de deshidratación del mango o una fruta, existen normas que el diseño de la cámara de secado y las características de la fruta deben cumplir. En la Tabla 1.1 se detallan estas normas.

Institución	Norma	Fecha	Descripción
Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) ¹	Normativa Técnica Sanitaria para Alimentos Procesados	29-sep-16	Art. 105.- Condiciones de Fabricación. Control de las condiciones de operación para evitar microorganismos.
Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) ²	Normativa Técnica Sanitaria para Alimentos Procesados	29-sep-16	Art. 73.- De las condiciones mínimas básicas. Condiciones del espacio o equipo donde el alimento es producido.
Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) ³	UNE-EN ISO 1672	18-mar-15	Maquinaria para procesado de alimentos: conceptos básicos y requisitos de higiene

¹ (ARCSA, 2016), ² (UNE, 2015), ³ (ARCSA, 2015)

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

Con base al capítulo 1, los requerimientos de diseño que deben cumplir las alternativas de solución propuestas son:

- Incentive la participación económica de la población rural.
- Cada lote de mango a secar debe cubrir como mínimo un 40% del mango perdido por semana, siendo este de 33 kg.
- Un tamaño máximo de 2 m de largo, 2 m de ancho y 2 m de altura.
- El mango debe alcanzar una humedad final igual o menor al 10%.
- Una temperatura de secado no mayor a 60°C.
- Un tiempo de secado entre 6 y 8 horas.
- Un flujo másico de aire entre 0.10 y 0.20 kg/s.

2.1 Alternativas de solución

2.1.1 Deshidratación por convección empleando una bomba de calor

Como primera alternativa se presentó secado por convección forzada empleando una bomba de calor. El producto o alimento es colocado en bandejas en una estructura cerrada simulando a un refrigerador convencional. En este caso se emplea un acondicionador de aire como bomba de calor, utilizando el aire caliente que rechaza el condensador. Un ventilador lleva este aire a la cámara de secado donde se encuentran las bandejas, donde este circula como flujo cruzado o a través de ellas dependiendo de la configuración. La fruta es secada y el aire que ha ganado humedad sale por un desfogue al otro extremo de la cámara de secado.

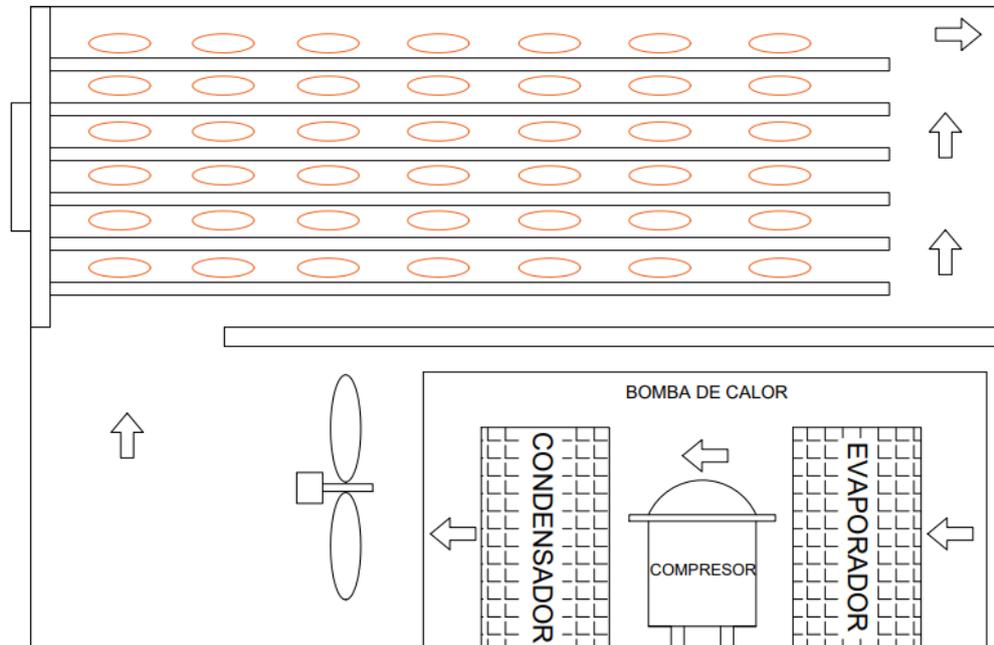


Figura 2.1 Esquema de un deshidratador por convección empleando bomba de calor. Adaptado de: (Ziegler, Brown, Vertoni, & Lipsky, 2015)

2.1.2 Deshidratación por convección empleando un colector solar.

Este método aprovecha el uso de un colector solar de placa plana el cual permite captar la energía solar y transformarla en calor para posteriormente cederlo al aire por medio de convección natural o con ayuda de un ventilador (convección forzada). Por dentro del colector se hallan tubos que transportan agua fría, la cual se calienta por medio del calor absorbido por la radiación solar. Debido a su forma no se puede hacer uso de la radiación solar lateral, sino solo frontal al colector.

Luego de que el aire caliente pase por alrededor de los alimentos, desprendiendo la humedad que poseen, saldrá por la parte trasera de la estructura. Se puede colocar una placa de vidrio transparente en la parte frontal de la cámara que contiene los frutos para que pueda ayudar aprovechar la radiación solar de forma directa.

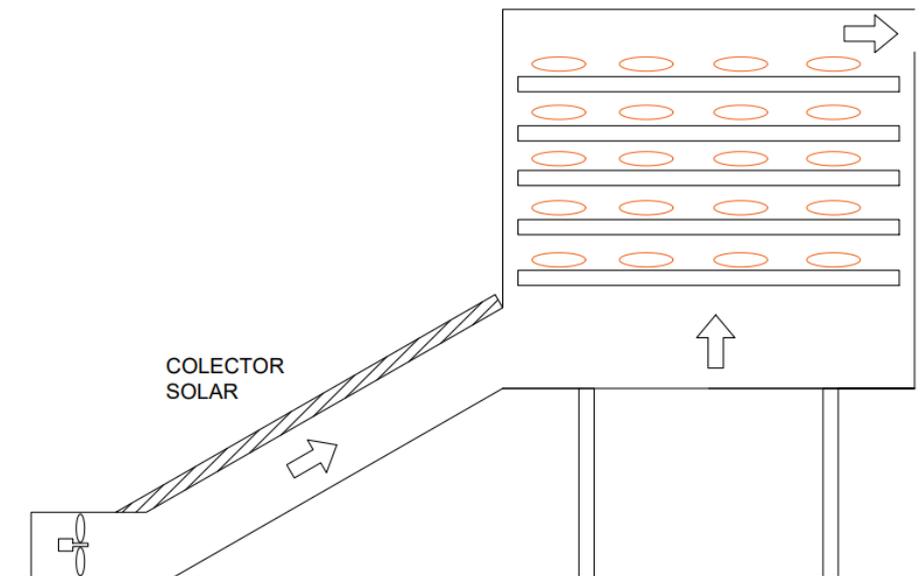


Figura 2.2 Esquema de un deshidratador por convección empleando colector solar. Adaptado de: (Giler & Romano, 2017)

2.1.3 Deshidratación por liofilización

En esta técnica intervienen varios procesos como por ejemplo la congelación, el vacío y la deshidratación, a su vez el producto final no tendrá mucha afectación en su aroma y sabor ya que no habrá una alteración en su solubilidad. Este sistema posee 3 partes fundamentales como la cámara de secado, el condensador (el cual consta de un circuito de refrigeración) y el sistema de vacío.

Primero, se lleva la fruta a la congelación, el tiempo en que se realiza esto dependerá de la fruta, posteriormente pasa a la cámara de secado en donde ocurrirá la sublimación, aquí se lleva las condiciones de la cámara al vacío para que el hielo pase a estado gaseoso. Por último, ocurre la desorción lo cual es llevar la fruta a una temperatura inferior a la que no se alteren sus propiedades para así poder evaporar el restante de agua no congelada ligada al producto.

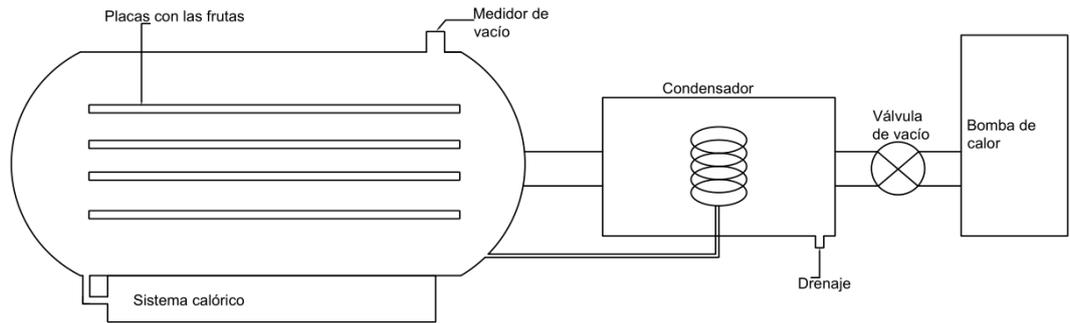
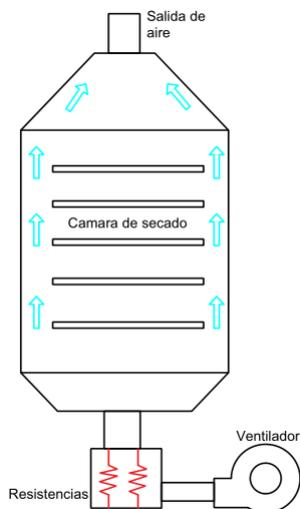


Figura 2.3 Esquema de un deshidratador por liofilización. Adaptado de:
(Juan Sebastián Ramírez Navas, 2006)

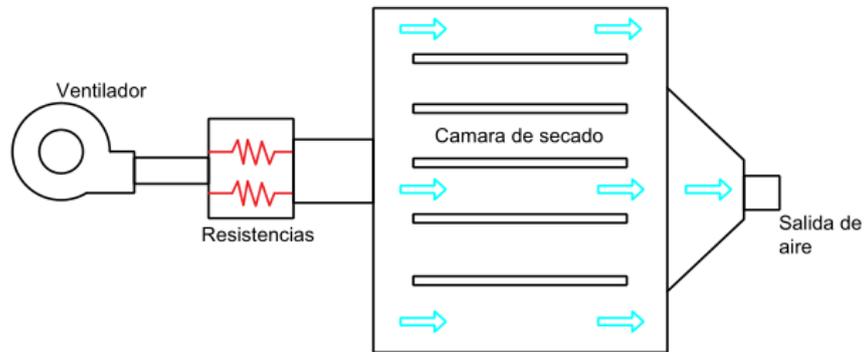
2.1.4 Deshidratador por convección empleando resistencias eléctricas

En esta técnica se usa resistencias como medio para poder calentar el aire circundante y fluya a través de la cámara que contiene el fruto, para desplazar el aire se usa uno o varios ventiladores.

