



Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas

Guamán Rocha, Cristian Eduardo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de

Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Tapia Zurita, Melton Edmundo

10 de agosto del 2021



Curiginal

Document Information

Analyzed document	DOCUMENTO DE TITULACION - UTM - GUAMAN CRISTIAN_UR.pdf (D111143900)
Submitted	8/10/2021 4:40:00 PM
Submitted by	
Submitter email	metapia@espe.edu.ec
Similarity	9%
Analysis address	metapia.espe@analysis.arkund.com

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'MELTON EDUARDO TAPIA ZURITA'.

Ing. Tapia Zurita, Melton Edmundo

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas”**, fue realizado por el señor **Guamán Rocha Cristian Eduardo**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de agosto de 2021

Firma

Ing. Tapia Zurita Melton Edmundo

C.C.: 1708863954



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Guamán Rocha, Cristian Eduardo** con cédula de ciudadanía n° 1725616781, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de julio de 2021

Firma

Guamán Rocha, Cristian Eduardo

C.C.: 1725616781



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Guamán Rocha, Cristian Eduardo** con cédula de ciudadanía n° 1725616781, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, idea y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 10 de julio de 2021

Firma

Guamán Rocha, Cristian Eduardo

C.C.: 1725616781

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón el presente trabajo a mi madre Zolia Georgina Rocha, pues sin su apoyo incondicional no lo habría logrado. Fuiste una mujer maravillosa, una madre ejemplar siempre te llevare en mi corazón. Esta tesis es una meta más que llevo a cabo, y sin ninguna duda ha sido en gran parte gracias a ti; no tengo idea donde me encontraría de no ser por tu apoyo, tus consejos, tu compañía, tu comprensión, y tu amor. Me entristece mucho no poder compartirlo contigo, pero en donde te encuentres allá en el cielo te mando mis sinceras gracias madre mía, te amo.

A mi padre Luis Eduardo Guamán quien con todo su sacrificio y amor me ha otorgado todas las facilidades para enfocarme en mi formación profesional y llegar a esta tan anhelada meta.

A mi hermano Alexis Fabian Guamán quien siempre me transmite un amor de hermanos incondicional, y aunque no seamos los hermanos más unidos, siempre que lo he necesitado él ha estado ahí para apoyarme y darme fuerza para superar cualquier problema.

Y finalmente a todos mis amigos con quienes tuve el placer de compartir momentos especiales, que han sido parte de este camino para lograr mi formación académica y alcanzar mi título universitario.

Agradecimientos

No habría logrado llegar al lugar en el que me encuentro este momento sino fuera por personas realmente increíbles que me han apoyado, animado e inspirado con las cuales me siento muy agradecido.

Agradezco especialmente con mi madre Zoila Rocha que, gracias a tu esfuerzo y amor, junto con mi padre me has educado, me has proporcionado todo y cada cosa que he necesitado. Tus enseñanzas las aplico cada día; de verdad que tengo mucho por agradecerte. Tus ayudas en verdad fueron fundamentales para llegar a este momento.

Agradezco mi padre Luis Guamán que siempre me ha inculcado el valor del trabajo duro y la recompensa del mismo también me ha inculcado valores y principios para defenderme en mi vida profesional.

Agradezco a Mercedes Rocha, Luis Llumiquinga, Pablo Llumiquinga por toda su fe y apoyo incondicional que han significado mucho para mí.

Agradezco a mis maestros de mi carrera universitaria que me han transmitido el conocimiento necesario para iniciar mi vida profesional sin problemas

Agradezco al Ingeniero Melton Edmundo Tapia Zurita por su guía a lo largo de este y otros proyectos que hemos llevado a cabo siempre orientándome e indicándome pautas para ser un buen profesional.

Y finalmente a mi otra familia, Jefferson, Diego, Karen amigos incondicionales que han contribuido en mi crecimiento, de no ser por ellos no hubiera llegado a este meta final.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	6
Agradecimientos	7
Índice de contenido	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras.....	15
Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo I: Generalidades.....	20
Antecedentes	20
Objetivos.....	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos.....	21
Alcance	22
Componentes Mecánicos	22
Componentes electrónicos-eléctricos	23
Software para implementación, análisis y simulación.....	24
Rango y precisión objetivos para el prototipo de deshidratador	26
Justificación e Importancia.....	26
Capítulo II: Marco teórico	29
Secado y Deshidratación.....	29
Ventajas de la Deshidratación	30

Desventaja de Deshidratación	31
Procesos básicos de secado	31
Actividad de agua	31
Difusión de la humedad.....	32
Secado con aire caliente	32
Primera etapa (A-B)	33
Segunda etapa (B-C)	34
Tercera etapa (C-D).....	35
Cuarta etapa (D-E)	35
Transferencia de calor y transferencia de masa.....	36
Conducción	36
Convección	38
Radicación.....	39
Acciones previas al proceso de Deshidratado	40
Recepción	40
Clasificación	40
Pesado	40
Lavado.....	41
Colocación del producto.....	41
Tratamientos posteriores al proceso de deshidratación.....	41
Enfriamiento	41

Clasificación y envasado	41
Influencia de Parámetros en la calidad del Producto	41
Diagrama Psicrométrico.....	42
Construcción del diagrama	42
Controladores lógicos programables	43
Controladores de temperatura.....	44
REX-C100 Controlador de temperatura PID	44
Normas Alimenticias	45
Normas de construcción	46
Estado del arte	46
Capítulo III: Diseño y Construcción del prototipo	49
Diseño y construcción de la parte mecánica.	49
Cámara de secado.....	49
Selección del tipo de deshidratador	49
Diseño Térmico.....	54
Dimensionamiento de las bandejas	60
Dimensionamiento de la cámara de secado	69
Perdidas de Calor.....	77
Calor total requerido	80
Bastidor.....	81
Dimensionamiento del bastidor	81
Selección del tipo de quemador	90

Potencia y consumo del quemador	95
Colector.....	96
Dimensionamiento del colector	96
Diseño y construcción de la parte electrónica y control.	97
Selección de sensores.	97
Sensor de temperatura.....	97
Sensor de humedad.....	100
Selección de controladores.	102
Acondicionamiento de los sensores.	105
Acondicionamiento sensor de temperatura	105
Acondicionamiento sensor de humedad.....	106
Control del quemador.....	107
Quemador de shiglores	107
Modelamiento del sistema.....	108
Fuente de alimentación	112
Tablero de control	112
Asignación del tablero de control.....	112
Esquema eléctrico de control	113
Esquema eléctrico de potencia	115
Detalle del proceso.....	115
Capítulo IV: Pruebas y Análisis de resultados	117

Control de temperatura carga	117
Pruebas sin carga	118
Pruebas con carga	119
Datos prácticos de deshidratación - Manzana.....	119
Porcentaje de error – prueba con manzana	121
Datos prácticos de deshidratación Uvilla.....	122
Porcentaje de error – prueba con uvilla	123
Análisis de datos	124
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	127
Conclusiones	127
Recomendaciones.....	128
Presupuesto	129
Bibliografía	131

Índice de tablas

Tabla 1 Ponderaciones de criterios para deshidratador	53
Tabla 2 Tabla de selección del tipo de deshidratador	54
Tabla 3 Calor específico de frutas para deshidratar	56
Tabla 4 Temperaturas del proceso de deshidratación para la masa.....	56
Tabla 5 Valor del calor sensible de las frutas para el proceso de deshidratado	57
Tabla 6 Valores de calor de evaporación de los productos.....	59
Tabla 7 Valores de calor de útil de los productos	59
Tabla 8 Valores volumen de los productos a deshidratar	60
Tabla 9 Valores resultantes del flujo másico	78
Tabla 10 Valores resultantes de las pérdidas de calor por proceso en el aire	79
Tabla 11 Valores resultantes de las pérdidas de calor totales	80
Tabla 12 Valores resultantes del calor requerido	80
Tabla 13 Valores de masas totales	85
Tabla 14 Ponderaciones de criterios para quemadores.....	94
Tabla 15 Tabla de selección del tipo de quemador	94
Tabla 16 Componentes dimensionados para el colector solar	97
Tabla 17 Ponderación de criterios de evaluación - termocupla.....	98
Tabla 18 Ponderación de sensores de temperatura a evaluarse según criterios	98
Tabla 19 Ponderación de criterios de evaluación – sensor de humedad.....	100
Tabla 20 Ponderación de sensores de humedad a evaluarse según criterios.....	101
Tabla 21 Ponderación de criterios de evaluación – Controladores.....	103
Tabla 22 Ponderación de controladores a evaluarse según criterios	104
Tabla 23 Datos de tiempo y temperatura teóricos	109

Tabla 24 Datos del control de temperatura	117
Tabla 25 Resultados del prototipo sin carga	118
Tabla 26 Resultados del prototipo con carga	119
Tabla 27 Resultados de deshidratación de la manzana	120
Tabla 28 Porcentajes de error – prueba de deshidratación manzana	121
Tabla 29 Resultados de deshidratación de la uvilla.....	122
Tabla 30 Porcentajes de error – prueba de deshidratación uvilla	124
Tabla 31 Costos de materiales mecánicos.....	129
Tabla 32 Costos de mano de obra	129
Tabla 33 Costos de material eléctrico y control	130
Tabla 34 Costo total del prototipo	130

Índice de figuras

Figura 1 Estructura general inicial del sistema mecánico.....	23
Figura 2 Estructura general inicial del sistema eléctrico y electrónico	24
Figura 3 Estructura de software implementación, análisis y simulación	25
Figura 4 Diagrama de control de la planta referencial	25
Figura 5 Isoterma del contenido de humedad en equilibrio para un alimento	32
Figura 6 Etapas del secado de un alimento con aire	33
Figura 7 Esquema de conducción de calor a través de una pared plana	37
Figura 8 Transferencia de calor por convección desde una superficie caliente hacia el aire ..	38
Figura 9 Esquema de un mecanismo de transferencia de calor por radiación	39
Figura 10 Esquema del diagrama psicrométrico	43
Figura 11 REX-C100 Controlador de temperatura y esquema de conexión.....	45
Figura 12 Ejemplo de esquema de conexión del controlador REX-C100	45
Figura 13 Deshidratador solar directo.....	49
Figura 14 Deshidratador solar indirecto.....	50
Figura 15 Disposición constructiva de un deshidratador activo de tipo distribuido.....	52
Figura 16 Diseño para las bandejas	61
Figura 17 Esquema de disposición de las bandejas.....	63
Figura 18 Cargas en la bandeja.....	64
Figura 19 Análisis de esfuerzos en la bandeja	65
Figura 20 Análisis de desplazamiento de la bandeja.....	66
Figura 21 Marcos de las bandejas de acero inoxidable 304.....	67
Figura 22 Unión de la malla al marco de acero inoxidable	68
Figura 23 Bandejas terminadas	68

Figura 24 Diseño para la cámara de secado	69
Figura 25 Diseño CAD cuerpo estructural de la cámara	71
Figura 26 Cargas en la aleta (soporte de la bandeja)	72
Figura 27 Análisis de esfuerzos en las aletas	73
Figura 28 Análisis de desplazamiento de la aleta	74
Figura 29 Cuadro estructural para la cámara	75
Figura 30 Proceso de fabricación de la cámara de deshidratación	76
Figura 31 Diseño para el bastidor	81
Figura 32 Diseño CAD cuerpo estructural de la cámara	83
Figura 33 Masa total de la cámara de deshidratación por Software	84
Figura 34 Masa total de la bandeja por Software	84
Figura 35 Distribución de reacciones del bastidor	86
Figura 36 Análisis de esfuerzos en el bastidor	87
Figura 37 Análisis de desplazamiento del bastidor	88
Figura 38 Cuadro estructural del bastidor	89
Figura 39 Bastidor finalizado	89
Figura 40 Quemador radial automático	90
Figura 41 Quemador de llama continua	91
Figura 42. Sistema de calentamiento con shiglores	92
Figura 43 Termocupla tipo K	99
Figura 44 Sensor de temperatura y humedad	101
Figura 45 Pantalla del controlador REX-C100	105
Figura 46 Conexión termocupla – REX-C100	106
Figura 47 Conexión DHT22 - Arduino	107

Figura 48 Sistema de Quemador de shiglores.....	108
Figura 49 Identificación de la planta	110
Figura 50 Diagrama de control en lazo cerrado en Simulink.....	110
Figura 51 Sintonización del PID	111
Figura 52 Respuesta del control PID a perturbaciones	111
Figura 53 Fuente de poder 12V/A, 120Watts.....	112
Figura 54 Asignación del tablero de control.....	113
Figura 55 Esquema eléctrico de control	114
Figura 56 Respuesta del control de temperatura.....	115
Figura 57 Esquema eléctrico de potencia.....	118
Figura 58 Grafica-curva de deshidratado (masa vs tiempo) experimental de la manzana	120
Figura 59 Grafica-curva de deshidratado (%humedad vs tiempo) de la manzana.....	121
Figura 60 Grafica-curva de deshidratado (masa vs tiempo) experimental de la uvilla	123
Figura 61 Grafica-curva de deshidratado (%humedad vs tiempo) de la uvilla.....	123
Figura 62 Vista lateral y frontal del prototipo de deshidratador	125
Figura 63 Vista interior de la cámara de deshidratación.....	125
Figura 64 Pruebas de deshidratación de manzana.....	126
Figura 65 Prototipo de deshidratador con sus 3 módulos	126

Resumen

Los deshidratadores son máquinas que eliminan un porcentaje del contenido de agua de un alimento, este proceso se utiliza principalmente para la conservación de los alimentos, dando como resultado un producto consumible que no se dañe con el tiempo. La base de este estudio es la transferencia de calor y masa, que son las herramientas primordiales para el estudio del comportamiento del proceso de deshidratación de un alimento. En el presente trabajo se realiza el diseño y la construcción de un prototipo de deshidratador automatizado híbrido (solar – gas) que permite la deshidratación de 10 Kg de fruta fresca. El prototipo consta de tres módulos, el bastidor que soporta a la cámara de deshidratación y contiene el quemador a gas, un cámara de deshidratación con bandejas y un colector solar para aprovechar al máximo la energía solar, también contiene un sistema electrónico que permite el óptimo control y funcionamiento, el panel de control es muy sencillo de entender para que el usuario y este pueda ingresar los valores fácilmente. La carga máxima es de 10 Kg, con un rango de temperaturas de 25 a 70 grados centígrados. Al realizar pruebas en el prototipo se obtienen resultados de precisión en temperatura de $\pm 1\%$. Además, al comparar los tiempos de deshidratación con máquinas industriales, se obtienen resultados similares. En base a los resultados, se puede concluir que el prototipo puede ser utilizado para la producción de fruta deshidratada de mediana producción.

- Palabras clave:

- **TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA**
- **DESHIDRATACION**
- **MEDIANA PRODUCCION**

Abstract

Dehydrators are machines that remove a percentage of the water content of a food, this process is used mainly for the preservation of food, resulting in a consumable product that does not damage over time. The basis of this study is the transfer of heat and mass, which are the primary tools for studying the behavior of the dehydration process of a food. In the present work, the design and construction of a prototype of an automated hybrid dehydrator (solar – gas) that allows the dehydration of 10 kg of fresh fruit is carried out. The prototype consists of three modules, the frame that supports the dehydration chamber and contains the gas burner, a dehydration chamber with trays and a solar collector to make the most of solar energy, it also contains an electronic system that allows optimal control and operation, the control panel is very easy to understand so that the user and the user can enter the values easily. The maximum load is 10 Kg, with a temperature range of 25 to 70 degrees Celsius. Testing the prototype gives results of $\pm 1\%$ temperature accuracy. Furthermore, when comparing dehydration times with industrial machines, similar results are obtained. Based on the results, it can be concluded that the prototype can be used for the production of dehydrated fruit of medium production.

- Keywords:

- **HEAT AND MASS TRANSFER**
- **DEHYDRATION**
- **MEDIUM PRODUCTION**

Capítulo I:

Generalidades

Antecedentes

Existe en el Ecuador una amplia variedad de productos agrícolas para este caso nos enfocamos en las frutas y posteriormente su proceso de deshidratación. “El secado de productos, es una necesidad de los sectores rurales en todo el mundo, para el almacenamiento y la conservación posterior a la cosecha que, de lo contrario, se descompondrían. Esta alternativa planteada, para los alimentos de elevada producción estacional, evita pérdidas y otorga a los productos un valor agregado; el productor lo conserva para consumo propio en épocas en la cual no se dispone fresco y su excedente puede ser comercializado”. (Kerkhoff, Senn, Condori, & Mantulak, 2012, p. 1)

Haciendo un resumen histórico, se sabe que el proceso de deshidratación como tal, se remonta a la edad del hierro en el norte de Europa, donde se construyeron los primeros hornos para secar el trigo recién cosechado. Durante la revolución industrial, Diderot, en 1751 describe muchos procedimientos de secado o desecación de alimentos que se llevaban a cabo en Francia, pero no fue sino hasta 1795 que se inventó el cuarto de deshidratación de agua caliente a 105 F sobre tajadas delgadas de hortalizas. (De Michelis & Ohaco, s/f)

En referencia a la fabricación y disponibilidad de equipos en nuestro país para realizar el proceso de deshidratación, la industria metalmecánica en el Ecuador ofrece varias alternativas de equipos importados y algunos fabricados localmente, sin embargo, estos últimos son los más convencionales y simples en este proceso, tenemos a AMAWTEC Green tecnología. Enfocada en la innovación de tecnologías verdes y energías limpias, es la empresa más avanzada en este tipo de tecnologías en el País, pero sus equipos están dirigidos a procesos específicos los cuales no se

adaptan a las necesidades específicas de los productores y comercializadores, de allí la necesidad del desarrollo del presente proyecto.

En la actualidad, la calidad de los productos tiene un papel fundamental en la industria alimenticia, pues fomenta a que un productor pueda competir en el mercado, logrando certificaciones que puedan asegurar la calidad de un producto y obteniendo de esta manera potenciales clientes. Por ende, es necesario saber el comportamiento termodinámico de diferentes frutas en el proceso de deshidratación, garantizando de esta manera una deshidratación idónea, y de esta manera tener el control de la calidad del producto.

Objetivos

En esta sección se precisa el objetivo general y los objetivos específicos propuestos para la ejecución del proyecto de titulación

Objetivo General

Construir un prototipo de deshidratador de frutas de mediana capacidad, enfocado en la utilización de energía solar y energía por combustión de GLP con un control intuitivo para el usuario

Objetivos Específicos

- Diseñar el prototipo en tres módulos independientes: cámara de secado, bastidor para el sistema de calentamiento y colector solar
- Diseñar una cámara de secado rígida y con las menores pérdidas de calor para el proceso de deshidratación.
- Diseñar un bastidor rígido que albergue el sistema de calentamiento y soporte la cámara de secado

- Diseñar un sistema eléctrico-electrónico robusto que posibilite el óptimo funcionamiento y control del prototipo de deshidratador.
- Implementar un panel de control que posibilite el control y monitoreo del funcionamiento del prototipo
- Mostrar los datos de control de temperatura en tiempo real

Alcance

El proyecto está orientado a la innovación del proceso de deshidratación de alimentos, ya que este tipo de equipos específicamente no se realiza aquí en el país.

En esta sección se precisa el alcance del proyecto de titulación

Componentes Mecánicos

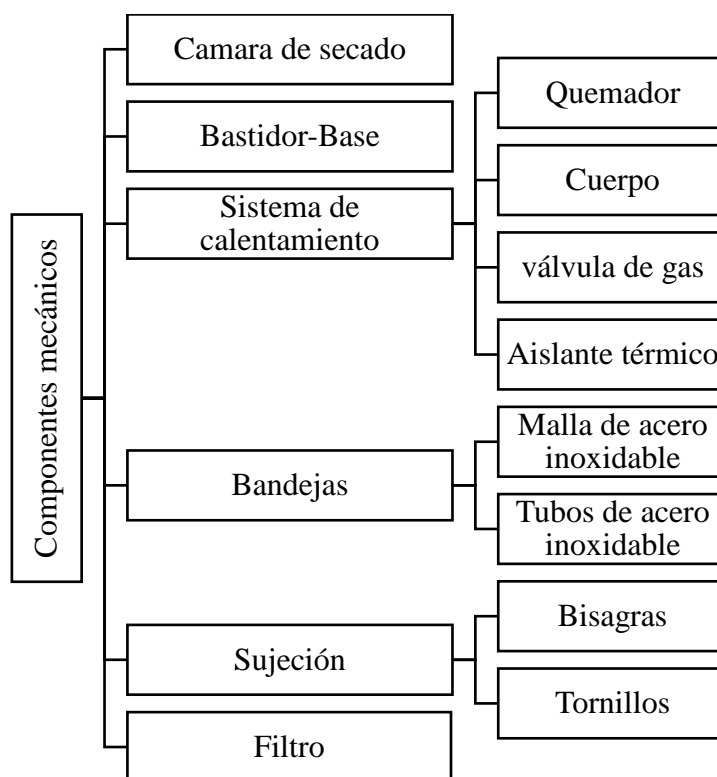
En la Figura 1 se muestra un esquema general de los componentes mecánicos que van a ser diseñados y/o seleccionados para el proyecto:

- Cámara de secado: Construido con tubería de acero galvanizado, sellada internamente con planchas de acero inoxidable 304, externamente sellada con planchas de acero galvanizado y entre la planchas colocación del aislante térmico.
- Bastidor-Base: Construido con tubería de acero galvanizado y sellada externamente con acero galvanizado, con sus respectivos respiradores para el quemador
- Sistema de calentamiento: Implementando un sistema hornilla automática la cual se dimensionará en el transcurso del proyecto y que cumplirá las características termodinámicas necesarias, con un acople para la sujeción al bastidor-base.
- Bandejas: Construidas con tuberías de acero inoxidable 304 para el contorno y malla de acero inoxidable 304 para la base.

- Sujeción: Implementando bisagras, tornillos, acoples especiales con material tipo metal
- Filtro: Construido con una tela de carbón activado, acrílico para la forma del contorno y acoples impresos en 3d para su sujeción a la cámara de secado.

Figura 1

Estructura general inicial del sistema mecánico



Componentes electrónicos-eléctricos

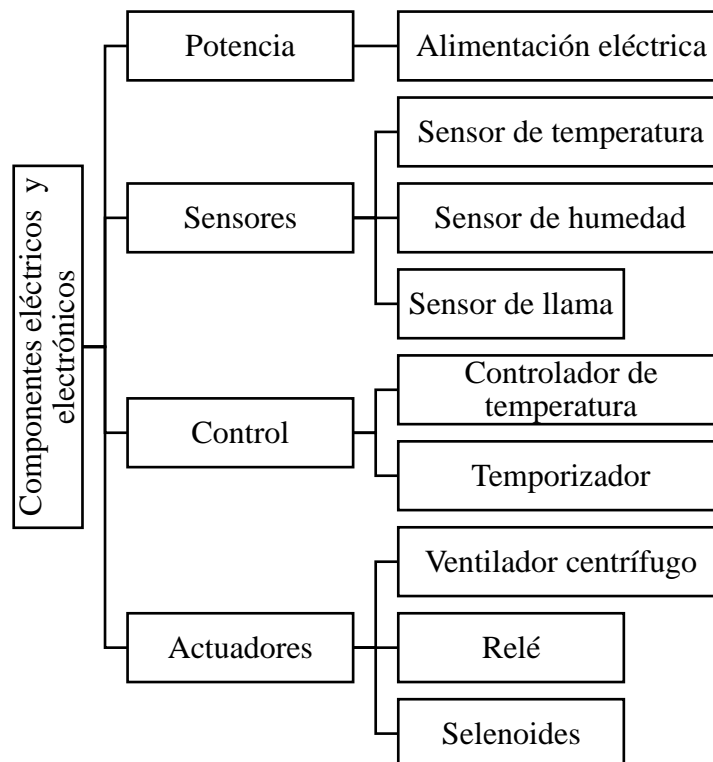
En la Figura 2 se muestra un esquema general de los componentes eléctricos y electrónicos que se implementaran en el proyecto, y estos son los siguientes:

- Potencia: Fuente de alimentación la cual suministra la energía necesaria para la aplicación propuesta.

