



Diseño, simulación y validación de una deshidratadora para frutas cítricas con funcionamiento semiautomático y alimentada con gas licuado de petróleo

Design, simulation and validation of a dehydrator for citrus fruits with semi-automatic operation and powered with liquefied petroleum gas

Projeto, simulação e validação de um desidratador para frutas cítricas com operação semiautomática e movido a gás liquefeito de petróleo

Jorge Sebastián Buñay-Guamán ^I

jorge.bunay@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6963-0383>

Jorge Isaías Caicedo-Reyes ^{II}

isaias.caicedo@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9875-6348>

Cristian Javier Toscano-Sandoval ^{III}

cristian.toscano@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-1800-2640>

Diego Fabián López-Cepa ^{IV}

diego.lopez@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-3936-7501>

Correspondencia: jorge.bunay@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 30 de diciembre de 2023 * **Aceptado:** 21 de enero de 2024 * **Publicado:** 17 de febrero de 2024

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo diseñar y construir una deshidratadora para frutas cítricas con funcionamiento semiautomático y alimentado con gas licuado de petróleo. Para ello se utilizó la metodología QFD y la matriz morfológica para el prediseño, entre ellos el tipo de controlador y la magnitud de la cámara de deshidratado, el sistema consta de un diseño térmico y mecánico en donde se consigue la capacidad y temperaturas de funcionamiento óptimos, además se realizó la construcción con materiales de acero de característica inoxidable AISI 304 y AISI 430, finalmente se realizó las pruebas del muestreo de aceptación MIL STD 105E, el mismo que se basa en la obtención de datos para comprobar si el resultado corresponde a la aceptación del diseño o no. Siguiendo las normativas tanto nacionales como la NTE INEN 2996 e internacionales como SENASA, CORPOICA, estableciendo un porcentaje de humedad mínima a conseguir mediante las pruebas de funcionamiento. Obteniendo como resultado un porcentaje de humedad del 10%, para todas las frutas ensayadas y comparadas con el tiempo estimado dentro de la cámara de secado, gracias al controlador tiempo-temperatura y la ayuda de una electroválvula se pudo manipular estas variables que son las más importantes dentro de la investigación.

Palabras claves: Deshidratadora para frutas cítricas; Funcionamiento semiautomático; Diseño térmico; Gas licuado de petróleo (glp); Electroválvula.

Abstract

The objective of this technical project was to design and build a dehydrator for citrus fruits with semi-automatic operation and powered by liquefied petroleum gas. For this, the QFD methodology and the morphological matrix were used for the predesign, including the type of controller and the magnitude of the dehydration chamber, the system consists of a thermal and mechanical design where the optimal capacity and operating temperatures are achieved. In addition, the construction was carried out with stainless steel materials AISI 304 and AISI 430, finally the MIL STD 105E acceptance sampling tests were carried out, which is based on obtaining data to check if the result corresponds to the acceptance of the design or not. Following both national regulations such as NTE INEN 2996 and international regulations such as SENASA, CORPOICA, establishing a minimum humidity percentage to be achieved through performance tests. Obtaining as a result a humidity percentage of 10%, for all the fruits tested and compared with the estimated time inside

the drying chamber, thanks to the time-temperature controller and the help of a solenoid valve, it was possible to manipulate these variables, which are the most important in the investigation.

Keywords: Dehydrator for citrus fruits; Semi-automatic operation; Thermal design; Liquefied petroleum gas (LPG); Solenoid valve.

Resumo

O objetivo deste projeto técnico foi projetar e construir um desidratador para frutas cítricas com funcionamento semiautomático e movido a gás liquefeito de petróleo. Para isso foi utilizada a metodologia QFD e a matriz morfológica para o pré-projeto, incluindo o tipo de controlador e a magnitude da câmara de desidratação, o sistema consiste em um projeto térmico e mecânico onde são alcançadas a capacidade e temperaturas de operação ideais. , a construção foi realizada com materiais de aço inoxidável AISI 304 e AISI 430, finalmente foram realizados os testes de amostragem de aceitação MIL STD 105E, que se baseia na obtenção de dados para verificar se o resultado corresponde à aceitação do projeto ou não. Seguindo tanto regulamentações nacionais como NTE INEN 2996 quanto regulamentações internacionais como SENASA, CORPOICA, estabelecendo um percentual mínimo de umidade a ser alcançado através de testes de desempenho. Obtendo como resultado um percentual de umidade de 10%, para todos os frutos testados e comparado com o tempo estimado dentro da câmara de secagem, graças ao controlador tempo-temperatura e ao auxílio de uma válvula solenoide, foi possível manipular essas variáveis, quais são os mais importantes na investigação.

Palavras-chave: Desidratador para frutas cítricas; Operação semiautomática; Projeto térmico; Gás liquefeito de petróleo (GLP); Válvula solenoide.