La cantidad de deshidratación de frutas se verá afectada por la capacidad de las resistencias que se coloquen, el flujo del aire caliente que pase por la fruta puede ser de forma paralelo o perpendicular. El producto se coloca en bandejas metálicas y estas pueden ser colocadas en varios pisos, dependiendo del diseño y capacidad de los componentes.



(1)



(2)

Figura 2.4 Esquema de un deshidratador por convección empleando resistencias eléctricas con flujo (1) perpendicular, (2) paralelo. Adaptado de (Paul Llumiquinga y Byron Suquillo, 2015)

2.2 Selección de la mejor alternativa

La evaluación y selección de la mejor alternativa se basa en el análisis de cada una de éstas en función a los criterios que se describen a continuación.

Tamaño: El equipo tenga dimensiones menores a las requeridas, para facilidad de manejo de una persona de estatura promedio y ocupar el menor espacio disponible.

Costo de operación: Recurso energético y consumo energético estimado para el funcionamiento del equipo.

Disponibilidad efectiva: Capacidad de operación del equipo durante el día, maximizando la disponibilidad.

Rendimiento energético: Rendimiento de conversión de la fuente de energía a calor para la deshidratación.

Complejidad de uso: Dificultad de operación del equipo y mango, pre y post deshidratado, mantenimiento.

La tabla 2.1 muestra una comparación entre los criterios más importantes en el diseño y le da una calificación de la columna respecto a la fila. Donde 0: menos importante, 1: igual importancia, 2: más importante.

Tabla 2.1 Comparación por pares

Criterios	Tamaño	Costo de operación	Disponibilidad efectiva	Rendimiento energético	Complejidad de uso	Calificación Absoluta (Porcentual)
Tamaño	///	1	1	0	1	3 (15%)
Costo de operación	1	///	1	1	1	4 (20%)
Disponibilidad efectiva	1	1	///	0	1	3 (15%)
Rendimiento energético	2	1	2	///	1	6 (30%)
Complejidad de uso	1	1	1	1	///	4 (20%)

La Tabla 2.2, indica cómo se desempeña cada una de las alternativas de solución respecto a los criterios seleccionados.

Tabla 2.2 Tabla morfológica

Criterios	Alternativas de solución			
	Colector solar	Bomba de calor	Liofilización	Resistencias eléctricas
Tamaño	A una capacidad de 40 kg, a cámara de secado y colector no superan los 2 m ²	A una capacidad de 40 kg, la cámara de secado y el A/C de ventana no superan el 2 m ² .	Compuesto de equipos grandes como: bomba de vacío, condensador, bomba calor.	Se coloca varias resistencias de tamaños menores a 30 cm. A una capacidad de 40 kg y cámara de secado no superan el 1 m ²
Costo de operación	No hay costo de energía solar	Energía eléctrica para alimentar un A/C entre 2000 y 8000 W	Energía eléctrica para alimentar condensador y A/C entre 4000 y 16000 W	Energía eléctrica para alimentar resistencias calefactoras entre 2000 y 8000 W
Disponibilidad de trabajo	Depende de las condiciones climáticas del lugar	Depende de energía eléctrica disponible. Se puede usar cualquier hora del día	Cuenta con extensos procesos durante y después del secado, que duran más de un día	Depende de energía eléctrica disponible. Se puede usar cualquier hora del día
Rendimiento energético (COP)	El COP de energía solar a térmica es menor a 1.	El COP de energía eléctrica a energía térmica es mayor 1	El COP de energía eléctrica a energía térmica es mayor 1	El COP de energía eléctrica a energía térmica es igual 1
Complejidad de uso	Complicada movilización del equipo para captar luz solar. Limpieza de bandejas y cámara de secado Mantenimiento colector solar	Facilidad de ubicación de bandejas y mango. Limpieza de bandejas, cámara de secado. Mantenimiento de equipo A/C	Mantenimiento de sistema de refrigeración, A/C y bomba de vacío Conocimiento de aditivos al mango antes y después del secado.	Mantenimiento resistencias eléctricas propensas a dañarse por movimientos del sistema. Limpieza cámara

La Tabla 2.3 nos muestra una matriz de evaluación numérica del peso de la comparación por pares, por una asignación numérica de las posibles soluciones y su desempeño respecto al criterio.

Donde:

- 10 - 40: no se desenvuelve bien en el criterio
- 50 - 80: desempeño aceptable frente al criterio
- 90 -100: desempeño excelente o ideal frente al criterio.

Tabla 2.3 Matriz de selección

Criterios	Peso (%)	Alternativas de solución			
		Colector solar	Bomba de calor	Liofilización	Resistencias eléctricas
Tamaño	15	80 12	80 12	30 4.5	90 13.5
Costo de operación	20	90 18	60 12	40 8	60 12
Disponibilidad de efectiva	15	50 7.5	100 15	70 10.5	100 15
Rendimiento energético	30	50 15	90 27	90 27	70 21
Complejidad de uso	20	90 18	70 14	30 6	60 12
Calificación	100	70.5	80	56	73.5

Con base a la calificación final de la matriz de selección, se escogió el diseño de un deshidratador por convección empleando bomba de calor como la mejor alternativa. En la Figura 2.5 se presenta un bosquejo de la propuesta de solución.

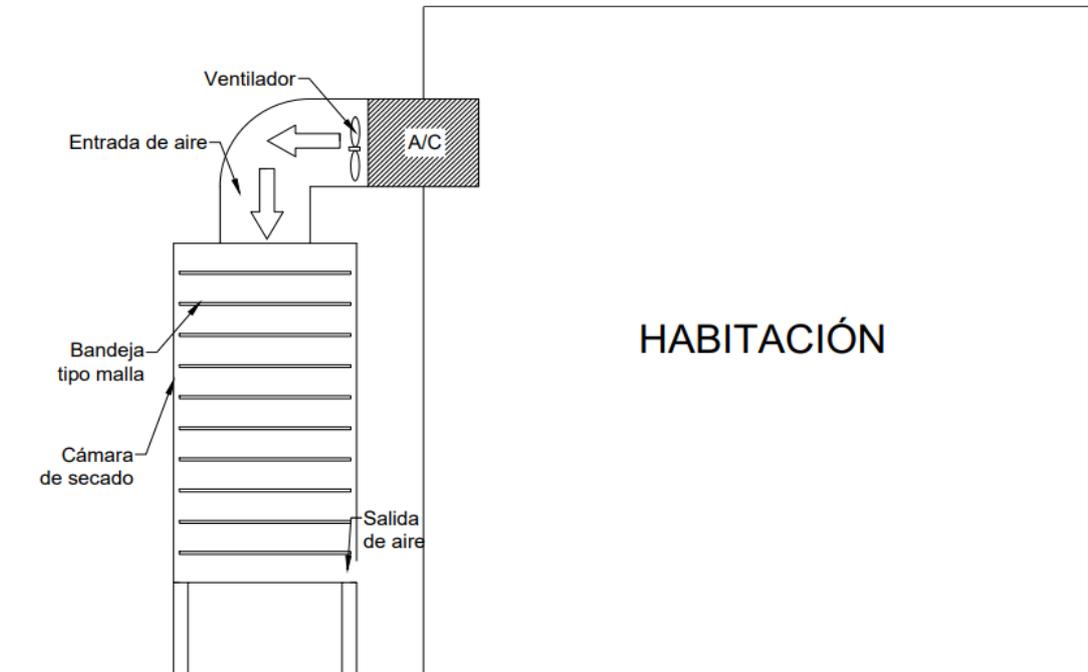


Figura 2.5 Diseño conceptual de deshidratador por convección empleando bomba de calor

2.3 Procedimiento para el cálculo del calor requerido para el secado

En esta sección se describe la metodología seguida para la obtención del diseño detallado. Esta metodología tiene tres fases: (1) análisis termodinámico del proceso, (2) modelado y simulación del prototipo y (3) análisis de costos y factibilidad económica.

2.3.1 Análisis energético

La Figura 2.6 es un esquema del diseño, el cual consta de dos partes: la bomba de calor y la cámara de secado. Además, se incluyen los flujos de masa y energía que entran y salen del sistema.

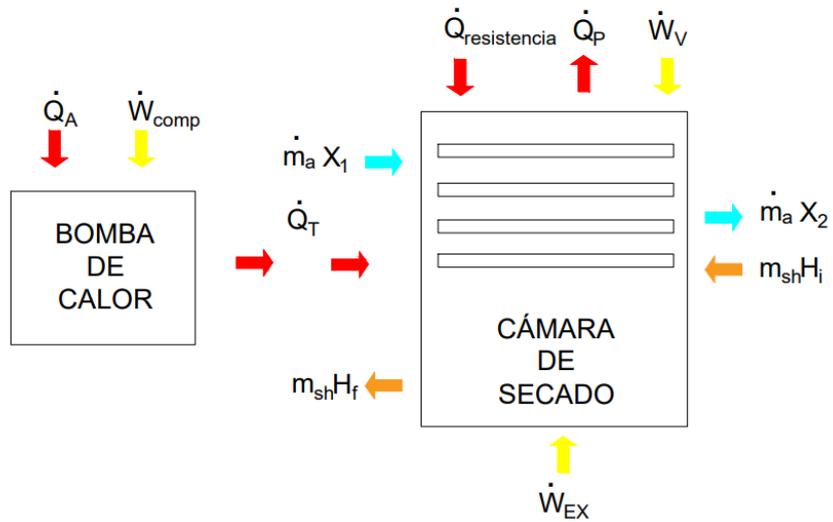


Figura 2.6 Esquemático de transferencia de calor y masa en bomba de calor y cámara de secado

Donde

- \dot{Q}_A : es la capacidad de enfriamiento del A/C [W]
- \dot{W}_{comp} : es la potencia de motor del compresor [W]
- \dot{Q}_T : es el calor necesario para el secado [W]
- \dot{m}_a : es el flujo másico del aire [kg/s]
- m_{sh} : es la masa de mango húmedo [kg]
- X_1 : es la humedad del aire a la entrada [kg agua/kg aire seco]
- X_2 : es la humedad del aire a la salida [kg agua/kg aire seco]
- \dot{Q}_P : es la pérdida de calor [W]
- $\dot{Q}_{resistencia}$: es el calor que entrega la resistencia eléctrica [W]
- H_i : es la humedad inicial del mango [%]
- H_f : es la humedad final del mango [%]
- \dot{W}_v : es la potencia del ventilador [W]
- \dot{W}_{ex} : es la potencia del extractor de aire [W]

La Tabla 2.4 resume datos iniciales de las propiedades del mango, condiciones ambientales en Paipayales y variables de diseño. Se eligió una capacidad de 43 kg, ligeramente mayor a la requerida, en caso de pérdidas fortuitas.