- **Sensores:** Se utilizará una termocupla tipo k para medir la temperatura de la cámara de secado, un hidrómetro semi industrial para la humedad.
- **Control:** Permitirá controlar la temperatura y humedad adecuada para la cámara dependiendo del fruto a secar, además de controlar el tiempo de secado.
- **Actuadores:** Ventiladores los cuales se dimensionarán y seleccionarán de los existentes en el mercado.

Figura 2

Estructura general inicial del sistema eléctrico y electrónico



Software para implementación, análisis y simulación

En la Figura 3 se muestra un esquema general de los componentes de software que se implementarán en el proyecto, y son los siguientes:

- CAD/CAM: Se empleará software de ingeniería para el diseño CAD del prototipo, para las simulaciones de esfuerzos y cálculos de materiales, para poder diseñar la cámara de secado con un óptimo sellado termodinámico y el bastidor-base para el soporte tanto de la cámara de secado y el sistema de calentamiento

Figura 3

Estructura de software implementación, análisis y simulación

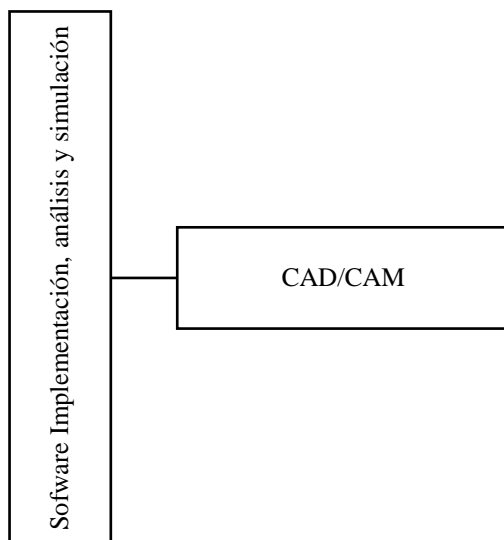
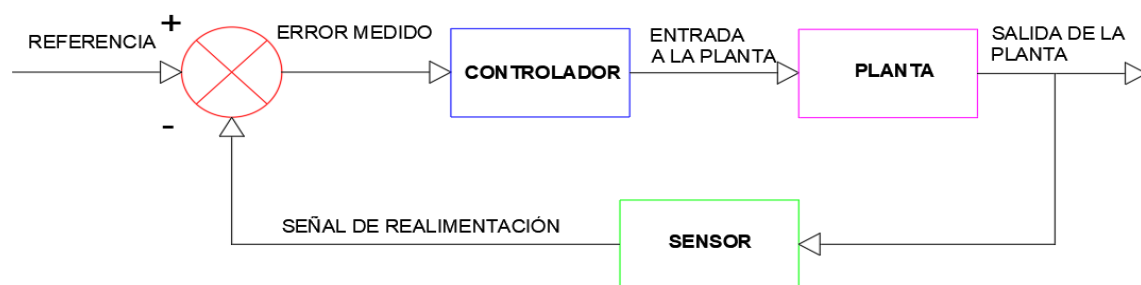
**Figura 4**

Diagrama de control de la planta referencial



Rango y precisión objetivos para el prototipo de deshidratador

- El Rango en cuanto a la medición de la temperatura en la cámara de secado se pretende obtener es de 40°C a 65°C
- El Rango de la humedad máxima para los procesos de secado es de 35%RH a 60%RH
- La precisión del prototipo depende principalmente de los sensores utilizados, pero la finalidad es obtener un rango de precisión bueno ya que se trata de un proceso termodinámico.
- En cuanto a las mediciones de tiempo, por el mismo se trata de un proceso que dura un tiempo considerable está en unidades de horas más comúnmente.

Justificación e Importancia

El deshidratado de alimentos es uno de los métodos más antiguos en la conservación para los alimentos. El principal objetivo es alargar la duración de estos por la reducción del agua contenida en ellos; de esta manera se inhibe el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, no obstante, la temperatura del proceso es generalmente insuficiente para provocar la inactivación. Por lo tanto, cualquier incremento en la humedad contenida durante el proceso de almacenamiento, puede ocasionar un rápido deterioro. (Espinoza S., 2016) . La disminución de peso y volumen resultan en una simplificación de costos de transporte y de almacenamiento; este proceso generalmente se considera de alto costo por la energía requerida, razón por la cual se quiere aprovechar la energía solar ya que una energía limpia.

El Ecuador es un país sumamente rico, en recursos naturales, especialmente en especies vegetales, como las frutas, por tanto, las pérdidas postcosecha, no solo implican la disminución de la calidad del producto sino también un mal aprovechamiento de los recursos, insumos y

esfuerzos durante el proceso de la producción, generando pérdidas económicas aproximadamente al 45% en los países en vías de desarrollo. (Pilamunga Capus, Juantamay Tenezaca, & Lucero Redrobán, 2011), de ahí la necesidad de buscar alternativas de procesamiento que además de aumentar el tiempo de vida útil del producto, le dé un valor agregado, pero manteniendo la buena calidad inherente de los alimentos, su valor nutricional y características organolépticas.

En la actualidad dentro de la industria alimentaria, la técnica de conservación más usada es la deshidratación. Esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento. Para ello se pueden utilizar varios métodos de deshidratación o combinación de los mismos, tales como secado solar, aire caliente, microondas, liofilización, atomización, deshidratación osmótica, entre otros. (Pilamunga Capus, Juantamay Tenezaca, & Lucero Redrobán, 2011). El valor nutritivo y el sabor son características que sobresalen de los alimentos deshidratados y secos y pese a que han ganado comensales, aún la producción se reduce a productores pequeños y medianos a escala nacional.

Según información proporcionada en Agronegocios, portal que agrupa a 4 000 productores en el país, en la actualidad se registran unas 15 empresas que se dedican a la producción de frutas deshidratadas y casi todas exportan el producto; estas empresas también abastecen el mercado nacional en autoservicios, supermercados y tiendas. Con la llegada de las salvaguardias, la situación se complicó, porque los productos empezaron a llegar con precios elevado, esto le obligó a elaborar la fruta deshidratada de manera artesanal. La mayoría de empresas dedicadas a este proceso de producción tiene maquinaria importada ya que en el país las empresas metalmecánicas ofrecen deshidratadores convencionales los cuales no están

orientados para una alta producción, sin embargo existen algunas empresas que si ofrecen equipos de alta producción pero con la desventaja de los altos precios, de allí la necesidad de diseñar un equipo de deshidratación modular automático de mediana producción el cual use la energía solar y también energía adicional esto cuando la energía solar no esté presente.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en una publicación realizada en el año 2014, sugiere a la industria mundial proporcionar mayor apoyo a los pequeños agricultores, realizando diseños que se adapten a sus necesidades, esto ayudaría a los productores a realizar sus procesos con mayor efectividad y rendimiento y los impulsaría a salir de la pobreza. (Kienzle, Ashburner, & Sims, 2013)

El desarrollo y comercialización de equipamiento adecuado y adaptado a las realidades técnicas y socioeconómicas de los pequeños y medianos productores, garantizará la seguridad alimentaria, crecimiento económico, mitigación de pobreza y protección del medio Ambiente.

Capítulo II:

Marco teórico

Secado y Deshidratación

La deshidratación es la eliminación de agua de un sólido. No obstante, esta puede ser parcial o total. Comúnmente se utiliza el termino deshidratación cuando se obtiene la perdida de agua mediante sistemas mecánicos.

El secado, tendría una similar definición, puede ser total o parcial. Sin embargo, viéndolo desde un punto de vista técnico se utiliza el termino secado cuando se hace referencia a una operación de perdida de agua mediante el calor.

Existen muchos tipos de eliminación de agua: térmica, mecánica o biológica, las cuales tienen determinadas prestaciones e inconvenientes. En la terminología corriente utilizada en el mundo de los residuos, la primera parte del secado, el cual es hasta un 30% de materia seca se denomina deshidratación y es un sistema térmico. (Castells, 2012)

El secado o deshidratación es un sistema de conservación el cual proporciona un medio difícil para el crecimiento microbiano además disminuye el costo de transporte y almacenamiento por la pérdida del volumen y peso de los productos deshidratados. Simultáneamente con estas ventajas se producen efectos secundarios los cuales afectan la calidad del producto, que deben ser disminuidos en una operación en las condiciones adecuadas.

Los cálculos de deshidratación se basan en el conocimiento de las propiedades de los alimentos y del aire en el ambiente. Este fenómeno es muy complejo ya que involucra procesos combinados de transferencia de masa, calor y momento. El prototipo que vigila el secado de un producto depende tanto de su estructura como de los parámetros de secado los cuales son dimensiones del producto, contenido de humedad, temperatura de secado, transferencia de

calor y masa. Es importante tener en cuenta la influencia que la deshidratación tiene en la calidad de los productos ya que propicia reacciones degradativas las cuales afectan su valor nutricional, sabor, color, olor y textura. (Orrego Alzate, 2003)

Teniendo en cuenta que la deshidratación o secado es un proceso de transferencia simultánea de materia y de energía, se tiene que la transmisión de calor que proporcione el calor latente de vaporización necesario para eliminar el agua y el transporte de agua desde el producto hacia el exterior; los dos procesos se efectúan simultáneamente, lo cual influye uno sobre el otro. La velocidad a la que se produce la deshidratación, el tiempo requerido en el proceso, dependerán de estas transferencias simultáneas.

Es muy importante escoger el método de secado más idóneo para cada tipo de alimento siendo estos los más frecuentes: deshidratación al aire libre, por rocío, al vacío, por aire, por momento y por congelación. Es de suma importancia saber la velocidad a la que va a tener el proceso, puesto que la eliminación de humedad excesivamente veloz en las capas externas provocaría un endurecimiento de la superficie y esto a su vez impide una correcta deshidratación del producto. (AINGETHERM INGENIERIA TERMODINAMICA LTDA, 2021)

Ventajas de la Deshidratación

Con este método de conservación para las frutas tenemos algunas ventajas, entre las cuales tenemos las siguientes: (De Michelis & Ohaco, s/f)

- Conserva las propiedades nutricionales de los alimentos, una mejor conservación cuando la temperatura de deshidratación es menor.
- Vida útil muy prolongada, si el producto se deshidrata a niveles de humedad residual idóneos.
- Disminuye el espacio de manipulación, almacenaje y transporte

- Muy rentable y relativamente sencillo de llevar a cabo a cualquier nivel. Singularmente este proceso es idóneo para poblaciones rurales de bajos recursos, y a una mediana escala el costo de inversión es mínimo en comparación a un nivel industrial.
- Conservación de meses o años: cuanta menos cantidad de agua tenga más tiempo se conservarán, los alimentos totalmente deshidratados se pueden conservar durante años perfectamente en envases cerrados.
- Se puede conservar excedentes de cosechas
- Vida útil muy prolongada, si el producto se deshidrata a niveles de humedad residual idóneos.

Desventaja de Deshidratación

- Calidad relativamente menor en cuanto al contenido residual de aroma, nutrientes, textura y otros.
- Con-lleva un alto costo de equipo para un nivel industrial.

Procesos básicos de secado

En el momento de diseñar el prototipo de deshidratación para evaporar cantidad de agua un alimento de manera eficaz se deben considerar los diversos procesos y mecanismos en el producto. Estos mecanismos y procesos poseen una importancia particular ya que, en frutas y vegetales, al realizar el proceso de deshidratación en estas se puede modificar su estructura.

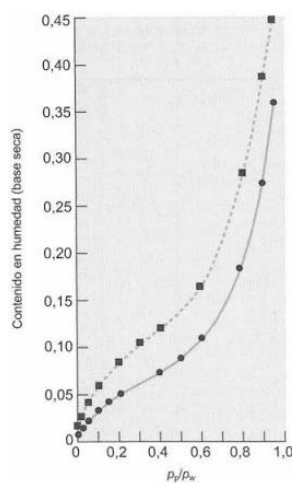
Actividad de agua

La condición de equilibrio es uno de los principales parámetros a considerar en la deshidratación, ya que este determina el límite del proceso. La actividad de agua se define como la humedad relativa de equilibrio dividida por 100. La forma sigmoideal de la isoterma es muy

común en los alimentos secos, ver Figura 5. La humedad de equilibrio es el límite inferior del gradiente para la eliminación del contenido de agua del alimento. (Orrego Alzate, 2003)

Figura 5

Isoterma del contenido de humedad en equilibrio para un alimento secado por congelación.



Nota: Tomado Introducción a la ingeniería de los alimentos, (Singh & Heldman, 2009, p. 468)

Difusión de la humedad

Una importante cantidad del agua contenida en el producto se elimina por medio de la difusión, en fase líquida, por medio de su estructura interior. Al movimiento del agua en estado líquido le seguirá su evaporación en el interior del alimento. Así mismo, para evaporar el contenido agua es necesario calor, el proceso de deshidratación supone una transferencia de calor y masa.

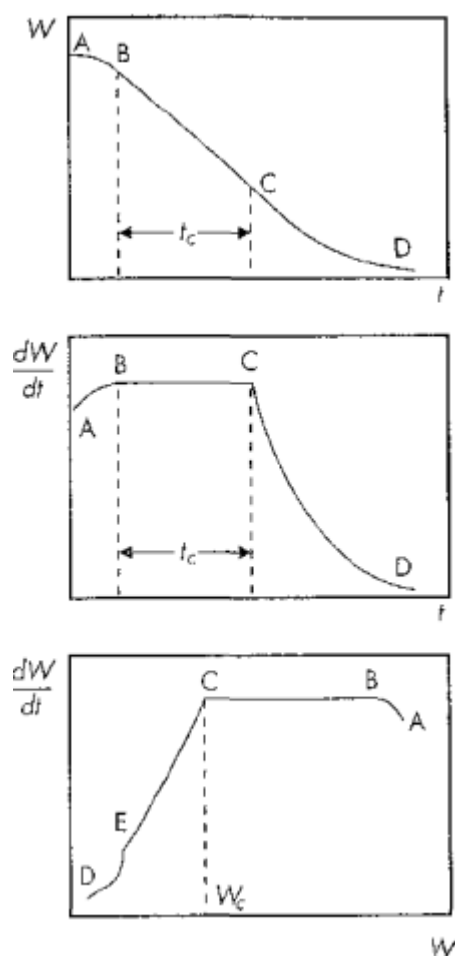
Secado con aire caliente

En el momento que un alimento se pone en contacto con un aire a una temperatura y humedad específica, este produce el calor latente que se necesita para que el contenido de agua pase a evaporizarse. Este vapor abandona el producto por difusión. La velocidad de secado está determinada tanto por la transferencia de masa (vapor de agua) como por la transferencia de

calor. En la Figura 6 se indican las variaciones comunes de la humedad de un alimento y de su velocidad de deshidratación. Como se puede ver, se distinguen tres periodos para la velocidad de deshidratación.

Figura 6

Etapas del secado de un alimento con aire



Nota: Tomado de *Ingeniería de la industria alimenticia*, (Rodríguez Somolinos, et al., 2002)

Primera etapa (A-B)

Interpreta un periodo de calentamiento del producto en estado sólido y la superficie del mismo alcanza el equilibrio con el aire de deshidratación. En sí, es una parte o ciclo insignificante de todo el proceso de deshidratación.

Segunda etapa (B-C)

Es un ciclo de deshidratación en el cual el agua eliminada por unidad de superficie es constante. En este ciclo, la transferencia de la humedad por medio del producto es veloz para alcanzar una condición de saturación de la superficie y la velocidad de deshidratación es controlada por la velocidad de transferencia de calor. En este ciclo, la superficie del producto está saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua por el producto posee una mayor velocidad que la de evaporación desde la superficie. Este ciclo es afectado considerablemente por los coeficientes de transferencia de masa y calor.

En este ciclo, el equilibrio a través de la transferencia de calor y transferencia de masa (vapor de agua) puede expresarse por la ecuación 1:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dQ}{dt\lambda} \quad (1)$$

Donde W es la cantidad de vapor de agua, Q es energía, λ es el calor latente de vaporización y t es el tiempo del proceso. La transferencia de calor general se puede representar por la ecuación 2:

$$\frac{dQ}{dt} = h_c (\Delta T) \quad (2)$$

Donde h_c es el coeficiente de la transferencia de calor y ΔT siendo la diferencia de temperaturas W es la cantidad de vapor de agua, Q es energía, λ es el calor latente de

vaporización y t es el tiempo del proceso. La transferencia de calor general se puede representar por la ecuación 3:

$$\frac{dW}{dt} = k_c A (\Delta P) \quad (3)$$

Siendo k_c el coeficiente de la transferencia de masa y ΔP es la diferencia de presiones parciales de vapor de agua.

Tercera etapa (C-D)

El movimiento del agua por el alimento se atrasa hacia el final del secado, por el aumento del espesor de superficie seca y la permeabilidad del vapor alrededor de esta capa seca comienza a disminuir a medida que baja el contenido de agua. También, el contenido de agua en el interior del alimento se termina y deja de migrar hacia el exterior, la presión parcial se reduce considerablemente en la superficie y, por consiguiente, la velocidad de deshidratación disminuye.

Cuarta etapa (D-E)

Este punto final E es donde toda la superficie si protección se convierte totalmente no saturada y determina el tiempo en la cual la velocidad de movimiento de masa interna maneja la velocidad del proceso de deshidratación. En base con las leyes de la termodinámica, la actividad de agua del alimento al finalizar al proceso, iguala a la humedad relativa del aire, por lo que es necesario bajar la humedad del aire al final del proceso de secado. (Rodríguez Somolinos, et al., 2002)

Los periodos de disminución de la velocidad interpretan la mayor proporción del proceso de secado. Así mismo la velocidad de deshidratación de cada uno de los ciclos depende,

de las características del alimento: componentes, superficie del alimento, contenido de agua (humedad inicial), tejido y otros. (De la Vega Sanchez, 2017)

Transferencia de calor y transferencia de masa

Se contextualiza a la transferencia de calor como “La energía de tránsito debido a una diferencia de temperaturas”. Hay algunos tipos de procesos de transferencia de calor. Entre ellos tenemos los más comunes que son la conducción, convección y radiación. (Incropera & DeWitt, 1999)

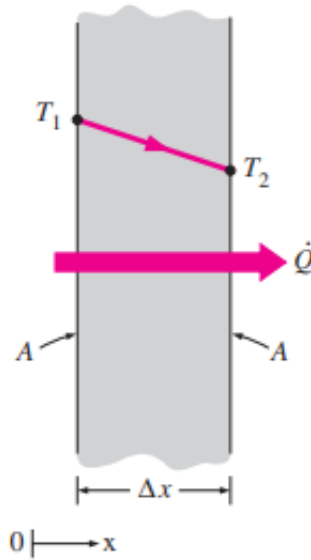
Conducción

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en una escala atómica por medio de la materia por la actividad molecular provocando la interacción entre moléculas, en el cual las partículas más energéticas comparten energía a las que poseen menos energía, esto a su vez produce un flujo de calor desde las temperaturas altas hacia las temperaturas bajas.

El mecanismo de conducción de calor solo sucede si existe diferencia de temperatura entre dos puntos. Para un volumen de espesor x , que tiene un área de sección transversal se indica que el calor ΔQ que se transfiere en un Δt se conduce del punto caliente al frío, ver Figura 7.

Figura 7

Esquema de conducción de calor a través de una pared plana



Nota: Tomado de *Transferencia de calor y masa*, (Cengel, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, 2007, p. 18)

La razón de transferencia de calor \dot{Q}_{cond} , se determina por la ley de la conducción de Fourier.

$$\dot{Q}_{cond} = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Donde

\dot{Q}_{cond} : Razón de transferencia de calor [W]

k : Conductividad térmica del material $\left[\frac{W}{m^{\circ}K}\right]$

A : Área de la sección transversal [m^2]

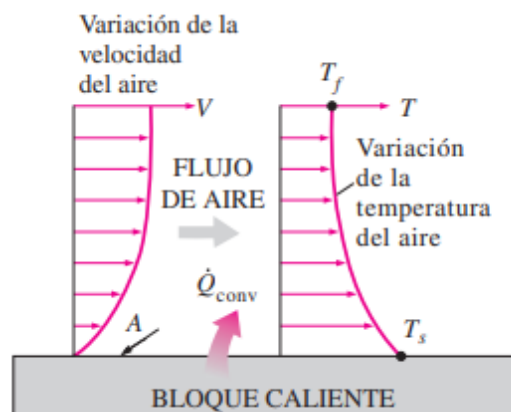
$\frac{dT}{dx}$: Gradiente de temperatura [$^{\circ}K$]

Convección

La convección es el mecanismo de transferencia de energía que ocurre entre una superficie sólida y el líquido o gas que se encuentra en movimiento, esto se relaciona con los efectos combinados de conducción y movimiento del fluido. La existencia de movimiento en masa del fluido aumenta la transferencia de calor entre su superficie y el fluido. Existe convección forzada si el fluido es forzado sobre la superficie por medios alternos, como un extractor o el viento. También tenemos convección libre o natural si el movimiento del fluido es producido por fuerza de flotación inducidas por diferencias de densidades.

Figura 8

Transferencia de calor por convección desde una superficie caliente hacia el aire



Nota: Tomado de Termodinámica, (Cengel & Boles, 2002)

La tasa de transferencia de calor por convección \dot{Q}_{conv} conocida también como flujo de calor por convección, se describe a partir de la ley de enfriamiento de Newton. (Cengel & Boles, 2002)

$$\dot{Q}_{conv} = h * A * (T_s - T_f) \quad (5)$$

Donde

\dot{Q}_{conv} : tasa de transferencia de calor por convección [W]

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right]$

A : Área de la sección transversal [m^2]

T_s : Temperatura de la superficie [$^\circ K$]

T_f : Temperatura del fluido [$^\circ K$]

Radiación

Es la forma energía que emite la materia en forma de ondas electromagnéticas. La energía por radiación no necesita la presencia de un conductor, ver Figura 9. Este tipo de mecanismo de transferencia de energía es la más rápida y no genera ninguna atenuación en un vacío.

La radiación es un fenómeno volumétrico, y los líquidos, gases y sólidos, emiten, consumen o transmiten radiación de diferentes grados.

Figura 9

Esquema de un mecanismo de transferencia de calor por radiación



Nota: Tomado de Termodinámica, (Cengel & Boles, 2002)

La tasa de radiación máxima que puede emitirse desde una superficie a una temperatura absoluta se establece por la ley de Stefan-Boltzmann. (Cengel, 2007)

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon * \sigma * A * T_s^4 \quad (6)$$

Donde

$\dot{Q}_{emitida}$: tasa de radiación máxima [W]

ε : Emisividad de la superficie

σ : Constante de Stefan Boltzmann $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$

T_s : Temperatura de la absoluta [$^{\circ}K$]

Acciones previas al proceso de Deshidratado

Las acciones que se deben cumplir, antes de realiza el proceso de deshidratado de cualquier producto, son las siguientes:

Recepción

Involucra la recepción de las frutas, para realizar el correcto acopio de las mismas en una ubicación idónea para su cuidado.

Clasificación

Se separa la fruta en función de su tamaño y tipo, con la finalidad que el proceso de deshidratación sea lo más uniforme posible.

Pesado

Es necesario pesar el producto antes de ingresarlo al proceso de deshidratado, con la finalidad de cuantificar la materia prima, con la que inicia el proceso y poder establecer el rendimiento del producto deshidratado.

Lavado

Para entregar un producto que cumpla las normas alimenticias se realiza un lavado de las frutas, con el fin de eliminar las impurezas que están en la superficie.

Colocación del producto

Una vez terminado el lavado, se ubica de la manera más idónea los productos en las bandejas de deshidratación, con separaciones similares y con un volumen parecido.

