

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un deshidratador mecánico de frutas y verduras para
productores agrícolas en el Guayas.

INGE-2404

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Luis Fernando Ramírez Sierra

Miguel Andrés Crespo Arízaga

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Luis Fernando Ramírez Sierra

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a Dios que es Él quien me ha dado la fuerza para salir adelante, también se lo dedico a mi madre que ha sido el pilar fundamental para culminar esta etapa de mi vida. Finalmente, a mis hermanos quienes siguen de cerca mis logros y que espero puedan replicarlos y superarlos.

Miguel Andrés Crespo Arizaga

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia, quienes fueron los pilares fundamentales para poder culminar este tan ansiado camino. A mis profesores y tutores por sus valiosas enseñanzas y consejos durante mi etapa académica. A mis seres queridos, amistades y acompañante de vida quienes me alentaron a seguir cuando estaba a punto de decaer, sin duda alguna todos dejaron una huella permanente e imborrable y este trabajo es para ustedes.

Agradecimientos

Luis Fernando Ramírez Sierra

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible llegar hasta acá, profesores que con su gran vocación lograron que me involucre más en la carrera, amigos de la vida quienes siempre estuvieron pendientes de mi avance y finalmente mis amigos de carrera que con su gran ayuda esta ha sido una gran etapa.

Miguel Andrés Crespo Arizaga

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a Dios por sobre todas las cosas, por brindarme salud, sabiduría e inteligencia, a mi madre Gladys Arízaga, mi padre Javier Crespo, hermanos y familia en general por su paciencia y apoyo incondicional en todo momento sin importar las circunstancias. Agradezco a mis profesores y tutores quienes supieron guiarme durante mi trayectoria estudiantil. A mis queridos compañeros y amigos por brindarme su sincera amistad y a mi persona favorita Daniela por siempre estar a mi lado y darme ese aliento de 'tú puedes'. Gracias infinitas a todos ustedes, sin su aliento no hubiese sido capaz de lograrlo.

Declaración Expresa

Nosotros, Luis Fernando Ramírez Sierra y Miguel Andrés Crespo Arizaga acordamos y reconocemos que:

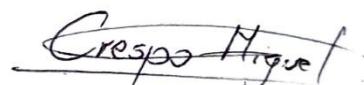
La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 06 de Febrero del 2024.



Luis Fernando Ramírez
Sierra



Miguel Andrés Crespo
Arizaga

Evaluadores

Miguel Quilambaqui, PhD

Profesor de Materia

Tutor de proyecto

Resumen

El diseño mecánico es una rama de la ingeniería mecánica encargada de la construcción, adaptación, innovación y creación de nuevas formas o sistemas antes de ser construidas. Este proyecto se basó en el diseño de una de una máquina deshidratadora de frutas y verduras que se ajustó a las necesidades básicas de un cliente oriundo de un sector rural de la provincia del Guayas. Con la finalidad de suplir las necesidades del usuario de aumentar la productividad de su emprendimiento, se prevé que el prototipo a diseñar impulse la producción y genere mayores ingresos. Para el desarrollo, se procedió a delimitar el diseño para un correcto funcionamiento del deshidratador, el Nopal fue el producto principal al que fue dirigido el dimensionamiento del equipo. Sin embargo, el prototipo funcional fue diseñado y simulado con la finalidad de secar cualquier fruto o verdura que el cliente necesite. Donde las velocidades del fluido en la cámara de deshidratado que se analizaron iban desde los 1,5 [m/s] hasta los 5[m/s], las temperaturas variables entre la temperatura ambiental y los 60°C. Finalmente, el diseño del deshidratador fue el esperado, donde la producción del cliente se incrementará impulsando su producción.

Palabras clave: Proyecto, Nopal, Deshidratado, Producción

Abstract

Mechanical design is a branch of mechanical engineering responsible for the construction, adaptation, innovation and creation of new forms or systems before being built. This project was based on the design of a fruit and vegetable dehydrating machine that was adjusted to the basic needs of a client from a rural sector of the province of Guayas. In order to meet the user's needs to increase the productivity of their enterprise, it is expected that the prototype design will boost production and generate greater income. For the development, the design was delimited for correct operation of the dehydrator, the Nopal was the main product to which the sizing of the equipment was directed. However, the functional prototype was designed and simulated with the purpose of drying any fruit or vegetable that the client needs. Where the fluid velocities in the dehydration chamber that were analyzed ranged from 1.5 [m/s] to 5 [m/s], the temperatures varied between ambient temperature and 60°C. Finally, the design of the dehydrator was as expected, where the client's production will increase by boosting its production.

Keywords: Project, Nopal, Dry, Production

Indices general

Resumen	I
Abstract	II
Indices general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas.....	X
Índice de planos	XI
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	4
1.3 Justificación del Problema	5
1.4 Objetivos	6
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	6
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	6
1.5 Marco teórico	6
<i>1.5.1 La deshidratación de frutas y verduras</i>	6
<i>1.5.2 Tipos de deshidratado</i>	8
<i>1.5.3 Tipos de deshidratadores</i>	9
<i>1.5.4 Fundamentos del deshidratado</i>	11
<i>1.5.5 Cinética del Secado</i>	14
Capítulo 2.....	19
2.1 Metodología.....	20
2.2 Parámetros físicos y químicos del Nopal.....	21
2.2.1 Parámetros Físicos	21

2.2.2	Parámetros Químicos.....	22
2.3	Metodología Experimental del Nopal.....	24
2.3.1	Secador de Túnel	24
2.3.2	Secador Convectivo de Flujo Transversal	25
2.3.3	Secador Solar Indirecto	27
2.4	Diseño conceptual.....	28
2.4.1	Requerimiento de diseño	28
2.4.2	Factores de influencia.....	29
2.5	Alternativas de solución.....	30
2.5.1	Alternativa#1: Deshidratador de horno	31
2.5.2	Alternativa#2: Deshidratador de túnel.....	32
2.5.3	Alternativa#3: Deshidratador de bandejas.....	33
2.6	Criterio de diseño.....	34
2.7	Matriz de Selección.....	35
2.8	Diseño de forma del deshidratador	36
2.8.1	Fundamentos de diseño	37
2.9	Elaboración de planos mecánicos del deshidratador	42
2.10	Simulación.....	42
2.11	Prototipo.....	43
	Capítulo 3.....	44
3.1	Resultados y análisis	45
3.1.1	Volumen de producto necesario para la deshidratación	45
3.1.2	Dimensionamiento de Cámara de deshidratado	45
3.1.3	Disposición de producto y mallas.....	47
3.1.4	Dimensiones de la cámara de deshidratado	49
3.1.5	Cálculos de la masa en el secado.....	49
3.1.6	Valores durante el secado	50

3.1.7	Balance de masa y energía del sistema.....	51
3.1.8	Suministro de calor a la cámara de secado	53
3.1.9	Selección de ventilador.....	54
3.1.10	Tiempo de secado	56
3.1.11	Análisis de simulación.....	57
3.1.12	Análisis de costos de manufactura.....	64
Capítulo 4	.....	68
4.1	Conclusiones y recomendaciones	69
4.1.1	Conclusiones.....	69
4.1.2	Recomendaciones	70
REFERENCIAS	.....	71
BIBLIOGRAFIA	.....	71
Apéndice	.....	75
MANUAL DE OPERACIÓN	.....	79
Medidas de Seguridad	.....	79
Otras recomendaciones	.....	79
Plan de Mantenimiento de la Máquina Deshidratadora	.....	80

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
NMX	Norma Mexicana
AISI	Instituto Americano de Hierro y Acero

Simbología

kW	Kilovatio
Wo	Masa del Nopal Húmedo
Sd	Masa de agua evaporable
Swf	Contenido de humedad
Wf	Masa total del Nopal en base seca
Swc	Masa crítica inicial
Wc	Masa crítica en base húmeda
Tin	Temperatura en la cámara de deshidratado
Ta	Temperatura ambiente
X1=X3	Espesor de las paredes de Acero Inoxidable
X2	Espesor del aislante
K1=K3	Constante de conductividad del acero inoxidable (15 W/mK)
K2	Constante de conductividad del aislante (0,24 W/mK)
A	Área de las paredes de la cámara de deshidratado
Hint	Coficiente de transferencia de calor interno
Hext	Coficiente de transferencia de calor externo/interno
QT	Cantidad de energía total
Cp	Calor específico del aire a 60°C
ΔT	Variación de temperatura en la cámara de deshidrata

Índice de figuras

Figura 1	8
Figura 2	15
Figura 3	16
Figura 4	20
Figura 5	21
Figura 6	25
Figura 7	26
Figura 8	28
Figura 9	31
Figura 10	32
Figura 11	33
Figura 12	37
Figura 13	46
Figura 14	48
Figura 15	49
Figura 16	51
Figura 17	52
Figura 18	52
Figura 19	55
Figura 20	55
Figura 21	59
Figura 22	59
Figura 23	60
Figura 24	61
Figura 25	62
Figura 25	63
Figura 26	63
Figura 28	64
Figura 29	75
Figura 30	76
Figura 31	77

Figura 32 78

Índice de tablas

Tabla 1	7
Tabla 2.....	10
Tabla 3.....	13
Tabla 4.....	21
Tabla 5.....	22
Tabla 6.....	24
Tabla 7.....	26
Tabla 8.....	27
Tabla 9.....	28
Tabla 10.....	31
Tabla 11.....	32
Tabla 12.....	33
Tabla 13.....	34
Tabla 14.....	34
Tabla 15.....	35
Tabla 16.....	38
Tabla 17.....	38
Tabla 18.....	45
Tabla 19.....	46
Tabla 20.....	48
Tabla 21.....	50
Tabla 22.....	50
Tabla 23.....	54
Tabla 24.....	58
Tabla 25.....	60
Tabla 26.....	65
Tabla 27.....	66
Tabla 28.....	66
Tabla 29.....	80

Índice de planos

Plano 1 Vista Explotada del Deshidratador	81
Plano 2 Cuerpo interno del deshidratador	82
Plano 3 Vista en perspectiva del deshidratador.....	83
Plano 4 Vista Frontal de la distribución de trozos de cladodio en bandeja-malla	84

Capítulo 1

1.1 Introducción

El Ecuador es un país con abundante flora y fauna gracias a su ubicación privilegiada en América del Sur. La gran variedad de flora que crece en la zona tropical y ecuatorial permite que el Ecuador posea una amplia diversidad de verduras y frutas, las mismas que pueden ser consumidas de forma fresca o procesadas en conservas, deshidratadas y frutos secos. Los múltiples métodos para el procesamiento existentes en el mercado han sido de gran ayuda para satisfacer la demanda de clientes locales y extranjeros. Pro-Ecuador, entidad adjunta al Viceministerio de Promoción de Exportaciones e Inversiones, señala que el mango, piña y kiwi son unas de las frutas de mayor exportación, junto a esto se suma las necesidades de mercado local incluyendo a la papaya hawaiana, naranja, mandarina y nopal. Estos datos orientan a la búsqueda de un método efectivo de procesamiento para la conservación de las distintas frutas y hierbas, donde la deshidratación es uno de los procesos más eficaces a la hora de preservar los productos, este proceso está enfocado en la búsqueda de la disminución del peso neto al momento de transportar, el aumento de vida para el consumo y la facilidad de empaquetado.

El nopal es una fruta obtenida de los cactus, un producto de uso masivo en México dado a sus beneficios medicinales y su uso ancestral en platos típicos de la cultura azteca. Esta fruta es de gran ayuda para la prevención de varias enfermedades que afectan a una alta población en el Ecuador. Según el reportaje “La producción de tuna, una actividad rentable” hecha por el ministerio de Agricultura y Ganadería, en el Ecuador existe una significativa producción de tuna, el cuál es otro fruto proveniente del cactus, las principales provincias donde se cultiva el cactus para el tratamiento y producción exclusiva de tuna es en Imbabura, Loja, Santa Elena y Tungurahua, donde se estima una extensión de al menos 180 hectáreas. En la producción de Nopal, Ecuador no posee datos debido a que su consumo no es común a diferencia de otros países como México. (Ministerio de Agricultura y Ganadería , 2017)

En Ecuador, la demanda de productos más saludables ha aumentado significativamente, impulsada por un cambio en los hábitos de consumo y una mayor preocupación por la salud. Según un informe de Ernst & Young, el 42% de los hogares ecuatorianos se preocupa más por su salud, lo que ha llevado a un incremento en la compra de alimentos saludables en el segmento de consumo masivo.

Esta tendencia se ha reflejado en un mayor interés por alimentos como cereales light, granola, galletas saludables, edulcorantes, pan integral y bebidas vegetales. Empresas del sector de alimentos han respondido a esta demanda desarrollando nuevos productos, como carne vegetal y alimentos con fórmulas más naturales y menos ingredientes nocivos.

La preocupación por la salud también se ha traducido en un aumento en la demanda de alimentos con beneficios nutricionales, como snacks saludables y productos congelados y precocidos. Esta tendencia se ha visto reforzada por la aprobación de nuevos portafolios de alimentos procesados con enfoque en la salud, como opciones sin gluten y para diabéticos. Además, la demanda de productos orgánicos también ha ido en aumento, con un creciente interés en alimentos frescos y certificados como orgánicos.

Para alargar el ciclo de vida de frutas y verduras en anaquel, es importante seguir ciertas prácticas que permitan mantener su frescura y calidad por más tiempo, entre los que constan; almacenamiento adecuado, manipulación cuidadosa, envasado adecuado, control de temperatura, siguiendo estas prácticas, es posible alargar el ciclo de vida de las frutas y verduras en anaquel y reducir el desperdicio de alimentos.

El proceso de deshidratación permite la introducción de conocimientos ingenieriles con el objetivo de encontrar la manera óptima de tratamiento de deshidratado, conservando las propiedades organolépticas de las distintas frutas y verduras (Pro Ecuador, 2020).

Por otro lado, la deshidratación de alimentos según la revista *Journal of Food Engineering* en la publicación “Design of a dryer for citrus peels” nos dice que es un proceso

energético intensivo que tiene como objetivo el remover la humedad de los distintos cuerpos por medio de evaporación, en donde generalmente el proceso es altamente influenciado por las condiciones en las que se procesa y la estructura del elemento a deshidratar (Carsky, 2008).

Hoy en día la atención a la salud personal ha incrementado debido a la aparición de nuevas enfermedades, virus, bacterias, etc. Por lo que el principal medio de salud preventiva y fortalecimiento del sistema inmune es la alimentación sana y balanceada. El consumo de frutos secos y hierbas deshidratadas ha ido en auge lo que paulatinamente da cabida a la disponibilidad de nuevas marcas y productos, permitiendo a pequeños y medianos emprendedores entrar al mercado y así colaborar con su economía y sostenibilidad.

Este proyecto se basa en el diseño y construcción de un prototipo de deshidratador enfocado en frutas y hierbas, que, con la finalidad de suplir las necesidades de pequeños agrícolas rurales del Guayas, permitirá la extracción óptima de humedad mediante la inducción de calor controlado.

1.2 Descripción del Problema

La falta de construcción mecánica para secadores de verduras y frutas entre los pequeños agricultores de la provincia del Guayas se puede resumir en los siguientes aspectos:

El pequeño productor no cuenta con suficientes herramientas mecánicas y servicios para el drenaje de frutas y verduras en la provincia del Guayas.

La falta de construcción mecánica para secar frutas y verduras complica la producción de alimentos, lo que afecta la seguridad alimentaria y el bienestar de la población.

El secado de frutas y verduras es un proceso crítico post cosecha y la falta de un diseño mecánico adecuado puede causar problemas en ese proceso.

La competitividad se debilita: los pequeños agricultores enfrentan el desafío de seguir siendo competitivos en el mercado debido a la falta de herramientas y servicios mecánicos adecuados.

La adopción de un diseño mecánico apropiado para el secado de frutas y verduras puede contribuir al crecimiento económico y la productividad de los pequeños agricultores de la provincia del Guayas.

1.3 Justificación del Problema

La investigación se fundamenta en la necesidad de introducir tecnologías apropiadas que permitan a los pequeños agricultores agregar valor a sus productos, aumentar su tiempo de vida y reducir las pérdidas post cosecha. Esto es consistente con la teoría del desarrollo sostenible y seguridad alimentaria, que promueven la eficiencia de los recursos y la generación de ingresos en las comunidades rurales.

Para el desarrollo del proceso de deshidratación, se va a tomar en cuenta la aplicación de métodos técnicos en el diseño de secado, considerando, por ejemplo, selección de materiales, cálculos de transferencia de calor y dimensiones de los componentes. También incluye la ejecución de pruebas y validación experimental para asegurar el óptimo funcionamiento de los equipos en el entorno específico de la provincia del Guayas. Esto está respaldado por la metodología de desarrollo de productos y la planificación de procesos.

Por razones prácticas, un deshidratador de frutas y verduras contribuye directamente a la diversificación de la oferta de productos agrícolas, permitiendo a los pequeños productores utilizar excedentes de estos insumos e ingresar a nuevos mercados con productos de mayor valor agregado. Además, ampliar la vida útil de los productos reduce las pérdidas financieras y contribuye a la estabilidad de los ingresos de los agricultores. Desde un punto de vista

práctico, la secadora debe ser asequible, fácil de usar y mantener y adaptada a las condiciones y necesidades locales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una máquina deshidratadora de frutas y hierbas que se ajuste a las necesidades del sector rural del Guayas.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros necesarios y curvas de secado para el diseño de la máquina deshidratadora.
2. Seleccionar todos los componentes mecánicos y eléctricos para el diseño y construcción de un prototipo de la máquina.
3. Establecer especificaciones técnicas para el funcionamiento del sistema del deshidratador.
4. Realizar el manual de operación y mantenimiento de la máquina.

1.5 Marco teórico

1.5.1 La deshidratación de frutas y verduras

La deshidratación de frutas y verduras es un proceso de conservación que implica la extracción del agua de estos alimentos, lo que ayuda a prevenir la descomposición y prolongar su vida útil. Existen varios métodos para deshidratar diferentes tipos de alimentos, incluyendo el deshidratado al sol y el uso de deshidratadores. En el deshidratado al sol, las frutas, verduras y flores se exponen a la luz solar directa en un deshidratador solar, lo que acelera el proceso de deshidratación y proporciona resultados consistentes (Llano, 2020).

Por otro lado, el deshidratado de frutas y hierbas casero implica un proceso cuidadoso que requiere una temperatura de secado gradual y homogénea para no modificar la estructura del alimento (Cajamarca, Mendoza, & Baño, 2019).

De acuerdo con Hernández et al., (2017) el tiempo de deshidratación varía según el tipo de alimento, el tamaño de los trozos, la temperatura y el nivel de humedad del aire. Es importante evaluar adecuadamente el final del proceso de deshidratación para evitar que los alimentos se deterioren rápidamente (págs. 22 - 33).

La deshidratación de frutas y verduras por inducción de aire caliente ofrece varias ventajas:

Tabla 1

Deshidratación por inducción de aire caliente

Ventajas	Características
Conservación de nutrientes	Al eliminar el agua, la deshidratación preserva los nutrientes de las frutas y verduras, ya que el riesgo de desarrollo microbiano se disminuye significativamente.
Prolongación de vida útil	La deshidratación alarga la vida de los alimentos, ya que, al perder parte de su contenido de agua, su degradación se retrasa, lo que permite su almacenamiento por más tiempo sin que se deteriore.
Facilidad de almacenamiento	Los alimentos deshidratados ocupan menos espacio y son más ligeros, lo que facilita su almacenamiento y transporte.
Sabor concentrado	La deshidratación potencia el sabor de las frutas y verduras, lo que las hace más sabrosas y atractivas para su consumo.
Versatilidad en el uso	Los alimentos deshidratados pueden ser consumidos como snacks, utilizados en la preparación de diferentes platos o

incluso molidos para ser utilizados como potenciadores del sabor.