Tabla 2.4 Datos iniciales y propiedades del mango

Variabes	Cantidad	
Capacidad de mango por lote	43 kg	
Tiempo de secado	7 h	25200 s
Espesor de rodaja de mango ¹	0.006 m	
Humedad inicial del mango (h.b.s) ¹	85%	
Humedad final del mango	10%	
Velocidad del aire en Paipayales ²	3.89 m/s	
Temperatura del aire en Paipayales ²	25 °C	
Densidad del aire	1.205 kg/m ³	
Calor específico del mango ³	3.77 kJ/kg °C	
Densidad del mango ⁵	1103 kg/m ³	
Calor específico del vapor de agua ⁴	1.88 kJ/kg °C	
Entalpía de vaporización del agua ⁴	2407 kJ/kg	
Dimensiones rodajas de mango	20 mm de ancho, 80 mm de longitud, 6 mm de grosor	

¹ (Mercer, 2012), ² (Delgado & Peralta, 2020), ³ (Orrego, 2003), ⁴ (Cengel & Ghajar, 2011) ⁵ (Medrano, Campos, Padilla, & Villanueva, 2015)

Para obtener los datos de la Tabla 2.5, se utilizó una carta psicrométrica. De tal manera se indicó los valores de temperatura y humedad relativa conocidos, y se pudo estimar la humedad absoluta del aire antes, durante y después del secado (Ver Apéndice B).

Tabla 2.5 Parámetros psicrométricos del aire a la entrada y salida de la cámara de secado.

	Antes del proceso de deshidratado	Durante el proceso de deshidratado	Después del proceso de deshidratado
Temperatura (°C)	25	51	30
Humedad relativa (%)	75	32.5	90
Humedad absoluta (g/kg)	14.9	14.9	24.3

2.3.2 Determinación de las dimensiones de la bandeja y cámara de secado

Se realizó una selección previa de las medidas para la bandeja, teniendo en cuenta 11 bandejas, la altura máxima de la cámara de secado, el espesor de éstas y el ancho resultante. Se calculó el ancho de estas, mediante la ecuación.

$$w_b = \frac{M_{sh}}{l_b * c * \rho} \quad (2.1)$$

Donde:

- M_{sh} : es la masa de mango en cada bandeja [kg]
- w_b : es el ancho de la bandeja [m]
- c : es el espesor del pedazo de mango [m]
- l_b : es el largo de la bandeja [m]
- ρ : es la densidad del mango [kg/m³]

Luego para el dimensionamiento de la cámara, se seleccionó como ancho 2 cm más que el de la bandeja. La altura de la cámara se calculó tomando en cuenta el número de bandejas, el espacio entre ellas y el espesor de cada una.

$$A_h = (h_b * n_b) + (d * (n_b + 1)) \quad (2.2)$$

Donde, n_b es el número de bandejas, d es el espaciado entre bandejas en m y h_b es el alto de la bandeja en m. Mientras que, para el largo de la cámara, se seleccionó el largo de la bandeja más 0.02 m.

Para dirigir el flujo del aire caliente a la cámara de secado, se instaló un conducto de aire en la parte superior. En la Figura 2.8 se muestra un bosquejo del conducto de aire.

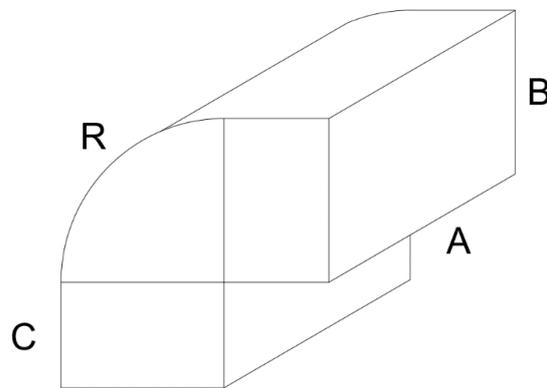


Figura 2.7 Bosquejo del conducto de aire para dirigir el flujo desde el A/C

2.3.3 Balance de energía en la cámara de secado

Del esquema se procedió con la segunda parte, y se aplicó un balance de energía para la cámara de secado a fin de estimar el calor necesario para la deshidratación del mango. Y se obtuvo la ecuación 2.3.

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_P + \dot{Q}_{mango} + \dot{Q}_{agua} + \dot{Q}_{evaporización} + \dot{Q}_{resistencia} - \dot{W}_v - \dot{W}_{ex} - \dot{W}_{resistencia} \quad (2.3)$$

Donde

- $\dot{W}_{resistencia}$ es la potencia de la resistencia eléctrica [W]
- \dot{Q}_{mango} es el calor para calentar la masa de mango seco [W]
- \dot{Q}_{agua} es el calor sensible del agua [W]
- $\dot{Q}_{evaporización}$ es el calor latente de evaporización del agua [W]

2.3.4 Cantidad de sólido seco

Se obtuvo la capacidad de mango en masa a deshidratar m_{ss} en kg, y se utilizó la humedad del mango en base seca, siendo esta la humedad inicial.

$$m_{ss} = \frac{m_{sh}}{H_i + 1} \quad (2.4)$$

2.3.5 Calor requerido para calentar el mango

Calor que se necesitó para calentar la masa del mango seco desde temperatura ambiente a temperatura de secado.

$$\dot{Q}_{mango} = \frac{m_{ss} * C_{p,mango} * (T_{secado} - T_{aire})}{t} \quad (2.5)$$

Donde:

- $C_{p,mango}$: es el calor específico del mango [J/kg °C]
- T_{secado} : es la temperatura de secado [°C]
- T_{aire} : es la temperatura del aire en [°C]
- t : es el tiempo de secado [s]

2.3.6 Calor sensible del agua

Calor que se necesitó para calentar la masa de agua en el mango, desde temperatura ambiente a temperatura de secado. La cantidad de agua que se retiró del mango se lo pudo expresar como la masa del mango seco y la humedad inicial y humedad final.

$$\dot{Q}_{agua} = \frac{m_{ss} * (H_i - H_f) * C_{p,va} * (T_{secado} - T_{aire})}{t} \quad (2.6)$$

Donde $C_{p,va}$ es el calor específico del vapor de agua en J/kg °C.

2.3.7 Calor latente de vaporización del agua

Calor que se necesitó para evaporar el agua que se retiró del mango una vez secado.

$$\dot{Q}_{\text{evaporización}} = \frac{m_{ss} * (H_i - H_f) * h_v}{t} \quad (2.7)$$

Donde:

- h_v : es la entalpia o calor de vaporización del agua a temperatura de secado [J/kg]

2.3.8 Pérdidas de calor en la cámara de secado

Luego se calculó las pérdidas de calor en la cámara de secado, y se utilizó el método de resistencias térmicas, donde se consideró la pared exterior e interior de la cámara y el aislamiento entre ellas.

$$\dot{Q}_p = A_t * \left(\frac{T_{\text{secado}} - T_{\text{aire}}}{\frac{e_1}{K_1} + \frac{e_{\text{aislante}}}{K_{\text{aislante}}} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{1}{h_{cr}}} \right) \quad (2.8)$$

Donde:

- A_t : es el área total de la cámara [m²]
- e_1 : es el espesor de la capa interior de acero [m]
- e_2 : es el espesor de la capa exterior de acero [m]
- $K_{1,2}$: es el coeficiente de transferencia de calor del acero [W/mK]
- K_{aislante} : es el coeficiente de transferencia de calor del aislante [W/mK]
- h_{cr} : es el coeficiente de transferencia de calor combinado, convección y radiación [W/m²K]

El área total se calculó, utilizando las dimensiones de la cámara y las dimensiones del conducto de aire.

Para el conducto de aire se utilizó la ecuación 2.9.

$$A_d = 4 (C * B) + 4 (C * A) + (A * B) + (R * A) \quad (2.9)$$

Para el área total se utilizó la ecuación 2.10.

$$A_t = 2 (l_c * h_c) + 2 (h_c * w_c) + 2 (l_c * w_c) + A_d \quad (2. 10)$$

Donde l_c es el largo de cámara en m, w_c es el ancho de la cámara en m, h_c es la altura de la cámara y A_d es el área del conducto de aire en m.

Mientras que, para el coeficiente de transferencia de calor combinado.

$$h_{cr} = h_o + h_r \quad (2. 11)$$

Se calculó el h_o coeficiente de transferencia por convección del aire exterior en W/m²K y el h_r coeficiente de transferencia por radiación del exterior en W/m²K.

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor convectivo inducido por el viento, se utilizó la ecuación modificada de Jurges mejorada por Watmuff, que proviene de un análisis de la velocidad del aire en un túnel de viento y el efecto en superficies lisas, para velocidades de viento menor a 5 m/s (Gomez, 2013).

$$h_o = 3 * V_{viento} + 2.8 \quad (2. 12)$$

Donde V_{viento} es la velocidad del viento en Paipayales, de 3.89 m/s. Mientras que para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación del exterior a la cámara.

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_{se} + T_{aire}) * (T_{se}^2 + T_{aire}^2) \quad (2. 13)$$

Donde:

- ε : es la emisividad de la pared de acero
- σ : es la constante de boltzmann = 5.67E-08 [W/m²K⁴]
- T_{se} : es la temperatura al exterior de la cámara [K]

Debido a que no se conoce la temperatura exterior de la cámara, se asumió una temperatura de 5 °C más que del aire al ingreso de la bomba de calor.

Luego se calculó el coeficiente de transferencia de calor por radiación con la ecuación 2.13 y con la ecuación 2.8 despejando la temperatura T_{aire} , donde se consideró que la temperatura del aire es ahora la temperatura exterior de la cámara. Como el valor de temperatura no fue igual a la que se estimó, se volvió a iterar hasta que se cumplió la condición.

2.3.9 Balance de energía en la bomba de calor

A partir del esquema, se procedió con la primera parte, y se realizó un balance de energía en la bomba de calor; donde se obtuvo que el calor que proporciona un equipo acondicionador viene dado por la capacidad de A/C y la potencia del compresor.

$$\dot{Q}_A + \dot{W}_{comp} = \dot{Q}_T \quad (2.14)$$

Igualando la ecuación 2.14 con la ecuación 2.3, se obtuvo el calor requerido para el secado de un lote de mango durante un periodo de tiempo t .