Tratamientos posteriores al proceso de deshidratación

Enfriamiento

Después de finalizar proceso de deshidratado y antes de manipular el producto deshidratado, se debe dejar enfriar hasta que alcance una temperatura ambiente en el mismo recipiente sin exposición al sol.

Clasificación y envasado

Se escoge y separa el producto defectuoso, y se envasa.

Influencia de Parámetros en la calidad del Producto

La variación en la textura del producto deshidratado, obedece a las condiciones que se presenten en el deshidratador, si aumentamos las velocidades de deshidratación con altas temperaturas, los cambios que se generarán serán considerables para el producto y esto afecta en el proceso físico.

Mientras se elimina el contenido de agua en el producto, los solutos se dirigen hacia el exterior del producto. Si la temperatura es alta, el proceso de evaporación ocasiona que la concentración suba, y esto a su vez provoca la formación de una capa superficial dura, dicho fenómeno se denomina acortezamiento. (Bautista Chamarro & Meza Morejón, 2016)

Las principales propiedades de los productos a controlar y vigilar son:

- Aroma
- Valor nutritivo
- Color
- Textura

Diagrama Psicrométrico

Su principal uso se centra en el sistema aire-vapor de agua, y este sistema en la industria alimenticia existe en una gran cantidad. Por ende, el comportamiento de estas mezclas a diferentes condiciones determina, el diseño de los deshidratadores de alimentos y también de los equipos que se usan para el posterior almacenamiento. (Rodríguez Somolinos, et al., 2002)

Las diversas propiedades de las mezclas aire-vapor están relacionadas entre sí, y las mismas se pueden obtener mediante cálculos matemáticos. No obstante, otro modo de determinar estas propiedades es por medio del uso del diagrama psicrométrico. Si se definen los valores de dos propiedades independientes, el diagrama nos permite determinar las propiedades psicrométricas.

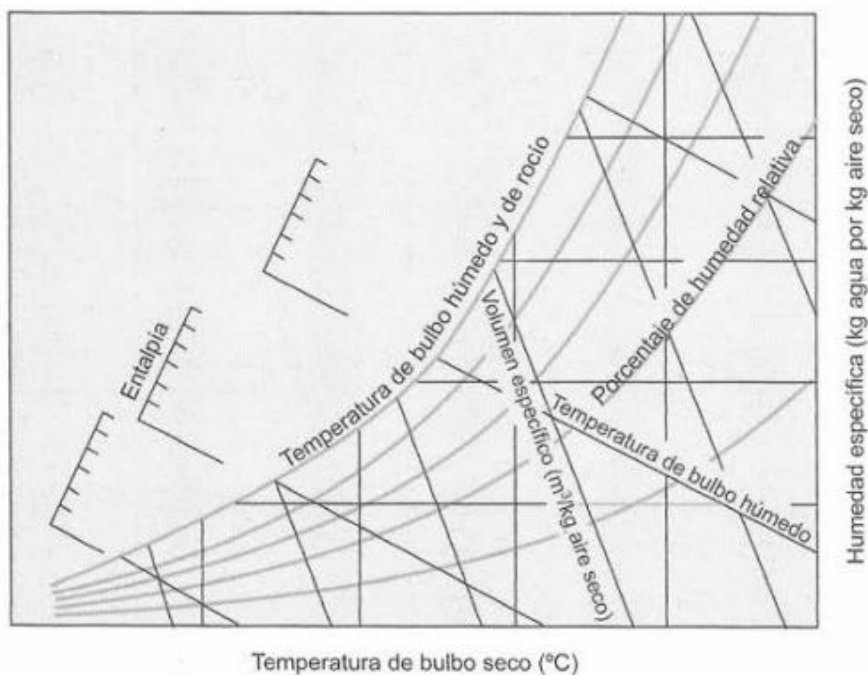
Construcción del diagrama

La construcción del diagrama psicrométrico se muestra en la Figura 10. Las coordenadas generales del diagrama son la temperatura de bulbo seco en el eje x y la humedad en el eje y. La temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de rocío se muestran en la curva que asciende hacia la derecha. Las líneas oblicuas, indican mezclas con la misma temperatura de bulbo húmedo. Las líneas de entalpía constante concurren con las de temperatura de bulbo húmedo. Las líneas curvas de humedad relativa también son ascendentes hacia la derecha. Analizando

que la curva de saturación muestra el 100° c de humedad relativa. Las líneas de volumen específico constante se representan oblicuamente; no obstante, su pendiente es diferente de la de las líneas de bulbo húmedo. (Singh & Heldman, 2009)

Figura 10

Esquema del diagrama psicrométrico



Nota: Tomado de Introducción a la ingeniería de los alimentos, (Singh & Heldman, 2009).

Controladores lógicos programables

Los controladores lógicos programables por sus parámetros de diseño abarcan un campo de aplicación muy grande. Estamos en una constante evolución del hardware y software, la cual amplía este campo para así poder cumplir con las necesidades de los usuarios, en los procesos que desee controlar a gran escala.

Su utilización se da especialmente en las instalaciones en donde es indispensable un proceso de control. Abarca procesos de fabricantes industriales de todo tipo. (Bautista Chimarro & Meza Morejón, 2016)

Controladores de temperatura

El principio de los dispositivos que controlan la temperatura se basa en tener una entrada, la cual proviene de un sensor (termopar / Pt100) y a su vez, contar con una salida que se encuentre conectada a un instrumento de control, que pueden ser por ejemplo un ventilador para enfriar, o un calentador para provocar el efecto contrario. Un sistema que controla la temperatura con base en un “controlador” es necesario para poder monitorear la precisión de la temperatura requerida, por lo que su participación constante y continua es necesaria.

Los controladores utilizados para la temperatura tienen una o más entradas para los sensores con detección de fallos. Las opciones de salida tienen salidas analógicas, relés mecánicos, relés de estado sólido y otros. Mas funciones tienen temporizador en cuenta atrás, menú personalizable para el usuario, control de salida por disparo rápido.

REX-C100 Controlador de temperatura PID

Este controlador de temperatura PID REX-C100 permite monitorear y controlar la temperatura en sistemas básicos, sobre dispositivos tales como resistencias, calefactores, quemadores, dentro de un rango de 0 a 1300°C, ver Figura 11.

Utiliza algoritmos PID, por lo cual el control de temperatura es preciso y sin variaciones. Puede ser utilizado en las siguientes aplicaciones: incubadoras, hornos de pan, deshidratadores de alimentos, secadores de granos, calefactores, vaporizadores, etc. Soporta la mayoría de los termopares K, E, S, B, J, T, R, Pt100, Cu100, Cu50, BA2, BA1. (Cañazca Limachi & Jamachi Espillico, 2018)

Figura 11

REX-C100 Controlador de temperatura y esquema de conexión

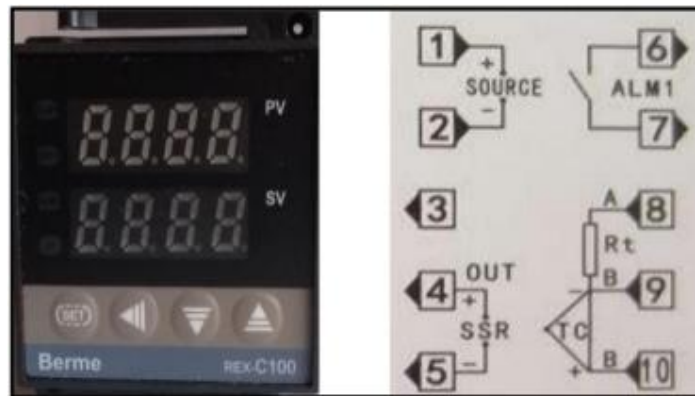
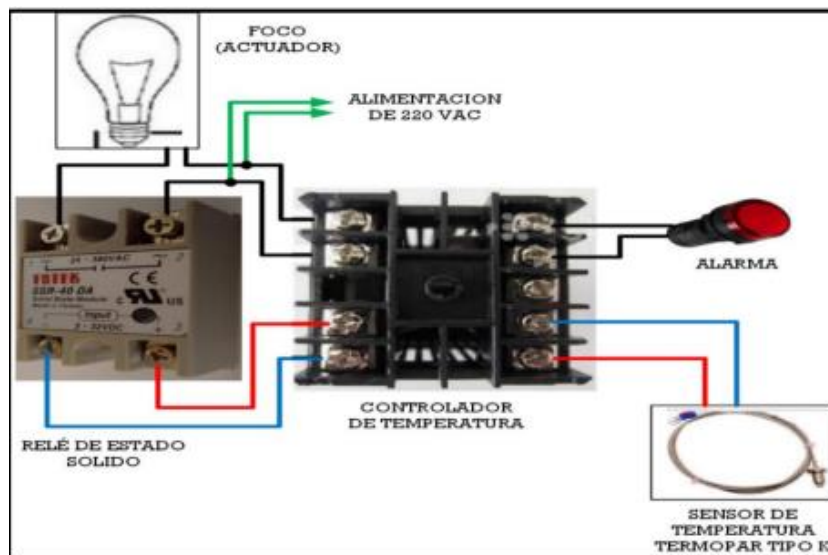


Figura 12

Ejemplo de esquema de conexión del controlador REX-C100



Normas Alimenticias

- INEN 377: Conservas de Frutas
- NTE INEN 2996: Productos deshidratados. Requisitos

- Diversos decretos de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. FAO

Normas de construcción

Tenemos las sociedades y organizaciones que han determinado las especificaciones para formular normas, códigos de diseño y construcción.

- American Gear Manufacturers Association (AGMA)
- American National Standards Institute (ANSI)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Society of Testing and Materials (ASTM)

Estado del arte

Durante la indagación bibliográfica para referencia del actual trabajo de titulación se ha establecido una base de datos, analizando antecedentes de estudios, investigaciones, publicaciones y artículos científicos que están relacionados con el tema del presente trabajo.

En Ecuador se ha desarrollado pocas investigaciones y publicaciones sobre diseños y construcciones de deshidratadores híbridos (Solar-Gas) que integren tanto un diseño mecánico y electrónico y a su vez la utilización de energías alternas, pero las investigaciones locales se centran en el uso de energía netamente eléctrica o solar, no combinadas.

En el trabajo de titulación “Diseño y construcción de un prototipo deshidratador atmosférico de bandejas discontinuo con circulación forzada de una capacidad de 0.05 m³ utilizando energía solar” elaborado por los ingenieros: Curaran Pantoja y Tinillo Córdova,

presenta un proyecto que utiliza energía solar y deshidratación de alimentos utilizando colectores solares para realizar el análisis de los parámetros que son necesarios para el diseño del deshidratador, siendo, la transferencia de calor que se requiere para deshidratar la uvilla, el calor que genera el colector, la velocidad del aire circulante y las pérdidas de energía las más importantes. Finalmente se mostraron los resultados en tablas y gráficos. En el producto final no se encontraron varianza en sus propiedades organolépticas, manteniendo un color, un sabor, y una textura agradable para el consumidor así se redujo su porcentaje de agua en un 47%. Los materiales usados fueron acero inoxidable por estar al contacto con alimentos y por sus propiedades térmicas. (Cuaran Pantoja & Tinillo Cordova, 2013)

La investigación titulada “Secadores solares-térmicos para granos y frutas para utilizarlo en zonas remotas” elaborado por Delgado E., Peralta J. y Barriga A., muestra un término utilizando datos geográficos para la orientación del sistema térmico pasivo, realizándose un balance energético para determinar la cantidad adecuada de grano para el diseño de la capacidad del secador, para posteriormente sacar la eficiencia del mismo. Siendo su máxima eficiencia a las horas del mediodía en un 80%, para un total de 15 kg de masa a deshidrata, con un ángulo de elevación del colector de 15°. (Delgado, Peralta, & Barriga, 2009)

En el trabajo de titulación “Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convección forzada para una capacidad de 500 Kg” elaborado por el ingeniero Juan Pablo Maureira Poveda, muestra un diseño de un secador de granos de cacao que funciona con energía solar. Con la implementación de un sistema de colectores solares planos, se transformará la energía solar en energía térmica. Con la finalidad de alcanzar una temperatura de secado de 50 °C, los colectores solares poseen dos cubiertas transparentes para crear un efecto invernadero. En el proceso de secado la transferencia de calor fue principalmente por conducción y convección, la convección es forzada. El aire

introducido por los ventiladores pasa a través de los colectores solares en donde incrementa su temperatura. El secador diseñado reduce el tiempo de secado a un promedio de 3 días, así como también el área de terreno ocupada por el secador será de 60 m², lo que significa una reducción del 50% del área actual destinada. (Maureira Poveda, 2006).

En la investigación titulada “Evaluación de un secador solar inclinado con absolvedor de zeolita para granos de cacao CCN51” elaborado por Marcelo Sigüencia Ávila, presenta un estudio en el cual se establecieron escenarios comparativos con el secado tradicional en tendal, en donde se trabajó con distinta inclinación del secador solar (5% y 15%) además se realizó una evaluación de la zeolita con presencia y ausencia de ésta en un experimento adicional para observar la incidencia dentro del proceso, los datos recogidos básicamente fueron tiempos de secado (críticos y totales) en todos los casos; afectados por variables como temperatura, humedad relativa, radiación solar, etc. Los resultados obtenidos fueron tratados analíticamente y estadísticamente utilizando principios de secado modelos, para determinar que la mejor opción es un secador con una inclinación del 5% y con absolvedor de zeolita resultó ser más eficiente que los demás, tanto en la reducción de los tiempos de secado como en el análisis factorial, además de ser viable económicamente, por lo que implementar este tipo de secador solar es factible para utilizarse en el proceso de secado de cacao por parte de pequeños y medianos productores. (Sigüencia Avila, 2013)

Capítulo III:

Diseño y Construcción del prototipo

Diseño y construcción de la parte mecánica.

Cámara de secado

Selección del tipo de deshidratador

Para la selección del tipo de deshidratador a emplear, se ha realizado una comparación entre 3 tipos de deshidratadores, examinando la función principal que tienen cada una de ellas, las ventajas y desventajas y finalmente utilizando un análisis ponderativo, tomando en cuenta temperatura del aire, extracción de humedad y calidad del producto.

- **TIPO I: Deshidratador solar directo**

Figura 13

Deshidratador solar directo



Nota: Tomado de Diseño y construcción de un deshidratador solar domestico para capullo de seda, (Luque Zuñiga, 2018).

El tipo de deshidratador solar directo (Figura 13) es un deshidratador de uso doméstico y convencional, el producto es deshidratado directamente con la radiación solar, se utilizan materiales capaces de maximizar la captación solar. (Luque Zuñiga, 2018)

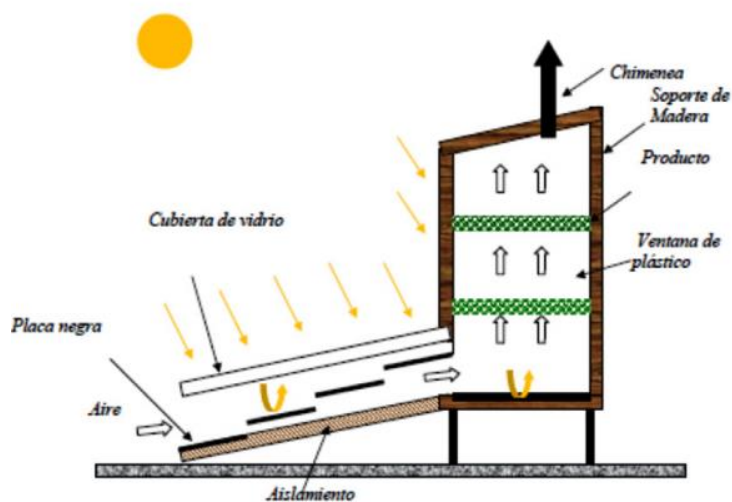
Ventajas:

- Construcción relativamente sencilla
- Utilización de energía netamente natural
- Fácil utilización para el usuario

Desventajas:

- Proceso de deshidratación lento
- Calidad del producto final regular al estar en contacto directo con la radiación
- Un control ineficiente en la variable de la temperatura del proceso
- Extracción de humedad regular, ya que no tiene circulación de aire.

- **TIPO II: Deshidratador indirecto**

Figura 14*Deshidratador solar indirecto*

Nota: Tomado de Innovación en el deshidratado solar, (Espinoza S., 2016).

El deshidratador indirecto (Figura 14) muestra un tipo de secador de alimentos que no se exponen directamente a la luz solar, tienen una unidad colectora solar en la cual ingresa el aire y una cámara de secado. En el secado solar indirecto el calor necesario se conduce de forma convectiva desde el área caliente al material húmedo. (Espinoza S., 2016)

Ventajas:

- Brinda un mejor control en el proceso de secado
- Mejor calidad del producto en comparación con el secado directo
- Se utilizan para operar a mayores temperaturas
- Poseen mayor eficiencia en comparación con el secado solar directo.

Desventajas:

- Sus estructuras son más elaboradas, por ende, requieren mayor inversión
- Mayores costos de mantenimiento
- Peso elevado.

- **TIPO III: Deshidratador Mixto**

Este modelo de deshidratador es similar a los anteriores, ver Figura 15, incluso se podría decir que es más como un deshidratador solar indirecto, sin embargo, además del uso de luz solar utiliza otras fuentes de energía convencionales para la deshidratación, las cuales se caracterizan por no producir un alto costo de consumo energético. (García, Mejía, Mejía, & Valencia, 2012)

Figura 15

Disposición constructiva de un deshidratador activo de tipo distribuido



Nota: Tomado de *Diseño construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales*, (García, Mejía, Mejía, & Valencia, 2012).

Ventajas:

- Uso de energía renovable (luz solar)
- Buena calidad del producto deshidratado
- Velocidad de deshidratación relativamente más rápida
- Utilización de energía alterna para el deshidratado

Desventajas:

- Diseño y construcción más compleja, por ende, mayor costo de inversión
- Mayor costo de mantenimiento
- Equipo pesado
- Un sistema de control complejo por la utilización de energía alterna

- **Evaluación de alternativas del tipo de deshidratador**

Para conseguir la mejor alternativa para el deshidratador, se efectuará una evaluación, con una matriz de evaluación con los siguientes criterios ponderados:

- Temperatura de deshidratación: Indica la temperatura de trabajo y la velocidad a la que puede llegar a esa temperatura para el proceso de deshidratado.
- Extracción de humedad: Indica la eficiencia para la extracción de humedad del producto a deshidratar.
- Calidad del producto: Indica la calidad obtenida del producto a deshidratado, como sabor, olor y textura.

Tabla 1

Ponderaciones de criterios para deshidratador

Desempeño en cada criterio	Calificación
Malo	1
Bueno	2
Excelente	3

Se desarrolla de tal manera la matriz de selección del tipo de deshidratador (Tabla 2), siguiendo los criterios de Ulrich. (Ulrich, 2012)

Tabla 2

Tabla de selección del tipo de deshidratador

		Tipos de deshidratadores					
Criterio	Peso	I		II		III	
		Directo (Luz solar)		Indirecto (luz solar y flujo de aire natural)		Mixto (luz solar y energía alterna)	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Extracción de humedad	30%	2	0.6	2	0.6	3	0.9
Calidad del producto	50%	2	1	3	1.5	3	1.5
Temperatura	20%	1	0.2	2	0.4	2	0.4
	Total		1.8		2.5		2.8
	Lugar		3		2		1
¿Desarrollar?		No		Si		Si	

En conclusión, se ha elegido el tipo de deshidratador III: Deshidratador Mixto.

Diseño Térmico

- **Calor sensible**

Es el calor que se necesita para aumentar la temperatura del agua contenida en el alimento (porcentaje de humedad) a deshidratar desde la temperatura en el ambiente hacia la misma cuando empieza a evaporar sin sufrir cambios en su estado. Esta es una parte de la energía interna que se asocia con la energía cinética de las moléculas. (Sánchez Pineida de las Infantas, 2003)

$$\dot{Q}_s = \frac{m_{Dh} * C_{pmasa} * (\Delta T)}{t_{pr}}$$

$$\dot{Q}_s = \frac{m_{Dh} * C_{pmasa} * (T_{Dh} - T_a)}{t_{pr}} \quad (7)$$

Donde

\dot{Q}_s : Calor Sensible [kW]

m_{Dh} : Masa a deshidratar en el prototipo [kg]

C_{pmasa} : Calor específico de la masa a deshidratar $\left[\frac{J}{kg * ^\circ K}\right]$

T_{Dh} : Temperatura del proceso de deshidratación [°C]

T_a : Temperatura ambiente aire [°C]

Los valores de calores específicos de alimentos los podemos encontrar ya en tablas, sin embargo, también se puede obtener por medio de la siguiente ecuación: (Singh & Heldman, 2009, p. 185)

$$C_p = 0.837 + 3.349X_w \left[\frac{J}{kg * ^\circ K}\right]$$

$$C_p = 0.837 + 0.03349H_o \left[\frac{J}{kg * ^\circ K}\right] \quad (8)$$

Donde

X_w : Contenido de agua expresado como fracción

H_o : Contenido de agua expresado en porcentaje

En la tabla 3 se detallan el calor específico de las frutas a realizar el proceso de deshidratado en función del porcentaje de humedad inicial.

Tabla 3

Calor específico de frutas para deshidratar

Producto	H_o [%]	C_p $\left[\frac{kJ}{kg * ^\circ K} \right]$
Manzana	84	3.65
Uvilla	80	3.52
Durazno	85.1	3.69
Chocho	74.25	3.32

Nota: Porcentaje de humedad tomados de *Procesamiento de alimentos*, (Orrego Alzate, 2003)

Tabla 4

Temperaturas del proceso de deshidratación para la masa

Producto	T [$^\circ K$]
Manzana	325
Uvilla	328
Durazno	323
Chocho	333

Nota: Valores tomado de (Orrego Alzate, 2003)

Modelo de cálculo

Manzana:

$$\dot{Q}_s = \frac{10 \text{ kg} * 3.65 \frac{kJ}{kg * ^\circ K} * (325^\circ K - 288^\circ K)}{21600s}$$

$$\dot{Q}_s = 0.063 \frac{kJ}{s}$$

Tabla 5

Valor del calor sensible de las frutas para el proceso de deshidratado

Producto	$\dot{Q}_s [kW]$
Manzana	0.0625
Uvilla	0.0651
Durazno	0.0619
Chocho	0.0692

- **Calor de evaporación**

Es el calor que se necesita para evaporar el agua que contiene el producto a deshidratar hasta obtener un porcentaje de humedad relativa deseado

$$\dot{Q}_e = E * h_{fg} \quad (9)$$

Donde

\dot{Q}_e : Calor de evaporación [kW]

E : Velocidad de evaporación $\left[\frac{kg}{s}\right]$

h_{fg} : Entalpía de evaporación del agua al ambiente $\left[\frac{kJ}{kg} = 2257\right]$

La masa del producto seco es el resultado después de haber separado un porcentaje de humedad determinado del producto fresco.

$$m_{Dhf} = m_{Dh} \left(1 - \left(\frac{H_0 - H_f}{100 - H_f} \right) \right) \quad (10)$$

Donde

m_{Dhf} : masa del producto deshidratado [kg]

H_o : Humedad inicial del producto (fresco) [%]

H_f : Humedad final del producto (seco) [%]

La velocidad de evaporación es la celeridad con la que el agua sufre un cambio de estado líquido a gaseoso.

$$E = \frac{m_{Dhf} * (H_{bs} - H_{bh})}{t_{pr}} \quad (11)$$

Donde

H_{bs} : Humedad de bulbo seco [%]

H_{bh} : humedad de bulbo húmedo [%]

$$H_{bs} = \frac{100}{100 - H_o} \quad (12)$$

$$H_{bh} = \frac{H_f}{100 - H_f} \quad (13)$$

Ahora tenemos un modelo del reemplazo de los datos obtenidos en las ecuaciones previas, con los datos de la manzana.

$$H_{bs} = \frac{100}{100 - 84} = 6.25$$

$$H_{bh} = \frac{14}{100 - 14} = 0.1628$$

$$m_{Dhf} = 10 \left(1 - \left(\frac{84 - 14}{100 - 14} \right) \right) = 1.8605$$

$$E = \frac{1.8605 * (6.25 - 0.1628)}{21600} = 0.000524$$

$$\dot{Q}_e = 0.000524 * 2257 = 1.183$$

Se presenta en la tabla 6 los datos calculados para los productos que se realizaran el proceso de deshidratado.