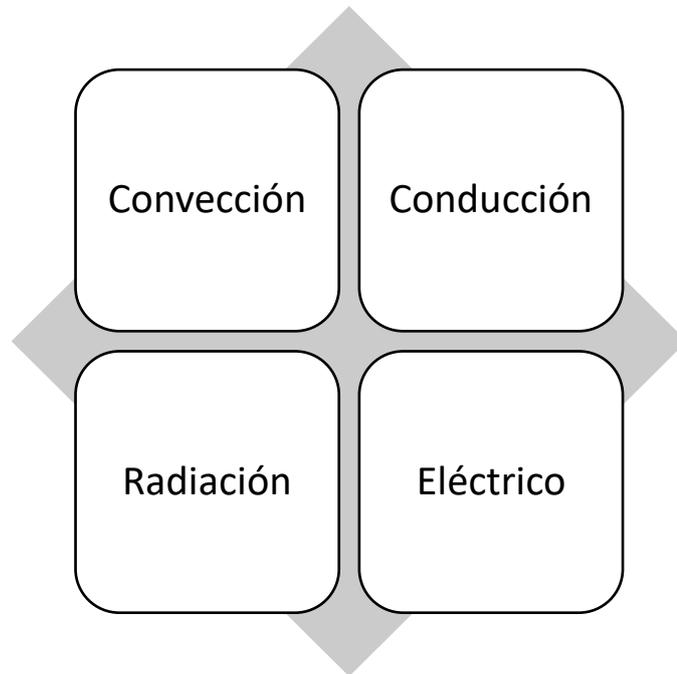
Nota: la presente tabla, muestra las ventajas de la deshidratación de frutas y verduras por inducción Fuente: (Campo, Gèlvez, & Ayala, 2018)

1.5.2 Tipos de deshidratado

Existen varios tipos de deshidratado con los que se podría llegar a la remoción de humedad de los alimentos:

Figura 1

Tipos de deshidratado



Nota: (Camayo, Pablo, Eguavil, Massipe, & Quispe, 2020)

Todos los métodos mencionados tienen como finalidad la extracción de humedad de algún producto en específico. Lo importante es contemplar que método es más adecuado según el producto. (López, 2019)

1.5.3 Tipos de deshidratadores

Hay dos tipos principales de deshidratadores de alimentos: horizontales y verticales. Las secadoras horizontales son parecidas a un horno y tienen bandejas apiladas una encima de la otra, mientras que las secadoras verticales están una al lado de la otra. Ambos tipos son adecuados para secar frutas, verduras, carne, pescado y hierbas (Marulanda & Burbano, 2021).

Los deshidratadores de alimentos son útiles para conservar los alimentos por más tiempo, mejorar sus sabores y crear snacks saludables. Algunos modelos tienen termostatos y temporizadores ajustables para un control preciso de la temperatura y el tiempo de secado. El valor nutricional de los alimentos secos es mayor que en su estado natural, por lo que son ideales para la práctica deportiva (Acosta, Pèrez, & Angeles, 2023).

Los tiempos y temperaturas de secado dependen del tipo de alimento. Por ejemplo, secar fruta suele requerir de 8 a 10 horas a 55°C, mientras que secar carne y pescado a 60°C requiere de 4 a 6 horas (Par, 2017)

Los deshidratadores verticales se caracterizan porque las bandejas van apiladas unas sobre otras, todo ello sobre una plataforma que se encarga de hacer circular el aire a través de ellas. Son modelos bastante versátiles y se pueden utilizar para una gran variedad de platos (García, Pedrero, & Pèrez, 2022).

Los deshidratadores horizontales parecen un pequeño horno y su ventilador está ubicado en la parte trasera de la máquina, el cual se encarga de liberar aire caliente que asegura una distribución más uniforme y efectiva de la temperatura (García, Pedrero, & Pèrez, 2022).

Entre los tipos de deshidratadoras, destacan los siguientes:

Tabla 2*Tipos de deshidratadores*

Tipo	Característica
Deshidratador de horno	Consta de dos partes: un suelo de cartón ondulado que separa el secado y la calefacción. El producto se coloca sobre una placa ranurada y se aplica aire caliente desde abajo al elemento de secado a través de las ranuras.
Deshidratador de bandeja	Este posee una cámara de deshidratado donde se alojan bandejas de acero inoxidable en las cuales se asientan las frutas. El producto en el interior es expuesto al flujo de aire caliente generado por una serie de resistencias eléctricas y transportado por acción de un ventilador centrífugo. A través de un conducto de salida se expulsa aire húmedo y por la entrada ingresa aire fresco.
Deshidratador de túnel	La fruta ingresa luego de ser lavada a unos rodillos inclinados hasta caer a un segundo piso de rodillos y posteriormente a un tercero paralelo donde su superficie entrará en contacto con la corriente de aire ejercida por un ventilador centrífugo. El calor generado por un sistema de calefacción circula a través de las carretillas y se evacua el producto mientras las restantes toman la posición de la anterior.
Deshidratador de gabinete	Esta unidad se utiliza más comúnmente para obtener capacidades de procesamiento de tamaño pequeño a mediano, aproximadamente de 10 a 35 kg de producto por hora. Según la escala de producción, existen dos modelos básicos: tipo

	<p>armario con palets y tipo armario con carro. En ambos sistemas, el aire fresco ingresa a la cámara, pasa a través de una fuente de calor y es empujado por un ventilador hasta la bandeja que contiene el producto a hidratar.</p>
Deshidratador de banda	<p>El sistema de estos deshidratadores es muy parecido al de los deshidratadores de túnel, excepto que los alimentos se esparcen sobre una sencilla cinta de acero inoxidable que se mueve continuamente mediante aire caliente. La ventaja de este equipo es que facilita la manipulación del producto y reduce el coste laboral de carga y descarga de pallets en túneles.</p>

Nota: La presente tabla, muestra los tipos de deshidratado Fuente: (Delgadillo, Bàrcenas, Vaca, & Cruz, 2023)

1.5.4 Fundamentos del deshidratado

La deshidratación de frutas y demás alimentos es un proceso en el que el calor elimina casi toda el agua del producto sin alterar sus nutrientes, vitaminas y minerales. Esta técnica de conservación se utiliza desde la antigüedad y tiene varias ventajas como la conservación de los alimentos, el ahorro de espacio y la facilidad de preparación, empaque y almacenamiento, y no requiere de congelador o refrigerador para su conservación (Montes, y otros, 2023) (García, Pedrero, & Pèrez, 2022).

La deshidratación se puede efectuar mediante varios métodos, como una secadora eléctrica, un horno convencional o incluso la luz solar. Los alimentos secos son fáciles de preparar y ahorran tiempo y energía

La deshidratación de frutas es especialmente útil para conservar alimentos en épocas de escasez y para su transporte y manipulación. Además, permite conservar todos los alimentos (frutas, verduras, carnes, pescados, setas, hierbas, especias) y mantener sus propiedades nutricionales (Armendariz, 2017).

Los alimentos que pueden deshidratarse son las frutas, las hortalizas, las legumbres, los hongos, las especias, la leche y los huevos.

Por otro lado, el proceso de secado es la reducción de la cantidad de agua mediante el tratamiento del alimento en viento, etc., es decir, de manera natural o artesanal. Sin embargo, también pueden presentar desventajas, como la pérdida de vitaminas hidrosolubles y la pérdida de características organolépticas, como olor, color, sabor y textura.

Temperatura. La temperatura de secado de frutas, verduras y otros alimentos varía según el alimento. Por ejemplo, la temperatura de secado de las frutas suele ser de 57-63 °C, mientras que para las hierbas y especias ronda los 40 °C. El tiempo de secado también varía, pero suele ser de 6 a 10 horas para frutas, verduras y carne, y de 4 a 6 horas para hierbas y especias (Ladròn, 2019).

Cardona et al., (2021) mencionan que, si la temperatura es demasiado alta al secar los alimentos, estos pueden endurecerse y no se puede eliminar la humedad, lo que puede provocar que el producto se oxide por la concentración de agua. Por otro lado, si la temperatura es demasiado baja, los alimentos pueden permanecer en la "zona de peligro" durante demasiado tiempo, aumentando el riesgo de contaminación. Además, el secado a altas temperaturas puede provocar cambios irreversibles en los alimentos, como pérdida de textura y pérdida de vitaminas.

Por lo tanto, es muy importante mantener la temperatura dentro de los límites recomendados para cada tipo de alimento para lograr una separación de líquidos segura y de alta calidad.

Flujo de aire. Secar frutas, verduras, hievas y otros alimentos es un proceso que se realiza para conservarlos y facilitar su almacenamiento. El flujo de aire es un factor clave en este proceso, ya que ayuda a eliminar la humedad y conservar los alimentos.

A continuación, se muestra un resumen detallado del proceso de secado y su relación con el flujo de aire:

Tabla 3

Proceso de secado para una fruta

Actividad	Descripción
Selección de fruta:	Seleccionar fruta sana y madura sin signos de daño o deterioro.
Limpieza y preparación	Lavar y pelar la fruta, quitando las partes más duras como semillas y piel.
Remojar en agua	Remojar la fruta en agua durante 20 minutos para eliminar las bacterias y aumentar la vida útil.
Secado	Colocar la fruta en una sartén y secar con papel absorbente o al sol para quitar la humedad.
Secadora	Coloque la fruta en un recipiente con orificios para el flujo de aire para ayudar a eliminar la humedad y promover un secado uniforme.
Monitoreo de temperatura y tiempo	El secado debe realizarse a una temperatura máxima de 45 grados centígrados durante 24 horas. Si la humedad es mayor se debe prolongar el tiempo de secado.
Almacenamiento	Los frutos secos se pueden almacenar en un recipiente con tapa de botella para mantener su frescura y calidad.

Nota: La presente tabla, muestra el proceso de secado de la fruta Fuente: (Acosta, Pèrez, & Angeles, 2023)

El flujo de aire es importante en este proceso porque ayuda a eliminar la humedad y preservar los alimentos durante el secado. Además, el secado en secadora permite conservar la fruta sin añadir ingredientes ni conservantes, lo que mantiene y preserva sus propiedades organolépticas y nutricionales.

1.5.5 Cinética del Secado

Actividad de agua. Es un factor crítico en la cinética de secado y el proceso de secado de frutas y otros alimentos. Esta se refiere a la cantidad de agua disponible para reacciones químicas y biológicas en un producto. Si se elimina agua del producto durante el secado, la actividad del agua disminuye y se producen una serie de cambios físicos y químicos en el producto (Serrano & Auquiñivin, 2020).

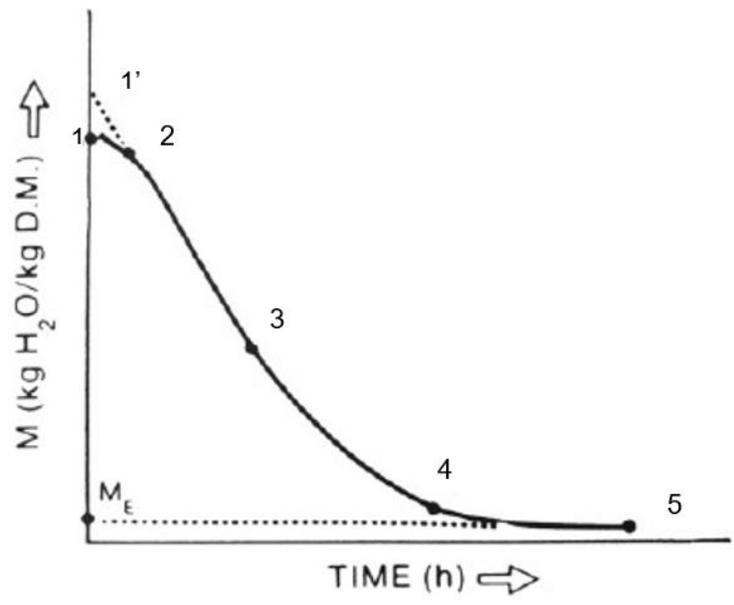
Durante el secado, el agua se evapora de la superficie del producto y se extiende a la superficie para reemplazar el agua evaporada. La tasa de evaporación depende de la diferencia de presión de vapor entre la superficie del producto y el aire circundante, así como de la temperatura y la velocidad del aire. Cuando se elimina el agua del producto, la actividad del agua disminuye y se producen una serie de cambios físicos y químicos en el producto (Inocente, Eccoña, & Silva, 2021).

La disminución de la actividad del agua durante el proceso de secado puede tener varios efectos sobre el producto. En primer lugar, puede afectar la estructura del producto, provocando que este sea más duro o quebradizo. En segundo lugar, puede afectar el sabor y aroma del producto, debido a que la eliminación de agua puede enriquecer el producto con compuestos aromáticos. En tercer lugar, puede afectar la estabilidad del producto, porque la eliminación de agua puede hacer que el producto sea más susceptible a la oxidación y degradación (Torres, Martínez, Serna, & Hernández, 2019).

Curvas de Secado. De acuerdo con Iglesias et al., (2018) para la primera etapa (1-2) se genera un calentamiento del material en estado sólido, donde se alcanza un equilibrio del aire seco con la superficie delimitada de la cámara. En la segunda etapa (2-3) se produce la saturación en la superficie del sólido, en donde se genera un movimiento veloz de humedad. En dicha etapa, la velocidad de secado controla la velocidad de transferencia de energía, por ello, la superficie del producto está saturada con agua líquida porque la velocidad del agua a través del sólido es mayor que la velocidad de evaporación. Esta fase está influenciada por el coeficiente de transferencia de calor, la diferencia de temperatura y la humedad relativa de las superficies húmedas y el aire seco (págs. 16 - 21).

En la tercera fase (3-4) hay un retraso en la absorción de agua interfacial debido al aumento del espesor de la capa del producto deshidratado y la disminución de la permeabilidad al vapor. El agua del interior se consume al mínimo, se reduce la presión parcial del vapor y se reduce la velocidad de secado. En la etapa final (4-5), la humedad del aire debe reducirse con un ventilador, ya que la cantidad de exceso de agua al final del proceso de secado será igual a la humedad relativa del aire (Iglesias, y otros, 2018).

Figura 2
Deshidratador de túnel



Nota: Proceso de deshidratado en un deshidratador de túnel. Fuente: (Vegas, Iris, & Vegas, 2017)

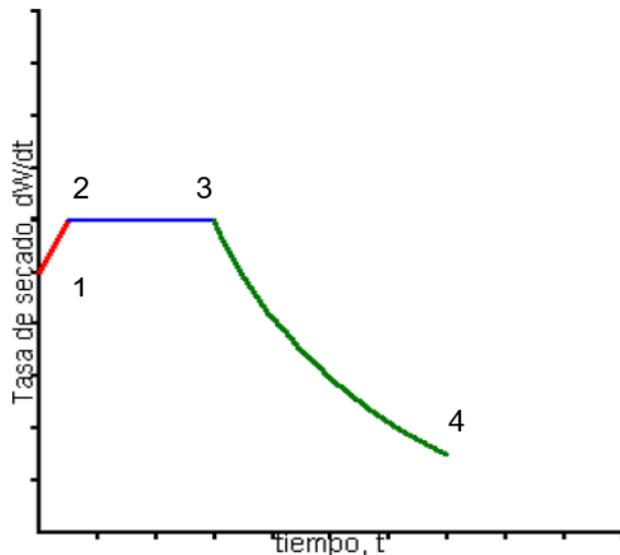
Velocidad de Secado. En la primera etapa (1-2), hay un período de estabilización inicial cuando la fruta o verdura alcanza la temperatura de bulbo húmedo. Luego se seca el alimento, liberando el mayor porcentaje de agua del interior a la superficie a una velocidad igual a la velocidad de evaporación (Hernández, Olvera, Guzmán, & Morillón, 2017).

Durante la segunda etapa (2-3), la temperatura del producto alimenticio permanece constante y alcanza la temperatura de bulbo húmedo hasta que se alcanza un contenido de humedad crítico en el producto.

La velocidad de deshidratación disminuye (3-4) cuando la humedad de la superficie es eliminada, por efecto de la evaporación de la humedad del interior, esto se puede representar gráficamente con la tasa de cambio de secado vs el tiempo (Hernández, Olvera, Guzmán, & Morillón, 2017).

Figura 3

Curva de velocidad de secado



Nota: (Camayo, Pablo, Eguavil, Massipe, & Quispe, 2020)

Tiempo de Secado. El tiempo de secado de frutas y otros alimentos varía según el tipo de alimento, su espesor y la temperatura utilizada. En general, las verduras se secan en 12 a 18 horas en condiciones favorables, mientras que las frutas pueden tardar hasta 36 horas o cinco días debido a su mayor contenido de agua (Cardona, Patiño, & Ormaza, 2021).

Es importante que los alimentos se sequen adecuadamente antes de almacenarlos, y existen recomendaciones de espesor específicas para cada tipo de alimento. El espesor de la rebanada es un factor importante porque afecta la uniformidad del secado (Vindas, 2021).

La temperatura del aire y la humedad relativa afectan el tiempo de secado, la temperatura ideal para secar la fruta es de alrededor de 55°C. La velocidad del aire y la radiación solar también juegan un papel crucial en el proceso de secado.

Es importante que los alimentos se sequen adecuadamente antes de almacenarlos, y existen recomendaciones de espesor específicas para cada tipo de alimento.

También es necesaria la evaluación al final del secado para garantizar la calidad del producto. De hecho, la temperatura ideal para secar la fruta es 55 °C.

Para evaluar si el secado fue satisfactorio se debe utilizar un método confiable que determine si el secado fue suficiente, porque de no serlo, los productos pueden deteriorarse en poco tiempo y no se puede aceptar su textura y color.

Transferencia de calor y masa. Existen dos procesos de flujo para transferir el calor y masa:

- Flujo por convección forzada: En este proceso, el aire del agua de secado es movido por un ventilador, lo que permite una buena distribución del calor y el secado en las bandejas. El aire caliente suministrado por el ventilador se expulsa de la secadora a través de un sistema de escape. Este tipo de flujo requiere energía

para impulsar el ventilador y el sistema de control para su funcionamiento (Porta, 2023).

- Flujo por convección natural: El flujo de aire en el interior del deshidratador se mueve debido al diferencial de temperatura producida por las resistencias eléctricas, las paredes y la temperatura interna del producto. A diferencia de la convección forzada se necesita un control sobre las resistencias eléctricas, lo cual, en equipos de alta capacidad, requiere un mayor tiempo de exposición (Porta, 2023).