2.3.10 Balance de masa en la cámara de secado.

Se encontró el flujo másico de aire a circular en la cámara de secado, haciendo un balance de masa. Se deshidrató un sólido cuya masa es m_{sh} y una humedad inicial y final en kg de agua/kg de mango. El balance de masa en la cámara se expresa con la ecuación 2.15.

$$\dot{m}_a * X_2 + m_{sh} * \frac{H_i}{100 - H_f} = \dot{m}_a * X_1 + m_{sh} * \frac{H_f}{100 - H_f} \quad (2.15)$$

La cantidad de aire que se necesitó se halló a partir de la ecuación 2.16, despejando \dot{m}_a de la ecuación 2.15.

$$\dot{m}_a = \frac{m_{sh} \left(\frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \right)}{(X_2 - X_1)} \quad (2.16)$$

2.3.11 Flujo Volumétrico

Es el volumen de aire que pasa por el sistema, este dato se lo hallo al dividir el flujo másico y la densidad del aire.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_a}{\rho_{aire}} \quad (2.17)$$

Donde ρ_{aire} es la densidad del aire en kg/m³

2.3.12 Cantidad de mango después del deshidratado

Se calculó la cantidad en kg de mango deshidratado una vez culminado el proceso de 7 horas.

$$m_f = m_{sh} - m_{sh} * H_i \quad (2.18)$$

2.3.13 Temperatura de salida del condensador

Inicialmente se estableció 50°C como temperatura de secado, por lo que se calculó la temperatura de salida aproximada del condensador del acondicionador de aire seleccionado. Se identificó la temperatura de cambio de fase del refrigerante R22 utilizando tablas de propiedades. Y se asumió que la temperatura de salida del aire fue 10°C menos a la temperatura de saturación del refrigerante de 51°C, donde se obtuvo una temperatura de 41°C (Universidad Nacional de Salta, 2018)

2.3.14 Calor disipado por la resistencia eléctrica

Se calculó el calor disipado por la resistencia eléctrica en Watts, necesario para aumentar la temperatura de salida del condensador a la temperatura de secado. Como las resistencias eléctricas tienen un COP de 1, el calor que se obtuvo con la ecuación 2.19 fue también la potencia eléctrica de la resistencia en Watts.

$$\dot{Q}_{resistencia} = \dot{m}_a * C_{p,aire} * (T_{secado} - T_{cond}) \quad (2.19)$$

Donde la T_{cond} es la temperatura a la salida del condensador en °C

2.3.15 Costo de energía empleada

Con base a la tarifa eléctrica ecuatoriana en el 2022, de 9.2 ¢ USD/kWh establecida por El Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (Ministerio de Energía y Minas , 2022). Se calculó un estimado del costo por cada uso una vez a la semana. Se consideró la potencia del compresor del A/C, la potencia del ventilador y la potencia del extractor de aire. Se estimó que el compresor solo está funcionando 50% del tiempo.

$$Costo = 0.092 * [(\dot{W}_{comp} * t * 0.5) + (\dot{W}_v + \dot{W}_{ex} + \dot{W}_{resistencia}) * t] \quad (2.20)$$

Se realizó la selección de los materiales tomando en cuenta que debe ser un acero de grado alimenticio. La selección del equipo necesario para el secado se realizó con base a los parámetros de la ecuación 2.14, definidos en los catálogos de los acondicionadores de aire y la temperatura de salida del condensador de la ecuación. Y poder estimar los costos de operación. Se seleccionó un ventilador y extractor de aire de una capacidad volumétrica obtenida por la ecuación 2.21. Se seleccionó las resistencias eléctricas con base a la ecuación 2.19. Se realizó una evaluación de factibilidad económica del diseño, considerando los precios estimados de las planchas de acero inoxidable, aislante, equipo de A/C, así como el consumo de energía considerando la tarifa eléctrica del Ecuador.

Se realizó un prototipo del diseño en Inventor en la versión estudiantil (Inventor, 2022) y se realizó una modelación del prototipo en el software de análisis de fluidos computacional ANSYS en la versión estudiantil 2022 (Ansys, 2022), donde se evaluó el comportamiento de la velocidad del aire y la temperatura dentro de la cámara de seca.

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Del análisis termodinámico se obtuvo como resultados principales: selección del material, las dimensiones de las bandejas y cámara de secado, el calor requerido por el acondicionador de aire y el flujo volumétrico y másico de aire en la cámara de secado.

3.1 Selección de materiales

Se seleccionó acero inoxidable AISI 304 como material interno y acero ASTM A36 como material externo de la cámara de secado, así como bandejas de acero inoxidable. Fueron seleccionados debido a sus propiedades de resistencia a la corrosión y resistencia a elevadas temperaturas. Se seleccionó lana de vidrio como aislante, comúnmente utilizado para paredes o muros. Resumido en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Propiedades del material y aislante de la cámara de secado

Variables	Cantidad
Emisividad del acero inoxidable AISI 304 ²	0.160
Espesor de acero inoxidable AISI 304	0.001 m
Coefficiente transferencia de calor por conducción del acero inoxidable AISI 304 ¹	16.2 W/mK
Coefficiente transferencia de calor por conducción del acero ASTM A36 ⁴	43 W/mK
Coefficiente transferencia de calor por conducción del aislante (lana de vidrio) ³	0.023 W/mK
Espesor del aislante (lana de vidrio)	0.01 m

¹ (AK Steel Corporation , 2007) ² (Transmetra, 2005) ³ (Connor, 2019) ⁴ (Yang, 2016)

3.2 Dimensionamiento de la cámara de secado

Las paredes de la cámara de secado fueron compuestas en tres capas: una primera capa externa de acero A36, una capa intermedia de aislante lana de vidrio y una tercera capa interna de acero inoxidable 304. La altura se seleccionó con base al número de bandejas, el espaciado y una altura mínima de 1.50 m, que por ergonomía facilite la colocación de las bandejas. Esta también es la altura recomendada para la instalación de acondicionadores de aire tipo ventana, que en conjunto con el conducto de aire el diseño alcanzó una altura de 1.67 m. El ancho y largo se seleccionó con base a las dimensiones de las bandejas, y se aumentó ligeramente para permitir un mejor flujo de aire. Las bandejas utilizadas fueron tipo malla, de acero inoxidable para facilitar el flujo del aire perpendicular a través de estas. El grosor de la malla de acero inoxidable seleccionado permitió colocar más bandejas sin aumentar significativamente la altura de la cámara de secado disminuyendo costos de construcción.

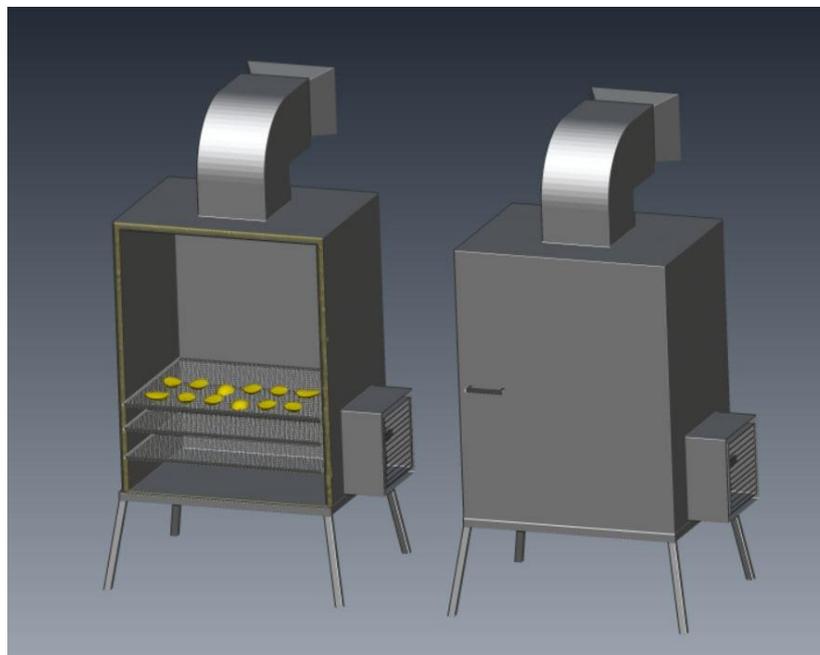


Figura 3.1 Prototipo de deshidratador de mango

En la Tabla 3.2 se resume las características del diseño final. Los planos del diseño final se presentan en el Apéndice C.

Tabla 3.2 Características del deshidratador de mango

Parámetro	Unidad	Valor	
Masa a secar	kg	43	
Dimensión de la cámara de secado	m	0.92 x 0.63 x 1.21	
Espesor de la primera capa (ASTM A36)	m	0.001	
Espesor de la segunda capa (Lana de vidrio)	m	0.01	
Espesor de la tercera capa (Inox. 304)	m	0.001	
Masa a secar por bandeja	kg	3.90	
Dimensión de la bandeja	m	0.90 x 0.65 x 0.001	
Número de bandejas		11	
Espaciado entre bandejas	m	0.1	
Dimensión de conducto de aire (Figura 2.8)	A	m	0.25
	B	m	0.25
	C	m	0.20
	R	m	0.39

3.3 Selección del acondicionador de aire

Para un rango de tiempo de secado entre 6 y 8 horas, establecido con base a las curvas de secado mencionadas en el capítulo 1. Se eligió un tiempo de secado de 7 horas. Con esto se determinó un calor requerido por el acondicionador de aire de 1996.46 W. Y se realizó la selección del siguiente equipo descrito en la Tabla 3.3 (Ver Apéndice D), donde se resume los datos del acondicionador de aire utilizado como bomba de calor para calentar el aire hacia la cámara (Della, 2018).

Tabla 3.3 Datos del acondicionador de aire

Parámetro	Unidad	Valor
Modelo		Della Compact
Tipo		Ventana
Capacidad	BTU/h	5000
	W	1465.36
Potencia de motor del compresor	W	540
Dimensiones	m	0.41 x 0.38 x 0.31
Caudal del condensador	m ³ /h	170
Área máxima de climatización	ft ²	150
	m ²	14

Se utilizó la ecuación 2.14, y se sumó la capacidad del equipo y la potencia del motor del compresor. Con lo que se determinó que el equipo seleccionado suministro un calor de 2005.36 W, que fue ligeramente mayor al requerido para el secado. Esto indico que el mango se deshidrato en 6.96 horas; 2 minutos antes de las 7 horas establecidas. El tiempo obtenido aún se encuentra en el rango de tiempo de secado óptimo, por lo que no afecto las condiciones físicas o químicas del mango. Utilizando resistencias eléctricas la temperatura de salida del aire fue de 51°C, que se mantuvo en el rango de operación entre 50 y 55 °C, donde se conserva las propiedades del mango. Con un área máxima de climatización de 14 m², se pudo climatizar el centro de acopio de 12 m².