Tabla 6

Valores de calor de evaporación de los productos

Producto	H_f [%]	E $\left[\frac{kg}{s}\right]$	\dot{Q}_e [kW]
Manzana	14	0.000524	1.183
Uvilla	16	0.000530	1.197
Durazno	15	0.000534	1.205
Chocho	12	0.000508	1.146

- **Calor útil**

Es el calor que se necesita para realizar el proceso de deshidratación, sin embargo, además de este calor faltan las pérdidas, el calor útil es igual al calor sensible más el calor de evaporación, los valores se presentan en la tabla 7.

Tabla 7

Valores de calor de útil de los productos

Producto	\dot{Q}_s [kW]	\dot{Q}_e [kW]	\dot{Q}_u [kW]
Manzana	0.0625	1.183	1.246
Uvilla	0.0651	1.197	1.262
Durazno	0.0619	1.205	1.267
Chocho	0.0692	1.146	1.215

Dimensionamiento de las bandejas

- **Geometría de las bandejas**

Para realizar el dimensionamiento de la cámara de deshidratación se escogió algunas consideraciones como el volumen total a deshidratar de las frutas frescas, para este caso fue de 10kg por carga total, para un ejemplo se toma la manzana.

$$m_h = 10 [kg]$$

$$\delta_{manzana} = 840 [kg]$$

$$\delta_n = \frac{m_h}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (14)$$

Donde

m_h : masa húmeda (producto a deshidratar) [kg]

δ_n : densidad del producto $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$$V = \frac{10}{840} = 0.0119 m^3$$

Tabla 8

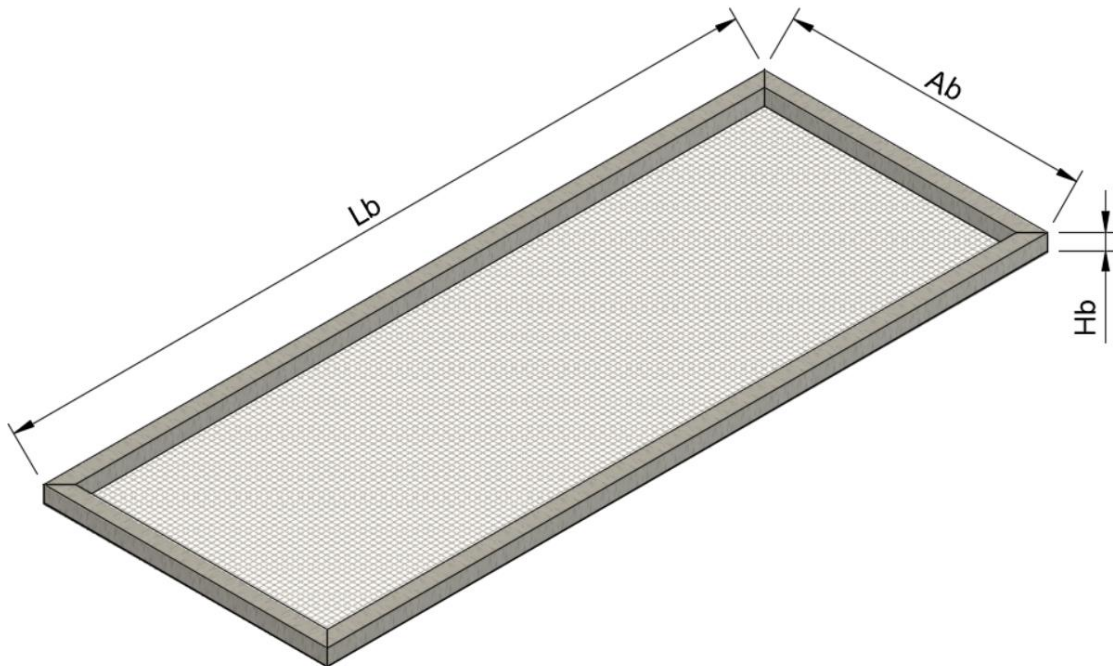
Valores volumen de los productos a deshidratar

Producto	Densidad $\delta \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	Volume $V [m^3]$
Manzana	840	0.0119
Uvilla	1150	0.0087
Durazno	960	0.0104
Chocho	1380	0.0072

Para el dimensionamiento de las bandejas de la cámara de deshidratación se consideró el volumen que en este caso sería con la manzana. Se busco la disponibilidad de bandejas comerciales sin embargo para abaratar costos se tomó la decisión de fabricar las bandejas con tubo cuadrado y malla de acero inoxidable 304, ver Figura 16.

Figura 16

Diseño para las bandejas



Tenemos las siguientes medias tentativas para las bandejas de deshidratación, basado en las medidas comerciales

$$L_b = 860 \text{ [mm]}$$

$$A_b = 340 \text{ [mm]}$$

$$H_b = 19 \text{ [mm]}$$

$$H_u = 5 \text{ [mm]}$$

$$V_{bandeja} = 0.00146 \text{ [mm]}$$

Se realizó el cálculo del volumen con una altura de 5mm, ya que es una medida aproximada a las rebanadas de fruta que se vaya a deshidratar. Ahora realizamos el cálculo para el número de bandejas necesarias para el proceso de deshidratación a máxima carga.

$$\#Bandejas = \frac{V_{max}}{V_{bandeja}} \quad (15)$$

$$\#Bandejas = \frac{0.0119}{0.00146}$$

$$\#Bandejas = 8.14$$

$$\#Bandejas \text{ real} = \frac{\#Bandejas}{n_{bandejas}} \quad (16)$$

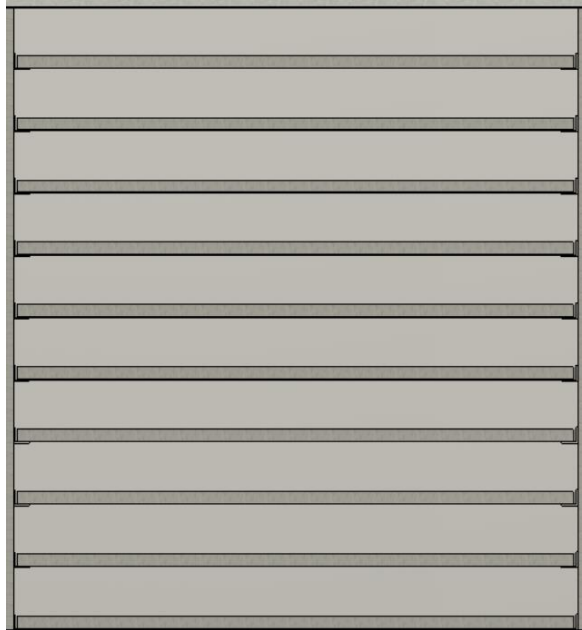
$$\#Bandejas \text{ real} = \frac{8.14}{0.8}$$

$$\#Bandejas \text{ real} = 10.17 \cong 10$$

Para el número de bandejas se le añadió un factor de seguridad, puesto que en el cálculo del volumen se interpreta que se va a utilizar el cien por ciento del volumen sin embargo en este proceso de deshidratación los productos no deben estar demasiado juntos uno del otro. Para aprovechar al máximo la distribución del calor se consideró una sola columna de bandejas con un sistema de doble pared con unos parantes de acero inoxidable 304 y ángulos para el soporte de las bandejas, ver Figura 17.

Figura 17

Esquema de disposición de las bandejas



- **Diseño CAD de las bandejas**

Ya seleccionada la cantidad de bandejas, se procede con el diseño en planos mecánicos de la bandeja, se utilizó para el marco de la bandeja tubo cuadrado de acero inoxidable 304 de 20 x 20 x 2mm y una malla también de acero inoxidable para los alimentos.

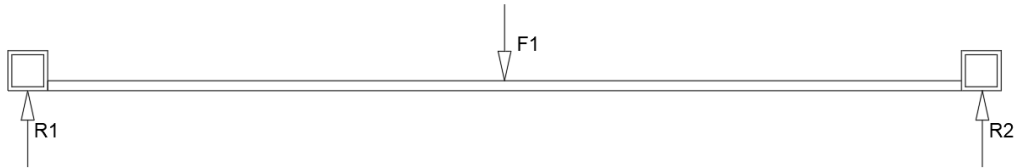
Las dimensiones establecidas se adjuntan en los planos mecánicos en los anexos del presente trabajo.

- **Análisis de carga en las bandejas**

Para desarrollar el análisis de cargas en las bandejas, debemos mostrar las partes primordiales. Primeramente, el marco de la bandeja será el soporte de la bandeja en los extremos, en este marco se suelda una malla de acero inoxidable 304 la cual soportará el alimento a deshidratar. En la sección transversal se presentan las cargas, ver Figura 18.

Figura 18

Cargas en la bandeja



Calculamos las reacciones en los puntos de contacto, posteriormente los esfuerzos a los que estará sometido la bandeja.

$$\sum F_y = 0 \quad (17)$$

Datos

L_b : 860 [mm] (*longitud de la bandeja*)

W : 1 [kg] (*peso en cada bandeja*)

pe : 11.89 $\left[\frac{N}{m}\right]$ (*carga distribuida*)

$$R_1 + R_2 = pe * L_b \quad (18)$$

$$2R_1 = 11.89 * 0.86$$

$$R_1 = 5.113[N]$$

$$R_1 = R_2 = 5.113 [N]$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} [Mpa] \quad (19)$$

$$\frac{S_y}{n} = \sigma \quad (20)$$

Donde

S_y : Resistencia a la fluencia del material

n : Factor de seguridad

$$\frac{S_y}{n} = \frac{Mc}{I}$$

$$\frac{276}{1.5} = \frac{5.113 * \frac{0.86}{2}}{\frac{0.34 * h^2}{6}}; h = 0.4 \text{ mm}$$

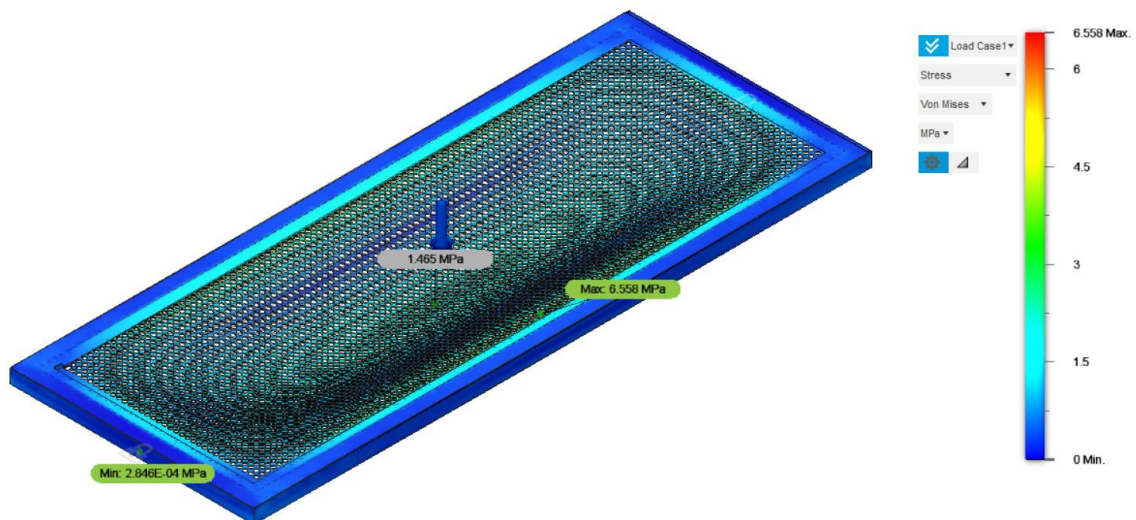
Tenemos que el espesor de la plancha a utilizar de 0.4mm, en el mercado conseguimos una malla de acero inoxidable 304 de un espesor de 0.9mm el cual es ideal y además cumple para soportar los esfuerzos del proceso de deshidratación.

- **Comprobación por software**

Se realiza la simulación de la bandeja con su marco correspondiente de acero inoxidable para la carga máxima a la que estará sometida la bandeja de productos, ver Figura 19 y Figura 20:

Figura 19

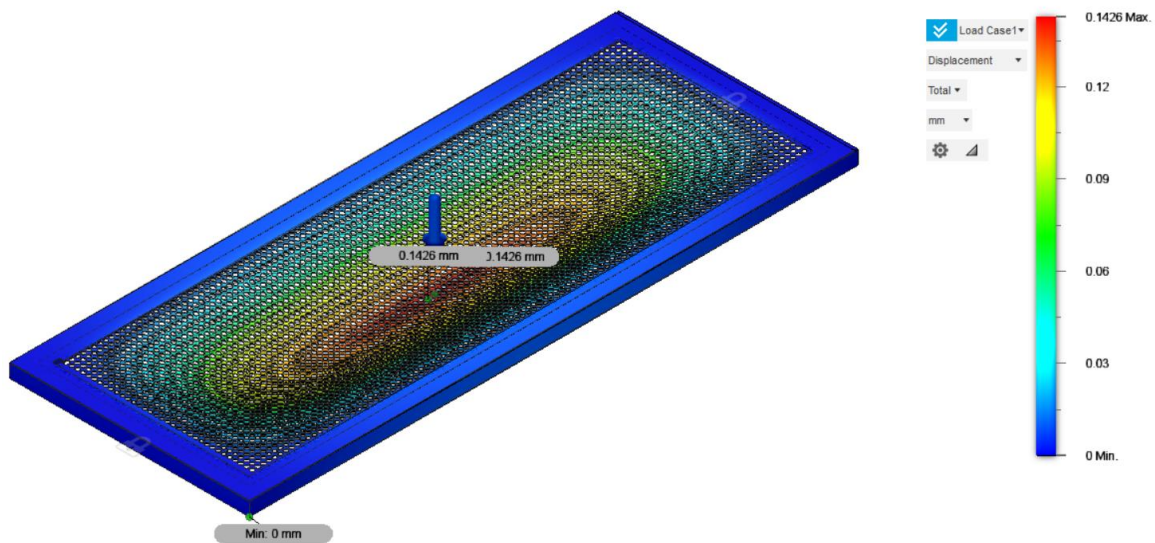
Análisis de esfuerzos en la bandeja



El punto más crítico de la bandeja es justo en el centro de la misma y alcanza a 1.465 Mpa, el límite elástico del material con el que se va a realizar la construcción tiene 6.558 Mpa, por lo cual la bandeja resistirá las fuerzas del proceso.

Figura 20

Análisis de desplazamiento de la bandeja



Como se puede observar, el máximo desplazamiento de la bandeja es de 0.1426 mm, por consiguiente, la bandeja sufrirá una mínima deformación la cual para este tipo de procesos es insignificante ya que es una carga estática además que se utilizó un factor de seguridad recomendable.

- **Construcción de las bandejas**

Para la construcción de las bandejas se inicia con los materiales, y se planifica el proceso de manufactura de las mismas, los materiales a utilizar son para el marco un tubo cuadrado de 19 x 19 x 2mm de acero inoxidable 304 unidos con soldadura GMAW y posteriormente la malla se suelda al marco con soldadura.

Para comenzar el proceso de soldadura es fundamental tener en cuenta el espesor del tubo, se procede con el corte de los tubos con un ángulo de 45, limado en los extremos, la unión por soldadura y el pulido en la soldadura, ver Figura 21.

Figura 21

Marcos de las bandejas de acero inoxidable 304



Una vez que se terminan los marcos, se procede a cortar la malla de acero inoxidable a la medida del marco y sueldan con soldadura GTAW con puntos alrededor, finalmente se pulen las uniones soldadas, ver Figura 22 y Figura23.

Figura 22

Unión de la malla al marco de acero inoxidable

**Figura 23**

Bandejas terminadas



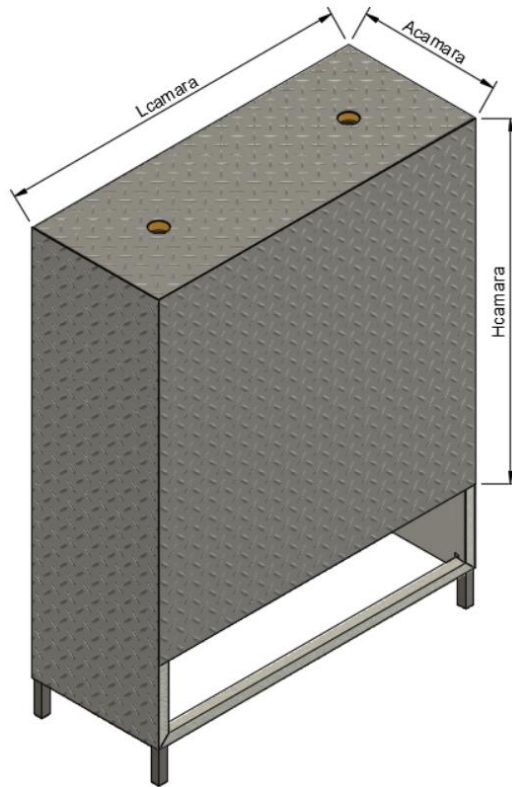
Dimensionamiento de la cámara de secado

- **Geometría de la cámara de secado**

Para las medidas de la cámara de secado, éstas dependen en las dimensiones de las bandejas, espacios entre ellas y de los soportes para las bandejas.

Figura 24

Diseño para la cámara de secado



Tenemos las siguientes medias tentativas para la cámara de deshidratación, basado en las medidas comerciales

$$A_{camara} = A_b [mm] \quad (21)$$

$$A_{camara} = 340 \text{ mm}$$

$$L_{camara} = L_b + 2 * A_{parante} [mm] \quad (22)$$

$$L_{camara} = 860 + 2 * 30$$

$$L_{camara} = 920 \text{ mm}$$

$$H_{camara} = 10(H_b) + 10(D_b) [mm] \quad (23)$$

Donde

D_b : Distancia entre bandejas

$$H_{camara} = 10(19) + 10(95)$$

$$H_{camara} = 1140 \text{ mm}$$

Estas medidas calculadas son internas ya que el sistema debe estar aislado del exterior por lo que se decide diseñar una estructura con tubos de acero galvanizado.

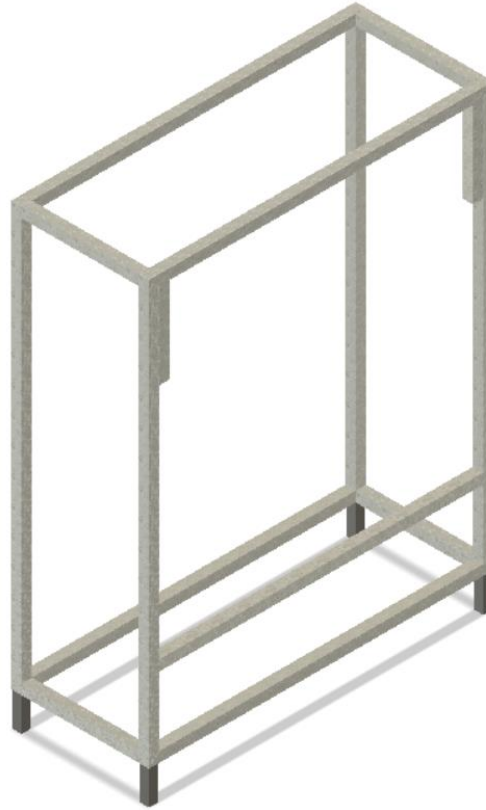
- **Diseño CAD de la cámara de secado**

Ya calculados las medidas internas de la cámara de secado, se procede con el diseño en planos mecánicos con las siguientes consideraciones: Estructura de tubo galvanizado de 30 x 30 x 1.5, planchas de acero inoxidable 304 para el interior de la cámara, fibra de vidrio para el aislante térmico y planchas de acero galvanizado para el exterior de la cámara.

El cuadro estructural construido por tubo de acero galvanizado es el que soportara todo el sistema de la cámara y es el punto de partida para los análisis de cargas, ver Figura 25. Las dimensiones establecidas se adjuntan en los planos mecánicos en los anexos del presente trabajo.

Figura 25

Diseño CAD cuerpo estructural de la cámara



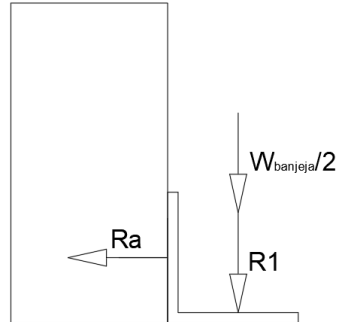
- **Análisis de carga la cámara de secado**

Para desarrollar el análisis de cargas en la cámara de secado, debemos mostrar las partes primordiales. Primeramente, el cuerpo estructural de la cámara el cual será el soporte de las planchas y bandejas a su vez, en este marco se suelda con SMAW y se forma con las medidas establecidas.

Ahora para el análisis de las cargas, se enfocó en el soporte de la bandeja ya que de la cámara de secado es el punto más crítico, las aletas son de un ángulo de acero inoxidable 304 de 25 x 25 x 1.5mm

Figura 26

Cargas en la aleta (soporte de la bandeja)



Calculamos las reacciones en los puntos de contacto, posteriormente los esfuerzos a los que estará sometido la aleta junto al parante

$$\sum M = 0 \quad (24)$$

Datos

$$W_{bandeja} = 4.017[kg]$$

$$R_1 = 5.113[N]$$

$$\frac{R_1 L_{angulo}}{2} = \frac{(R_a + W_{bandeja}) L_{angulo}}{2} \quad (25)$$

$$R_a = -35 [N]$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\frac{S_y}{n} = \sigma$$

Donde

S_y : Resistencia a la fluencia del material

n : Factor de seguridad

$$\frac{S_y}{n} = \frac{Mc}{I}$$

$$\frac{276}{2} = \frac{45 * \frac{0.025}{2}}{\frac{0.34 * h^2}{6}}; h_{\text{angulo}} = 0.25 \text{ mm}$$

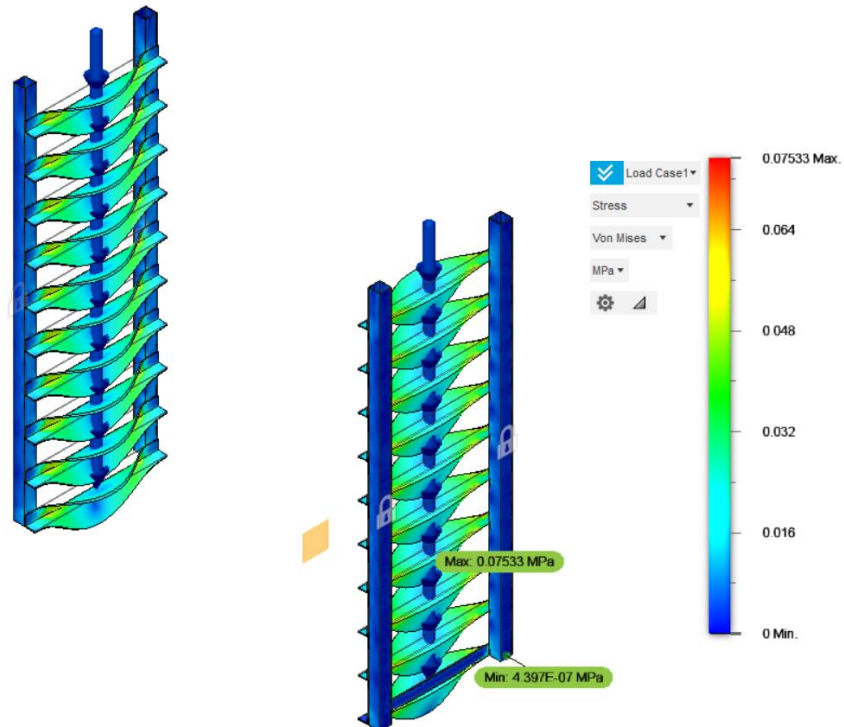
Tenemos que el espesor del ángulo a utilizar debe ser 0.25mm, en el mercado conseguimos un ángulo de 1.2 mm de espesor mínimo de acero inoxidable 304 el cual es ideal y además cumple para soportar los esfuerzos del proceso de deshidratación.