Capítulo 2

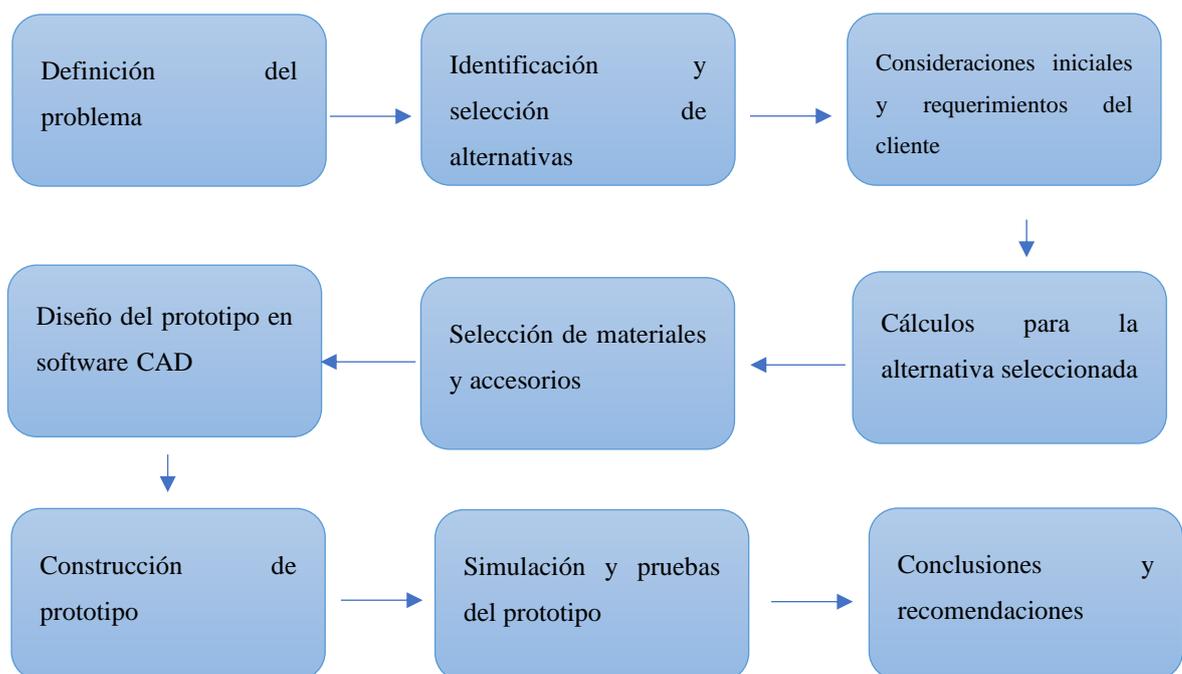
2.1 Metodología.

En esta sección se explicó la metodología de diseño utilizada para la implementación del prototipo. Esta cumplió con las necesidades del cliente con un aumento en la producción de sus insumos de 290 a 1000 al mes. Para evaluar el funcionamiento de la máquina se escogió un producto, el cual permitió dimensionar el equipo para que su eficiencia sea óptima y sus pérdidas mínimas. Para ello, se cumplió con los diferentes objetivos planteados y especificaciones de construcción en base a ensayos de prueba y error de las curvas existentes del Nopal.

- Costo de construcción para el cliente.
- Consumo energético.
- Producción mensual de productos comercializados
- Alcance del proyecto.
- Diseño y tipo de deshidratador

Figura 4

Metodología de diseño



2.2 Parámetros físicos y químicos del Nopal

2.2.1 Parámetros Físicos

Las características del Nopal se basan en su apariencia, dimensiones, forma y textura.

Algunas de estas características son importantes para la calidad y consumo del nopal.

Figura 5

Aspectos físicos del Nopal



Nota: Fuente (Velásquez, Hidalgo, & Rodríguez, 2020)

A continuación, se detallan algunos parámetros físicos del Nopal:

Tabla 4

Parámetros físicos Nopal

Tipo	Característica
Aspecto	El nopal debe estar fresco, limpio, sano y libre de hongos. Además, debe ser sólido y no contener agua extraña.

Dimensiones	La longitud de los cladodios de los nopales varía de 18,1 a 25 cm.
Forma	La forma del nopal es importante por su calidad y debe mantenerse en forma de maza.
Estructura	Los tejidos del nopal varían mucho en fuerza o resistencia a la penetración. La textura del cactus puede ser blanda o dura, según la variedad y las condiciones de cultivo.

Nota: (Velásquez, Hidalgo, & Rodríguez, 2020)

En materia de estándares de calidad, existen dos normas oficiales en México: la norma mexicana NMX-FF-068-SCFI-2006 y la norma internacional del Codex Alimentarius. Ambas normas establecen requisitos similares para la calidad de los cactus, como longitud, grosor, variedad y salubridad.

2.2.2 Parámetros Químicos

El Nopal, también conocido como *Opuntia ficus-indica*, es una planta originaria de América que se ha utilizado durante siglos como alimento y medicina. A continuación, se detallan los parámetros químicos:

Tabla 5

Parámetros químicos del Nopal

Tipo	Característica
Carbohidratos	El nopal es una buena fuente de carbohidratos, que representan alrededor del 15% de su peso fresco. Los carbohidratos del nopal incluyen

	principalmente fibra dietética, como pectina, hemicelulosa y celulosa, así como azúcares simples como la glucosa, la fructosa y la sacarosa.
Proteínas	El nopal es una fuente relativamente baja de proteínas, que representan alrededor del 1% de su peso fresco. Sin embargo, las proteínas del nopal son de alta calidad y contienen todos los aminoácidos esenciales.
Grasas	El nopal es una fuente muy baja de grasas, que representa menos del 1% de su peso fresco. La mayoría de las grasas del nopal son ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico y el ácido oleico.
Vitaminas	El nopal es una buena fuente de varias vitaminas, incluyendo vitamina C, vitamina B6, vitamina B1 y vitamina K. La vitamina C es especialmente abundante en el nopal, con niveles que pueden ser hasta cinco veces más altos que los de una naranja. .
Minerales	El nopal es una buena fuente de varios minerales, incluyendo calcio, magnesio, potasio y hierro. El calcio y el magnesio son especialmente abundantes en el nopal, con niveles que pueden ser hasta tres veces más altos que los de la leche.
Compuestos bioactivos	El nopal contiene varios compuestos bioactivos, como betalaínas, flavonoides y ácido ascórbico. Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y se ha demostrado que tienen efectos beneficiosos sobre la salud cardiovascular y metabólica.

Nota. La presente tabla muestra las propiedades químicas del nopal. Fuente: (Velásquez, Hidalgo, & Rodríguez, 2020)

2.3 Metodología Experimental del Nopal

Para obtener las curvas de deshidratación del Nopal, se utilizaron pruebas existentes de experimentos en distintos deshidratadores.

2.3.1 Secador de Túnel

Castro (2022). en su trabajo de Maestría titulado “*Optimización del secado convectivo de nopal (Opuntia ficus-indica L.) en trozos y evaluación de parámetros de calidad*”, muestra una investigación de Nopal donde se analiza el impacto del secado a distintas temperaturas y velocidades.

Características del secador. Para este experimento Castro Y. usó un secador de túnel, la siguiente tabla muestra las características eléctricas y mecánicas de este secador.

Tabla 6

Características del secador

Características	
Tipo	Secador convectivo tipo túnel
Temperatura	55 - 80 [°C]
Velocidad de aire	0,5 - 1,5 [m/s]
Bandejas	Tipo malla con orificios de 40 x 40 [mm]
Tipo de ventilación	Centrífuga
Potencia	120 [V]

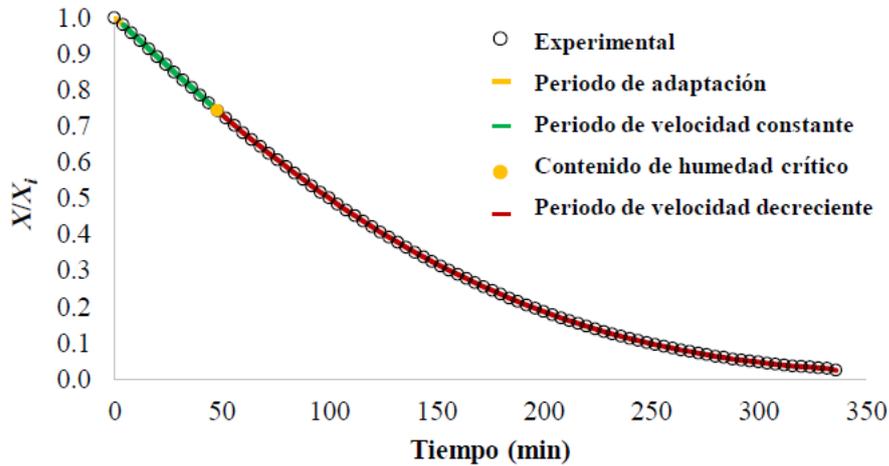
Nota. La presente tabla, menciona las características del secador. Fuente: (Marulanda & Burbano, 2021)

Características del producto. Para el proceso de secado realizado en este proyecto, utilizaron nopal desespinado y lavado con hipoclorito de sodio a 100 ppm. La segmentación

del cladodio se dio en dimensiones específicas de 40x40x5 [mm], donde previamente retiraron la capa cuticular protectora.

Figura 6

Curvas del secado



Nota: Resultado experimental de las curvas de secado en un secador de túnel. Fuente: (Castro, 2022)

En resumen, la temperatura y velocidad adecuada para la mayor optimización y conservación de las propiedades del nopal son, 69.1 °C y 1.5 m/s.

2.3.2 Secador Convectivo de Flujo Transversal

Díaz et al., (2015) en su investigación “*Cinética de secado de tiras de cladodios de nopal (Opuntia ficus indica) en un secador convectivo de flujo transversal*” analizó el secado de nopal a distintas temperaturas y velocidades de aire y demostraron, qué variable es más influyente a la hora del secado.

Características del secador. Para este experimento usaron un secador Convectivo de Flujo Transversal, la siguiente tabla muestra las características eléctricas y mecánicas de este secador.

Tabla 7*Características del secador*

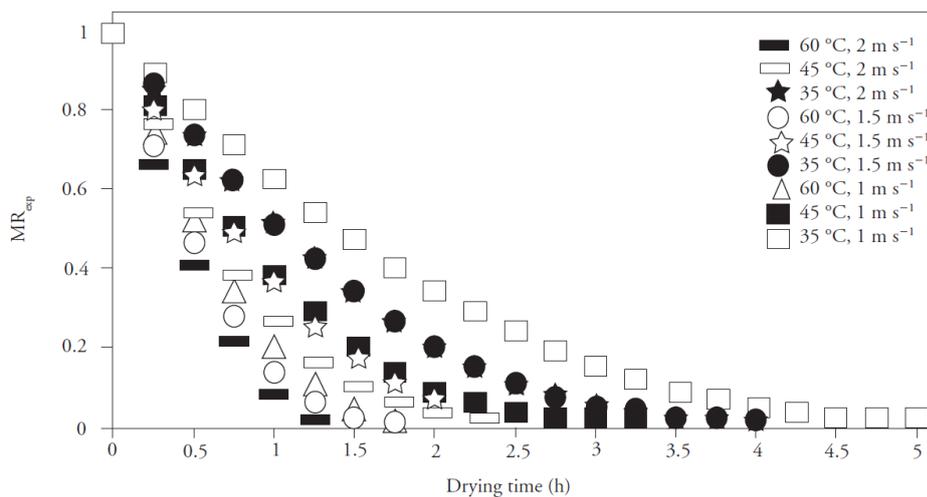
Características	
Tipo	Deshidratador de flujo cruzado
Temperatura	35 - 60 [°C]
Velocidad de aire	1 - 2 [m/s]
Bandejas	Tipo malla 250x250 [mm]
Tipo de ventilación	Centrífuga
Potencia	120 [V]

Nota: Fuente (Diaz, Alvarez, & Sima, 2015)

Características del producto. Para el proceso de secado realizado en este proyecto, se utilizaron 10 tiras de Nopal de 4x140x17[mm]. El contenido de humedad inicial fue 0.943 a 0.953 $Kg_{H_2O} / Kg_{materia\ seca}$ y el contenido de humedad final fue de 0.02 Kg_{H_2O} / Kg_{seco} .

Figura 7

Curvas de secado para diferentes condiciones de velocidades de aire y temperaturas.



Nota: Fuente (Diaz, Alvarez, & Sima, 2015)

En esta investigación, se determinó que la temperatura en la que el nopal es deshidratado es la variable más importante, dejando a la velocidad de aire en segunda opción.

También lograron identificar que la geometría de corte del cladodio influye directamente a la velocidad de secado, siendo tiras rectangulares los cortes más eficientes tomándolos como una transferencia de calor como una placa plana infinita.

2.3.3 Secador Solar Indirecto

Torres et al (2016) en su investigación “*Secado de Nopal (Opuntia ficus) utilizando secador solar con sistema de reflector*”, analiza el comportamiento del Nopal en un secador solar de tipo indirecto.

Características del secador. Para este experimento usaron un Secador Solar Indirecto, la siguiente tabla muestra las características eléctricas y mecánicas de este secador.

Tabla 8

Características del secador

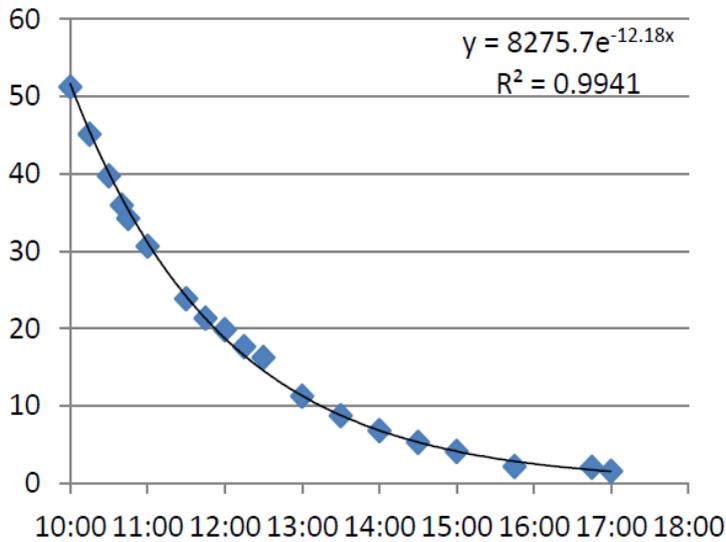
Características	
Tipo	Solar indirecto de madera
Temperatura	35 - 60 [°C]
Velocidad de aire	1 [m/s]
Bandejas	Tipo malla nylon 60x40 [cm]
Tipo de ventilación	Centrífuga
Potencia	120 [V]

Nota: Fuente (Diaz, Alvarez, & Sima, 2015)

Características del producto. Para el proceso de secado del Nopal con el deshidratador solar indirecto, tomaron como experimento para el cálculo de pérdida de masa 51,2 g de producto en donde se ocupó un área de 100 cm², dando una masa final seca de 1,5 g y una velocidad de secado de 0.132 g/cm²h. Las tiras de nopal fueron cortadas en segmentos de 1 cm de espesor.

Figura 8

Pérdida de masa en función del tiempo



Nota: La gráfica adjunta muestra la pérdida de masa en función del tiempo en un secador solar indirecto.

Por lo tanto, en esta investigación se finalizó que el secador solar de tipo indirecto muestra una curva de secado decreciente de manera lineal, sin presentar un punto crítico de humedad.

2.4 Diseño conceptual

2.4.1 Requerimiento de diseño

Para el diseño y construcción de la máquina deshidratadora se tuvo presente las diferentes normativas nacionales e internacionales de la industria alimenticia, tales como: NTE INEN-ISO 22000 y NOM-093- SSA1-1994.

Entonces, los principales requerimientos de diseño se exponen como sigue:

Tabla 9

Requerimientos de diseño

Requerimientos	Especificaciones
----------------	------------------

Materia prima	Selección de insumos para el proceso de deshidratado
Operación	Proceso semiautomático con controladores de velocidad y temperatura
Materiales	Disponibilidad de materiales
Transportación	Fácil traslado a sectores rurales
Mantenimiento	Repuestos existentes en el mercado y de fácil mantenimiento
Costo	Mano de obra y mantenimiento
Seguridad	Poseer debidas etiquetas preventivas
Producción	El cliente requiere una producción mensual de 1000 insumos mensuales

Nota. La tabla adjunta muestra los principales requerimientos para el diseño.

2.4.2 Factores de influencia

Se consideraron los siguientes factores de influencia para el diseño y construcción de la máquina deshidratadora:

- Disponibilidad de materiales en el mercado: Se cotizó la disponibilidad de los distintos materiales utilizados en la elaboración del prototipo, tales como: plancha de acero inoxidable de 3mm, ventilador convencional de flujo axial, resistencias eléctricas, mallas metálicas, potenciómetros, entre otros.
- Costo de construcción: Costo menor a los deshidratadores convencionales del mercado, es importante establecer la relación costo/beneficio para determinar si el proyecto es factible implementarlo.
- Espacio que ocupa: El espacio acorde a los requerimientos del cliente, de tal manera que no sobrepase $1.5m^2$
- Mantenimiento: Fácil y de bajo presupuesto, se elaboraron los respectivos planes de mantenimiento.
- Fácil de operar: El cliente debe entender el funcionamiento de la máquina sin tener complicaciones, se elaboraron manuales de usuario.

- Carga y descarga de insumos: Al momento de colocar los insumos, este debe ser de fácil acceso, así como la descarga, por ello se optó por elaborar una cámara interna de secado con rieles ajustables para facilitar su manejo.
- Temperatura de trabajo: Este factor es uno de los principales, ya que de este dependerá que el producto mantenga sus propiedades organolépticas necesarias para el consumo.
- Velocidad de secado: Este se relaciona directamente con la temperatura de trabajo y la velocidad del flujo de aire que ingresa a la cámara de calentamiento. Cabe indicar que va ligado con el tipo de resistencia que se utilice y la capacidad de este para efectuar su función.
- Seguridad: El equipo debe contar con todas las especificaciones de seguridad, para evitar cualquier tipo de accidente.
- Consumo energético: El consumo energético es fundamental, ya que de esto dependerá la relación costo/beneficio.