3.4 Selección de ventilador

Se calculó mediante el balance de masa y la ecuación 2.16, un flujo másico de 0.15 kg/s en el interior de la cámara de secado. Mientras que con la ecuación 2.17 se encontró un flujo volumétrico de 0.124 m³/s. Y se seleccionó el ventilador con las características de la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Características del ventilador

Parámetro	Unidad	Valor
Tipo		Axial
Dimensiones	m	0.25 x 0.25 x 0.049
Flujo volumétrico	m ³ /s	0.06
	m ³ /h	215
Potencia	W	50

Para asegurarse que todo el flujo de aire recorra la cámara de secado y las rodajas de mango; en especial las que se encuentra al final, se agregó un extractor de aire de 0.06 m³/s. En conjunto al ventilador, se completó el flujo volumétrico necesario. En la Tabla 3.5 se resume las características del extractor de aire colocado en la parte inferior de la cámara de secado.

Tabla 3.5 Características del extractor de aire

Parámetro	Unidad	Valor
Tipo		Axial
Dimensiones	m	0.32 x 0.32 x 0.19
Flujo volumétrico	m ³ /s	0.06
	m ³ /h	215
Potencia	W	45

El rango de operación de flujo másico necesario es 0.10 a 0.20 kg/s, en base a un estudio de CFD referenciado en el capítulo 1. El flujo másico calculado, se encuentra en el rango recomendado para un óptimo secado del mango.

3.5 Selección de resistencia eléctrica

Con base a la ecuación 2.19 se seleccionó una resistencia eléctrica de 1500 W para calentar el aire hasta la temperatura de secado. Con las características en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Características de resistencia eléctrica

Parámetro	Unidad	Valor
Potencia	W	1500
Voltaje	V	110
Material		Acero inoxidable

3.6 Análisis de costos

Se realizó un análisis de costos de construcción y se consideró una estimación de los costos de los materiales como: planchas de acero inoxidable 304, planchas de acero ASTM A36, aislante lana de vidrio, un ventilador axial, un extractor axial, el acondicionador de aire y un porcentaje adicional de costos de elementos varios como platinas para porta bandejas, elementos de conexión, pintura anticorrosiva, manivela para puertas, disco de cortes, etc.

Tabla 3.7 Costos de materiales y equipos

Material	Medida	Unid.	Cantidad	P. Unitario [USD]	P. Total [USD]
Láminas de acero inoxidable AISI 304	1.22 x 2.44 x 0.001	m	2	35	70
Láminas de acero ASTM A36	1.22 x 2.44 x 0.001	m	2	25	50
Bandeja malla de acero inoxidable	0.90 x 0.65 x 0.001	m	11	18	198
Lana de vidrio	5.67	m ²	7	3.60	25
Ventilador	215	m ³ /h	1	40	40
Extractor	215	m ³ /h	1	43	43
Acondicionador de aire	5000	BTU/h	1	199.96	199.96
Resistencia eléctrica	1500	W	1	15	15
Subtotal:					640.96
Elementos varios (20%):					128.19
Total:					769.15

Luego se realizó una estimación de los costos de manufactura (Tabla 3.8) que incluye: ensamble de bandejas, ventilador y extractor, construcción de cámara de secado, instalación de acondicionador de aire y un costo de diseño del ingeniero.

Tabla 3.8 Costos de manufactura

Descripción	Precio [USD]
Ensamblaje de bandejas, ventilador y extractor	50
Construcción de cámara de secado.	300
Instalación de acondicionador de aire	60
Diseño del ingeniero	450
Total	860

La inversión total en el secador es 1629.15 USD. Además, se calculó el costo de operación y se realizó una estimación del costo de producción del mango seco, incluyendo el precio de venta del mango, un estimado del precio de la mano de obra y el costo de energía eléctrica por lote.

Se incluyó la mano de obra para pelar y cortar el mango, así como el montaje y desmontaje de las bandejas en la cámara. Se consideró una tarifa de 1.64 la hora en la comunidad, estimando 3 horas de mano de obra y tomando en cuenta que cerca de un 80% de la comunidad tiene un salario menor al básico (Delgado & Peralta, 2020). Se calculó el costo de energía eléctrica durante las 7 horas, y un precio del mango de \$0.07 cada uno, tomando en cuenta el lote de mango de 43 kg equivale alrededor de 108 mangos (Roman, 2022). Con la ecuación 2.18 se obtuvo una cantidad de 6.45 kg o 6450 g de mango deshidratado disponible para venta. Se resume estos costos en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Costos de operación por lote

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario [USD]	P. Total [USD]
Lote de mango	43	kg	0.07	7.56
Mano de obra	3	personas	5.00	15.00
Energía eléctrica	13.03	kWh	0.092	1.19
Total				23.75

Por cada lote de mango deshidratado se estimó un costo de operación de 23.75 USD.

En los mercados y centro comerciales de Guayaquil, Ecuador, el precio de venta mango deshidratado se encuentra a \$4.00 los 100 g. Se consideró que todo el mango deshidratado llega a ser vendido, obteniendo precio de venta total de \$260 por lote. En la Tabla 3.10 se estimó el tiempo de retorno de la inversión, considerando que el diseño es un proyecto piloto en la comunidad y no se pretende usar muchas veces. Se estimó un uso de 4 veces por mes.

Tabla 3.10 Tiempo de retorno de la inversión

Descripción	Unidad	Valor
Ganancia (Venta – Costos de operación)	USD	236.25
Cantidad de lotes por mes		4
Ganancia mensual	USD/mes	945.00
Inversión (Costo materiales y manufactura)	USD	1629.15
Tiempo de retorno de la inversión	mes	1.72

Se estimó un tiempo de retorno de la inversión de 1.72 meses, lo que es equivalente a 1 mes y 3 semanas. Considerando un tiempo óptimo de retorno menor a 3 meses, se estimó como una fuente de ingreso económica rentable. Se hizo un planteamiento en donde el equipo acondicionador de aire es utilizado principalmente para la climatización del centro de acopio y no solo como bomba de calor. De esta manera se pudo aprovechar el aire caliente durante las horas que se utiliza el A/C, eliminando el costo de energía eléctrica por lote. Si se considera que ahora la producción de mango deshidratado cuesta \$18, se obtuvo un precio de venta de \$242 y un tiempo de retorno de la inversión idéntico.

Finalmente, en la Tabla 3.11 se estimó el costo total de implementación por el sistema completo de un deshidratador de mango, que comprendió: construcción

Tabla 3.11 Costo total de implementación

Descripción	Precio [USD]
Materiales	769.15
Manufactura	860.00
Total	1629.15

3.7 Análisis técnico

Se utilizó el software ANSYS Fluent para modelar la cámara de secado y se obtuvo el comportamiento del flujo de aire y la temperatura en cada punto de la misma. Partiendo del criterio de que la velocidad del aire debe encontrarse a 0.5 m/s para obtener un secado uniforme. Y que la cámara alcance una temperatura de 51°C, necesaria para el secado del mango. En el análisis de la velocidad del flujo de aire, se determinó que en la zona central de la cámara la velocidad del aire es 1 m/s mayor que las laterales y la deseada, debido a que el conducto de aire se encuentra directamente sobre esta sección. Implicando que un porcentaje del lote de mango se deshidrato más rápido de lo requerido y no homogéneamente respecto al resto de las rodajas de mango.

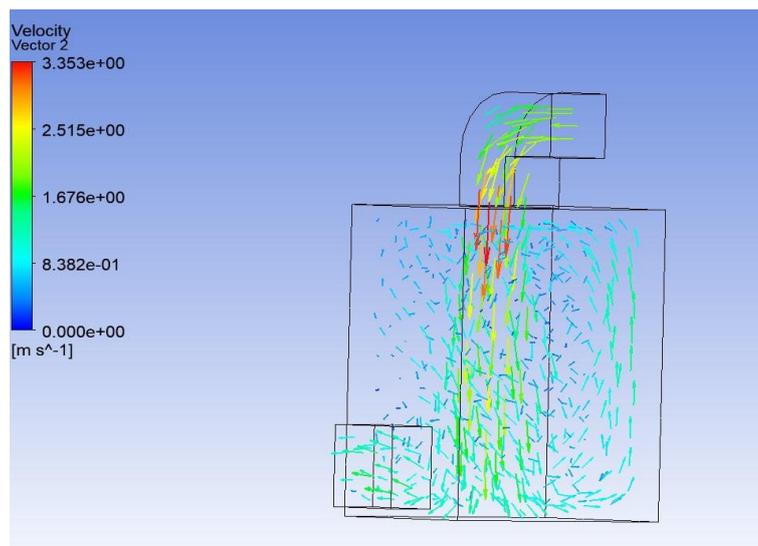


Figura 3.2 Trayectoria de flujo de aire y velocidad en diferentes puntos de la cámara de secado.

En el análisis de temperatura, se observó que la temperatura se mantuvo constante en toda la cámara. La cámara de secado se encontró en una temperatura de 50.8°C, similar a la temperatura de 51°C que se requirió para el secado del mango. A la salida del extractor de aire se observó que la temperatura bajo considerablemente.

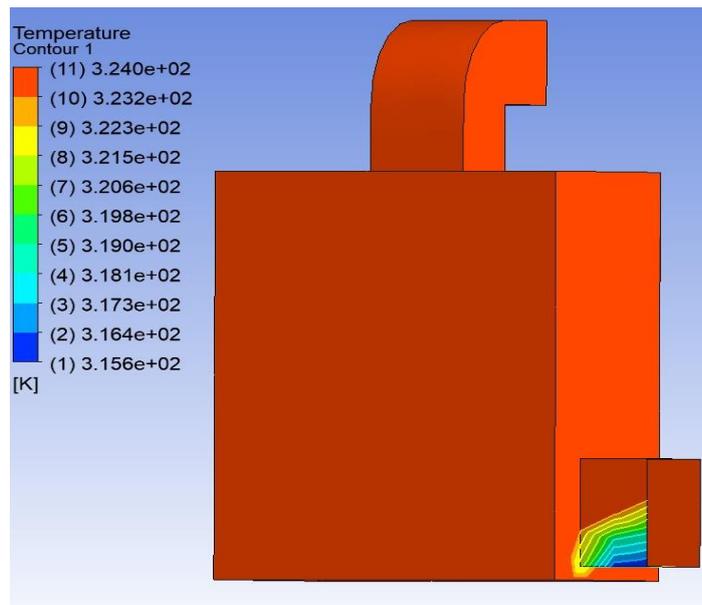


Figura 3.3 Comportamiento de la temperatura en cada zona de la cámara de secado.