- **Comprobación por software**

Se realiza la simulación de los soportes del ángulo de acero inoxidable para la carga máxima a la que estarán sometidos, ver Figura 27 y Figura 28:

Figura 27

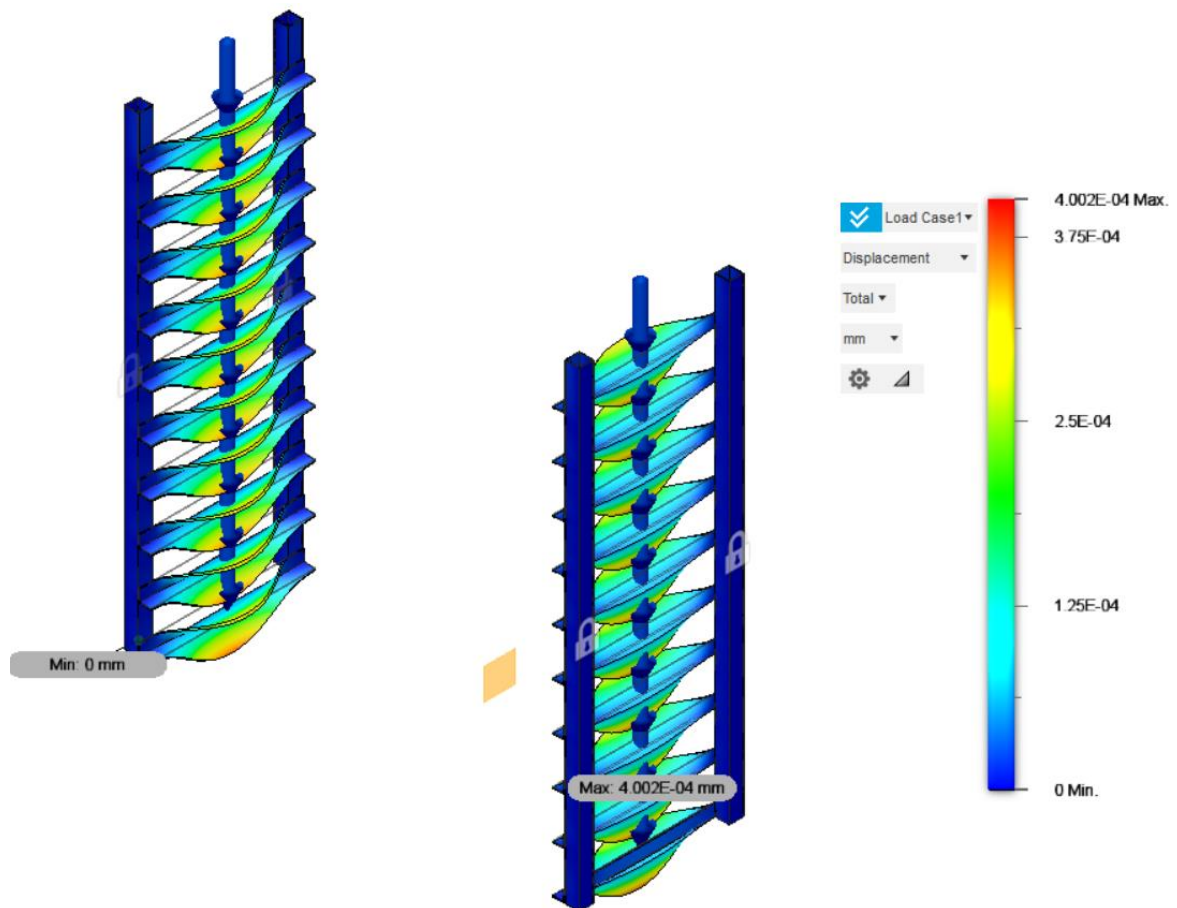
Análisis de esfuerzos en las aletas



El punto más crítico de la aleta es en la mitad de la misma ya que no se puede hacer como una viga en voladizo 0.07 Mpa, el límite elástico del material con el que se va a realizar la construcción tiene 6.558 Mpa, por lo cual la aleta soportara las cargas del sistema

Figura 28

Análisis de desplazamiento de la aleta



Como se puede observar, el máximo desplazamiento de la aleta es de 0.0004 mm, por consiguiente, la aleta no sufrirá una deformación la cual pueda incidir en el proceso idóneo de deshidratación

- **Construcción de la cámara**

Para la construcción de la cámara se inicia con los materiales, y se planifica el proceso de manufactura de las mismas, los materiales a utilizar son para el cuadro estructural un tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.5mm de acero galvanizado unidos con soldadura SMAW, después en el interior de la cámara se sella con planchas de acero inoxidable 304 de 1.2mm de espesor, en el ancho del tubo se coloca fibra de vidrio como aislante y para el sellado de la cámara se usa planchas de acero galvanizado.

Para comenzar el proceso de soldadura en los travesaños es fundamental tener en cuenta el espesor del tubo, se procede con el corte de los tubos con un ángulo de 45, limado en los extremos, la unión por soldadura y el pulido en la soldadura, ver Figura 29.

Figura 29

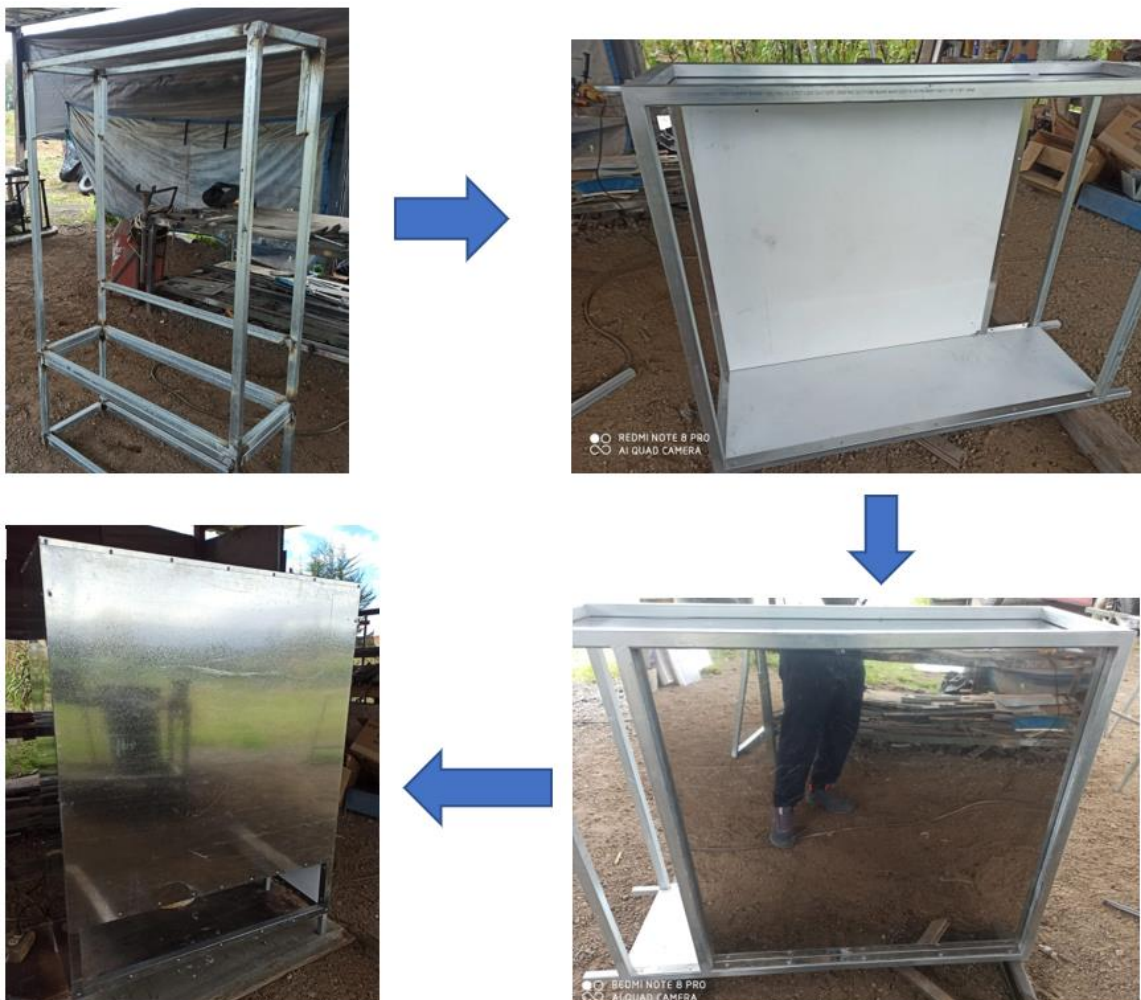
Cuadro estructural para la cámara



Una vez que se termina el cuadro estructural, se procede a cortar las planchas de acero inoxidable 304 a las medidas internas de la cámara y unen con al cuadro con remaches, después se introduce la fibra de vidrio en el espesor del tubo cuadrado, se cortan las planchas de acero galvanizado con las medidas externas de la cámara y finalmente se sella por fuera, ver la Figura 30.

Figura 30

Proceso de fabricación de la cámara de deshidratación



Perdidas de Calor

- **Perdidas de Calor en el Aire**

Primeramente, se realiza un cálculo del flujo masico dependiendo de las frutas a deshidratar y su perdida en masa, en función del calor útil generado en el sistema. (Cengel, 2007)

$$\dot{m}_{aire} = \frac{\dot{Q}_u}{C_{p-aire} * \Delta T} \quad (26)$$

Donde

\dot{m}_{aire} : Flujo másico de aire en el sistema $\left[\frac{kg}{s}\right]$

\dot{Q}_u : flujo de calor perdido en el aire [W]

ΔT : Diferencia de temperaturas[°C]

C_{p-aire} : Calor específico del aire Latacunga, $1.007 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}K}\right]$

La diferencia de temperatura en el interior de la cámara de secado se produce al aumentar la temperatura ambiente hasta la máxima que permisible para el deshidratado.

$$\Delta T = T_{max} - T_{amb} \quad (27)$$

Con la temperatura ambiente y la densidad procedemos a calcular el calor específico. Los valores obtenidos están a una presión atmosférica 1 atm, en la ciudad de Latacunga se presentan los siguientes parámetros. (Caiza Yanchaguano & Camuendo Garzón, 2011)

T_{amb} : 13 [°C]

δ_{aire} : 1.23 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Tenemos un ejemplo de cálculo, para determinar el flujo masico del aire para la temperatura máxima, específicamente para la manzana:

$$\dot{m}_{airemanzana} = \frac{1.246}{1.007 * (52 - 13)}$$

$$\dot{m}_{airemanzana} = 0.032 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Tabla 9

Valores resultantes del flujo másico

Producto	$\dot{m}_{aire} \left[\frac{kg}{s} \right]$
Manzana	0.032
Uvilla	0.030
Durazno	0.034
Chocho	0.026

El cálculo de las pérdidas de calor por el aire en el deshidratado, necesitan la variación de temperatura entre el fluido que ingresa con el fluido que sale de la cámara de secado.

$$\dot{Q}_{perdidoaire} = \dot{m}_{airesistema} C_{p-aire} * \Delta T \quad (28)$$

Donde

$\dot{Q}_{perdidoaire}$: flujo de calor perdido en el aire [W]

$\dot{m}_{airesistema}$: Flujo másico de aire en el sistema $\left[\frac{kg}{s} \right]$

C_{p-aire} : Calor específico del aire Latacunga, $1.007 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right]$

Tenemos un ejemplo de cálculo, para determinar las pérdidas de calor por el aire para el proceso de deshidratación con la manzana.

$$\dot{Q}_{perdidoaire} = 0.032 * 1.007 * (39)$$

$$\dot{Q}_{perdidoaire_manzana} = 1.246 [kW]$$

Tabla 10

Valores resultantes de las pérdidas de calor por proceso en el aire

Producto	$\Delta T [^{\circ}C]$	$\dot{Q}_{perdidoaire} [kW]$
Manzana	39	1.246
Uvilla	42	1.262
Durazno	37	1.267
Chocho	47	1.215

- **Calor total en pérdidas en la cámara de secado**

El calor total por pérdidas en la cámara de secado resulta de la sumatoria de las pérdidas por aire, pérdidas por masa y pérdidas por contorno. Sin embargo, al realizar varias simulaciones y comparación de datos previos se concluyó que las pérdidas más significativas son las pérdidas por aire ya que están en el orden de kW en cambio las pérdidas por masa y paredes se encuentran en el orden de W por lo que se procede a despreciar para facilidad de cálculo.

$$\dot{Q}_{total_perdidas} = \dot{Q}_{perdidoaire} + \dot{Q}_{perdidomas} + \dot{Q}_{perdidoparedes} \quad (29)$$

$$\dot{Q}_{total_perdidas} = \dot{Q}_{perdidoaire} * n$$

$$\dot{Q}_{total_perdido_manzana} = 1.243 * 1.25$$

$$\dot{Q}_{total_perdido_manzana} = 1.557 [kW]$$

Tabla 11

Valores resultantes de las pérdidas de calor totales

Producto	$\dot{Q}_{total_perdido}$ [kW]
Manzana	1.557
Uvilla	1.577
Durazno	1.584
Chocho	1.518

Calor total requerido

El calor total requerido para el sistema de deshidratación resulta de la suma del calor útil dependiendo de la fruta con las pérdidas totales de calor. (Cengel, 2007)

$$\dot{Q}_{requerido} = \dot{Q}_{util} + \dot{Q}_{total_perdidas} \quad (30)$$

Tabla 12

Valores resultantes del calor requerido

Producto	$\dot{Q}_{requerido}$ [kW]
Manzana	2.803
Uvilla	2.839
Durazno	2.851
Chocho	2.734

Bastidor

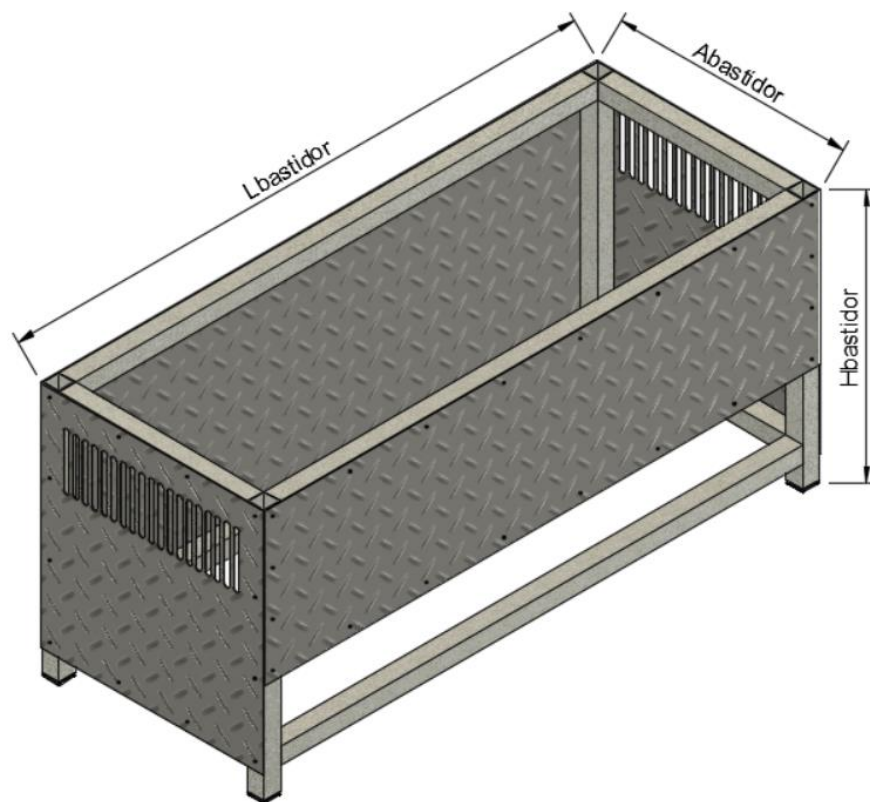
Dimensionamiento del bastidor

- **Geometría del bastidor**

Para las medidas del bastidor, se parte del área inferior de la base de la cámara de secado ya que es la que estará en contacto directo con la parte superior del bastidor, la altura del bastidor se dimensiona respecto al sistema de quemador y las necesidades adicionales para que soporte todo el peso del sistema.

Figura 31

Diseño para el bastidor



Tenemos las siguientes medidas para el bastidor, que son iguales a las de la cámara excepto la altura

$$A_{bastidor} = A_{camara} \quad (31)$$

$$A_{camara} = 340 \text{ mm}$$

$$L_{bastidor} = L_{camara} \quad (32)$$

$$L_{bastidor} = 920 \text{ mm}$$

$$H_{camara} = 450 \text{ mm} \quad (33)$$

Estas medidas son internas ya que el sistema debe estar aislado del exterior por lo que se decide diseñar una estructura con tubos de acero galvanizado, el cálculo de la altura del bastidor está en función del quemador el cual se explicara más adelante.

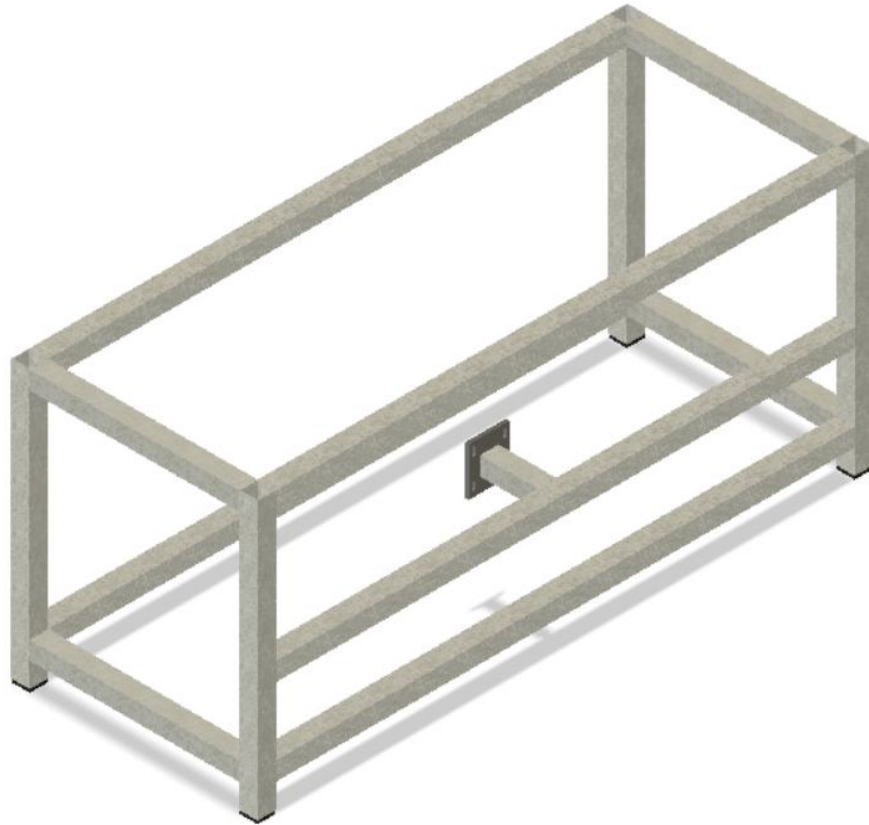
- **Diseño CAD de las bandejas**

Ya calculados las medidas del bastidor, se procede con el diseño en planos mecánicos con las siguientes consideraciones: Estructura de tubo galvanizado de 30 x 30 x 1.5 y planchas de acero galvanizado para el exterior de la cámara.

El bastidor construido por tubo de acero galvanizado es el que soportar el peso de toda la cámara de deshidratación con las cargas del mismo proceso y es el punto de partida para los análisis de cargas, ver Figura 32. Las dimensiones establecidas se adjuntan en los planos mecánicos en los anexos del presente trabajo.

Figura 32

Diseño CAD cuerpo estructural de la cámara



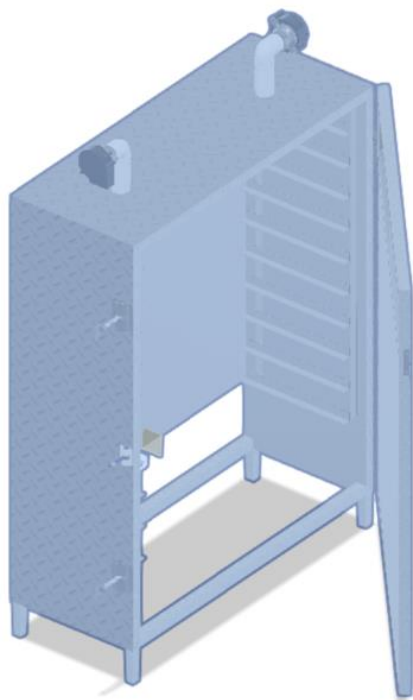
- **Análisis de cargas del bastidor**

Para desarrollar el análisis de cargas en el bastidor, debemos mostrar las partes primordiales. Primeramente, el cuerpo estructural del bastidor el cual será el soporte del todo el sistema, en este marco se suelda con SMAW y se forma con las medidas establecidas.

Ahora para el análisis de las cargas, se calculó el peso total: Cámara de deshidratación, bandejas y el peso del producto, estas son las cargas más significativas las cuales se pueden calcular matemáticamente, sin embargo también se pueden obtener esos datos mediante software especificando el material de elemento, ver Figura 33 y Figura 34.