2.5 Alternativas de solución

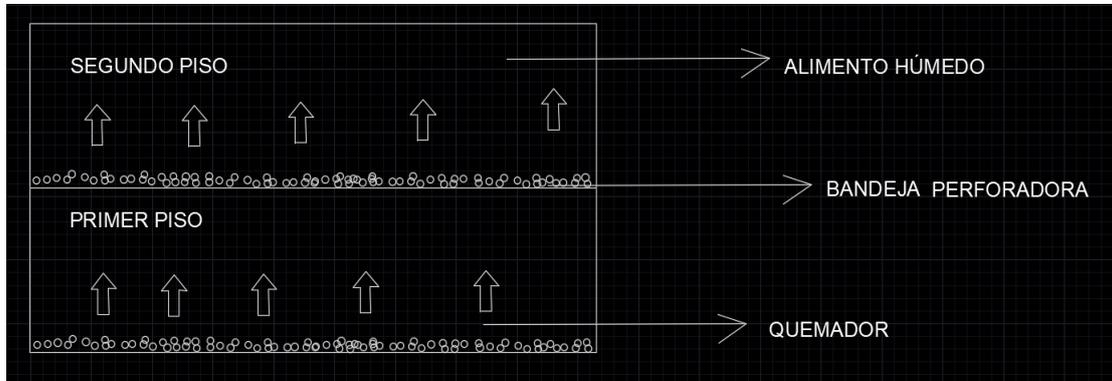
En base a lo expuesto anteriormente, se seleccionaron las mejores alternativas de diseño según criterios de funcionabilidad en base a los requerimientos del cliente:

- Alternativa#1: Deshidratador de horno
- Alternativa#2: Deshidratador de túnel
- Alternativa#3: Deshidratador de bandejas

2.5.1 Alternativa#1: Deshidratador de horno

Figura 9

Deshidratador de horno



Nota: Esquema 2D de deshidratador de horno

Tabla 10

Ventajas y desventajas del deshidratador de horno

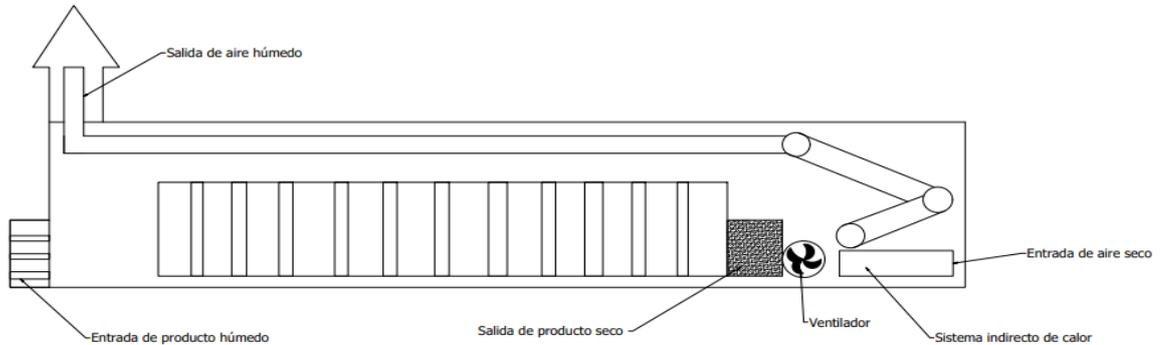
<i>Tipo</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Deshidratador de horno	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Proceso de secado mínimo. ➤ Temperatura variable en forma controlada. ➤ Poca presencia de oxígeno en el deshidratado, menor oxidación de los productos, mayor calidad de producto final. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Su costo de manufactura es elevado. ➤ Tiene alto consumo energético. ➤ Producción para grandes productores.

Nota: Fuente (Par, 2017)

2.5.2 Alternativa#2: Deshidratador de túnel

Figura 10

Deshidratador de túnel



Nota: Esquema 2D de deshidratador de túnel

Tabla 11

Ventajas y desventajas del deshidratador de túnel

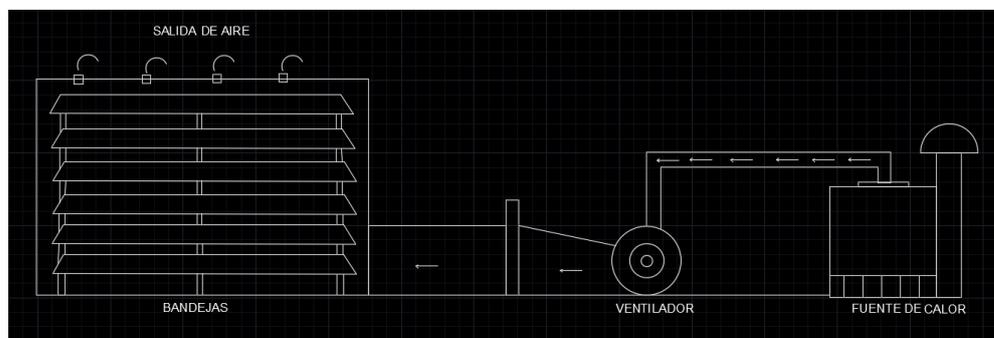
Tipo	Ventajas	Desventajas
Deshidratador de túnel	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Logra deshidratar grandes volúmenes de alimento en poco tiempo (entre 5-6 h). ➤ Ofrece un menor gasto energético. ➤ La máquina no necesita gran intervención del operario. ➤ Son empleados para deshidratar grandes cantidades de producto. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se recalienta cuando se excede su uso. ➤ Costo elevado de manufactura, son equipos de gran tamaño.

Nota: Fuente (Par, 2017)

2.5.3 Alternativa#3: Deshidratador de bandejas

Figura 11

Deshidratador de bandejas



Nota: Esquema 2D de deshidratador de bandejas

Tabla 12

Ventajas y desventajas del deshidratador de bandejas

Tipo	Ventajas	Desventajas
Deshidratador de bandejas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fácil manejo del equipo. ➤ Económicos. ➤ Diseño de forma simple y elegante. ➤ Procesos de deshidratado en tiempos aceptables. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Son empleados para pequeños productores. ➤ Se dificulta la homogeneidad en la cámara de deshidratado. ➤ Producción no continua. ➤ Se necesita un controlador de temperatura y tiempo.

Nota: Fuente (Par, 2017)

2.6 Criterio de diseño

Para el diseño y construcción del deshidratador se escogieron los factores de influencia más relevantes del diseño conceptual:

- Costo de construcción
- Mantenimiento
- Temperatura de trabajo
- Velocidad de secado
- Consumo energético

Se le asignó una ponderación comprendida entre el 1 al 10 a los factores de influencia.

Tabla 13

Escala de ponderación de los factores de influencia

	Ponderación
10	Muy importante
5	Medianamente importante
1	Importancia baja

Por lo tanto, los criterios de diseño obtuvieron las siguientes calificaciones:

Tabla 14

Escala de ponderación de los factores de influencia

Criterios de diseño	Costo de construcción	Mantenimiento	Temperatura de trabajo	Velocidad de secado	Consumo energético	Total	Peso
Costo de construcción		8	7	7	8	30	0.24
Mantenimiento	8		6	5	7	26	0.21

Temperatura de trabajo	7	6	5	4	22	0.17	
Velocidad de secado	7	5	5	6	23	0.18	
Consumo energético	8	7	4	6	25	0.20	
Total	3	2	2	2	2	12	1
	0	6	2	3	5	6	

2.7 Matriz de Selección

Para la matriz de decisión, se fijaron 7 criterios importantes al momento de la selección del deshidratador con respecto a las necesidades del cliente y los criterios de diseño.

A cada alternativa se le asignó un valor según los criterios establecidos, de tal manera que ayudaron a conciliar la mejor alternativa de la matriz de decisión.

Tabla 15

Matriz de Decisión

Criterios de ponderación	Peso	Alternativas de deshidratadore					
		Horno		Túnel		Bandejas	
		Ponderación	Peso total	Ponderación	Peso total	Ponderación	Peso total
Costo de construcción	0.24	6	1.44	4	0.96	8	1.92
Mantenimiento	0.21	5	1.05	4	0.84	8	1.68
Temperatura de trabajo	0.17	7	1.19	8	1.36	7	1.19

Velocidad de secado	0.18	7	1.26	8	1.44	7	1.26
Consumo energético	0.20	8	1.60	5	1.00	6	1.20
Total	1	6.54	5.60	7.25			

Nota: Esta tabla representa las ponderaciones establecidas para cada alternativa.

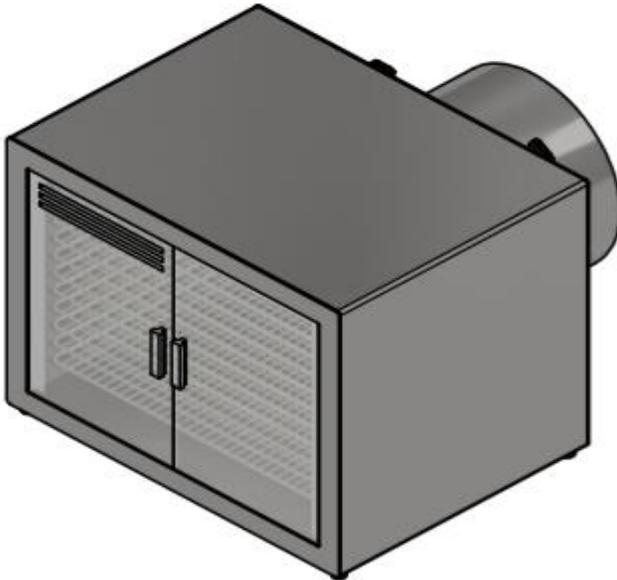
La mejor alternativa por costo de producción, mantenimiento, consumo energético, velocidad y temperatura de secado fue la alternativa#3: Deshidratador de bandejas.

2.8 Diseño de forma del deshidratador

El diseño preliminar que se presentó se adjunta en la figura 11, consta de una cámara de calentamiento y este a su vez recubierto por un cuerpo aislante para reprimir el calor para evitar pérdidas innecesarias de energía, con ello se pudo establecer las dimensiones óptimas de diseño, mejor ubicación del ventilador y las revoluciones que este debía poseer para que la eficiencia sea la máxima posible. De la misma manera, se estableció el número total de bandejas y la separación de estas para que el flujo de calor pueda deshidratar de forma uniforme a todos los trozos de Nopal.

Figura 12

Diseño preliminar del deshidratador de bandejas.



Para el diseño detallado del equipo, se procedieron a realizar una serie de cálculos y simulaciones para encontrar las mejores dimensiones para su posterior construcción.

2.8.1 Fundamentos de diseño

Características de operación. Para la circulación del aire en el secador, es común utilizar un secador tipo bandeja el cual tiene una cámara de calentamiento donde el aire es previamente calentado antes de ser absorbido por un ventilador y expulsado a la cámara de deshidratado. En la cámara de deshidratado se tienen las bandejas donde será colocado el producto.

Durante el proceso de secado es de mucha importancia el tratamiento previo del producto, siendo de gran importancia el lavado y la geometría del corte del producto, con el fin de un proceso más óptimo a la hora del deshidratado.

Cantidad y disposición de bandejas. Al tener el área necesaria para deshidratar, se procede al cálculo de la cantidad de bandejas y su disposición. El área necesaria se divide para la cantidad de bandejas que se desea tener.

La suma del área de las bandejas debe ser superior, Según la investigación *Cinética de secado de tiras de cladodios de nopal (Opuntia ficus indica) en un secador convectivo de flujo transversal*, la geometría que más beneficios tiene es rectangular, por lo que las dimensiones de los trozos de nopal se ajustarán de la manera más óptima a la geometría final de la malla.

Finalmente se decidió que sean 19 bandejas para las cuales cada bandeja debe tener un área mínima de 0,43m². Cabe indicar que, para el cálculo de la cantidad de bandejas, también fue necesario establecer las características del Nopal, donde se obtuvo lo siguiente:

Tabla 16

Propiedades físicas del ambiente de la ciudad de Milagro

Parámetros	Unidad	Cantidad
Altitud	m	12
Temperatura promedio	°C	26.5
Presión atmosférica	kPa	100.7
Humedad relativa	%	61

Tabla 17

Propiedades del Nopal

Característica	Unidad	Cantidad
Peso	kg	0,163
Diámetro	m	0,3
Humedad inicial	%	92,8
Humedad final	%	2

La masa del Nopal se la calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$W_o = S_w \cdot X_{wo} \quad (1.0)$$

$$W_o = 0.151 \text{ kg}$$

Donde

W_o : Masa del Nopal en base húmeda [kg]

S_w : Masa media del Nopal

X_{wo} : Humedad inicial

La masa de agua evaporada se calcula como sigue:

$$S_d = S_w \cdot X_o \quad (1.1)$$

$$S_d = 0.012 \text{ kg}$$

Donde

S_d : Masa de agua a evaporar dentro del Nopal

Según la investigación de Felipe Díaz-Ayala, G. del Socorro Álvarez-García y Efraín Simá-Moo, de cinética de secado de tiras de cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica*) en un secador convectivo de flujo transversal, tenemos los siguientes datos: Contenido de Humedad inicial del nopal 0,948 [Kg H₂O/Kg seco] y Contenido de Humedad final del nopal 0,02 [Kg H₂O/Kg seco]

Entonces, la masa total del Nopal se obtiene derivando y despejando las siguientes ecuaciones, de tal manera que:

$$X_{do} = \frac{X_o}{S_d} \quad (1.2)$$

$$X_{do} = 12.54 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg seca}}$$

$$S_{wf} = \frac{S_d \cdot 100}{100 - X_{wf}} \quad (1.3)$$

$$S_{wf} = 0.012[kg]$$

Donde

X_{do} : Humedad de base seca inicial

S_{wf} : Contenido de humedad

X_{wf} : Humedad final

Masa total del Nopal en base seca se calcula como sigue:

$$W_f = S_{wf} \cdot X_{wf} \quad (1.4)$$

$$W_f = 2,4 \times 10^{-4}[kg]$$

Donde:

W_f : Masa total del nopal en Base Seca

Con la relación existente entre la masa total en base seca y la masa de agua a evaporar en el interior del Nopal, se calculó la humedad en base seca final:

$$X_{df} = \frac{W_f}{S_d} \quad (1.5)$$

$$X_{df} = 2 \times 10^{-3}$$

Donde:

X_{df} : Humedad en base seca final

La humedad crítica de los experimentos fue $X_c=75\%$, reemplazando se obtuvo la masa crítica inicial:

$$S_{wc} = \frac{S_d \cdot 100}{100 - X_c} \quad (1.6)$$

$$S_{wc} = 0,0121 kg$$

Luego se obtuvo la masa crítica en base húmeda:

$$W_c = S_{wc} \cdot X_c \quad (1.7)$$

$$W_c = 8,82 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

Donde:

S_{wc} : Masa crítica inicial

W_c : Masa crítica en base húmeda

La humedad critica en base seca fue la siguiente:

$$X_{dc} = \frac{W_c}{S_d} \quad (1.8)$$

$$X_{dc} = 0,735 \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seca}}}$$

Donde

X_{dc} : Humedad critica en base seca

La cantidad de agua a evaporarse se calculó de la siguiente manera:

$$Kg_{H_2O \text{ evap}} = W_o - W_f \quad (1.9)$$

$$Kg_{H_2O \text{ evap}} = 0,1508$$

Donde

$Kg_{H_2O \text{ evap}}$: Masa de agua a evaporarse en el interior del nopal

W_o : Masa del nopal en base húmeda

W_f : Masa del nopal en base seca

La masa final del Nopal deshidratado se calcula utilizando las siguientes ecuaciones:

$$C_f - C_d = Kg_{H_2O \text{ evap}} \cdot \frac{C_f}{S_w} \quad (2.0)$$

$$C_f = 133,20 \text{ [Kg]}$$

Donde

C_f : Cantidad de Nopal por deshidratar

C_d : Masa final del Nopal deshidratado

Fuente de Calor y Energía. Para la cámara de calentamiento se utilizaron resistencias eléctricas como fuente de calor, lo que permitió omitir el uso tradicional de combustibles fósiles que contaminan el ambiente y provocan gases de efecto invernadero. La disposición de esta alternativa redujo el costo de mano de obra, así como también el espacio de la construcción de la cámara de calentamiento.

La disponibilidad en el mercado es extensa, por ello resultó viable utilizar este tipo de resistencias, facilitando su instalación. Cabe indicar que la distribución de estas en la cámara de calentamiento dependió directamente de los requerimientos del cliente y del insumo a deshidratar.

2.9 Elaboración de planos mecánicos del deshidratador

El diseño mecánico se realizó con el software CAD, en donde se dibujaron todas las piezas del deshidratador para luego ser ensamblado para su posterior simulación. Todos estos elementos con sus respectivas vistas se adjuntan en el Apéndice.

2.10 Simulación

La simulación fue elaborada con software CAD. Este software permitió modelar el ingreso del aire caliente a la cámara de secado posterior a su calentamiento con las resistencias eléctricas.

Si bien es cierto, este programa permitió modelar de forma más eficiente el aire circundante por la cámara interna, también ayudó a seleccionar la ubicación idónea del ventilador, para que el flujo de aire se distribuya uniformemente a los diferentes trozos de

Nopal con una velocidad controlada del mismo. Esto permitió un mejor dimensionamiento de la cámara de secado para que el equipo obtenga la eficiencia idónea.

2.11 Prototipo

Los materiales seleccionados fueron: una plancha de Aluminio de dimensiones estándar para la estructura externa de la máquina, para la cámara interna se utilizó acero inoxidable AISI 304 de 2mm laminado en frío HL empleado comúnmente en la industria alimenticia de dimensiones estándar. Para las bandejas tipo malla se utilizó Malla Mesh #2 con dimensiones de 800X533 [mm]. Para el esqueleto de la estructura se utilizó perfiles aluminio para reducir el peso del prototipo. El ventilador seleccionado fue de marca Sodeca, modelo HPX-35-2T-0.75 de 2720rpm con una potencia de 0.55Kw, las resistencias para la cámara de calentamiento fueron de 2.5kW y se las colocó en serie para un mejor rendimiento.

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

3.1.1 Volumen de producto necesario para la deshidratación

Para encontrar un deshidratador óptimo y cumplir las necesidades del cliente, se procedió al cálculo de la materia prima necesaria, tomando en cuenta la disponibilidad del producto, la viabilidad del proyecto y el rendimiento eficiente y sostenible.

Tabla 18

Datos Iniciales para el diseño del deshidratador

Demanda del cliente	1000 paquetes al mes
Cantidad de Nopal por paquete	9,3 [g]
Cantidad de Nopal requerido	9300 [g]
%Humedad del Nopal inicial	92,8%
%Humedad del Nopal final	2%
Cantidad de Nopal Húmedo requerido	133,20 [Kg]

3.1.2 Dimensionamiento de Cámara de deshidratado

El diseño del deshidratador se fundamentó en la necesidad del cliente, y como este debe aportar al desarrollo sostenible del emprendedor. El prototipo permitió la correcta circulación del aire permitiendo un secado óptimo al menor tiempo posible. El material utilizado es el recomendado para uso alimenticio, acero Inoxidable, con el fin de que los alimentos introducidos en el deshidratador no se vean afectados por ningún tipo de reacción que otro tipo de metal podría adherir. Para esta sección, se procedió con el diseño de la cámara de secado, mismo que se rigió por diversos parámetros ingenieriles para que el producto a deshidratar obtenga las condiciones óptimas de secado sin que este pierda sus características organolépticas. Para ello, se consideró la cantidad de producto a secar por bandeja, lo que permitió dimensionar el prototipo para la cantidad requerida de Nopal por el cliente.

Figura 13

Diseño de portamalla con rieles.