3.8 Análisis de impacto social y ambiental

Como se pudo obtener una ganancia significativa del mango deshidratado, se determinó un crecimiento en los ingresos económicos en la comunidad de Paipayales. Implicando así un crecimiento en la participación económica rural del país y un incentivo para las demás comunidades del Guayas al diversificar sus productos; utilizando el concepto de deshidratación de alimentos. Así como también se incentivó el uso de tecnologías sostenibles e industrialización inclusiva.

Como se propuso utilizar el acondicionador de aire como medio principal de climatización y medio secundario como bomba de calor. Se pudo aprovechar el calor que se pierde al ambiente desde el condensador, mejorando la eficiencia energética del equipo; mientras usa una misma fuente de energía eléctrica, evitando mayor contaminación ambiental.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El diseño permitió deshidratar hasta 43 kg de mango, aprovechando un 40% de la producción total de mango semanal en la comunidad.
- Para reducir la humedad del mango al 10% en 7 horas, se necesitó 1996 W, obtenidos de un equipo acondicionador de aire tipo ventana de 5000 BTU/h.
- El ventilador y extractor de aire seleccionados de 0.6 m³/s permitieron un correcto flujo del aire dentro de la cámara de secado, sin aumentar considerablemente el consumo de la energía eléctrica del sistema.
- El costo total de implementación del diseño completo es de \$1629.15, tomando en cuenta costos de fabricación y manufactura. Y debido a la baja frecuencia de uso del equipo, los costos de operación no afectan significativamente si se usa el equipo exclusivamente como acondicionador de aire o bomba de calor.
- Con un precio de venta de \$4.00 cada 100g de mango deshidratado, se estimó un tiempo de retorno de la inversión de 1 mes y 3 meses. Siendo un tiempo óptimo para considerar al diseño como un método viable para el incremento de las ganancias económicas de la comunidad.
- Incentivo de la comunidad ha no solo deshidratar más cantidad de mango, sino a utilizar el diseño en otros de sus productos como banano y cacao.

- Mediante el análisis de flujo computacional, se determinó que un 80% de espacio en la cámara de secado, el comportamiento de la velocidad del aire es de 0.5 m/s exceptuando en el centro. Indicando que las rodajas de mango en el centro de las bandejas se deshidratan más rápido que las ubicadas en los laterales. Mientras que la temperatura de 51°C se distribuyó uniformemente a través de la cámara de secado.
- La deshidratación permite un aprovechamiento del mango rechazado en la comunidad y la venta del mango seco resultante actúa como una nueva fuente de ingreso económico en la comunidad de Paipayales.

4.2 Recomendaciones

- Para tener una mejor eficiencia energética del sistema de acondicionador de aire en la comunidad y aprovechar el aire caliente expulsado del condensador. Se recomienda utilizar el equipo de deshidratación cuando el A/C se encuentre operando para climatizar el área comunal.
- Se recomienda realizar una diferente estructuración de la cámara de secado respecto al ingreso de aire caliente. De manera que el flujo de aire se encuentre paralelo a las rodajas de mango y no perpendicular. Mejorando la circulación de salida del aire, reduciendo posibles costos en extractor y mallado de las bandejas.
- Utilizar dos columnas de bandejas en vez de una, separándolas entre sí, evitando que las rodajas de mango del centro se expongan a exceso de flujo de aire. Consiguiendo que todas las rodajas de mango se sequen en las mismas condiciones.
- Mediante un estudio y rediseño del deshidratador, se recomienda utilizarlo para otro tipo de productos y alimentos cultivados en la comunidad como: arroz, cacao y banano.

BIBLIOGRAFÍA

- Admin. (17 de Febrero de 2022). *Aire acondicionado portatil*. Obtenido de ¿Cuánto es el tiempo de vida de un aire acondicionado de ventana?:
<https://aireacondicionadoportatil.shop/cuanto-es-el-tiempo-de-vida-de-un-aire-acondicionado-de-ventana/>
- AK Steel Corporation . (Julio de 2007). *Product Data sheet 304/304L Stainless Steel*. Obtenido de Space matdb:
https://www.spacematdb.com/spacemat/manudatasheets/304_304L_Data_Sheet.pdf
- Ansys. (2022). *Ansys Fluent (Version Student 2022 R2) [Software de simulación CFD]*. Obtenido de <https://www.ansys.com>
- Arce, N., & Reyna, R. (2020). *DSpace Espol*. Obtenido de Diseño de un Sistema Híbrido para la Deshidratación de Frutas:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/50391/1/D-109721%20Arce%20Reyna.pdf>
- ARCSA. (2015). *Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria* . Obtenido de LA DIRECCIÓN EJECUTIVA DE LA AGENCIA NACIONAL DE REGULACIÓN, CONTROL Y VIGILANCIA SANITARIA:
https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Resolucion_ARCSA-DE-067-2015-GGG.pdf
- ARCSA. (29 de Septiembre de 2016). *Control Sanitario*. Obtenido de NORMATIVA TECNICA SANITARIA PARA ALIMENTOS:
https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/04/ARCSA-DE-067-2015-GGG_NORMATIVA-T%C3%89CNICA-SANITARIA-PARA-ALIMENTOS-PROCESADOS.pdf
- Banco Mundial. (2020). *Banco Mundial*. Obtenido de Acceso a la electricidad (% de población) - Ecuador:
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=EC>
- Campo, A. (Junio de 2006). *Scielo*. Obtenido de MODELO CINÉTICO DEL SECADO DE LA PULPA DE MANGO:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000100011

- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico D.F: McGraw-Hill.
- Cobos, E. (8 de Agosto de 2021). *Primicias EC*. Obtenido de Sector rural: el 77,9% de trabajadores tiene un empleo no adecuado:
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/autoempleo-predomina-pequena-agricultura/>
- Connor, N. (19 de Mayo de 2019). *Thermal Engineering*. Obtenido de What is Thermal Conductivity of Glass Wool: <https://www.thermal-engineering.org/what-is-thermal-conductivity-of-glass-wool-definition/>
- Datos Macro. (Julio de 2022). *Datos Macro*. Obtenido de IPC del Ecuador:
<https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/ecuador#:~:text=La%20tasa%20de%20variaci%C3%B3n%20anual,es%20del%203%2C1%25>
- Delgado, E., & Peralta, J. (Enero de 2020). *Lifting of Habitat conditions within the framework of sustainable communities in the Paipayales, Canton Santa Lucia*. Obtenido de Research Gate:
https://www.researchgate.net/publication/344969835_Levantamiento_de_las_condiciones_del_Habitad_en_el_marco_de_comunidades_sostenibles_del_recinto_Paipayales_Canton_Santa_Lucia
- Della. (28 de Julio de 2018). *Amazon*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-628873873-della-5000-btu-window-air-conditioner-540w-110v60hz-11-e-_JM#position=46&search_layout=stack&type=item&tracking_id=fce41b8e-d14b-49aa-914e-f7a5b83fe47c
- deMichelis, A., & Ohaco, E. (26 de Junio de 2015). *Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*. Obtenido de INTA Ediciones:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cartilla_secado.pdf
- Giler, M., & Romano, P. (Agosto de 2017). *Bibdigital epn*. Obtenido de Diseño y construcción de un secador solar indirecto de arena aplicada en sandblasting para la empresa SYEMP SA:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18781/1/CD-8170.pdf>

- Gomez, M. (2013). *Repositorio de la Universidad de Zaragoza - Zaguan*. Obtenido de Validación de tecnología híbrida solar de placa plana para el suministro energético en edificios residenciales:
<https://zaguan.unizar.es/record/10328/files/TAZ-TFM-2013-149.pdf>
- Inventor, A. (2022). *Autodesk Inventor Professional (Version 2021) [Software de diseño mecánico 2D y 3D]*. Obtenido de <https://latinoamerica.autodesk.com>
- Mantilla, X. (2018). *Dspace ESPOL*. Obtenido de Diseño y construcción de un sistema de almacenamiento de semillas de arroz para pequeños productores:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/130354/D-CD88672.pdf>
- Medrano, I., Campos, M., Padilla, M., & Villanueva, S. (2015). *Repositorio Institucional*. Obtenido de Introducción a la tecnología del mango:
<https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/388/1/Libro%20Mango.pdf>
- Mejia, M., & Prado, M. (16 de Febrero de 2022). Presentación Final de Purdue [Diapositivas de PowerPoint]. *Heat Pump cycle Espol proposal*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Mercer, D. G. (Septiembre de 2012). *A Basic Guide to Drying Fruits and Vegetables*. Obtenido de iufrost: <https://iufrost.org/iufostftp/Guide%20to%20Drying-Full.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (10 de Mayo de 2022). *Recursos y Energía*. Obtenido de [https://www.recursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El%20Directorio%20de%20la%20Agencia,\(%C2%A2USD%2FkWh\)](https://www.recursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El%20Directorio%20de%20la%20Agencia,(%C2%A2USD%2FkWh)).
- Murillo, C. (2007). *Repositorio Red Universidad Autónoma de Occidente (UAO)*. Obtenido de DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR DE CONVECCIÓN PARA FRUTAS Y VEGETALES :
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6409/T04422.pdf;jsessionid=11627A989982855F45523B999D13A01B?sequence=1>
- Orrego, C. (Marzo de 2003). *Procesamiento de Alimentos*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/288824547_PROCESAMIENTO_DE_ALIMENTOS

- Roman, E. (14 de Julio de 2022). Cultivacion de mango: precio y cantidad. (R. Poveda, Entrevistador)
- Transmetra. (2005). *TABLE OF EMISSIVITY OF VARIOUS*. Obtenido de TABLE OF EMISSIVITY OF VARIOUS:
https://www.transmetra.ch/images/transmetra_pdf/publikationen_literatur/pyrometrie-thermografie/emissivity_table.pdf
- Umaña, E. (2022). *Academia*. Obtenido de Estrategias en productos deshidratados:
https://www.academia.edu/28630130/Estrategias_de_deshidratacion
- UNE. (18 de Marzo de 2015). *Normalización Española*. Obtenido de Maquinaria para el procesado de alimentos. Conceptos básicos. Parte 1: Requisitos de seguridad.:
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0054601>
- Universidad Nacional de Salta. (2018). *StuDocu*. Obtenido de Propiedades R-22, R-134a: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-salta/termodinamica/propiedades-r-22-r-134a/3021624>
- Velásquez, V. (2017). *Cybertesis - Universidad Austral de Chile*. Obtenido de Estandarización del Proceso de Secado de Carragenina en la Empresa Extractos Naturales Gelymar S.A :
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fav434e/doc/fav434e.pdf>
- Yang, Z. (Enero de 2016). *Research Gate*. Obtenido de Laser-induced surface burn: A feasible approach for controlled production of thermal damage and its monitoring based on acoustic emission:
https://www.researchgate.net/publication/303577632_Laser-induced_surface_burn_A_feasible_approach_for_controlled_production_of_thermal_damage_and_its_monitoring_based_on_acoustic_emission
- Zaluaga, J. P., Rodriguez, E., & Cortes, M. (Enero de 2010). *Evaluation of physical characteristics of dried mango applying hot air drying and osmotic dehydration*. Obtenido de Research Gate:
https://www.researchgate.net/publication/287695425_Evaluation_of_physical_characteristics_of_dried_mango_applying_hot_air_drying_and_osmotic_dehydration