Figura 33

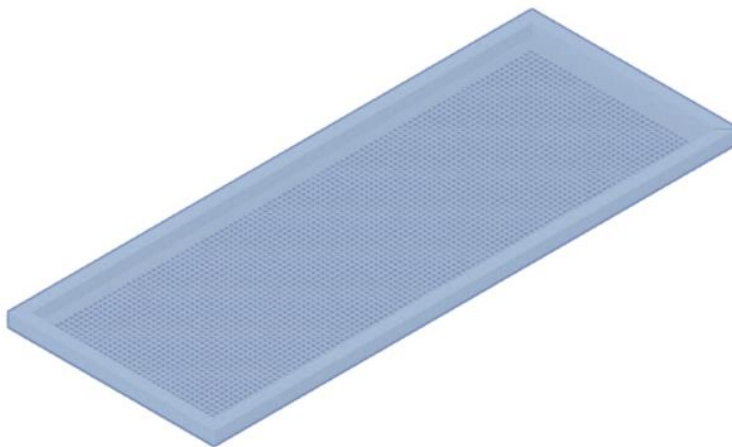
Masa total de la cámara de deshidratación por Software



PROPERTIES	
Component Camara_Secado v57 x	
▼ General	
Part Number	Camara_Secado
Part Name	Camara_Secado v57
Description	
Material Name	(Various)
> Manage	
▼ Physical	
Mass	96859.776 g
Volume	8.894E+07 mm ³
Density	0.001 g / mm ³
Area	2.595E+07 mm ²
Close	

Figura 34

Masa total de la bandeja por Software



PROPERTIES	
Component Ensamble_bandeja v2 x	
▼ General	
Part Number	Ensamble_bandeja
Part Name	Ensamble_bandeja v2
Description	
Material Name	Stainless Steel AISI 3...
> Manage	
▼ Physical	
Mass	4017.396 g
Volume	5.022E+05 mm ³
Density	0.008 g / mm ³
Area	7.730E+05 mm ²
Close	

Tabla 13*Valores de masas totales*

Componente	Masa [kg]
Cámara	96.859
10 bandejas	40.17
Producto	10
Panel de control	2
	149.029

El bastidor tiene que resistir una carga aproximada a 149.029 kg, la cual es la masa de la suma de todos los elementos

$$F = m * a \quad (34)$$

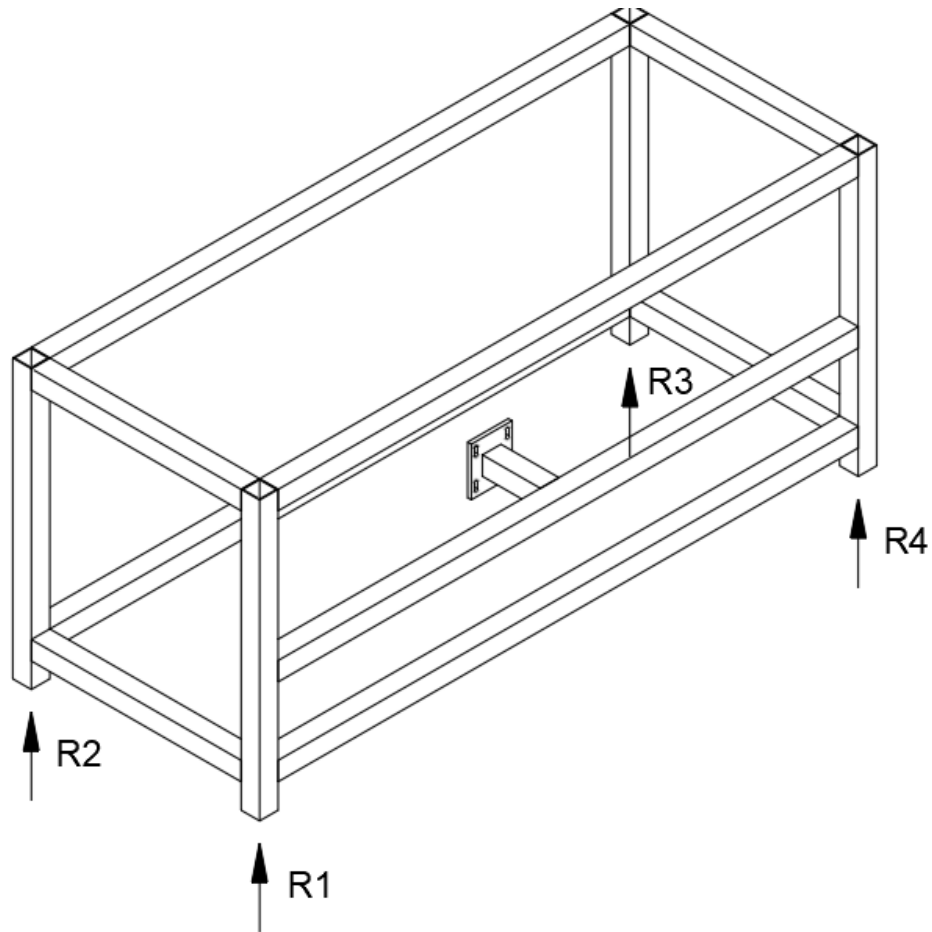
Datos

F : Fuerza a resistir el bastidor [N]

a : Aceleración de la gravedad, [9.8 m/s²]

$$F = 149.029 * 9.8 = 1460.484 \text{ [N]}$$

Una vez calcula la fuerza que debe resistir el bastidor, se procede a calcular las reacciones R1, R2, R3 y R4 que están en los extremos del bastidor, ver figura 35.

Figura 35*Distribución de reacciones del bastidor*

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = \frac{F}{4}$$

$$R_1 = \frac{1460.484}{4} = 365.12 \text{ [N]}$$

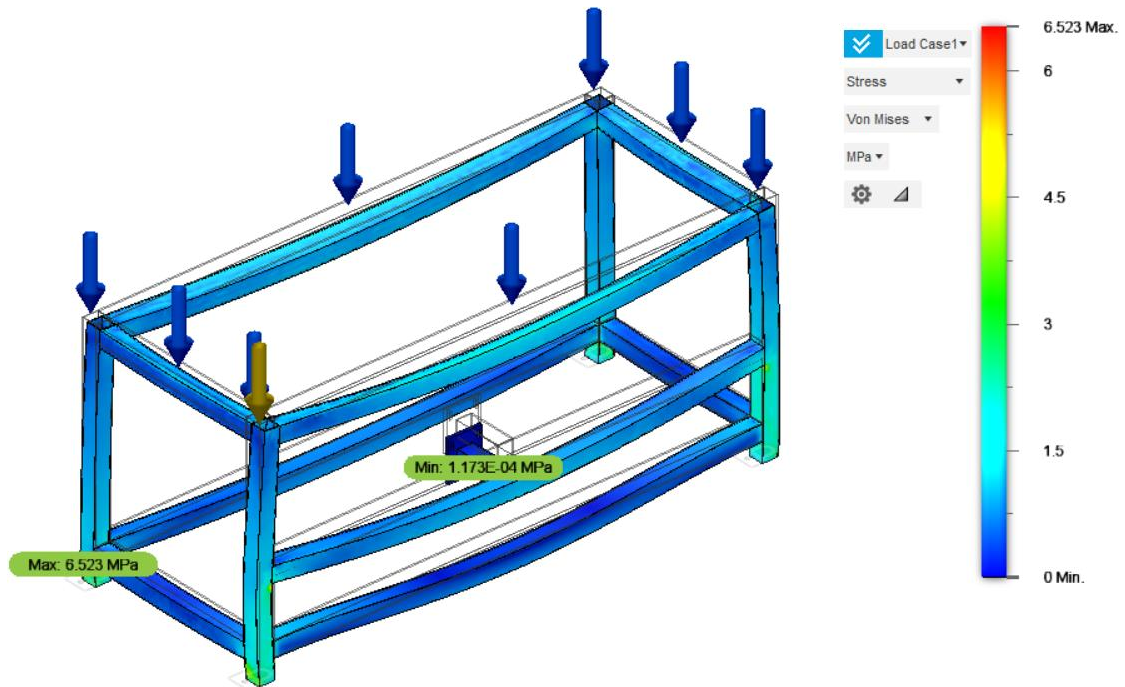
- **Comprobación por software**

Se realiza la simulación del bastidor para la carga máxima a la que estará sometido, ver

Figura 36 y Figura 37:

Figura 36

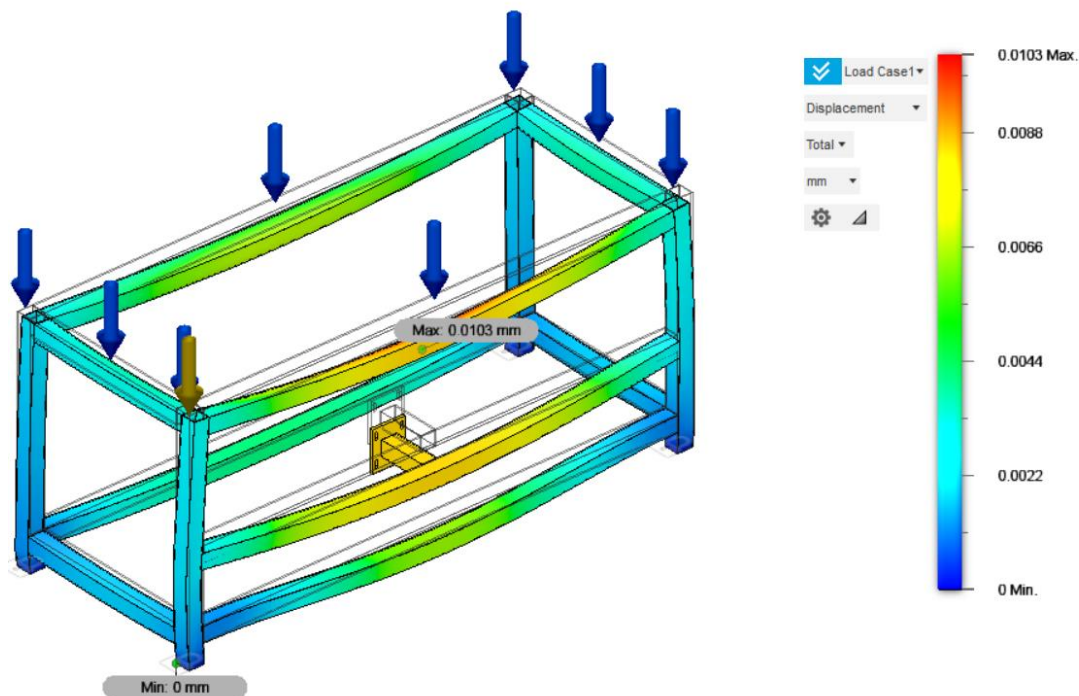
Análisis de esfuerzos en el bastidor



El punto más crítico del bastidor es en el medio del parante, ya que puede haber un efecto de pandeo, también puntos de base hay un gran esfuerzo el cual llega a los 6.523 Mpa y el límite elástico del material con el que se va a realizar la construcción tiene 250Mpa, por lo cual el bastidor soportara las cargas del sistema.

Figura 37

Análisis de desplazamiento del bastidor



Como se puede observar, el máximo desplazamiento del bastidor en el punto medio del travesaño es de 0.01mm por lo que se puede despreciar y deducir que el sistema es eficiente y resistirá muy bien las cargas del sistema.

- **Construcción del bastidor**

Para la construcción del bastidor con los materiales, y se planifica el proceso de manufactura de las mismas, los materiales a utilizar son para el cuadro estructural un tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.5mm de acero galvanizado unidos con soldadura SMAW y para el exterior del bastidor se usa planchas de acero galvanizado.

Para comenzar el proceso de soldadura en los travesaños es fundamental tener en cuenta el espesor del tubo, se procede con el corte de los tubos con un ángulo de 45, limado en los extremos, la unión por soldadura y el pulido en la soldadura, ver Figura 38.

Figura 38

Cuadro estructural del bastidor



Una vez que se termina el cuadro estructural, se procede a cortar las planchas de acero galvanizado para sellar por fuera, ver la Figura 39.

Figura 39

Bastidor finalizado



Selección del tipo de quemador

Para la selección del tipo de quemador a emplear, se ha realizado una comparación entre 3 tipos de quemadores, examinando la función principal que tienen cada uno, las ventajas y desventajas y finalmente utilizando un análisis ponderativo, tomando en cuenta el costo, control de temperatura y eficiencia

- **TIPO I: Quemadores radiales automáticos**

Figura 40

Quemador radial automático



Nota: Tomado de Quemadores radiales automáticos, (AMERICA BURNERS, s/f)

El tipo de quemador radial (Figura 40) es un quemador de uso industrial, son fabricados de fundición de hierro, aptos para resistir altas temperaturas, emplean la utilización de GLP o gas natural. Por su aplicación son aptos para trabajar con altas presiones. (AMERICA BURNERS, s/f)

Ventajas:

- Alta eficiencia
- Poseen sistemas de seguridad integrados

- Sistema integrado para control de temperatura
- Gran capacidad de trabajo

Desventajas:

- Costo elevado
- Disponibilidad, en el país no los fabrican
- Muy robusto para un uso semiindustrial

- **TIPO II: Quemadores de llama continua**

Figura 41

Quemador de llama continua



Nota: Tomado de Quemadores llama continua, (AMERICAN BURNERS, s/f)

El quemador de llama continua, ver Figura 41, en este tipo de quemador no existe ningún tipo de control de llama, ni de paso de gas automático. Comúnmente se les llama flautas, son construidas de acero inoxidable 304 generalmente por las normas alimenticias.

Ventajas:

- Por el uso neto de gas, no consumen energía eléctrica
- Apto para trabajos convencionales y semiindustriales
- Costo relativamente bajo

Desventajas:

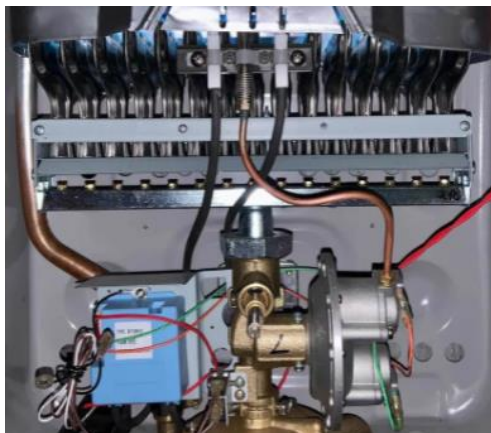
- No posee control de llama
- No incluye componente para un control de temperatura
- Medidas estándares

- **TIPO III: Sistema de quemador con shiglores**

El sistema con shiglores emplea estos elementos con una medida específica para obtener una llama adecuada, ver Figura 42. Producen una alta temperatura en un reducido tiempo.

Figura 42.

Sistema de calentamiento con shiglores



Nota: Tomado de Hidroagua_calefones, (HidroAgua, 2021)

Ventajas:

- Control de temperatura
- Consumo de gas relativamente bajo
- Alta eficiencia
- Encendido automático
- Costo relativamente bajo
- Disponibilidad inmediata

Desventajas:

- Diseño y tamaño cerrado
- Utilización de energía eléctrica
- Necesita un mantenimiento periódico

- **Evaluación de alternativas del tipo de quemador**

Para conseguir la mejor alternativa para el quemador, se efectuará una evaluación, con una matriz de evaluación con los siguientes criterios ponderados:

- Control de temperatura: La implementación de elementos que ayudan al control de la temperatura y seguridad, además el tiempo en que se demora para llegar a la temperatura requerida.
- Costo: como su nombre lo indica el costo de implementar el equipo
- Eficiencia: La relación entre potencia de entrada y salida

La ponderación se efectúa de acuerdo a la Tabla 14:

Tabla 14

Ponderaciones de criterios para quemadores

Desempeño en cada criterio	Calificación
Malo	1
Bueno	2
Excelente	3

Se desarrolla de tal manera la matriz de selección del tipo de quemador (Tabla 15), siguiendo los criterios de Ulrich. (Ulrich, 2012)

Tabla 15

Tabla de selección del tipo de quemador

Criterio	Peso	Tipos de deshidratadores					
		I		II		III	
		Quemador radial automático		Quemador de llama continua		Quemador de shiglores	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Control de temperatura	30%	3	0.9	1	0.3	3	0.9
Costo	50%	2	1	3	1.5	3	1.5
Eficiencia	20%	3	0.6	1	0.2	2	0.4
	Total		2.5		2		2.8
	Lugar		3		2		1
¿Desarrollar?		No		Si		Si	

En conclusión, se ha elegido el tipo de quemador III: Quemador de shiglores.

Potencia y consumo del quemador

Con el dato de la potencia requerida para el proceso de deshidratación, se procede a calcular la potencia energética que brindara el quemador. Previo al cálculo es de gran importancia conocer las características del quemador que son el caudal, el poder calorífico del GLP y el consumo de GLP. El GLP que se comercializa para el uso doméstico consta de una mezcla de 30% de propano y 70% de butano. El valor del poder calorífico del GLP de uso general es 11000 (kcal/kg). (Farinango Morales & Tipan Paguay, 2007)

Se escogió el quemador de shiglores, que tiene un consumo de combustible que es de 0.45 nominal (kg/hr). (HidroAgua, 2021)

$$\dot{Q}_{quemador} = P_c * C_t \quad (35)$$

Donde

$\dot{Q}_{quemador}$: Potencia térmica que entrega el quemador [kW]

P_c : Poder calorífico del GLP $\left[\frac{kcal}{kg} \right]$

C_t : Consumo neto total de combustible $\left[\frac{kg}{hr} \right]$

$$\dot{Q}_{quemador} = 11000 * 0.45$$

$$\dot{Q}_{quemador} = 4950 \left[\frac{kcal}{hr} \right]$$

$$\dot{Q}_{quemador} = 5.755 [kW]$$

Finalmente, la potencia generada es mayor que la potencia que requiere el sistema por tal razón se puede concluir que el proceso de deshidratación se va a llevar a cabo con éxito.

Colector

Dimensionamiento del colector

La parte principal del colector o también llamado captador solar es el área del mismo, el área es directamente proporcional al consumo energético para realizar el proceso de secado e inversamente proporcional a la radiación solar incidente y la eficiencia. Para el cálculo del área se emplea el uso de la ecuación 36. (Montero Puertas, 2005)

$$A_c = \frac{Q_{u\text{colector}}}{I * n} \quad (36)$$

Donde

A_c : Área del colector [m^2]

$Q_{u\text{colector}}$: Calor neto útil [kW]

I : Radiación solar global [$\frac{kWh}{m^2 \text{ dia}}$]

n : eficiencia [80%]

La radiación solar en el Ecuador tiene un valor aproximado de 4.2 kWh/m² día, muy superior al de España, por tal razón es adecuado pensar en el máximo aprovechamiento del recurso solar. (Velasco & Cabrera, s/f)

$$Q_{u\text{colector}} = I * n * A_c$$

$$Q_{u\text{colector}} = 4.2 * 0.8 * 2.4$$

$$Q_{u\text{colector}} = 8.064 \left[\frac{kWh}{\text{dia}} \right]$$

$$Q_{u\text{colector}} = 0.336 [kW]$$

$$\# \text{días de secado} = \frac{Q_{\text{requerido}}}{Q_{u\text{colector}}} \quad (37)$$

$$\#días\ de\ secado = \frac{2.85}{0.336}$$

$$\#días\ de\ secado \cong 8\ días$$

Para este caso, partimos de un área tentativa del colector en base a las medias de la cámara de deshidratación, con un área de 2.4 m². Obtenemos el calor neto útil producido por el colector en un día el cual es menor al requerido, con esto deducimos que el proceso de deshidratado necesitara al menos 8 días cabe mencionar que este tiempo se cumpliría si solo se utilizaría el colector. En la Tabla 16. se detallan los elementos para la construcción del colector y sus componentes.

Tabla 16

Componentes dimensionados para el colector solar

Característica	Selección
Cubierta transparente	Vidrio templado
Placa absorbadora	Hierro galvanizado (recubrimiento de pintura negra)
Aislamiento del colector	Fibra de vidrio
Carcasa del colector	Hierro galvanizado

Nota: Tomado de *Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales*, (García, Mejía, Mejía, & Valencia, 2012)

Diseño y construcción de la parte electrónica y control.

Selección de sensores.

Sensor de temperatura

Para realizar la selección del sensor de temperatura se ha tomado los siguientes criterios de priorización: Disponibilidad, factibilidad de instalación, Bajo costo y precisión.

Se muestra en la Tabla 17 la ponderación de criterios de diseño para la selección del sensor.

Tabla 17

Ponderación de criterios de evaluación - termocupla

Criterios	Bajo costo	Disponibilidad	Facilidad de instalación	Precisión	Ponderación
Bajo costo		0	0,5	0	0,5
Disponibilidad	1		1	0	2
Facilidad de instalación	0,5	0		1	1,5
Precisión	1	1	0		2

Los sensores a evaluarse son los siguientes:

- Termocupla tipo K – Opción A
- PT-100 – Opción B
- DTH22 – Opción C
- LM35– Opción D

Según las ponderaciones de los criterios se evaluarán todos los sensores listados anteriormente, ver Tabla 18

Tabla 18

Ponderación de sensores de temperatura a evaluarse según criterios.

Criterios									Ponderación de Criterios
	A		B		C		D		
Precisión	1	2	1	2	0	0	0	0	2
Disponibilidad	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Facilidad de instalación	1	1,5	0	0	0	0	0	0	1,5
Bajo costo	0	0	1	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5
TOTAL	5,5		4,5		2,5		2,5		

Para la medición de la temperatura en la cámara de secado, se ha seleccionado una termocupla tipo K, ver Figura 43, la cual nos permite obtener los rangos de precisión de ± 1.5 C en el rango de medición; además la medición máxima de esta termocupla tipo k es de 600 C, que es más que suficiente para la temperatura de 60 °C que será a máxima en el proceso de deshidratación. Por lo tanto, esta termocupla cumple con los parámetros establecidos para el prototipo.

Figura 43

Termocupla tipo K



Este tipo de termocupla tiene una parte roscada la cual es de gran ayuda para su instalación en el interior del cámara de deshidratado, además es muy resistente a la corrosión, soporta altas temperaturas y cualquier tipo de ambiente. Las características del fabricante son las siguientes:

- **Características celda de carga**

Tipo de termocupla: Tipo K

Rango de temperatura: 0 – 600 °C

Material: Acero

Aislamiento interno: Fibra de vidrio

Longitud total: 1 m

Rango y precisión: ± 1.5 °C

Sensor de humedad

Para la selección del sensor de humedad se han tomado los siguientes criterios de priorización: Bajo costo, disponibilidad, facilidad de instalación, precisión.

Se presenta en la Tabla 19 la ponderación de criterios de diseño para la selección del sensor.

Tabla 19

Ponderación de criterios de evaluación – sensor de humedad

Criterios	Bajo costo	Disponibilidad	Facilidad de instalación	Precisión	Ponderación
Bajo costo		0	0,5	0	0,5
Disponibilidad	1		1	0	2
Facilidad de instalación	0,5	0		1	1,5
Precisión	1	1	0		2

Los sensores a evaluarse son los siguientes:

- DHT22 – Opción A
- YL-69 – Opción B
- RTU – Opción C

- DHT11 – Opción D

Según las ponderaciones de los criterios se evaluarán todos los sensores listados anteriormente en la Tabla 20.

Tabla 20

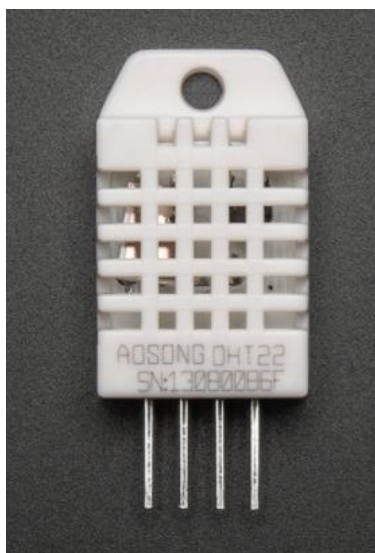
Ponderación de sensores de humedad a evaluarse según criterios.

Criterios									Ponderación de Criterios
	A		B		C		D		
Precisión	1	2	0	0	1	2	0	0	2
Disponibilidad	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Facilidad de instalación	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5
Bajo costo	1	0.5	1	0.5	-1	-0.5	1	0.5	0,5
TOTAL	4.5		0.5		4		2.5		

Por consiguiente, para la medición de la humedad se ha decidido por utilizar el sensor DHT22, ver Figura 44, el cual permite determinar la humedad interna de la cámara de deshidratación.

Figura 44

Sensor de temperatura y humedad



Nota: Tomado de DHT temperature-humidity sensor, (adafruit, 2021)

El sensor DHT22 escogido posee las siguientes características:

- ***Características del sensor DHT22***

Fabricante: Aosong Electronics

Voltaje de alimentación: 3.3 – 6 VDC

Rango de trabajo: 0 – 100%RH

Temperatura de trabaja: -40 a 80 °C

Rango y precisión: $\pm 2\%$ RH

Selección de controladores.

Una vez seleccionados los sensores a ser implementados para la medición de temperatura y humedad relativa, se continua a seleccionar los controladores que permitan la adquisición, tratamiento y posterior presentación de los datos medidos por dichos sensores.

Para la selección de los controladores se ha determinado los siguientes criterios de priorización: Bajo costo, disponibilidad local, software de programación open source, lecturas digitales e interrupciones, auspicio puertos usb y hdmi y experiencia de manejo.

Se presenta en la Tabla 21 la ponderación de criterios de diseño para la selección de los controladores.