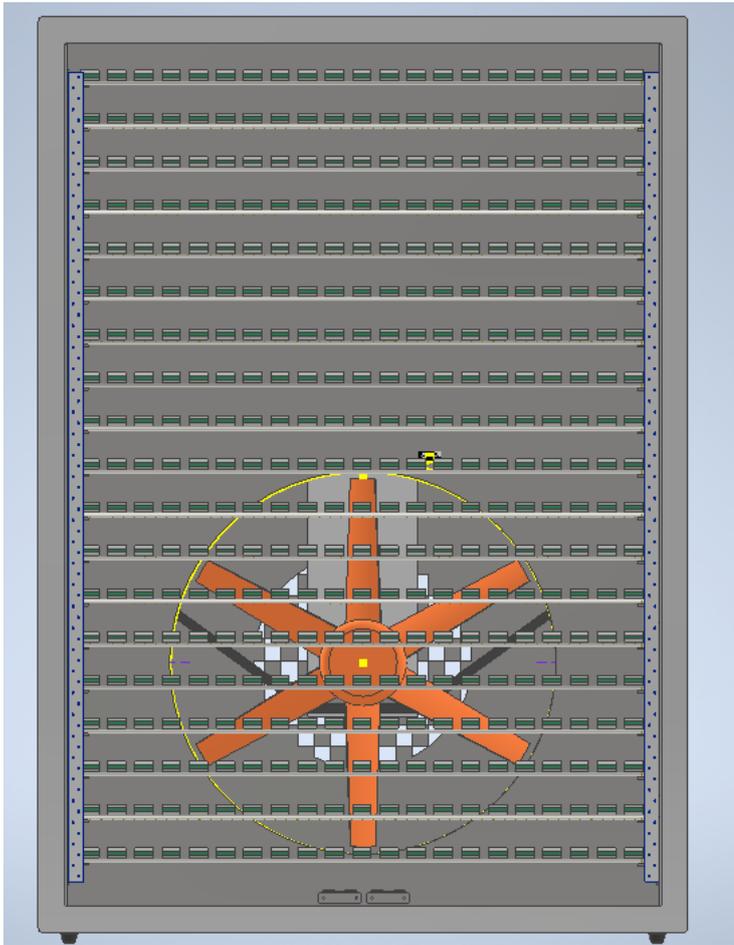


Tabla 19

Especificaciones del producto a deshidratar para dimensionar la cámara de calentamiento con una capacidad de carga de 200kg.

Parámetros	Factores
Longitud	140 [mm]
Ancho	17 [mm]
Altura	9.4 [mm]
Peso	13.15 [g]
Cantidad de rebanadas por bandeja	189
Área superficial	$2,4 \times 10^{-3} [\text{m}^2]$
Total de rebanadas	1995

De acuerdo con H. Perry en el manual del ingeniero químico en el 2001, para que el flujo de aire dentro de una cámara cerrada sea óptimo la distancia de separación entre

bandejas debe rondar los 40 [mm], el deshidratador no debe superar el 1m de altura, esto favorece al dimensionamiento correcto de las bandejas. (H. Perry, 2001)

El espacio seleccionado entre las mallas fue el sugerido 40[mm] cumpliendo con las normativas de diseño para este tipo de deshidratadores, con ello se logró que el flujo de calor circule de forma controlada y eficiente por toda el área de calentamiento.

Para calcular el número de mallas se tomó como prioridad la necesidad del cliente, por ello, se calculó la cantidad de Nopal necesario por tanda de secado. El peso por tanda fue aproximadamente de 25kg del producto y un peso por malla de 1.4kg, con ello se logró optimizar el flujo de calor al interior de la cámara sin que este tenga mayores pérdidas.

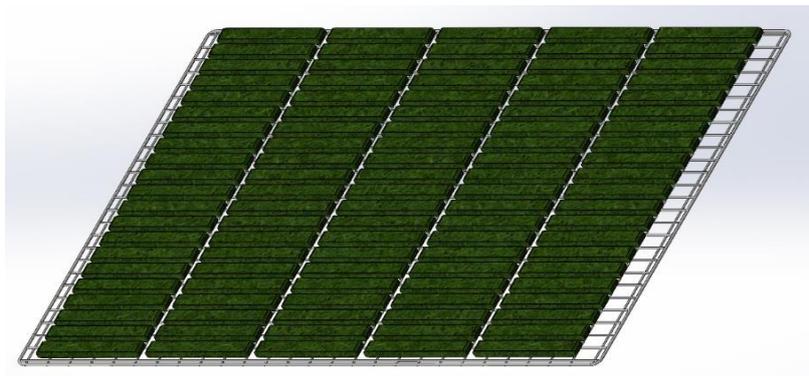
3.1.3 Disposición de producto y mallas

La disposición de los trozos de cladodio toma un gran factor a la hora del secado, por lo que se pudo apreciar en la investigación *Drying kinetics of slices of nopal (Opuntia ficus indica) cladodes in a convective transversal flow dryer*, nos muestra que la geometría de corte del cladodio influye directamente a la velocidad de secado, siendo tiras rectangulares los cortes más eficientes tomando como referencia en transferencia de calor de una placa plana infinita. (Díaz Ayala, Álvarez García , & Simá Moo, 2015).

Para la disposición de los cladodios se tomó en cuenta la ubicación del ventilador mismo que impulsó el aire caliente al interior de la cámara, para que el flujo sea paralelo al lado más largo del cladodio. Por lo que la dimensión de las mallas que sostendrán los cladodios tendrá una mayor amplitud en lo ancho para así tener mayor carga por malla.

Figura 14

Disposición de Nopal en mallas para el deshidratado



Gracias a esto se logró dimensionar la cantidad de mallas que sostendrán el producto a deshidratar:

Tabla 20

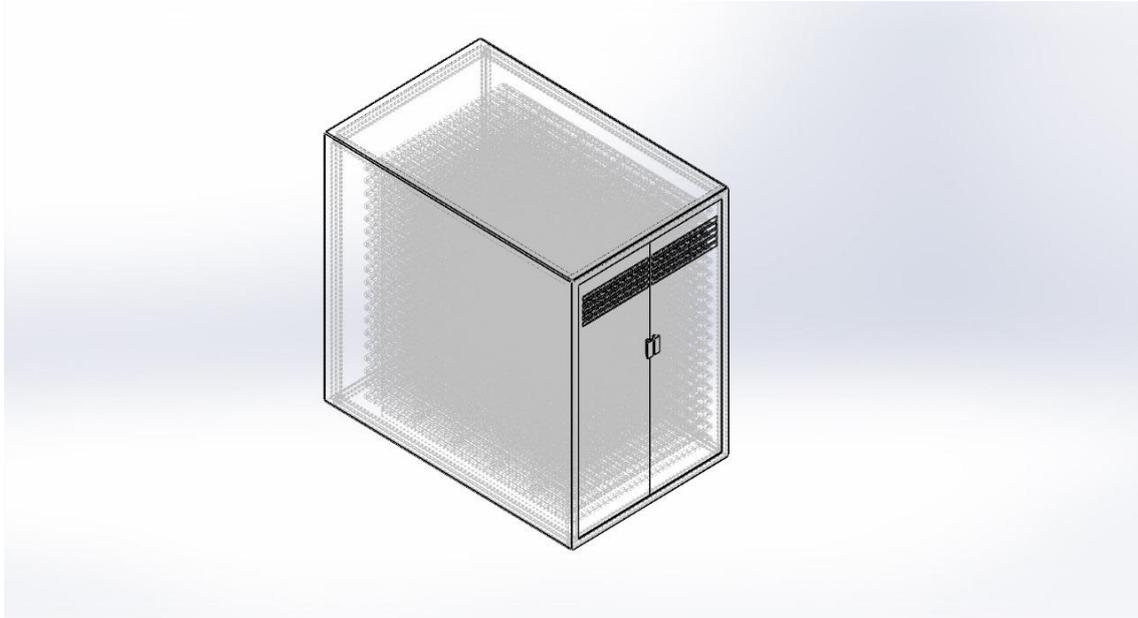
Dimensionamiento de mallas portadoras de producto

Parámetros	Cantidad
Ancho de las mallas [mm]	800
Largo de las mallas [mm]	533
Cantidad de trozos cladodios a lo largo	5
Cantidad de trozos cladodios a lo ancho	21
Cantidad de cladodios enteros por malla	8
Peso de Nopal por bandeja [Kg]	1,3
Número de bandejas total	19

Dadas las recomendaciones, las bandejas deben tener una relación 3/2, con el objetivo es alcanzar al menos 25 Kg de nopal húmedo por tanda de secado, la cantidad de mallas de soporte de producto fue de 19 alcanzando una altura máxima de la cámara de secado de 858 [mm] de altura y ancho de 597 [mm].

Figura 15

Vista ortogonal de la cámara de deshidratado donde se observan las bandejas tipo malla.



Las bandejas tipo malla estarán sostenidas por percheros anclados a la pared interna de la cámara de secado debido a que se pretende optimizar la mayor cantidad de espacio y materiales.

3.1.4 Dimensiones de la cámara de deshidratado

La cámara de secado está compuesta por una doble capa de acero inoxidable y un esqueleto que ayudó a formar y distribuir el peso. La estructura de la cámara de secado es de 20 mm, espacio suficiente para retener el calor dentro de la cámara interna en compañía de un aislante térmico para que las pérdidas sean menores y la eficiencia la máxima posible.

- Largo: 944 [mm]
- Ancho: 596 [mm]
- Alto: 848 [mm]

3.1.5 Cálculos de la masa en el secado

Tabla 21*Tabla de datos obtenidos de los cálculos*

Nomenclatura	Detalle	Valor
Wo	Masa del nopal Húmedo	0,151 kg
Sd	Masa de agua evaporable	0,012[kg]
Swf	Contenido de humedad en base húmeda en relación con la humedad en base seca	0,012[kg]
Wf	Masa total del guineo Nopal en base seca	$2,4 \times 10^{-4}$ [kg]
Swc	Masa crítica inicial	0,0121 [kg]
Wc	Masa crítica en base húmeda	$8,82 \times 10^{-3}$ [kg]

3.1.6 Valores durante el secado**Tabla 22***Datos Recopilados y Calculados para el deshidratado de nopal*

Nomenclatura	Detalle	Valor
Wo	Masa del nopal Húmedo	0,151 kg
Sd	Masa de agua evaporable	0,012[kg]
Swf	Contenido de humedad en base húmeda en relación a la humedad en base seca	0,012[kg]
Wf	Masa total del guineo Nopal en base seca	$2,4 \times 10^{-4}$ [kg]
Swc	Masa crítica inicial	0,0121 [kg]
Wc	Masa crítica en base húmeda	$8,82 \times 10^{-3}$ [kg]

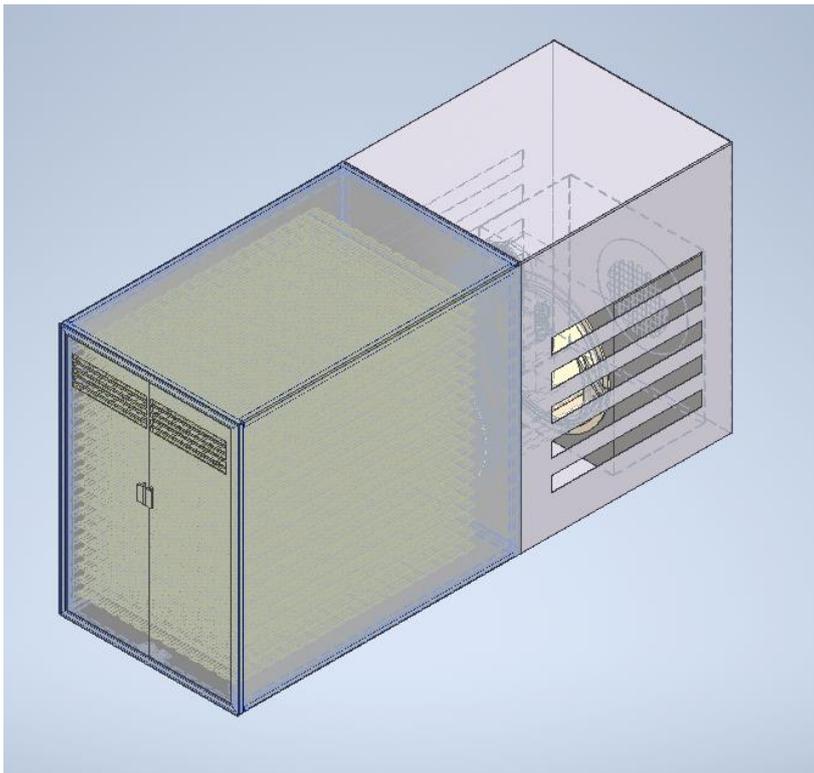
Finalmente, el proceso de deshidratado dio un resultado de 10kg de producto deshidratado, con una masa inicial de 133.2kg de Nopal húmedo.

3.1.7 Balance de masa y energía del sistema

Se procedió a realizar un balance de energía en donde los puntos más importantes a tomar en cuenta fueron la cámara de calentamiento, la cámara de deshidratado y finalmente el conducto de aire.

Figura 16

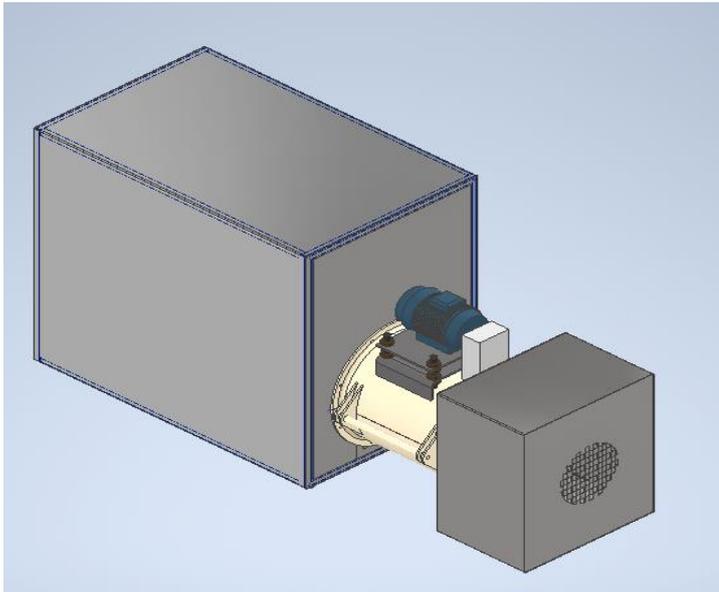
Vista ortogonal del deshidratador entero.



En la parte trasera se encuentra la cámara de calentamiento, la cual se encuentra ensamblada al ventilador tubular, quien a su vez se conecta al otro extremo con la cámara de deshidratado.

Figura 17

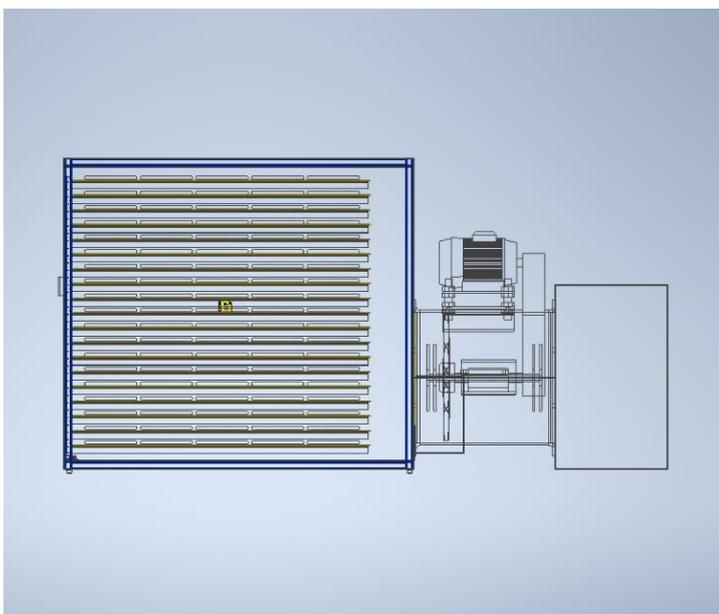
Vista trasera del deshidratador



En la cámara de calentamiento se encuentran las resistencias, mismas que emiten calor suficiente para que la cámara de deshidratado se mantenga con un flujo de aire a una temperatura constante.

Figura 18

Vista lateral, donde se aprecia la distribución de bandejas.



3.1.8 Suministro de calor a la cámara de secado

Para encontrar la cantidad de energía total que se necesita para el deshidratado, se inició encontrando el flujo másico que se presenta en la cámara de deshidratado. Las siguientes expresiones fueron tomadas de la tesis “Diseño, modelo matemático y Construcción de un secadero optimizado con energías limpias”: (Delgado Plaza, 2014)

$$\dot{m} = V_{\text{entrada conducto}} * d_{a,c} * A_{\text{entrada}} \quad (2.1)$$

$$\dot{m} = 0,509 \cong 0,5 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Donde:

m: Flujo másico

d_{a,c}: Densidad del aire a temperatura caliente

A_{entrada}: Área del conducto de aire

V_{entrada conducto}: Velocidad de entrada del conducto de aire

Después de encontrar el flujo másico de aire se proceda a calcular la cantidad de energía total: (Delgado Plaza, 2014)

$$Q_T = \dot{m} * C_p * (\Delta T) \quad (2.2)$$

$$Q_T = 23 [KW]$$

Donde:

Q_T: Cantidad de energía total

C_p: Calor específico del aire a 60°C

ΔT: Variación de temperatura en la cámara de deshidratado

Tabla 23

Resultados de cálculos

Nomenclatura	Detalle	Valor
\dot{m}	Flujo másico [Kg/s]	0,509
V_{entrada}	Velocidad de entrada del conducto de aire [m/s]	5
d_{ac}	Densidad del aire a temperatura caliente [kg/m ³]	1,028
A_{entrada}	Área del conducto de aire [m ²]	0,099
Q_T	Cantidad de energía total [W]	23052,003
C_p	Calor específico del aire a 70°C [J/Kg*K]	1007,0000
ΔT	Variación de temperatura entre el fluido y la superficie de secado [K]	45
f	Pérdidas de energía	1,1
Q_f	Cantidad de energía final [KW]	25,36

3.1.9 Selección de ventilador

Para la selección del ventilador se debe tomar en cuenta algunos parámetros de diseño antes calculados. Las distintas variables para analizar en esta sección serán: el caudal de aire, pérdidas, tipo de ventilador, curvas características, condiciones ambientales, flujo de aire.

Se debe tener en cuenta que el ventilador a seleccionar debe soportar temperaturas altas, y entregar un flujo de aire transversal hacia la cámara de deshidratado. Los ventiladores tubulares de transmisión son una gran opción para este tipo de prototipos. Al tener claros los objetivos que se desean que cumpla el ventilador, la selección se basa en la comparación de las características.

Dentro de una gama muy amplia de ventiladores tubulares, se tiene al HPX, el cual es un ventilador helicoidal tubular con motor exterior, el cual soporta hasta 120°C. a continuación, se desglosarán las características de este ventilador.

Tabla 24

Características del ventilador

Marca	SODECA
Modelo	HPX-35-2T-0.75
Velocidad	2720 rpm
Potencia	0.55 kW
Caudal	4750 m ³ /h
Peso	22kg

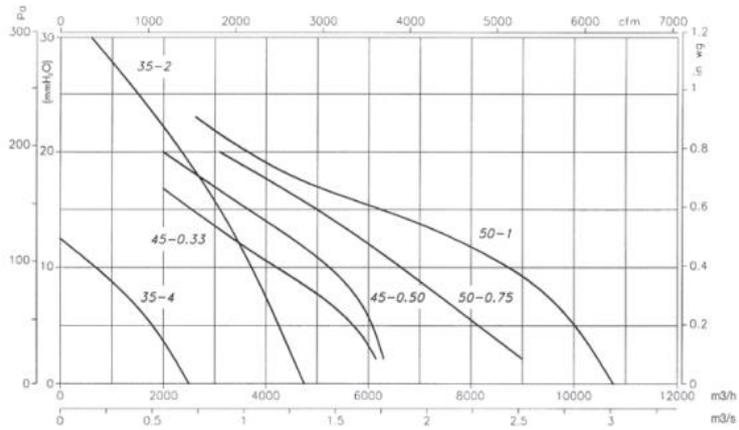
Figura 19

Curvas características del modelo de ventilador: HPX-35-2T-0,75

Curvas características

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm.