Ziegler, K., Brown, C., Vertoni, M., & Lipsky, Z. (30 de Abril de 2015). *DIGITAL WPI*.
Obtenido de Broadening the Impact of a Low-Cost Heat Pump Fruit Dryer for
Developing Countries:
https://digital.wpi.edu/concern/student_works/5m60qs169?locale=en

APÉNDICES

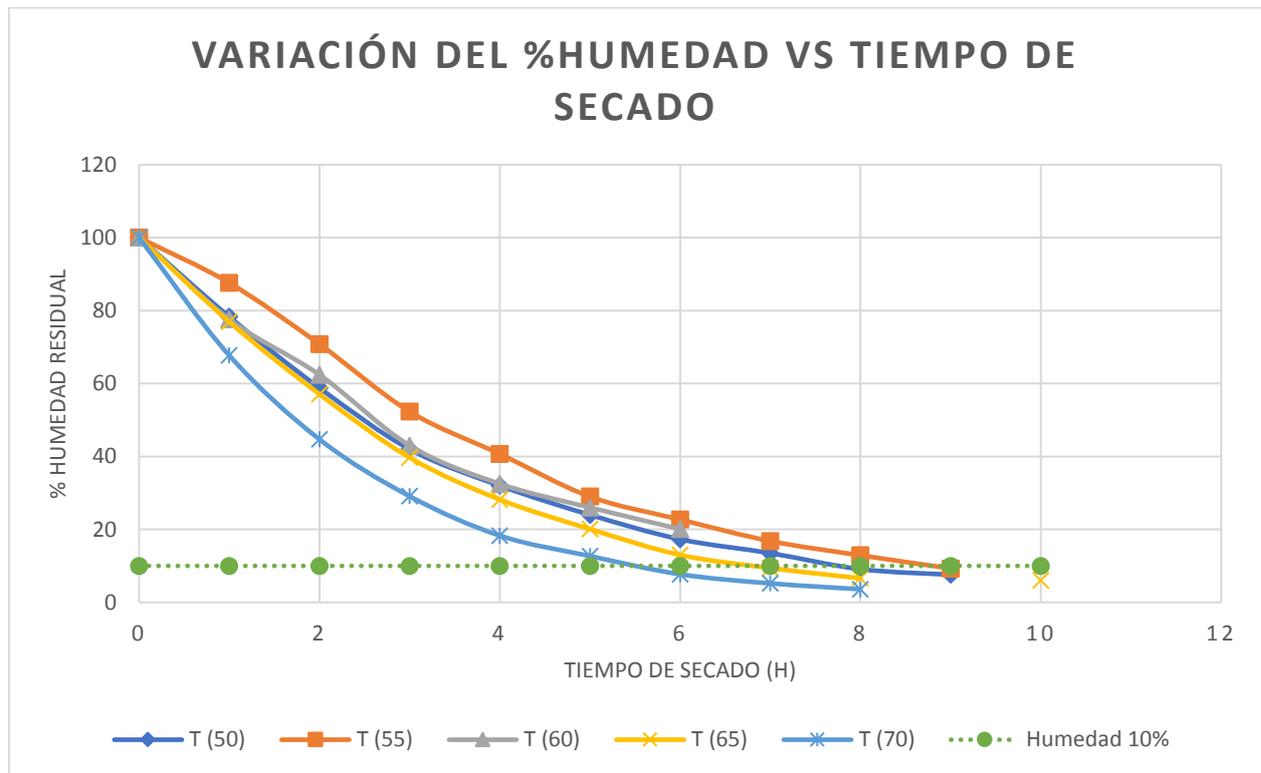
APÉNDICE A

Resultados de experimentos guías y curvas de secado

Experimento 1: En la siguiente Tabla A.1 se muestra los resultados de las mediciones de humedad realizadas en el mango colombiano, en un periodo de 10 horas a 5 temperaturas diferentes. Mientras que en la Grafica A.1 se realiza la curva de secado con los resultados y se grafica el límite de 10% humedad (Murillo, 2007).

Tabla A. 1 Porcentaje de humedad residual respecto al tiempo de secado del mango

Tiempo (h)	% Humedad residual				
	Temperatura (°C)				
	50	55	60	65	70
0	100	100	100	100	100
1	78.3	87.6	77.6	76.9	67.7
2	58.8	70.8	62.4	57.1	44.7
3	42	52.3	43.0	39.7	29.1
4	32	40.7	32.5	28.2	18.3
5	24	29	26	20.1	12.7
6	17.3	22.7	20.1	13	7.7
7	13.5	16.8		9.4	5.2
8	9.1	12.9		6.6	3.6
9	7.6	9.3			
10				6.0	

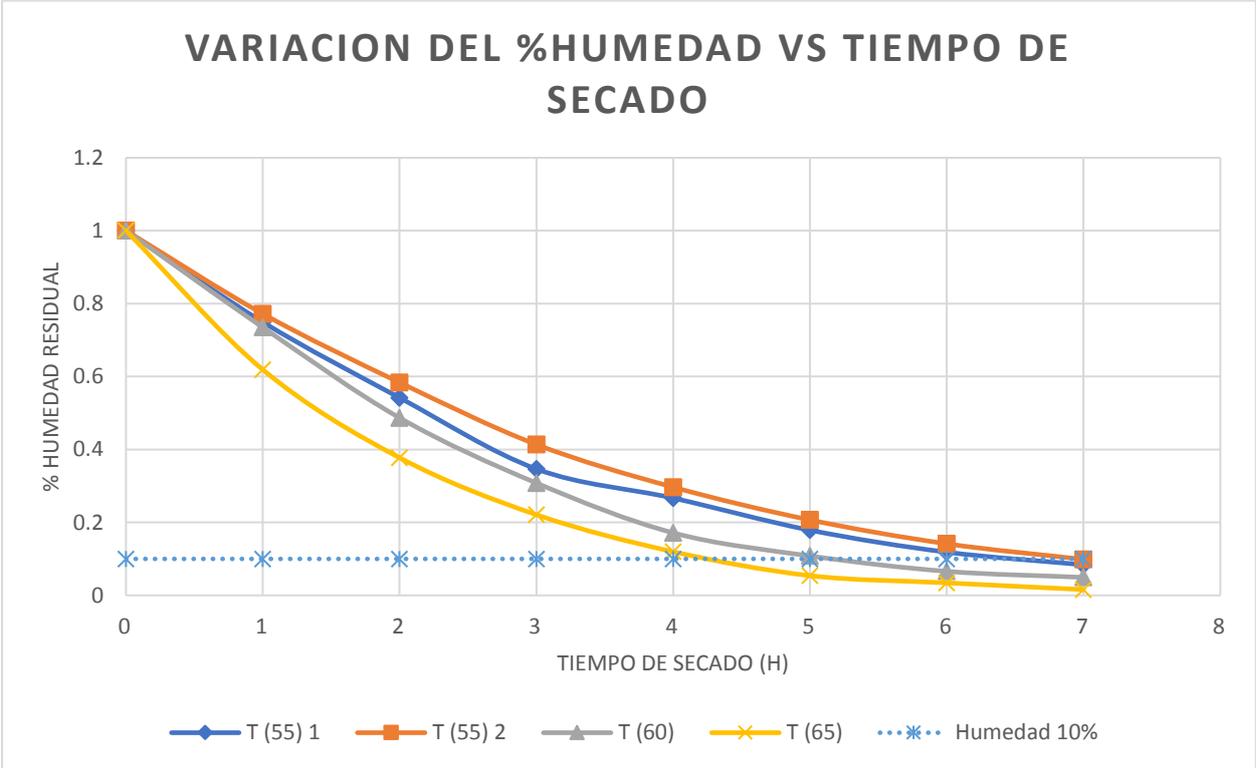


Gráfica A. 1 Curva de secado del experimento 1

Experimento 2: En la siguiente Tabla A.2 se muestra los resultados de las mediciones de humedad realizadas en el mango Tommy Atkins, en un periodo de 7 horas a 3 temperaturas diferentes. Mientras que en la Grafica A.2 se realiza la curva de secado con los resultados y se grafica el límite de 10% humedad (Campo, 2006).

Tabla A. 2 Porcentaje de humedad residual respecto al tiempo de secado del mango

Tiempo (h)	% Humedad residual			
	Temperatura (°C)			
	55 (1)	55 (2)	60	65
0	1	1	1	1
1	0.7494	0.7721	0.7350	0.6190
2	0.5420	0.5838	0.4868	0.3775
3	0.3466	0.4137	0.3081	0.2212
4	0.2668	0.2968	0.1715	0.1198
5	0.1788	0.2069	0.1082	0.0541
6	0.1185	0.1415	0.0659	0.0343
7	0.0839	0.0986	0.0493	0.0159



Gráfica A. 2 Curva de secado del experimento 2

APÉNDICE B

Carta psicrométrica para analizar el comportamiento y propiedades del aire a la entrada y salida de la cámara de secado.