Tabla 21*Ponderación de criterios de evaluación – Controladores*

Criterios	Bajo costo	Disponibilidad Local	Software de programación open source	Lecturas digitales e interrupciones	Auspicio	Puertos usb y hdmi	Experiencia de manejo	Ponderación
Bajo costo		0	0	0	1	0	0.5	1.5
Disponibilidad local	1		0.5	0.5	0	1	1	4
Software de programación open source	1	0.5		1	0	1	0.5	4
Lecturas digitales e interrupciones	1	0.5	0		1	0.5	0.5	3.5
Auspicio	0	1	1	0		1	1	4
Puertos usb y hdmi	1	0	0	0.5	0		1	2.5
Experiencia de manejo	0.5	0	0.5	0.5	0	0		1.5

Los sensores a evaluarse son los siguientes:

- Controlador de temperatura REX C100 – Opción A
- Arduino nano – Opción B
- Jason Board – Opción C
- Arduino 1 – Opción D
- PLC SIEMENS LOGO – Opción E

Según las ponderaciones de los criterios se evaluarán todos los sensores listados anteriormente en la Tabla 22.

Tabla 22

Ponderación de controladores a evaluarse según criterios.

Criterios	A	B	C	D	E	Ponderación de Criterios					
Disponibilidad local	1	4	1	4	-1	-4	1	4	1	4	4
Software de programación open source	1	4	1	4	1	4	1	4	0	0	4
Auspicio	1	4	0	0	1	4	0	0	-1	-4	4
Lecturas digitales e interrupciones	1	3,5	1	3,5	1	3,5	1	3,5	1	3,5	3,5
Puertos USB y HDMI	0	0	1	2,5	0	0	0	0	0	0	2,5
Bajo Costo	1	1,5	0	0	0	0	0	0	-1	-1,5	1,5
Experiencia de manejo	1	1,5	1	1,5	0	0	1	1,5	1	1,5	1,5
TOTAL	18,5	15,5	7,5	13	3,5	21					

Se implementará el controlador REX C100, ve Figura 45, para la obtención de los datos de temperatura, el tratamiento de la señal y el control del quemador; mientras que, para el tratamiento de la señal de humedad y control de los extractores se implementará un Arduino nano.

- ***Características Controlador de temperatura***

Modelo: REX-C100

Voltaje de alimentación: 110 VAC

Pines de salida digital: 1

Pines de entrada analógica: 1

Temperatura de trabajo: 0 a 60 °C

Alarmas: 1

Resolución: 14 bit

Ciclo de muestreo: 0.5 sec

Control: PID (rutina ON/OFF)

Humedad relativa admisible: 30 – 85%HR

Figura 45

Pantalla del controlador REX-C100



Nota: Tomado de D REX-C100 Dual LED Digital PID Temperature Controller, (Walmart, 2021)

Acondicionamiento de los sensores.

Acondicionamiento sensor de temperatura

La termocupla tipo K, posee dos cables de salida:

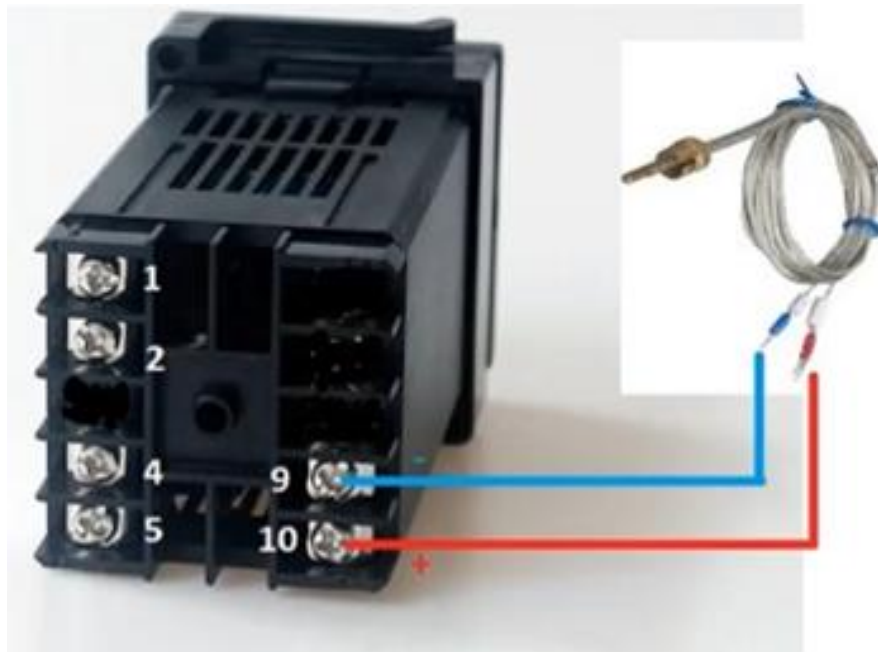
- **Rojo:** Positivo
- **Azul:** Negativo

El tratamiento de la señal de entrada de la termocupla lo realiza internamente el controlador de temperatura REX C100, las conexiones son directas con el controlador y en la pantalla se nos muestra la salida de la temperatura, ver Figura 46.

La señal de salida está en un rango de 0 a 12Vdc, que se puede conectar un relé de estado sólido o un relé simple, dependiendo de la aplicación a utilizar, en este caso en específico se utiliza un relé DC para realizar el control del quemador.

Figura 46

Conexión termocupla – REX-C100



Acondicionamiento sensor de humedad

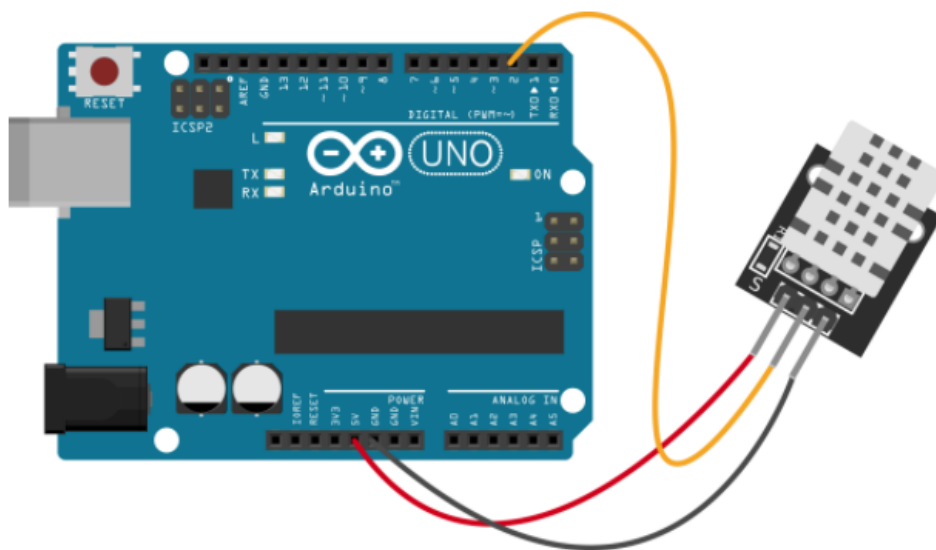
El sensor de humedad DHT22, posee cuatro cables de salida:

- **1:** Vcc (3.3 – 5.5V0)
- **2:** Data
- **3:** Sin conexion
- **4:** GND

Para este sensor existe un módulo, con el cual se mejora la señal y nos entrega sin embargo el mismo tratamiento se lo puede realizar internamente el Arduino, con este valor de humedad se procede con el control de los extractores, las conexiones del sensor son directamente al Arduino, ver Figura 47.

Figura 47

Conexión DHT22 - Arduino



Control del quemador

Para realizar el control del quemador, se hace el uso de un relé de 12 VDC que es activado por el controlador REX C100, el control se lo realiza por PID (rutina ON/OFF), para los parámetros de PID el controlador posee la función de autotuning, la cual se encarga de calcular esos valores según el proceso de deshidratación en función de la temperatura ingresada.

Quemador de shiglores

Este quemador se controla por un módulo interno, al cual se conectan sensores de llama como entradas y salidas digitales a electroválvulas para el control de paso de GLP, ver Figura 48.

Figura 48

Sistema de Quemador de shiglores



El sistema se activa por el controlador REX C100.

Modelamiento del sistema

En el proceso de deshidratado la temperatura deber ser un parámetro controlado, por ende, es fundamental realizar un control para que la temperatura sea constante. Para ello se ha diseñado un controlador digital PID que permita que este parámetro permanezca constante.

En primer lugar, se evalúa la planta midiendo su entrada, que en este caso es el valoramos el tiempo y la temperatura en el mismo que sería el parámetro de salid. Obteniendo los siguientes datos:

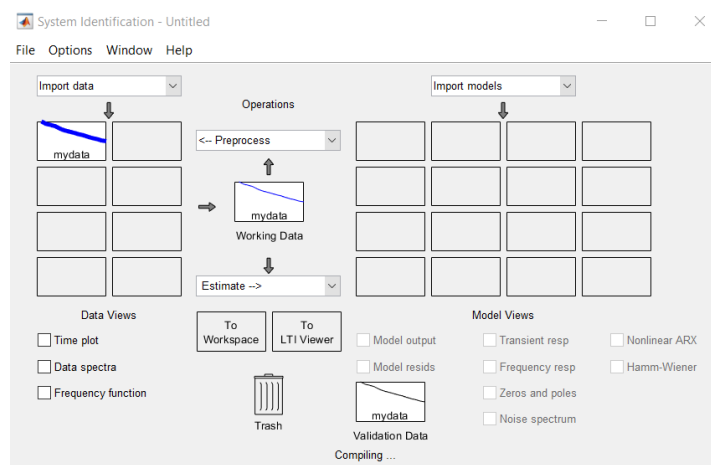
Tabla 23*Datos de tiempo y temperatura teóricos*

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
90	61
84	60
79	60
72	59
68	59
63	58
60	55
56	50
48	46
42	41
38	38
31	35
27	26
22	23
17	20

Una vez obtenidos los datos, se procede a crear variables en Matlab, que tengan los tiempo y temperatura, procedemos a realizar la identificación de la planta y estimamos la función de transferencia, ver Figura 49.

Figura 49

Identificación de la planta.



Como resultado tenemos la siguiente función de transferencia para la planta:

$$\frac{0.02937}{s^2 + 0.02501s + 0.01896}$$

Se realiza la sintonización del controlador digital PID mediante la utilización de la herramienta SIMULINK , con el siguiente procedimiento, ver Figura 50 y Figura 51.

Figura 50

Diagrama de control en lazo cerrado en Simulink.

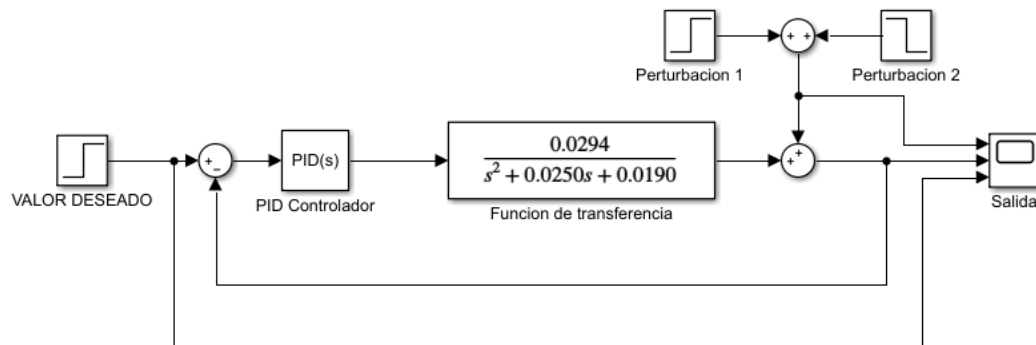
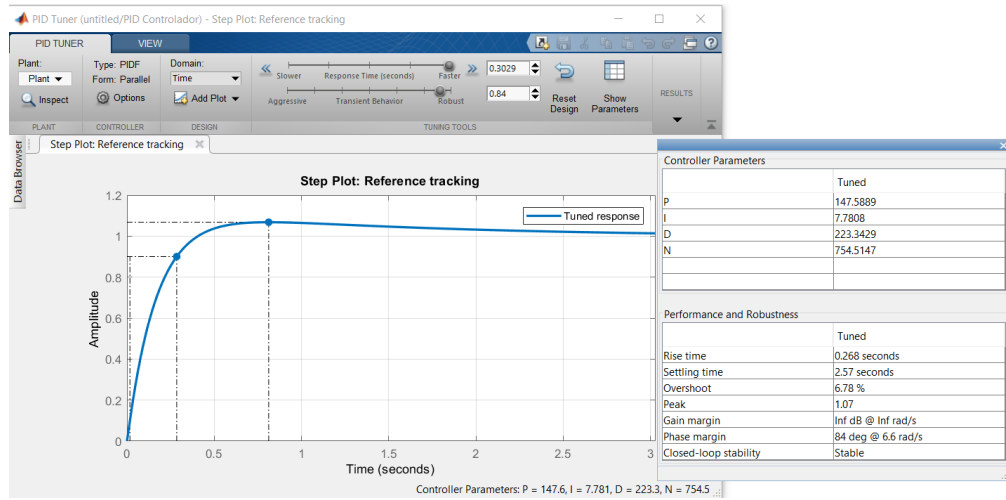


Figura 51

Sintonización del PID.



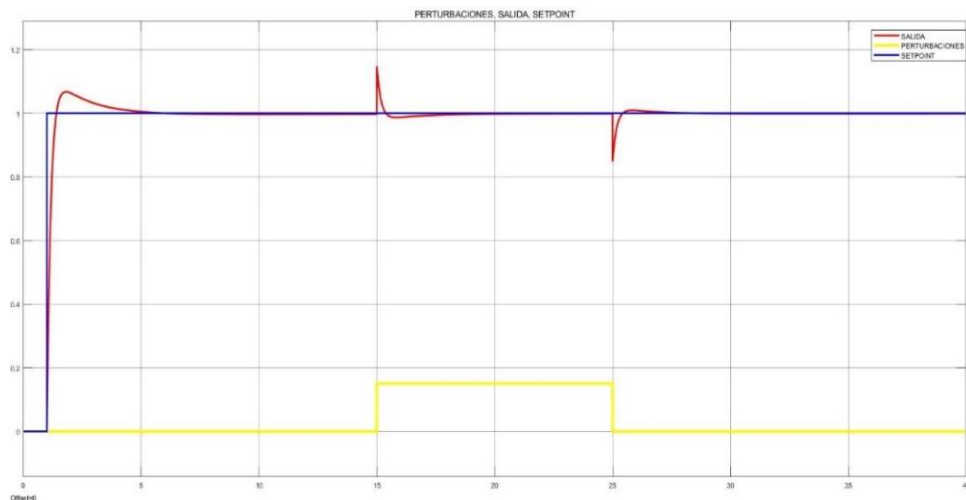
Parámetros de control:

$$K_p = 8; K_i = 8; K_d = 1$$

Una vez realizada la sintonización de los parámetros de control en el PID, se debe evaluarlo en la planta, observando cuál es su respuesta ante perturbaciones, ver Figura 52.

Figura 52

Respuesta del control PID a perturbaciones.



Como se comprueba en la figura, el controlador permite que la planta trabaje a la temperatura deseada y responde de manera adecuada a las perturbaciones.

Fuente de alimentación

Para alimentar todos los elementos como Arduino, extractores y módulo de calefón en el prototipo de deshidratador se emplea una fuente de poder Transformador 12V/5A, 120Watts de potencia, ver Figura 53.

Figura 53

Fuente de poder 12V/A, 120Watts.



Nota: Tomado de QuitoLed, (QuitoLed, 2021).

Esta fuente a su vez se conecta a un regulador DC-DC de 12 a 1.5V, esto se debe a que el módulo de calefón se alimenta con 1.5 Volteos.

Tablero de control

Asignación del tablero de control

El cajetín para la implementación del tablero de control es de 20 x 30 x 15 cm, este fue dimensionado para contener los dispositivos electrónicos y control de una manera ordenada y

segura. El tablero se ubica en la parte lateral izquierda de la cámara de deshidratación, con una altura apropiada que facilita el manejo y mantenimiento del sistema, ver Figura 54.

Figura 54

Asignación del tablero de control

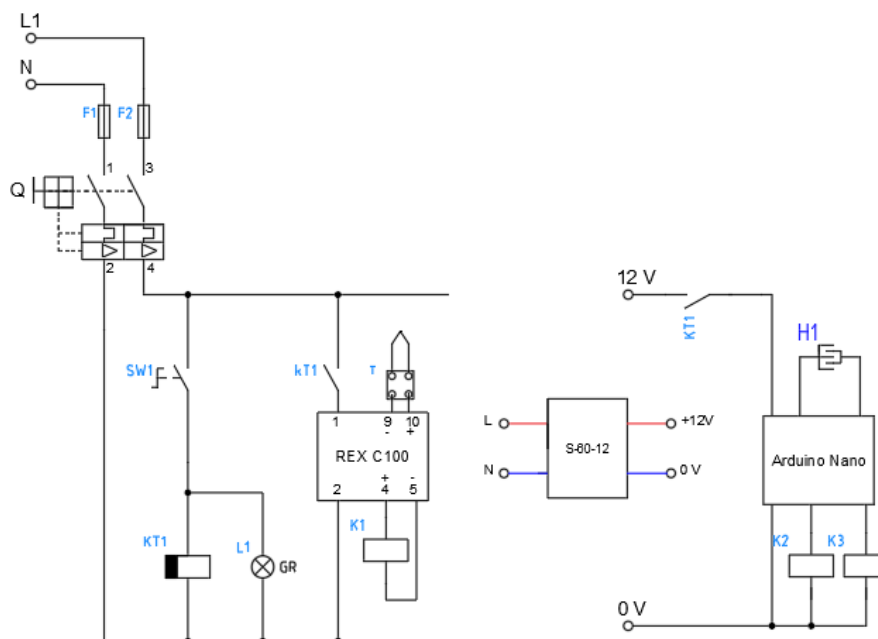


Esquema eléctrico de control

El sistema de control es fundamental para que el prototipo funcione eficientemente, disminuye la intervención manual del usuario con accionamientos automáticos complejos los cuales se encuentran interconectados a un controlador el cual envía las señales de control. El esquema como tal facilita al usuario visualizar como se encuentran conectados los elementos de control, ver Figura 55.

Figura 55

Esquema eléctrico de control



Al inicio del sistema tenemos unos fusibles por seguridad, posteriormente para el paso de la corriente eléctrica se controla con un disyuntor Q, por medio del switch SW1 energizamos el temporizador el cual se configura para los tiempos de deshidratación que realizara el prototipo.

Cuando se active el temporizador el contacto kT1 se activarán, alimentando el controlador REX C100 y la fuente de 12V.

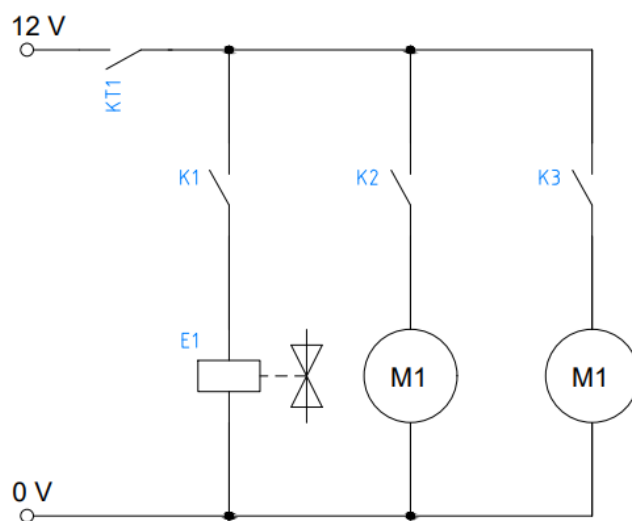
El controlador REX C100 recibe la señal del sensor de temperatura T y activa una bobina K para el control de encendido y apagado del quemador, el Arduino se alimenta por medio de la fuente de 12 V, recibe la señal del sensor de humedad H1 y activa las bobinas K2 y K3 para el control de los extractores.

Esquema eléctrico de potencia

El sistema de potencia como tal es cuando se utiliza corriente de alta potencia para la activación de los actuadores, sin embargo, en este prototipo solo se utilizó corriente continua en los actuadores, ver Figura 56.

Figura 56

Esquema eléctrico de potencia



E1 es la electroválvula de control del paso de gas y se activa por medio del contacto K1 y los extractores M1 y M2 se activan por los contactos K2 y K3 dependiendo del control interno de cada controlador.

Detalle del proceso

1. Colocada la fruta a deshidratar en las bandejas se debe cerrar la puerta de la cámara de deshidratación y verificar las conexiones eléctricas y de gas en el prototipo.
2. Se actica el disyuntor para la alimentación del sistema, posteriormente se activa el switch de encendido y se verifica con el encendido el de la luz indicadora verde.

3. Se programa el temporizador configurando la hora de encendido y la hora de apagado del sistema.

4. Una vez encendido el temporizador, activa el controlador el cual muestra la temperatura a la que se encuentra la cámara, previamente se debe configurar la temperatura de deshidratación manualmente dependiendo de la fruta que se vaya a deshidratar.

5. Al mismo tiempo se enciende la fuente y alimenta al Arduino y a su vez procede con el control de los extractores dependiendo de la humedad.

6. Una vez que culmina el proceso, el temporizador se apaga y consigo todo el sistema y se recomienda esperar unos 10 a 20 min antes de sacar al producto final.

Capítulo IV:

Pruebas y Análisis de resultados

Culminado el prototipo se continuo a las respectivas pruebas para comprobar el funcionamiento idóneo del prototipo de deshidratador hibrido, las pruebas se realizaron con carga y posteriormente con una capacidad máxima, con la finalidad de verificar todas las seguridades del sistema, tiempo de deshidratación, control de temperatura y otros.

Control de temperatura carga

Antes de iniciar con las pruebas de deshidratación de fruta, se efectuó pruebas de funcionamiento netamente del sistema de control de temperatura, el cual se implementó con un control ON OFF por medio del controlador REX C100.

La temperatura inicial aproximada fue de 13 y como set point se ingresó la temperatura de 55 y los datos se tomaron cada cierto de tiempo y la temperatura.

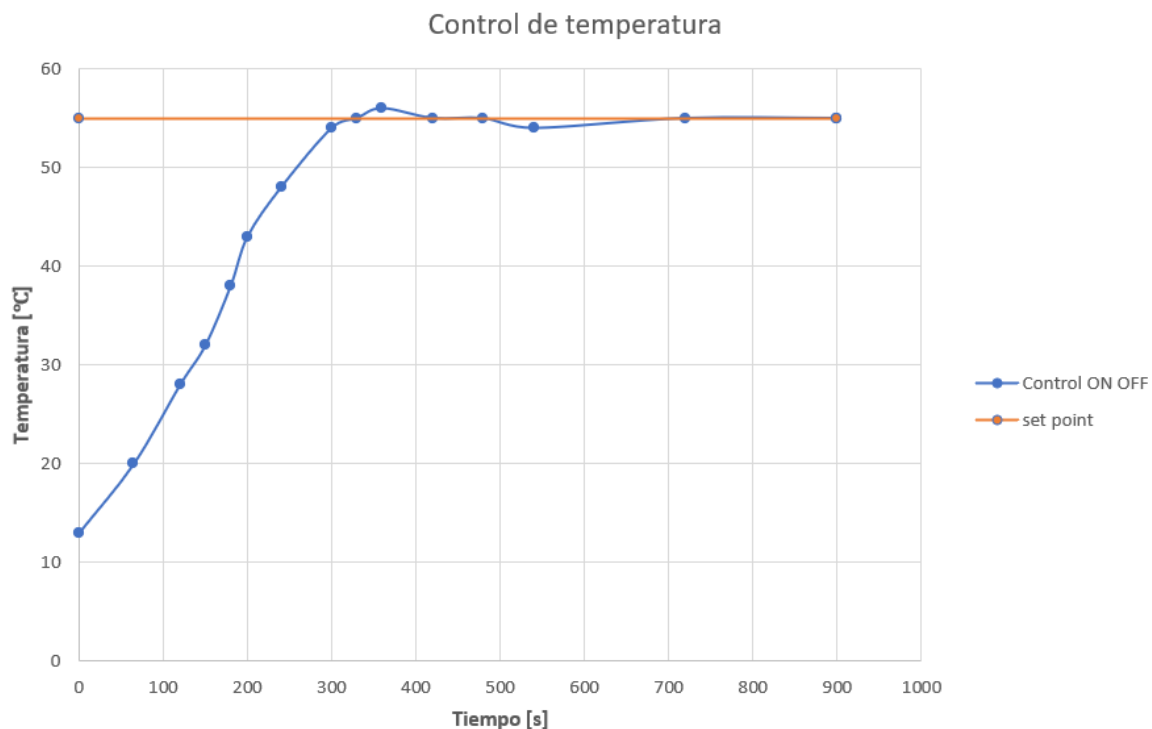
Tabla 24

Datos del control de temperatura

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
0	13
65	20
120	28
150	32
180	38
200	43
240	48
300	54
330	55
360	56
420	55
480	55
540	54
720	55
900	55

Figura 57

Respuesta del control de temperatura



En el sistema de control de temperatura tenemos un tiempo de estabilización aproximado a los 400 segundos, por ser un controlador PID (ON OFF) tenemos un pico, sin embargo, no es un valor que genere algún inconveniente en el proceso.