Pe= Presión estática en mmH₂O, Pa e inwg.



Nota: Recuperado de:

https://d7rh5s3nxmpy4.cloudfront.net/CMP2671/files/1/SE07_HPX_2019ES.pdf

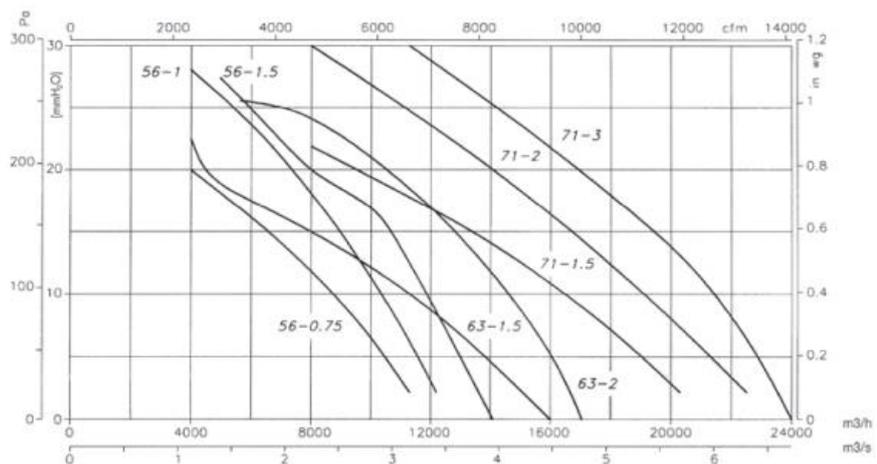
Figura 20

Curvas características del modelo de ventilador HPX-35-2T-0,75.

Curvas características

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm.

Pe= Presión estática en mmH₂O, Pa e inwg.



Nota: Recuperado de:

https://d7rh5s3nxmpy4.cloudfront.net/CMP2671/files/1/SE07_HPX_2019ES.pdf

3.1.10 Tiempo de secado

El tiempo de secado recae directamente a los requerimientos del cliente, mientras este sea menor, mejor será la producción. El tiempo de secado se puede calcular con los periodos de velocidad constante y decreciente, para ello fue necesario utilizar las siguientes expresiones: (Delgado Plaza, 2014)

$$t_1 = \frac{W_s w (X_i - X_2)}{A_b N_b h_i (T_{a,c} - T_s)} \quad (2.3)$$

$$t_1 = 4,67[h]$$

Donde:

t_1 : Tiempo de secado velocidad constante

W_s : Masa seca del producto

w : Calor latente

T_s : Temperatura inicial

X_i : Humedad inicial

X_2 : Humedad en un tiempo t con velocidad constante

A_b : Area de las bandejas

N_b : Numero de bandejas

h_i : Coeficiente convectivo

$T_{a,c}$: Temperatura del aire caliente

$$t_2 = \frac{W_s (X_i - X_2)}{A \cdot R} \quad (2.4)$$

$$t_2 = 0,085$$

Donde:

t_2 : Tiempo secado velocidad decreciente

A: Área de secado

R: Velocidad de secado

Tabla 25

Resultados asociados al tiempo de deshidratado

Nomenclatura	Detalle	Valor
\dot{m}	Flujo másico [Kg/s]	0,509
V_{entrada}	Velocidad de entrada del conducto de aire [m/s]	5
d_{ac}	Densidad del aire a temperatura caliente [kg/m ³]	1,028
A_{entrada}	Área del conducto de aire [m ²]	0,099
Q_T	Cantidad de energía total [W]	23052,003
C_p	Calor específico del aire a 70°C [J/Kg*K]	1007,0000
ΔT	Variación de temperatura entre el fluido y la superficie de secado [K]	45
f	Pérdidas de energía	1,1
Q_f	Cantidad de energía final [KW]	25,36

3.1.11 Análisis de simulación

Para la simulación se utilizó el software CAD ya mencionado, se tuvieron diversas complicaciones al momento de la distribución de aire en la cámara de secado, ya que este no abarcaba todo el volumen de control, dejando trozos de Nopal sin percibir el flujo, impidiendo que la deshidratación sea la adecuada.

Se realizaron varias pruebas de ensayo y error hasta que se logró determinar la temperatura y velocidad de secado óptimo para el producto, cumpliendo con las especificaciones de diseño y requerimientos del cliente.

Después de haber elegido los componentes necesarios para el flujo de calor dentro del cámara de deshidratado y la cámara de calentamiento, la simulación del proyecto está basada en la dirección, velocidad, temperatura dentro de la cámara de deshidratado. Los datos que se tomaron en cuenta para la simulación están detallados en la siguiente tabla.

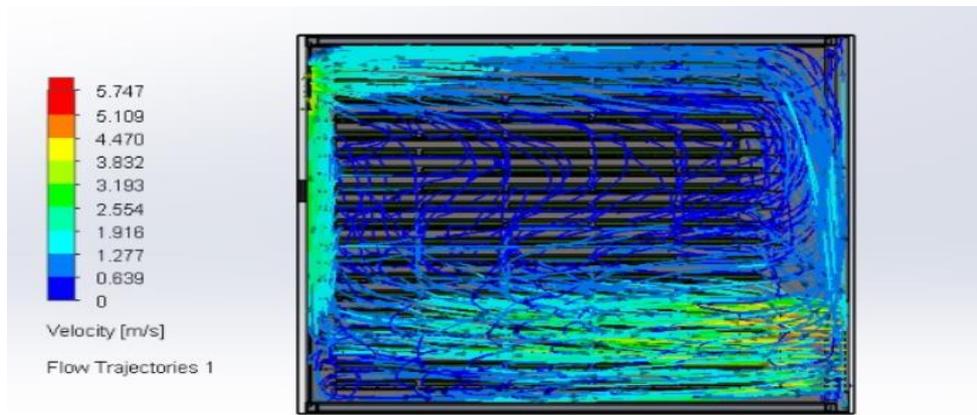
Tabla 26*Tabla de datos utilizados a para la simulación, $v=5\text{m/s}$*

Descripción	Cantidad
# de Iteraciones	227
Dimensiones de la malla	$N_x = 10, N_y = 14, N_z = 16$
Presión inicial	101321.60 [Pa]
Velocidad de inicial	5m/s
Temperatura del fluido a la entrada	333,09 [K]
Densidad inicial del fluido	1,01 [Kg/m ³]
Presión referencia	101325 [Pa]
Presión final	101454,64 [Pa]
Velocidad mínima	0[m/s]
Temperatura del fluido a la salida	292,75 [K]
Densidad final del fluido	1,21[Kg/m ³]
Velocidad máxima del fluido	6,36 [m/s]

En esta simulación se tomó como variable inicial la velocidad a 5 m/s, es decir, la velocidad que entra a la cámara de deshidratado. Se observa una reducción de velocidad significativa y una aceleración a la salida de la cámara. A pesar de que haya una reducción de velocidad, lo que más destaca de esta gráfica es la distribución de la velocidad, es decir que por todas las bandejas tipo malla circulará el aire y no habrá espacios estáticos.

Figura 21

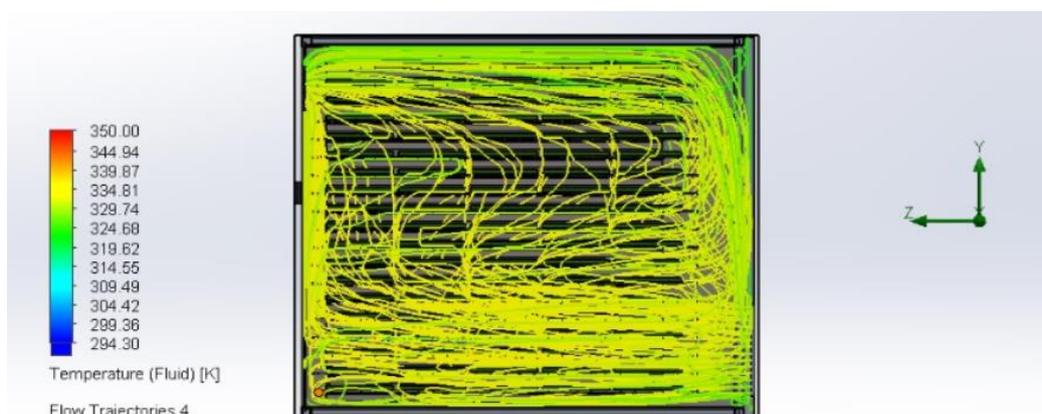
Vista lateral, Simulación de velocidad del fluido en cámara de deshidratado con velocidad inicial de 5m/s



Esta es quizás la gráfica con mayor relevancia, ya que la temperatura es la variable que más influye al momento del secado, lo que indica que, si la gran mayoría de producto se encuentra a una temperatura constante, el proceso de deshidratado será mejor y los resultados podrán ser aprovechados de forma óptima. Como se observa en la imagen, la temperatura se mantiene a lo largo de la trayectoria, siendo inapreciable la diferencia de temperatura de entrada y salida.

Figura 22

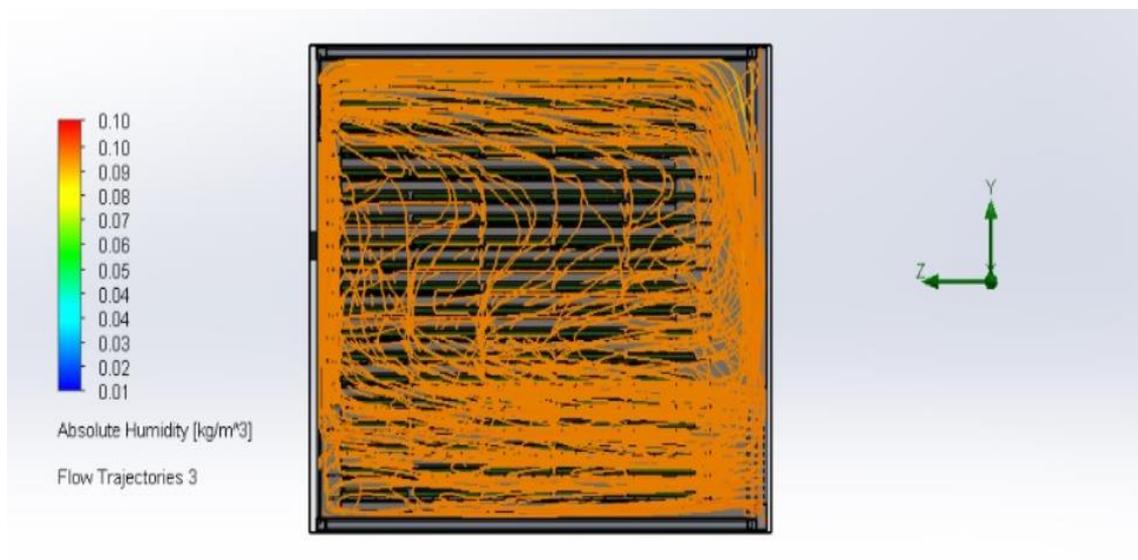
Vista lateral, Simulación de Temperatura del fluido en la cámara de deshidratado con velocidad inicial de 5m/s



Para la humedad absoluta del fluido podemos ver que es constante, cabe recalcar, que esta imagen hace referencia a que el fluido no experimenta un cambio de humedad, ya que la interacción con los cladodios hará que la humedad dentro de la cámara cambie en función del tiempo. En la imagen se puede observar que la humedad que ingresa y se esparce por toda la cámara por lo que no se observan sectores con disminución de humedad y tampoco con aumento de humedad.

Figura 23

Vista lateral, Simulación de Humedad Absoluta del fluido en la cámara de deshidratado con velocidad inicial de 5m/s



Simulación para una velocidad de ingreso a la cámara de deshidratado de 1,5 m/s.

Tabla 27

Tabla de datos utilizados a para la simulación, $v=1,5m/s$

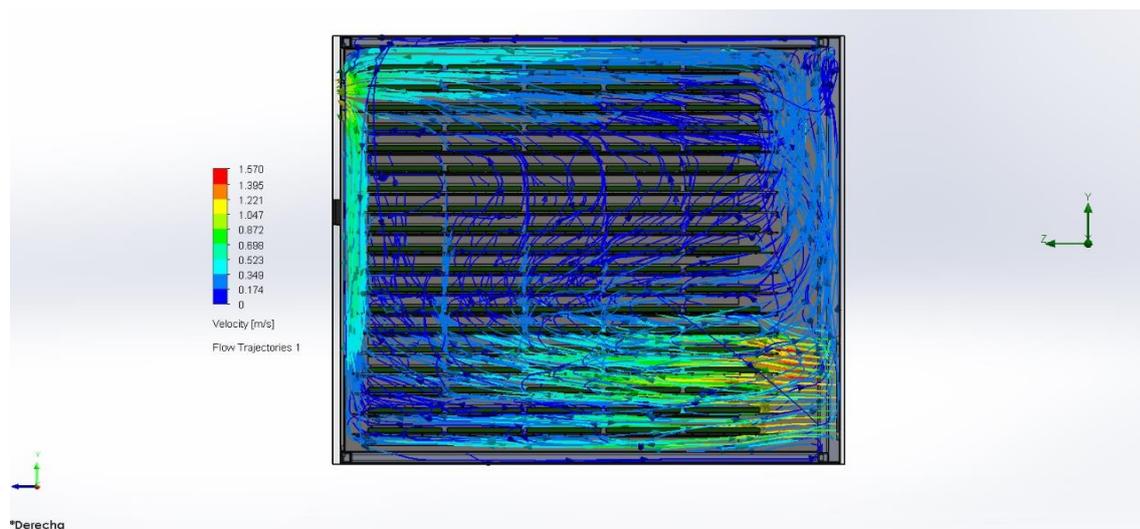
Descripción	Cantidad
# de Iteraciones	351
Dimensiones de la malla	$N_x = 10, N_y = 14, N_z = 16$
Presión inicial	101321.60 [Pa]
Velocidad de inicial	1,57m/s

Temperatura del fluido a la entrada	333,02 [K]
Densidad inicial del fluido	1,5 [Kg/m ³]
Presión referencia	101325 [Pa]
Presión final	101335,75 [Pa]
Velocidad mínima	0[m/s]
Temperatura del fluido a la salida	294,29 [K]
Densidad final del fluido	1,26[Kg/m ³]
Velocidad máxima del fluido	1,57 [m/s]

Para esta simulación se tomó como referencia de entrada una velocidad de 1,5 m/s. Se observa que al igual que en la anterior simulación, la velocidad a lo largo de la trayectoria disminuye, en esta ocasión la velocidad tiende a cero en ciertos sectores, lo que retrasará el deshidratado en mayor cantidad.

Figura 24

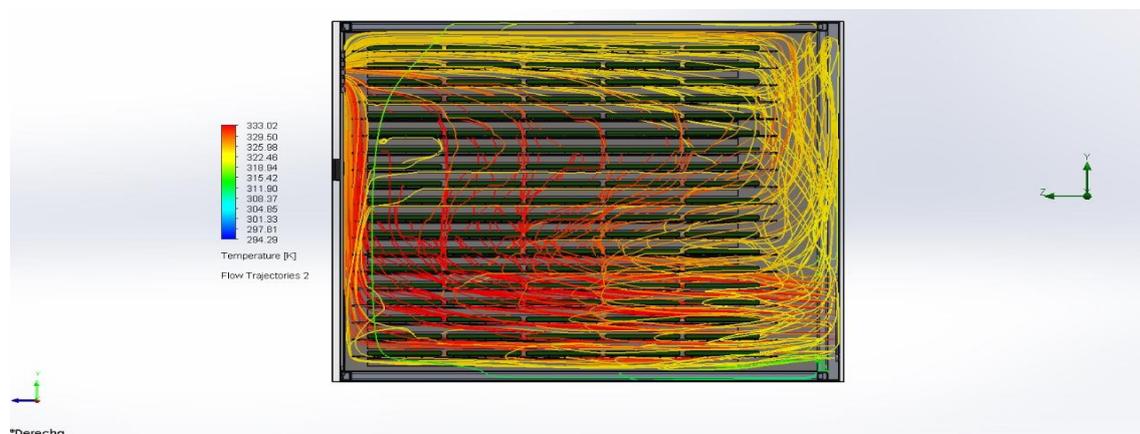
Vista lateral, Simulación de velocidad del fluido en cámara de deshidratado con velocidad inicial de 1,5m/s



La temperatura, el comportamiento de la temperatura a la velocidad de 1,5 m/s nos muestra un escenario parecido a la primera simulación, lo que nos confirma que esta velocidad a pesar de que la velocidad decrezca en gran cantidad, la temperatura estará distribuida a lo largo de la cámara.

Figura 25

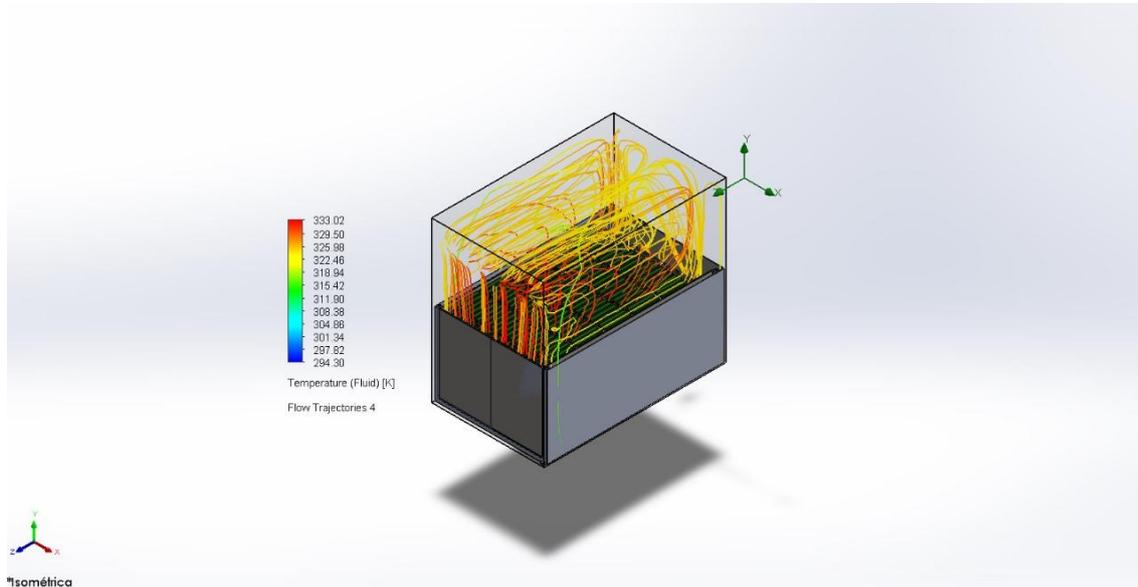
Vista lateral, Simulación de Temperatura del fluido en la cámara de deshidratado con velocidad inicial de 1,5m/s.



La velocidad y temperatura son factores muy importantes a lo largo del proceso de deshidratado, un factor que influye en gran medida y que no se apreciaba en las anteriores vistas, es la trayectoria de la temperatura. Claramente la trayectoria de la temperatura es de manera horizontal, lo que beneficiaría al secado debido a la forma de corte que poseen los trozos de Nopal. De esta manera se puede optimizar la cámara de secado, obteniendo como respuesta una mejor distribución del aire caliente en el interior de dicha cámara.