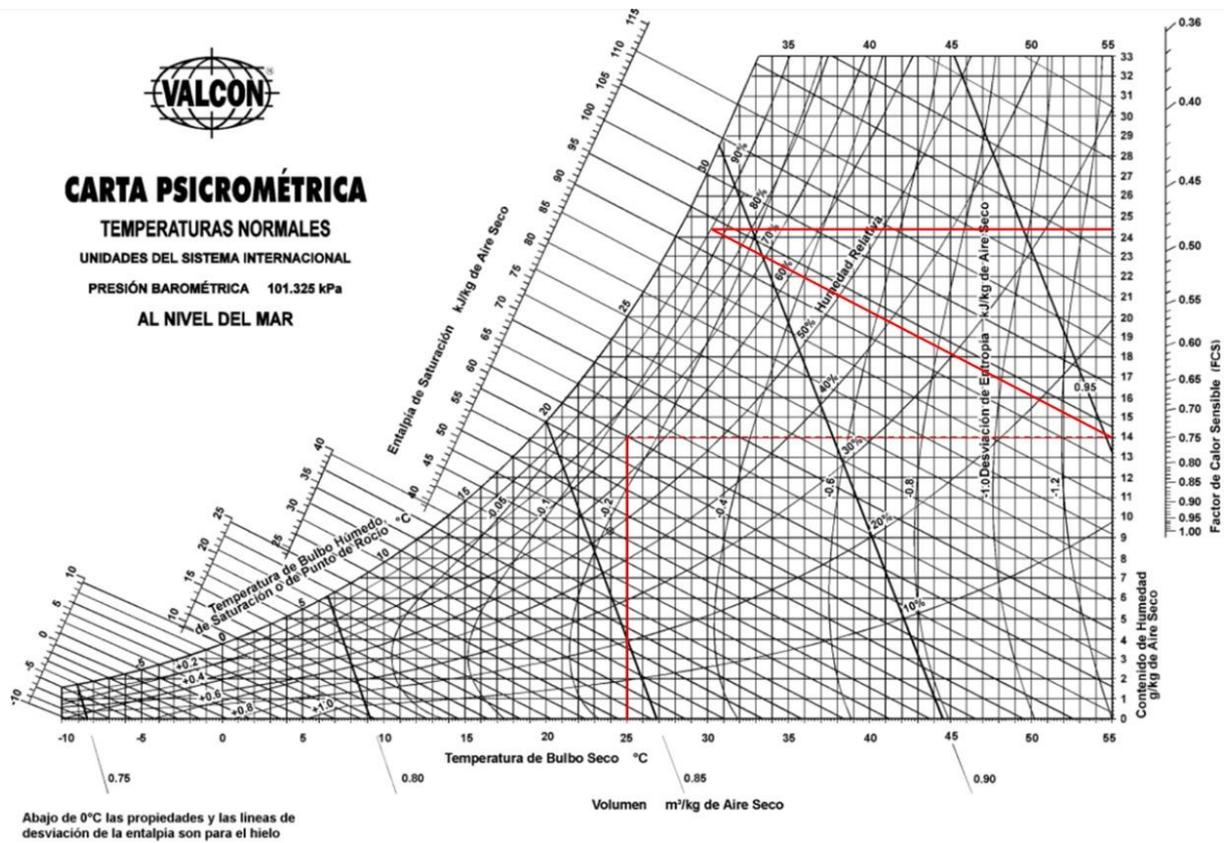


Figura B. 1 Carta psicrométrica de la entrada y salida de aire en la cámara de secado.

APÉNDICE C

Figuras de plano realizado en Inventor del diseño final del deshidratador de mango.

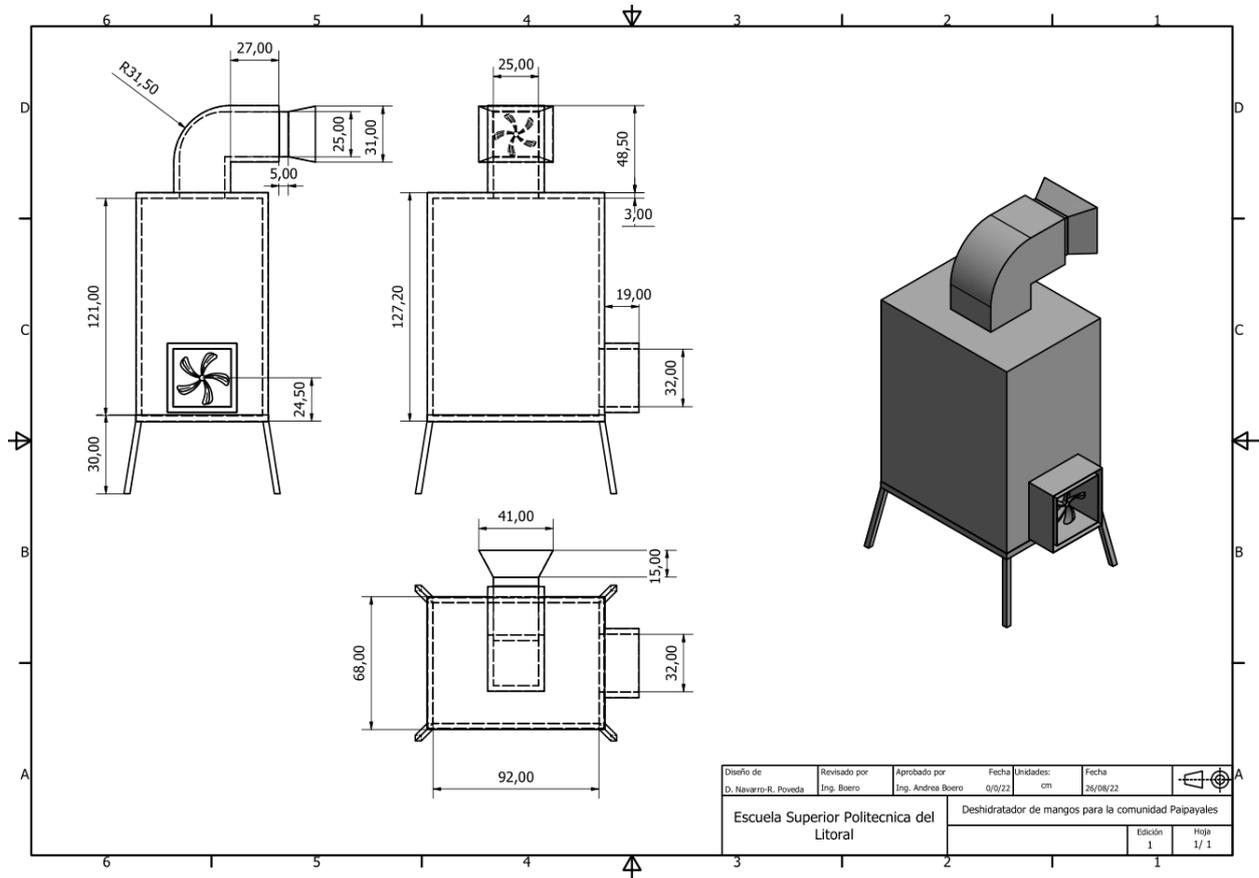


Figura C. 1 Plano y dimensiones del diseño final del deshidratador de mango.

APÉNDICE D

Capturas de páginas y catálogos usados como referencia para la selección de material, piezas y equipos utilizados en el diseño del proyecto.



Figura D. 1 Ventilador seleccionado según flujo volumétrico

El ventilador debe ser desarmado para solo implementar las aspas en el conducto de aire en la cámara de secado.



Figura D. 2 Extractor de aire seleccionado según flujo volumétrico.



Especificaciones:

Color: Blanco.

Tasa de enfriamiento del A/C (BTU/hora): 5.000 BTU

Área de cobertura del aire acondicionado (pies cuadrados): 150 pies cuadrados

Voltaje: 115 V/60 Hz.

Amperios: 3.9.

Número de velocidades de ventilador: 2.

Número de ajustes de temperatura: 2.

Función calefactor: No.

Control: Mecánica.

Rango de ventana: 23 a 36 pulgadas.

Relación de eficiencia energética (EER): 11.

Tipo de filtro Deslizamiento hacia fuera.

Rango de temperatura: 61 a 88 Fahrenheit.

Listado UL: Sí.

Figura D. 3 Acondicionador de aire seleccionado de 5000 BTU, como medio calentar el aire y secar el mango.



Ver imagen más grande



Añadir para co... [Compartir](#)

Bandeja reutilizable de malla perforada de metal de acero inoxidable de grado alimenticio

FOB Referencia Precio: [Consiga El Último Precio](#)

10,26 US\$ - 25,29 US\$ / Unidad | 10 Unidad/Unidades (Pedido mínimo)

Beneficios: [Cupones de USD 500 Reclamar ahora >](#)

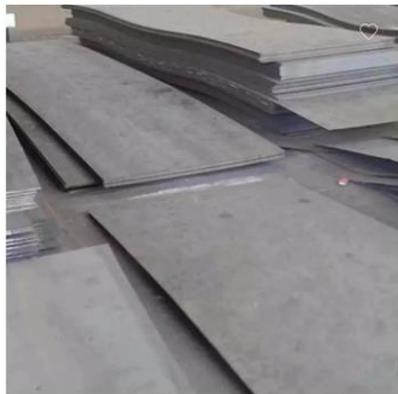
Color:

Talla:

Material:

Personalización: El tamaño y el estilo aceptan personalizar (Pedido mínimo 10 Unidades)

Figura D. 4 Bandejas de tipo malla realizadas a la medida.



Ver imagen más grande



Añadir para co... [Compartir](#)

Placa de acero de carbono negro, ASTM A36 ST37 S45C ST52, buena calidad, disponible en fábrica, precio bajo

1 - 49 Toneladas **790,00 US\$** 50 - 99 Toneladas **687,00 US\$** >= 100 Toneladas **585,00 US\$**

Beneficios: [Regalo de cupón de 3 días: hasta US \\$80 de descuento Reclamar ahora >](#)

Grosor:

Muestras: 4 ~ 60mm

750,00 US\$/Tonelada Pedido mínimo : 1 Tonelada [Comprar muestras](#)

Plazo de entrega: ⓘ

Quantity(Toneladas)	1 - 50	51 - 100	101 - 500	> 500
Hora del Est.(días)	5	10	15	Para negociar

Personalización: [Logotipo personalizado \(Pedido mínimo 50 Toneladas\)](#)
[Embalaje personalizado \(Pedido mínimo 20 Toneladas\)](#)

Figura D. 5 Planchas de acero ASTM A36 realizadas a la medida.



Hoja de acero inoxidable, 310, 309, 316, placa de acero inoxidable sus 304, precio por kg, hoja de metal inoxidable

FOB Referencia Precio: [Consiga El Último Precio](#)

1 - 9 Kilogramos **1,50 US\$** >= 10 Kilogramos **1,47 US\$**

Beneficios: Reembolsos rápidos en pedidos de menos de 1000 USD [Reclamar ahora >](#)

Calidad: Kilogramos

Muestras: **100,00 US\$/Kilogramo** Pedido mínimo: 1 Kilogramo [Comprar muestras](#)

Plazo de entrega:

Quantity(Kilogramos)	1 - 100	> 100
Hora del Est.(días)	15	Para negociar

Personalizacion: Embalaje personalizado (Pedido mínimo 3 Kilogramos)
Logotipo personalizado (Pedido mínimo 3 Kilogramos)
Más

Añadir para co... [Compartir](#)

Ver imagen más grande



Figura D. 6 Planchas de acero inoxidable AISI 304 realizadas a la medida.

También puede interesarte: sellos personalizados - maquina contadora de billetes - cloro granulado - variadores frecuencia

[Volver al listado](#) | [Industrias y Oficinas](#) > [Otros](#)



PhotoRoom®

**Resistencia Electrica 1500w
110v Calentar Agua, Piscina**

Figura D. 7 Resistencia eléctrica.

Las planchas de acero A36 y Inox 304, también se pueden cotizar y comprar por un precio similar en empresas como DIPAC, Aceros Catbol, TIVAL.