Pruebas sin carga

Tabla 25

Resultados del prototipo sin carga

	Resultado de los Sistemas	
	No satisfactorio	Satisfactorio
Sistema Mecánico		/
Sistema Eléctrico		/
Sistema de Control		/
Verificación de planos mecánicos		/
Verificación de esquemas Eléctricos		/

*Pruebas con carga***Tabla 26***Resultados del prototipo con carga*

	Resultado de los Sistemas	
	No satisfactorio	Satisfactorio
Sistema Mecánico		/
Sistema Eléctrico		/
Sistema de Control		/
Verificación de planos mecánicos		/
Verificación de esquemas Eléctricos		/
Tiempos de deshidratación		/
Deshidratación en las bandejas		/
Control de variables		/
Sistemas de seguridad		/
Instrumentación		/

Datos prácticos de deshidratación - Manzana

Para realizar las pruebas se escogió la manzana porque es una de las frutas con más cantidad de humedad en comparación con otras y también porque se piensa empezar con esa fruta a ofrecer al mercado.

Las pruebas se fueron realizando en función del peso de la fruta a deshidratar, cada cierto intervalo de tiempo se saca la fruta para ser pesada y se vuelve ingresar hasta lograr el porcentaje de humedad idóneo.

Se inicio con una masa de 1000 gramos y basado en los cálculos previos se debe llegar a una masa aproximada de 186 gramos con un 14% de humedad.

Tabla 27

Resultados de deshidratación de la manzana

Tiempo de Deshidratación [h]	Temperatura [°C]	Masa inicial [g]	Masa final [g]	Masa deshidratada [g]	% de Humedad
0	52	1000	1000	0	84.00
1	52	1000	740	260	71.59
2	52	740	533	207	54.23
3	52	533	378	155	35.24
4	52	378	284	95	25.23
5	52	284	218	65	17.76
6	52	218	177	42	14.80

El resultado indica que se necesitan aproximadamente 6 horas para llegar a la humedad final que se requiere, con un kilogramo de producto fresco.

Para visualizar las curvas de secado practicas tenemos en función de la masa deshidratada con el tiempo en base a los datos obtenidos, ver Figura 58 y Figura 59.

Figura 58

Grafica de la curva de deshidratado (masa vs tiempo) experimental de la manzana

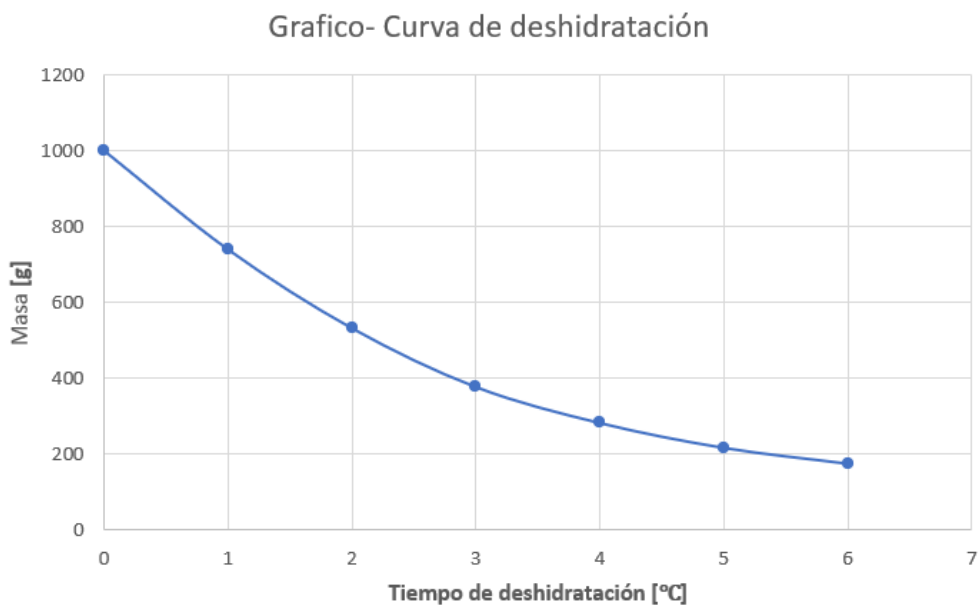
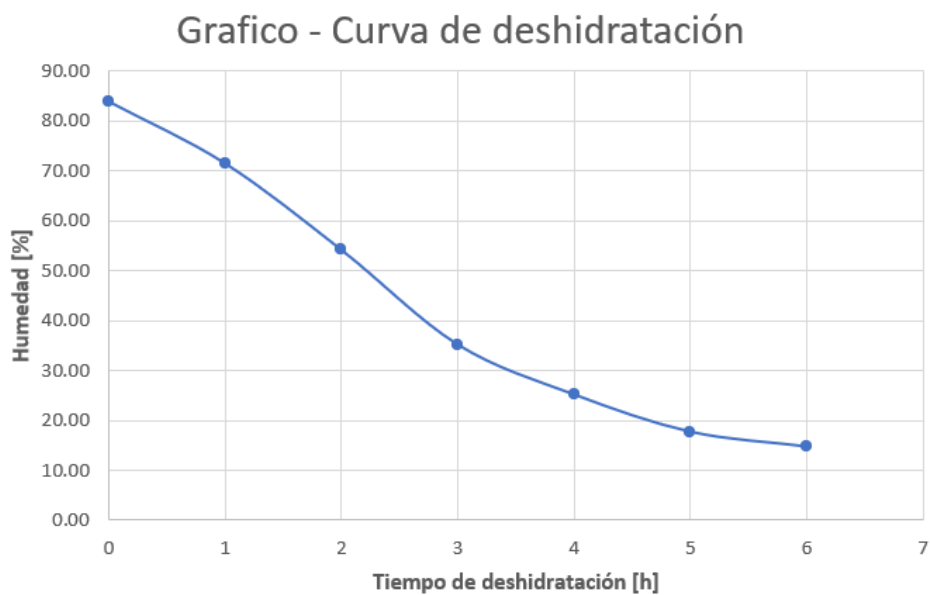


Figura 59

Grafica de la curva de deshidratado (%humedad vs tiempo) experimental de la manzana



Porcentaje de error – prueba con manzana

Una vez realizadas las pruebas con la manzana y obteniendo los datos experimentales procedemos a realizar el cálculo de porcentaje de error que tenemos en la prueba.

$$\%E = \frac{Valor_{teorico} - Valor_{experimental}}{Valor_{teorico}} \quad (38)$$

Tabla 28

Porcentajes de error – prueba de deshidratación manzana

Variables	Valor teórico	Valor experimental	%Error
Humedad Final [%]	14	14.8	5.71
Masa final [g]	186	177	4.84

Finalmente obtenemos unos porcentajes error dentro de un rango admisible para concluir que el proceso de deshidratación es eficiente con esta fruta.

Datos prácticos de deshidratación Uvilla

También se realizaron pruebas de deshidratación con la uvilla ya que en el sector se produce mucho esta fruta.

Se inicio con una masa de 1000 gramos y basado en los cálculos previos se debe llegar a una masa aproximada de 238 gramos con un 16% de humedad.

Tabla 29

Resultados de deshidratación de la uvilla

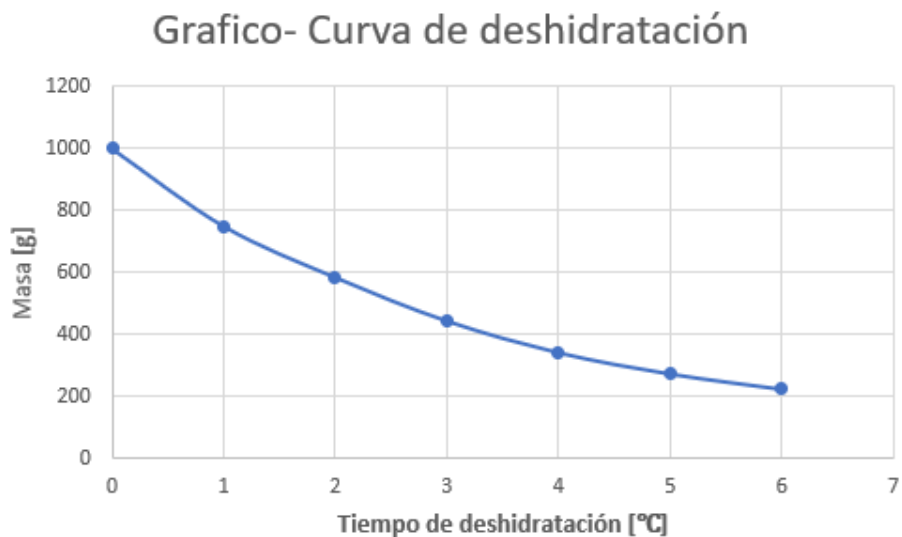
Tiempo de Deshidratación [h]	Temperatura [°C]	Masa inicial [g]	Masa final [g]	Masa deshidratada [g]	% de Humedad
0	55	1000	1000	0	80.00
1	55	1000	750	250	67.95
2	55	750	585	165	53.84
3	55	585	445	140	37.64
4	55	445	342	102	27.45
5	55	342	274	68	22.38
6	55	274	225	49	17.34

El resultado indica que se necesitan aproximadamente 7 horas para llegar a la humedad final que se requiere, con un kilogramo de producto fresco.

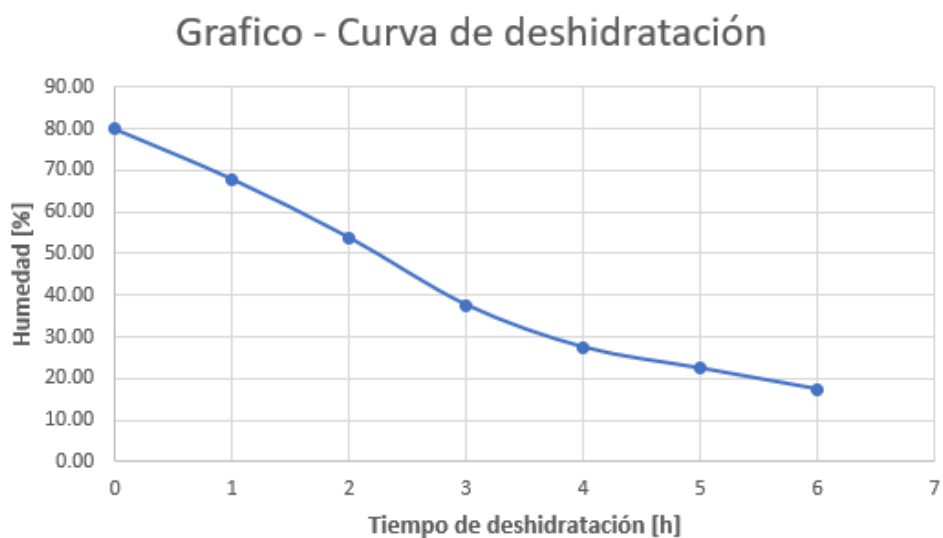
Para visualizar las curvas de secado practicas tenemos en función de la masa deshidratada con el tiempo en base a los datos obtenidos, ver Figura 60 y Figura 61.

Figura 60

Grafica de la curva de deshidratado (masa vs tiempo) experimental de la uvilla

**Figura 61**

Grafica de la curva de deshidratado (%humedad vs tiempo) experimental de la uvilla



Porcentaje de error – prueba con uvilla

Una vez realizadas las pruebas con la uvilla y obteniendo los datos experimentales procedemos a realizar el cálculo de porcentaje de error que tenemos en la prueba.

Tabla 30

Porcentajes de error – prueba de deshidratación uvilla

Variables	Valor teórico	Valor experimental	%Error
Humedad Final [%]	16	17.34	8.38
Masa final [g]	238	225	5.46

Análisis de datos

Tras finalizar con el diseño, construcción y pruebas de funcionamiento del prototipo de deshidratador híbrido para frutas, con base en los datos teóricos analizados y en los datos experimentales que se obtuvieron en las pruebas realizadas se puede concluir algunos resultados.

En el funcionamiento del sistema de control y mecánico no se presentó ningún contratiempo, ni falla de algún sistema, el máximo tiempo en prueba de deshidratación fue de casi 7 horas.

Los errores que se obtuvieron no son de gran significancia por su valor relativamente pequeño con lo que podemos deducir que el sistema funciona eficientemente.

El control de los parámetros de humedad y temperatura se mantuvieron muy bien controlados en los periodos de pruebas.

En la deshidratación se efectuó de gran éxito en las 10 bandejas, con una pequeña diferencia, que en la parte del centro se visualizó mejor acabo superficial al deshidratado.

Los tiempos de deshidratación están dentro del rango de los cálculos establecidos en el diseño para el prototipo.

Figura 62

Vista lateral y frontal del prototipo de deshidratador

**Figura 63**

Vista interior de la cámara de deshidratación



Figura 64

Pruebas de deshidratación de manzana

**Figura 65**

Prototipo de deshidratador con sus 3 módulos



Capítulo V:

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se obtuvo un diseño eficiente y construcción factible para el prototipo de deshidratador híbrido de frutas con una capacidad de 10 Kg, con el uso de un quemador de shiglores como fuente de energía alterna y un colector solar para el uso de energía limpia. Con el colector realizamos un uso máximo de energía limpia. Con lo que obtenemos un sistema híbrido que puede funcionar en cualquier condición con luz solar o sin presencia del mismo.

Se logró un diseño y construcción idóneos para realizar tres módulos totalmente independientes, los cuales al unirse mecánicamente dan lugar al prototipo de deshidratador híbrido de frutas esto con el fin de ahorrar espacio, facilidad de transporte y manejo, bajo costo y sobre todo un sistema robusto.

El tiempo de deshidratado en comparación a máquinas industriales es casi igual, al utilizar una energía alterna obtenemos mejores tiempos de deshidratación, inclusive en tiempo de encendido, este prototipo está diseñado para trabajar día y noche para compensar la capacidad de producción en comparación a unos deshidratadores industriales.

Se obtuvo un control idóneo de la temperatura y humedad utilizando elementos de control semiindustriales.

Recomendaciones

- Es necesario realizar precalentamiento antes de ingresar la fruta fresca a la cámara de deshidratación.
- Mejorar el control de la humedad con la implementación de extractores de mayor potencia y un controlador de humedad.
- Implementar sensores industriales de un precio relativamente bajo para mejorar los parámetros de control, tiempo de respuesta y precisión.
- Aumentar el diámetro de extracción de aire para tener mejor circulación hacia el exterior y mejore la calidad de la fruta deshidratada.

Presupuesto

Tabla 31

Costos materiales mecánicos

Materiales	Especificación	C. Unitario	Cantidad	C. Total \$
Tubo cuadrado galvanizado	30 x 30 x 1.5 mm	15.5	5	77.5
Plancha de acero inoxidable 304	1.2 mm	67	2	134
Plancha de acero galvanizado	1 mm	45	3	135
Tubo cuadrado galvanizado	25 x 25 x 1.5 mm	15.5	3	46.5
Tubo de acero inoxidable	30 x 30 x 1.5 mm	20	1	20
Angulo de acero inoxidable	25 x 25 x 3mm	27	2	54
Electrodos Inox		1	10	10
Malla N6 de acero inoxidable 304	0.90 mm, paso: 3mm, ancho: 1m	45	3	135
Tubo de acero inoxidable	19 x 19 x 1.5 mm	3	20.5	61.5
Varilla de tungsteno		4.5	1	4.5
Lana de vidrio		40	2	80
Bisagras		3	2	6
Seguros		8	2	16
Tubo PVC	2" x 15cm	1	2	2
Codos PVC	2"	1	2	2
Corte laser		1	15	15
Electrodos 6011		3	6	18
Garruchas		8	4	32
Sistema de quemador Instamatic		110	1	110
Tornillos autoperforantes		0.15	80	12
			Subtotal	971

Tabla 32

Costos de mano de obra

	Descripción	Valor \$
Mano de Obra	Construcción del sistema mecánico	500
	Construcción de Accesorios	300
Logística	Transporte	20
	Subtotal	820

Tabla 33*Costos de material eléctrico y control*

Materiales	Especificación	C. Unitario	Cantidad	C. Total \$
Ventilador centrífugo BFB1012H	12V, 1.2A	20	2	40
Controlador Temperatura	REX C100	30	1	30
Rele de estado sólido		15	1	15
termocupla tipo k		10	1	10
Temporizador	110V	17	1	17
Breaker	110 V, 40ah	11	1	11
Fuente de alimentación 5A	12V	6	1	6
Arduino nano		7	1	7
Sensor DTH22		10	1	10
Luz piloto	verde	4	1	4
Selector		4	1	4
Gabinete metálico	30 x 20 x 15 cm	25	1	25
Modulo de relé	12V	4	1	4
Borneras		3	3	9
Alambre flexible	AWG #14	6	2	12
Regulador de voltaje	12V	8	1	8
Cuadros sujetadores		10	1	10
			Subtotal	222

Tabla 34*Costo total del prototipo*

Descripción	Valor \$
Materiales mecánicos	971
Materiales eléctrico y control	222
Mano de obra	820
Subtotal	2013
Imprevistos 14%	282
Total	2295

Bibliografía

- adafruit. (12 de 06 de 2021). *DHT22 temperature-humidity sensor*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/product/385>
- AINGETHERM INGENIERIA TERMODINAMICA LTDA. (20 de 12 de 2021). *AINGETHERM*. Obtenido de AINGETHERM: <https://www.aingetherm.cl/deshidratadores.htm>
- AMERICA BURNERS. (12 de 06 de s/f). *Quemadores radiales automáticos*. Buenos Aires. Obtenido de Tecnovapor.
- AMERICAN BURNERS. (s/f). *Quemadores llama continua*. Argentina.
- Bautista Chimarro, L. A., & Meza Morejón, D. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIDRATADORA AUTOMATICA, PARA FRUTAS Y VERDURAS PARA LA EMPRESA SENSORTECSA*. Sangolqui.
- Caiza Yanchaguano, G. M., & Camuendo Garzón, M. L. (2011). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA EN LOS INVERNADEROS DE LOS MICROEMPRESARIOS FLORICULTORES DE LA ASOCIACION CAMINO A LA ESPERANZA DE LA COMUNA JURIDICA DE PATUTAN, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTON LATACUNGA*. Latacunga.
- Cañazca Limachi, V. R., & Jamachi Espillico, C. W. (2018). *MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE SENSORES, MEDIANTE UN PLC, CONTROLADA DESDE UN HMI, EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE LA EPIME*. Puno.
- Castells, X. E. (2012). *TRATAMIENTO Y VALORIZACION ENERGETICA DE RESIDUOS*. Madrid: Diaz de Santos.
- Cengel, Y. A. (2007). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*. Mexico: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2002). *TERMODINAMICA*. Mexico: McGraw-Hill.

- Cuaran Pantoja, S. V., & Tinillo Cordova, I. D. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DESHIDRATADOR ATMOSFERICO DE BANDEJAS DISCONTINUO CON CIRCULACION FORZADA DE UNA CAPACIDAD DE 0.05 m³ UTILIZANDO ENERGIA SOLAR*. Quito.
- De la Vega Sanchez, F. F. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE PLÁTANO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGIA SOLAR PASIVA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD INGENIERIA CIVIL Y MECANICA*. AMBATO.
- De Michelis, A., & Ohaco, E. (s/f). *DESHIDRATACION Y DESECADO DE FRUTAS, HORTALIZAS Y HONGOS*. Buenos Aires: INTA.
- Delgado, E., Peralta, J., & Barriga, A. (2009). *SECADORES SOLARES - TERMICOS PARA GRANOS Y FRUTAS PARA UTILIZARLO EN ZONAS REMOTAS*. Guayaquil.
- Espinoza S., J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare*, 72-80.
- Farinango Morales, L. P., & Tipan Paguay, S. F. (2007). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE AGUA CALIENTE CON RECIRCULACION PARA EL EDIFICIO CRYOM*. Sangolqui.
- García, L. E., Mejía, M. F., Mejía, D. J., & Valencia, C. A. (2012). Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 9-19.
- HidroAgua*. (12 de 06 de 2021). Obtenido de <http://www.hidroagua.com.ec/calefonos.html>
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Mexico: Prentice Hall.
- Kerkhoff, A. J., Senn, J., Condori, M. A., & Mantulak, M. J. (2012). CARACTERIZACIÓN DE TRES DESHIDRATADORES SOLARES-HIBRIDOS EN MISIONES, DETERMINACION DE RENDIMIENTOS. *SALAO DO CONHECIMENTO*, 1-2.
- Kienzle, J., Ashburner, J., & Sims, B. (2013). *Family Farming Knowledge Platform*. Obtenido de Mechanization for rural development: www.fao.org/family-farming/detail/es/c/291008/

- Luque Zuñiga, G. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DOMESTICO PARA CAPULLOS DE SEDA*. Mexico.
- Maureira Poveda, J. P. (2006). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE GRANOS DE CACAO CON COLECTORES SOLARES PLANOS MEDIANTE CONVECCIÓN FORZADA PARA UNA CAPACIDAD DE 500 Kg*. Sangolqui.
- Montero Puertas, I. (2005). *Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos*. Tesis Doctoral, Univerisidad de Extremadura, Escuela de ingenierías industriales, Badajoz.
- Orrego Alzate, C. E. (2003). *PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS*. Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Pilamunga Capus, C., Juantamay Tenezaca, E. R., & Lucero Redrobán, O. P. (2011). EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE LA UVILLA (*Physalis peruviana* L.) DESHIDRATADA, A TRES TEMPERATURAS MEDIANTE UN DESHIDRATADOR DE BANDEJAS. *Perfiles*, 44-49.
- QuitoLed. (22 de 01 de 2021). *QuitoLed*. Obtenido de <https://www.quitoled.com>
- Rodríguez Somolinos, F., Aguado, J. A., Calies Martín, J. A., Cañizares Cañizares, P., López Pérez, B., Santos López, A., & Serrano Granados, D. P. (2002). *INGENIERIA DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA*. Madrid: SINTESIS.
- Sánchez Pineida de las Infantas, M. T. (2003). *PROCESOS DE ELABORACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Siguiencia Avila, J. M. (2013). *EVALUACION DE UN SECADOR SOLAR INCLINADO CON ABSORBEDOR DE ZEOLITA PARA GRANOS DE CACAO CCN51*. Cuenca.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Zaragoza: ACRIBIA.
- Ulrich, K. (2012). *Diseño y desarrollo de productos*.

Velasco, G., & Cabrera, E. (s/f). *Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura*. Maestría en Energías Renovables, Escuela Politecnica del Ejercito, Sangolqui.

Walmart. (12 de 06 de 2021). *REX-C100 Dual LED Digital PID Temperature Controller*. Obtenido de <https://www.walmart.ca/en/ip/REX-C100-Dual-LED-Digital-PID-Temperature-Controller-with-K-Type-Probe-Sensor/PRD4PJ45BNIT2XG>