Figura 26

Vista ortogonal, Simulación de Temperatura del fluido en la cámara de deshidratado con velocidad inicial de 1,5m/s.



Con esta simulación podemos observar que la humedad no es una variable dependiente de la velocidad, a pesar de que la velocidad disminuyó, la distribución de humedad es muy parecida a la que se observa en la simulación a velocidad 5m/s.

Figura 27.

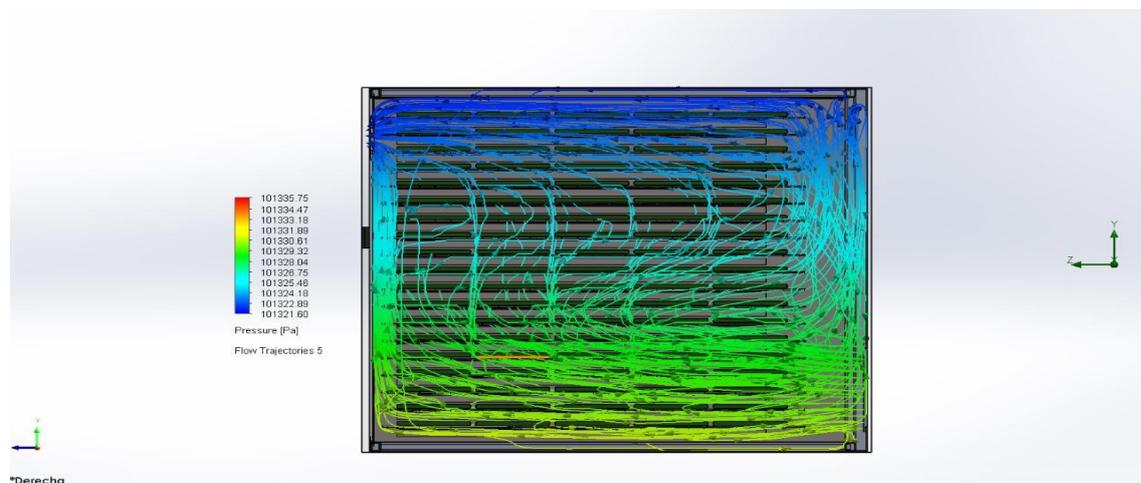
Vista lateral, Simulación de Humedad Absoluta del fluido en la cámara de deshidratado con velocidad inicial de 1,5m/s.



Ahora bien, para esta simulación tenemos esta imagen donde nos muestra cómo se distribuye la presión a lo largo de la cámara de deshidratado. Por la tonalidad de las líneas es muy claro que la presión va decreciendo en cuanto se aleja de la boquilla de ingreso de aire y se acerca a las boquillas de salida, eso quiere decir que al tener un lugar por donde desfogar el aire, la presión será variable dentro de la cámara.

Figura 28

Vista lateral, Simulación de Presión en la cámara de deshidratado con velocidad inicial de 1,5m/.



3.1.12 Análisis de costos de manufactura

Para analizar los costos de manufactura se consideraron los materiales utilizados, mano de obra y equipos o maquinarias de mecanizado. Cabe mencionar que, la construcción del deshidratador mecánico se elaboró con materiales existentes en el mercado local, lo que redujo costos de importación y tiempo. Se cotizaron cada uno de los materiales y elementos con los proveedores y se obtuvieron los valores respectivos, manteniendo en cuenta el factor económico para validar su viabilidad. Se consultó con talleres especializados en fabricación y montaje de equipos mecánicos para obtener los costos de mano de obra con respecto a los procesos de mecanizado de las piezas del deshidratador.

Tabla 28*Costos de materiales y equipos para construcción del deshidratador mecánico*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	MEDEDIDAS	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	Plancha de					
1	acero inoxidable	mm	1220x2440	2	225.37	450.74
	Plancha de					
2	aluminio 6061 soldado	mm	1220x2440	2	102.23	204.46
3	Malla mesh #2	m	-	1	62.03	62.03
	Perfil cuadrado					
4	6m	m	20x20x2	2	8.61	17.22
5	Bisagra	u	2''	4	1.50	6.00
	Rejilla de					
6	extracción	u	-	1	12.99	12.99
7	Ángulos	u	-	8	9.54	76.32
	Rollo de fibra					
8	cerámica	u	-	1	20.00	20.00
					TOTAL	787.73

Tabla 29*Costos de materiales eléctricos*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	Resistencia				
1	eléctrica de 2.5 kv	u	3	52.05	156.15
2	Ventilador HPX	u	1	280.00	280.00
3	Caja de circuitos	u	1	18.00	18.00
	Termostato				
4	1000°C	u	1	17.00	17.00
5	Termocupla tipo K	u	1	6.69	6.69
6	Relé	u	1	11.00	11.00
	Breaker de dos				
7	polos, 16 A	u	1	8.85	8.85
				TOTAL	497.69

Tabla 30*Total de costos*

ITEM	VALOR (USD)
Costo total de materiales	\$1285.42
Costo total de mano de obra	\$300.00
TOTAL	\$1585.42

Los valores descritos en cada tabla son valores que se encontraron en el mercado local por medio de proformas y consultas directas en ferreterías, cabe indicar que dichos ítems van ligados al costo de los materiales con mayor relevancia para la construcción del prototipo. El costo de mano de obra fue un valor estimado por el maestro constructor, por ello, el valor total de gastos fue de \$1817.97. Es un valor elevado con respecto a los deshidratadores existentes en el mercado, sin embargo, dichos valores se justifican por la cantidad de insumos a deshidratar, mismo que se ha efectuado según los requerimientos del cliente.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Se diseñó un deshidratador mecánico que cumplió con los requerimientos del cliente de aumentar su producción mensual de 290 a 1000 insumos por mes, con ello se logró fomentar al pequeño agricultor a mejorar sus condiciones de trabajo para que puedan competir con el mercado actual.

Desde el inicio del proyecto, uno de los objetivos fundamentales fue el análisis de curvas de secado y determinación de parámetros necesarios para el diseño mecánico del deshidratador, finalmente dichos parámetros sirvieron para desarrollar una base que respaldan los dimensionamientos y componentes que se usaron al momento de diseñar.

La selección de componentes mecánicos fue basada en las necesidades que a lo largo del proyecto fueron surgiendo, estos materiales sujetos a análisis exhaustivos fueron elegidos con la finalidad de suplir una necesidad del proyecto, tanto como costo, peso, disponibilidad, etc. dando como resultado un prototipo funcional.

Dado que el dimensionamiento y cálculos para el diseño del deshidratador se basaron en la deshidratación de nopal, las especificaciones técnicas del funcionamiento están basadas en la mejor y más óptima forma de deshidratado de nopal, siendo este el principal ingrediente en el que se basa el producto que el cliente ofrece al público.

Finalmente, al ser un mecanismo no existente en el mercado la elaboración de un manual de mantenimiento atribuyó un mayor beneficio al cliente. Al momento de diseñar, uno de los parámetros a tomar en cuenta era el fácil acceso al mantenimiento, ya que el cliente al cual va destinado se encuentra en un sector rural, el fácil montaje y desmontaje del mismo ayuda a que el mismo usuario sea quien arregle este prototipo.

4.1.2 Recomendaciones

Seleccionar la mejor ubicación del ventilador, para que el flujo de aire se distribuya por toda la cámara de secado con el fin de que los trozos de Nopal sean deshidratados de forma uniforme.

Con el fin de optimizar la cámara de secado, es necesario ubicar 19 mallas con una separación de 4mm y un peso aproximado por malla de 1.1kg, y así obtener el producto con sus propiedades organolépticas deseadas.

Es necesario utilizar materiales de acero inoxidable utilizados en la industria alimenticia para la construcción de la cámara de secado, ya que esta estará directamente en contacto con el insumo a deshidratar.

Al momento del diseño del prototipo con la herramientas CAD es necesario realizar pruebas de simulación en el interior de la cámara de secado y verificar la veracidad de este, si los resultados no son los deseados, se espera repetir las pruebas y modificar el diseño hasta que este sea el requerido por el cliente.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, M., Pèrez, J., & Angeles, L. (2023). Secador solar automatizado. *Revista IPSUMTEC*, 6(6), 87 - 94.
doi:<https://revistas.milpaalta.tecnm.mx/index.php/IPSUMTEC/article/view/58>
- Armendariz, J. (2017). *Seguridad e higiene en la manipulación de alimentos 3.ª edición*. Ediciones Paraninfo,. doi:<https://books.google.es/books?id=7lruDwAAQBAJ&dq>
- Cajamarca, D., Mendoza, J., & Baño, D. (2019). La calidad una metodología innovadora y sostenible en la producción de frutas deshidratadas. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 1(6).
doi:<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9003946>
- Camayo, B., Pablo, L., Eguavil, T., Massipe, J., & Quispe, J. (2020). Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*). *Ingeniare. Rev. chil. ing.*, 28(2). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200248>
- Campo, Y., Gèlvez, V., & Ayala, A. (2018). ULTRASONIDO EN EL PROCESAMIENTO (HOMOGENIZACIÓN, EXTRACCIÓN Y SECADO) DE ALIMENTOS. *Rev.Bio.Agro*, 16(1). doi:<https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.628>
- Cardona, D., Patiño, L., & Ormaza, A. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersion. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1).
doi:<https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1899>
- Carsky, M. (Julio de 2008). *Journal of Food Engineering*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877407004761>
- Castro, Y. (2022). *Optimización del secado convectivo de nopal (Opuntia ficus-indica L.) en trozos y evaluación de parámetros de calidad*. Obtenido de http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB_UAS/337
- Dalzotto, F., Rogério, C., & Silva, L. (2017). Agricultura de precisión: innovación para la producción mundial de alimentos y optimización de los insumos agrícolas. *Revista tecnologia y sociedad*, 13(29). doi:<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/4755>

- Delgadillo, M., Bàrcenas, M., Vaca, M., & Cruz, M. (2023). Fabricaciòn de un deshidratador de alimentos electricos. *Humanidades, tecnologia y ciencia*, 1(1). doi:http://revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/29/TECNOLOGIA_29_001177.pdf
- Delgado Plaza, E. (2014). *Diseño, modelo matemático y construcción de un secadero optimizado con energías limpias*. Santiago de Compostela.
- Díaz Ayala, F., Álvarez García , G., & Simá Moo, E. (2015). *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000800003&lng=es&tlng=en.
- Diaz, F., Alvarez, S., & Sima, E. (2015). Cinética de secado de tiras de cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica*) en un secador convectivo de flujo transversal. *Agrociencia*, 49(8), 845-857. doi:https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952015000800003&script=sci_abstract
- García, L., Pedrero, S., & Pèrez, D. (2022). Estudio de la distribución de esfuerzo mínimo y máximo de la bandeja de un deshidratador solar. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplina*, 6(6), 6025-6042. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3856
- H. Perry, R. (2001). *Manual del ingeniero químico Vol II*. Mc-Graw-Hill.
- Hernàndez, V., Olvera, O., Guzmàn, P., & Morillòn, D. (2017). Secado de frutas con energia solar. *Revista de sistemas experimentales*, 4(11), 22 - 33. doi:https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4n11/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N11.pdf#page=29
- Herp, B. (2017). *Superfoods: Los mejores alimentos para evitar enfermedades, fortalecer el sistema inmunológico y prolongar la longevidad*. Robinbook. doi:<https://books.google.es/books?id=CPB4DwAAQBAJ&dq>
- Iglesias, R., Grimaldi, R., Villanueva, B., Hernández, J., López, P., & Lastres, O. (2018). Cinética de secado de Moringa oleifera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 9(5). doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1503>
- Inocente, F., Eccoña, A., & Silva, R. (2021). Alimentos mínimamente procesados: Generalidades, procesamiento, consumo y cambios físicos, químicos y biológicos. *Agroindustrial Science*, 11(1), 117 - 126. doi:<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.14>

- Ladròn, M. (2019). *Gestión, aprovisionamiento y cocina en la unidad familiar de personas dependientes*. UF0125. Tutor Formación. doi:<https://books.google.es/books?id=Gra9DwAAQBAJ&dq>
- Llano, M. (2020). Para una buena alimentación: deshidratación de frutas tropicales. *Universitas Científica*, 1(1), 42 - 45. doi:<https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/4959>
- López, L. M. (2019). *DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA LA CIRCULACIÓN DE AIRE CALIENTE DE DESHIDRATADOR DE FRUTAS*. La libertad: ITCA.
- Marulanda, S., & Burbano, J. (2021). Evaluación energética de un deshidratador solar tipo túnel para frutas. *Revista UIS Ingenierías*, 20(2). doi:<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/11288>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería . (25 de Octubre de 2017). *La producción de tuna, una actividad rentable*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/la-produccion-de-tuna-una-actividad-rentable/>
- Montes, L., Chavez, O., Castañeda, L., González, J., Montes, M., Herrera, L., . . . Cortès, M. (2023). *Guía para orientar la capacitación a manipuladores de alimentos*. Editorial Universidad de Caldas. doi:<https://books.google.es/books?id=43XaEAAAQBAJ&dq>
- Par, M. (2017). Aplicación de los métodos de conservación de alimentos. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 1(1). doi:<https://core.ac.uk/download/pdf/228879718.pdf>
- Porta, M. (2023). *Secador solar de convección forzada para productos agrícolas supervisado*. Obtenido de <https://infotec.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1027/615>
- Pro Ecuador. (6 de Agosto de 2020). *Pro Ecuador*. Obtenido de <https://www.proecuador.gob.ec/que-frutas-tropicales-son-tendencia-actual/>
- Rodríguez, L., Hidalgo, J., & Velásquez, Y. (2020). Diseño y fabricación de prototipo de horno deshidratador para cebolla junca (*Allium Fistulosum* Linnaeus) en el municipio de Tenerife - Valle. *Colección Académica De Ciencias Sociales*, 6(1), 21 - 37. doi:<https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciassociales/article/view/3658>
- Serrano, N., & Auquiñivin, E. (2020). La actividad del agua es un factor crítico en la cinética de secado y el proceso de secado de frutas y otros alimentos. La actividad del agua se refiere a la cantidad de agua disponible para reacciones químicas y biológicas en un

- producto. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales E Ingeniería*, 3(1), 42 - 46.
doi:<https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.591>
- Torres, J., Hernández, O., Arce, G., & Vizuet, J. (2016). Secado de nopal (*Opuntia ficus*) utilizando secador solar con sistema de reflectores. *Revista de Energía Química y Física*, 3(6).
doi:https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol3_num6/Revista_Energia_Quimica_Fisica_V3_N6_6.pdf
- Torres, L., Martínez, K., Serna, J., & Hernández, M. (2019). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Físicoquímicas. *Inf. tecnol*, 30(2). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200189>
- Vegas, R., Iris, A., & Vegas, C. (2017). Efecto de la temperatura sobre la cinética de secado y el color de la pasta desgrasada de las semillas de *Lupinus mutabilis* variedad criolla. *SCIÉND*O, 20(1), 39 - 45. doi:<https://doi.org/10.17268/sciendo.2017.005>
- Velásquez, Y., Hidalgo, J., & Rodríguez, L. (2020). Diseño y fabricación de prototipo de horno deshidratador para cebolla junca (*Allium Fistulosum* Linnaeus) en el municipio de Tenerife - Valle. *Colección Académica De Ciencias Sociales*, 6(1), 21–37.
doi:<https://revistas.upb.edu.co/index.php/cienciassociales/article/view/3658>
- Vindas, D. (2021). *Guia para la adecuada manipulaciòn de alimentos*. Obtenido de <https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/13938/Gu%C3%ADa%20Manipulaci%C3%B3n%20de%20Alimentos%20-%20SISAUNA.pdf?sequence=1>

APÉNDICE

Figura 29

Selección del ventilador según el fabricante.

HPX

Ventiladores helicoidales tubulares, con motor exterior





Ventiladores helicoidales tubulares, accionados a transmisión, con apertura de envoltorio hasta 180°.

Ventilador:

- Envoltorio tubular con tapa giratoria, en chapa de acero.
- Hélices en fundición de aluminio.
- Grupo de transmisión estanco (IP66) con sistema de doble retén.
- Dirección aire motor-hélice.
- Temperatura del aire a transportar: -25°C +120°C.

Motor:

- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 0,75kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos.
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55.

- Monofásicos 230V-50Hz, y trifásicos 230/400V-50Hz(hasta 4kW) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 4kW).

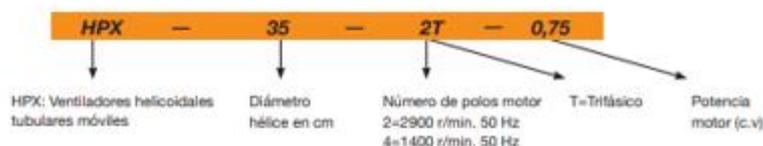
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Dirección aire hélice-motor.
- Hélices reversibles 100%.
- Bobinados especiales para diferentes tensiones.
- Certificación ATEX Categoría 2 (ver serie HPX/ATEX).

Código de pedido



Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V				
HPX-35-4T-0,75	2720	2,57	1,49	0,55	4750	77	22	
HPX-35-4T-0,33	1420	1,66	0,96	0,25	2500	60	20	
HPX-45-4T-0,33	1200	1,66	0,96	0,25	6300	69	32	
HPX-45-4T-0,5	1420	2,02	1,17	0,37	6600	70	36	
HPX-50-4T-0,75	1310	2,92	1,69	0,55	9000	70	33	
HPX-50-4T-1 IE3	1500	2,82	1,62	0,75	10800	71	35	
HPX-56-4T-0,75	1380	2,92	1,69	0,55	11300	72	36	
HPX-56-4T-1 IE3	1420	2,82	1,62	0,75	12200	73	37	
HPX-56-4T-1,5 IE3	1420	4,07	2,34	1,10	14500	75	43	
HPX-63-4T-1,5 IE3	1300	4,07	2,34	1,10	16000	74	63	
HPX-63-4T-2 IE3	1420	5,41	3,11	1,50	17500	76	71	
HPX-71-4T-1,5 IE3	1200	4,07	2,34	1,10	20300	78	78	
HPX-71-4T-2 IE3	1350	5,41	3,11	1,50	22500	79	85	
HPX-71-4T-3 IE3	1450	7,93	4,56	2,20	24000	81	86	
HPX-80-4T-4 IE3	1350	10,70	6,15	3,00	32000	84	105	
HPX-80-4T-5,5 IE3	1450	13,90	8,00	4,00	40500	84	108	
HPX-90-4T-5,5 IE3	1280	13,90	8,00	4,00	44000	89	120	
HPX-90-4T-7,5 IE3	1400	10,30	5,97	5,50	51000	91	155	
HPX-100-4T-10 IE3	1450	13,90	8,06	7,50	60000	93	175	
HPX-100-4T-15 IE3	1450	20,90	12,10	11,00	68000	94	206	

Figura 30

Selección de Plancha de acero Inoxidable AISI 304.

Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar en acabados: 2B, N1 y N4.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 – 10,5	18 – 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg / mm ²	Psi	Kg / mm ²	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

PLANCHAS ACERO INOXIDABLE 304										
Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a JIS*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICIÓN QUÍMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenítico	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	6,00 – 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	8,00 – 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	8,00 – 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304 L	4306	0,030 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	9,00 – 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	10,50 – 13,00
	23Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,5	2,00 – max	0,04	0,03	12,00 – 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	19,00 – 22,00

Figura 31

Selección de malla de acero inoxidable AISI 304 Mesh#2

MALLA INOXIDABLE MESH

Esta es una malla tejida en alambre de acero inoxidable AISI 304 formando orificios de abertura constante para controlar la granulometría de líquidos o fluidos. También para la clasificación de pequeños sólidos u objetos extraños y también como acabados decorativos en el diseño de interiores.

Con la malla mesh elaboramos filtros y tamices a la medida de sus necesidades. La Malla mesh es una malla en acero inoxidable ideal para usar en:

- Clasificación de alimentos y químicos, ya que su característica de acero inoxidable no permite contaminación.
- Fabricación de filtros y tamices para procesos industriales.
- Ideal para la industria de alimentos, aceite de palma, ladrillero plástico, farmacéutico, minería, harineras y la construcción.
- También para la clasificación de sólidos u objetos extraños.
- Acabados decorativos en Arquitectura y diseño de interiores y exteriores

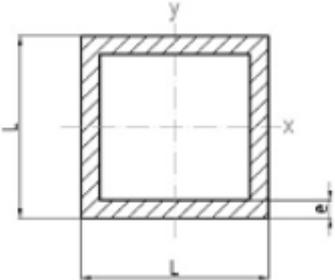
MALLAS DE ACERO INOXIDABLE				
Mesh	Apertura (mm)	Diámetro Hilo (mm)	Ancho (1 mt)	Ancho (1,22 mt)
#1	23,40	2,00		•
#2	11,10	1,60		•
#3	6,87	1,60		•
#4	5,62	0,73		•
#4	4,75	1,60		•
#5	4,35	0,73		•
#5	4,18	0,90		•
#6	3,60	0,63		•
#6	3,33	0,90		•
#7	2,98	0,65	•	
#8	2,38	0,80	•	
#9	2,02	0,80	•	

Figura 32

Selección de perfil cuadrado para esqueleto de cámara deshidratadora

Perfiles normalizados de aluminio

TUBOS CUADRADOS DE ALUMINIO



- Material disponible en Stock
 - Material bajo pedido

I x I	a	Paso	txc=lyc	Wxc=Wyc	6060/6063*	6082
10 x 10	1,0	0,102	0,049	0,098	<input type="checkbox"/>	-
12 x 12	2,0	0,227	0,139	0,231	<input type="checkbox"/>	-
15 x 15	1,5	0,230	0,249	0,332	<input checked="" type="checkbox"/>	-
15 x 15	2,0	0,295	0,300	0,400	<input checked="" type="checkbox"/>	-
16 x 16	1,5	0,247	0,308	0,385	<input checked="" type="checkbox"/>	-
20 x 20	1,5	0,315	0,637	0,637	<input checked="" type="checkbox"/>	-
20 x 20	2,0	0,408	0,787	0,787	<input checked="" type="checkbox"/>	-
20 x 20	3,0	0,578	1,013	1,013	<input checked="" type="checkbox"/>	-
25 x 25	1,5	0,400	1,303	1,042	<input checked="" type="checkbox"/>	-
25 x 25	2,0	0,522	1,635	1,308	<input checked="" type="checkbox"/>	-
25 x 25	3,0	0,748	2,169	1,735	<input checked="" type="checkbox"/>	-
30 x 30	1,5	0,485	2,321	1,548	<input checked="" type="checkbox"/>	-
30 x 30	2,0	0,635	2,942	1,961	<input checked="" type="checkbox"/>	-
30 x 30	3,0	0,919	3,985	2,657	<input checked="" type="checkbox"/>	-
35 x 35	1,5	0,570	3,767	2,153	<input checked="" type="checkbox"/>	-
35 x 35	2,0	0,748	4,809	2,748	<input checked="" type="checkbox"/>	-
35 x 35	2,5	0,921	5,755	3,289	<input type="checkbox"/>	-
35 x 35	3,0	1,089	6,611	3,778	<input type="checkbox"/>	-
38 x 38	2,0	0,816	6,240	3,284	<input checked="" type="checkbox"/>	-
40 x 40	1,5	0,655	5,715	2,858	<input checked="" type="checkbox"/>	-

MANUAL DE OPERACIÓN

Medidas de Seguridad

Para un correcto uso de la máquina deshidratadora se debe prestar atención al siguiente manual de operación, para que el operario pueda contar con todas las seguridades en el ambiente de trabajo. Estas medidas de seguridad son importantes para salvaguardar la integridad física del usuario y necesariamente deben ser aplicadas:



Usar guantes industriales al momento de manejar la materia prima y el manejo de la maquina deshidratadora.



Usar botas de seguridad para el uso de la máquina



Usar gafas de protección para temperaturas elevadas y su respectivo



Otras recomendaciones

- Mantener la máquina en un lugar seguro, donde solo personal autorizado pueda manejarla.
- Evitar tomar los trozos de Nopal con las manos, esto podría ocasionar que el insumo cambie sus propiedades organolépticas.
- Los tiempos y temperaturas de secado tienen que ser acorde al producto a deshidratar.
- Apagar y desconectar el equipo cuando no esté en funcionamiento.

Plan de Mantenimiento de la Máquina Deshidratadora

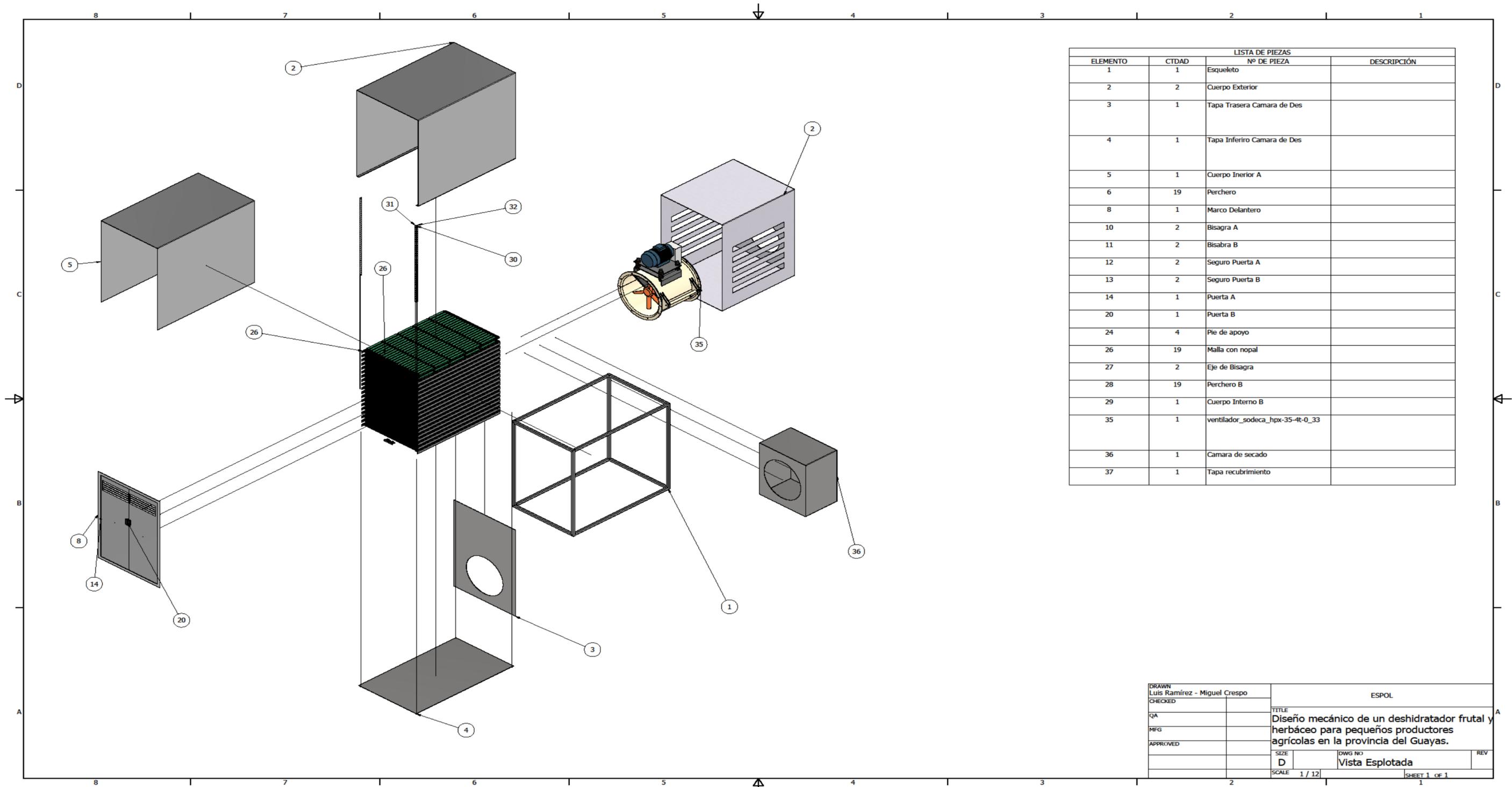
Tabla 31

Plan de mantenimiento

PLAN DE MANTENIMIENTO		
Ítems	Actividad	Frecuencia
1	Revisar el equipo de elementos contaminantes antes de ser utilizado	Diario
2	Revisar las condiciones de limpieza y desinfección del equipo	Diario
3	Ajuste de escala de temperatura y tiempo	Diario
4	Mantenimiento de ventilador	Mensual
5	Mantenimiento de resistencias eléctricas	Mensual
6	Verificar que el sistema de control funcione adecuadamente	Semanal
7	Limpiar los portamallas	Diario
8	Limpiar las paredes de la cámara de secado al finalizar su función.	Diario
9	Revisar	
10	Verificar si las bisagras, chapas, agarraderas y demás componentes funcionan correctamente.	Quincenal
11	Revisión general del equipo	Semanal

Plano 1

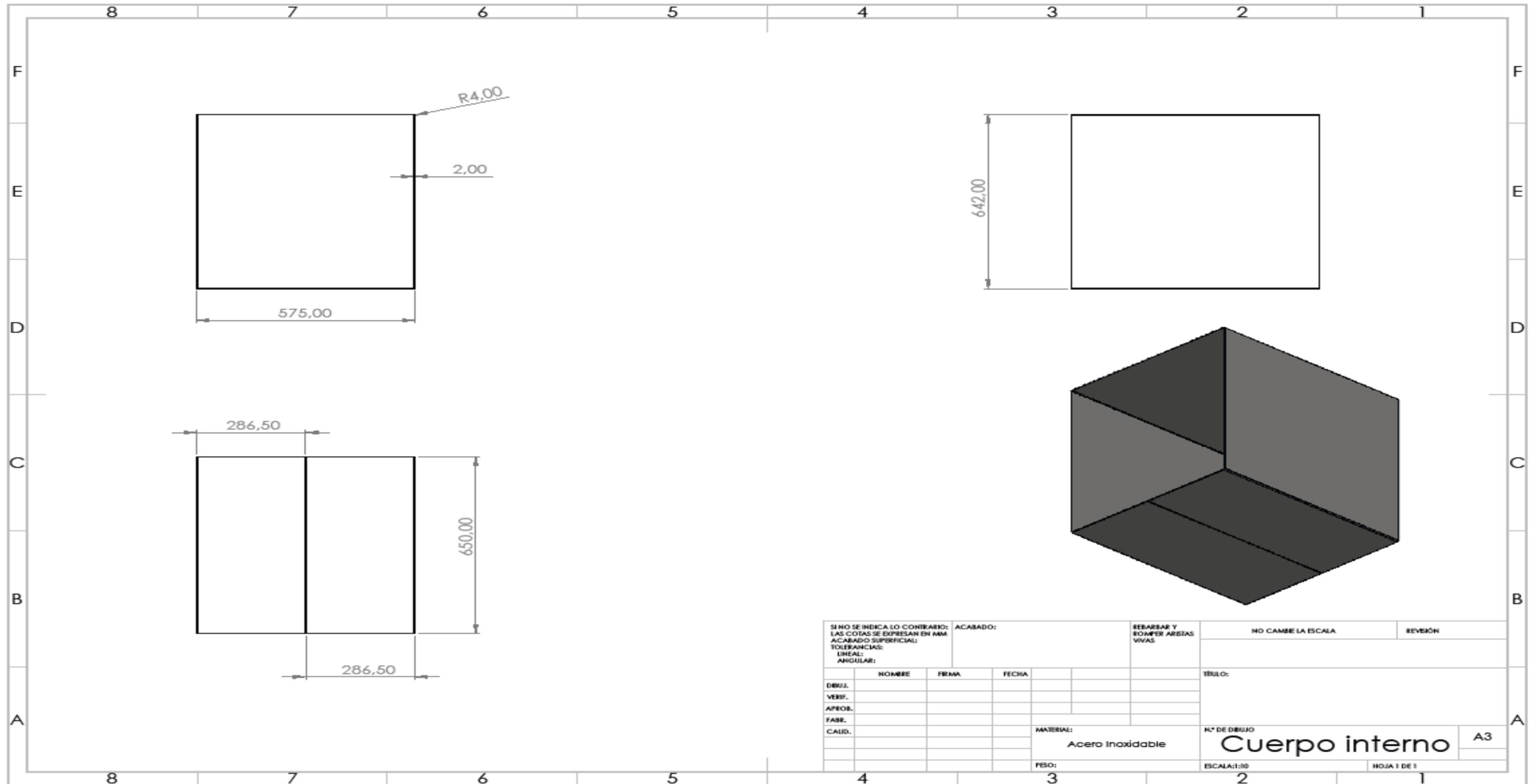
Vista Explotada del Deshidratador



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Esqueleto	
2	2	Cuerpo Exterior	
3	1	Tapa Trasera Camara de Des	
4	1	Tapa Inferior Camara de Des	
5	1	Cuerpo Interior A	
6	19	Perchero	
8	1	Marco Delantero	
10	2	Bisagra A	
11	2	Bisagra B	
12	2	Seguro Puerta A	
13	2	Seguro Puerta B	
14	1	Puerta A	
20	1	Puerta B	
24	4	Pie de apoyo	
26	19	Malla con nopal	
27	2	Eje de Bisagra	
28	19	Perchero B	
29	1	Cuerpo Interno B	
35	1	ventilador_sodeca_hpx-35-4t-0_33	
36	1	Camara de secado	
37	1	Tapa recubrimiento	

DRAWN Luis Ramírez - Miguel Crespo	ESPOL		
CHECKED	TITLE		
QA	Diseño mecánico de un deshidratador frutal y herbáceo para pequeños productores agrícolas en la provincia del Guayas.		
MFG	SIZE D	DWG NO Vista Explotada	REV
APPROVED	SCALE 1 / 12	SHEET 1 OF 1	

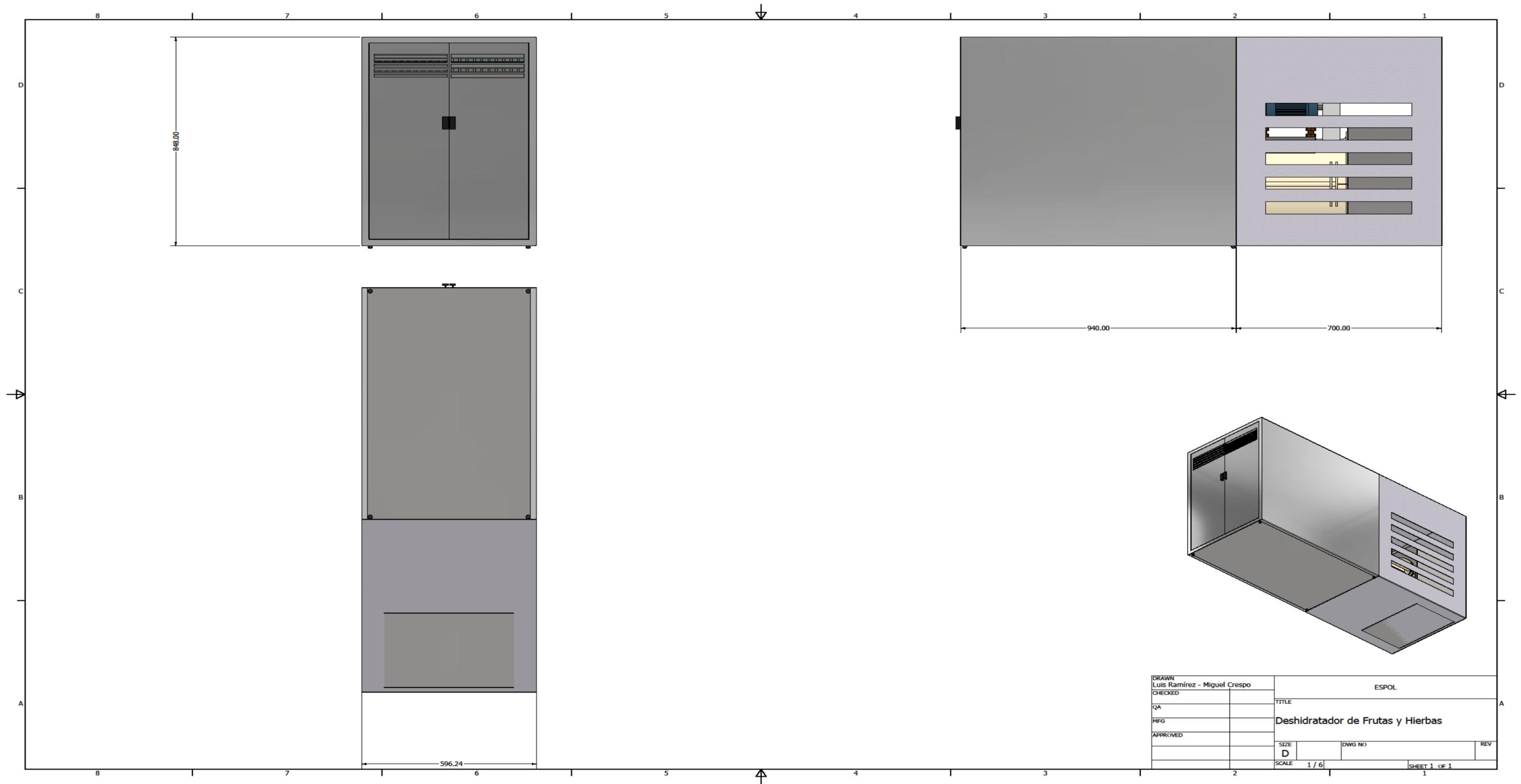
Plano 2
Cuerpo interno del deshidratador



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISION	
ACABADO SUPERFICIAL:										
TOLERANCIAS:										
LINEAL:										
ANGULAR:										
			NOMBRE		FIRMA		FECHA		TITULO:	
DIBUJ.										
VERIF.										
APROB.										
FABR.										
CALID.										
							MATERIAL:		N° DE DIBUJO	
							Acero Inoxidable		Cuerpo interno	
							PESO:		ESCALA: 1:30	
									A3	
									HOJA 1 DE 1	

Plano 3

Vista en perspectiva del deshidratador



DRAWN Luis Ramirez - Miguel Crespo		ESPOL	
CHECKED		TITLE	
QA		Deshidratador de Frutas y Hierbas	
MFG		SIZE	DWG NO
APPROVED		D	
		SCALE	1 / 6
			SHEET 1 OF 1

Plano 4

Vista Frontal de la distribución de trozos de cladodio en bandeja-malla