Introducción

Frutas cítricas

Las frutas son productos vegetales comestibles que son el resultado de la fructificación de las plantas, existe una gran variedad de frutas, pero entre ellas nos centraremos en los cítricos pertenecientes al género Citrus, los más comúnmente cultivados son: naranjas, limas, limones, pomelos, mandarinas, piñas, entre otras. La demanda de estos cítricos está aumentando a nivel mundial, ya sea para su consumo en fresco o como productos procesados. La costa ecuatoriana posee un enorme

potencial para producir cítricos, tanto para el consumo local como para la exportación gracias a las condiciones del clima y suelo, favoreciendo de esta manera al desarrollo fructífero del país. (Molina, Montesdeoca, 2014).

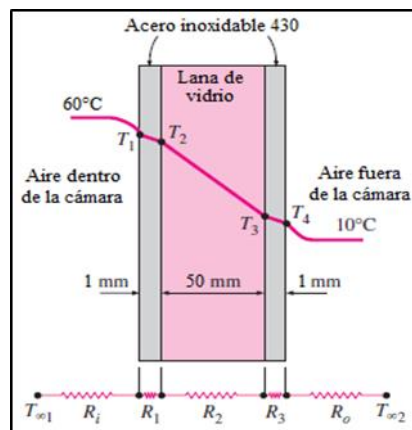
Proceso de Deshidratación en Frutas

El proceso de deshidratación aplicado al fruto consiste en retirar el agua contenida en él, para obtener un producto de fácil de preservación, bajo contenido microbiano y de peso ligero, por lo tanto, fácil de transportar. Varios factores afectan este proceso, incluida la humedad inicial del producto, la temperatura, el tiempo, la presión, a la que se produce la deshidratación, entre otros factores. Todos estos factores son importantes para el análisis e interfieren con el diseño de alguna manera, por lo que se define estos factores y se analizan sus causas. (Orrego, 2003).

Resistencia térmica

La resistencia térmica, como su nombre indica es la resistencia que presentan los materiales para transmitir el calor, esta resistencia depende del mecanismo de transferencia de calor presente. Analizaremos las resistencias por conducción y convección comúnmente aplicadas y se las encuentra en el medio. (Cengel, 2011).

Ilustración 1: Resistencias térmicas de pared.



Fuente: (Cengel, 2011).

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Ensamblaje mediante software Solid Works

Es un entorno de SolidWorks con varias herramientas que facilitan el desempeño del diseñador y ayudan establecer condiciones restricción como: perpendicularidad, concentricidad, relaciones entre entidades, coincidencia, entre otras. Si el diseño de algún equipo contiene muchos elementos se puede realizar sub-ensamblajes con el fin de ayudar al ensamblaje final. Una ventaja de utilizar estas herramientas es que cuando se insertan componentes al ensamble crean automáticamente un vínculo entre ellos, y los cambios en el componente se mostraran en el ensamble final. (Dassault Systemes, 2018).

Análisis y cálculos mediante elementos finitos

El elemento finito como método se emplea para resolver ecuaciones diferenciales e integrales utilizando métodos clásicos de variación. Esto permite predecir con razonable precisión y con menor los esfuerzos y deformaciones que internamente sufre un elemento al ser sometido a cargas. ANSYS es un programa que aplica de manera general al cálculo con elementos finitos se puede resolver problemas de estructuras y elementos, térmicos, eléctricos, magnéticos, de fluidos, entre otros. (Moreno y Pérez, 2015).

Sistema de control y mando

Lograr un rendimiento superior de los equipos o máquinas requiere implementación de un sistema de control que integre y controle los elementos que componen el equipo, facilitando el uso y operación del equipo durante el proceso. Para ello la implementación de este sistema se debe ajustarse al presupuesto y sin descuidar los parámetros básicos de funcionamiento. (Llumiyinga, Suquillo, 2015).

Sensores

Un dispositivo que mide la energía de un medio en el que se coloca se considera un sensor, obtiene señales de salida transductible que es función de la variable que se está midiendo. El sensor contiene un circuito que convierte y amplifican las señales recibidas, para seleccionar el sensor correcto se debe tomar la decisión de cuál es el más adecuado para su objeto. (Pallas, 2001).

Tablero de control

Contiene dentro los contactores, relés, fusibles y todo lo que sea necesario para la protección de los equipos incluido cableado, generalmente consiste en circuitos encargados de acondicionar señales y encender los elementos electromecánicos, su función también consiste en alimentar o quitar la energía. Cuentan con un sistema de botones, pulsadores, luces piloto, bocinas, entre otros elementos, los pulsadores son de marcha, parada y de emergencia. (Mariño, Chico, 2012).

Ilustración 2: Tablero de control.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Sistemas automatizados

Son las herramientas que utilizamos para abrir las puertas hacia el futuro, este sistema puede implementar tecnología que suple las tareas realizadas por los operadores humanos. Actualmente se presenta como una necesidad para la producción en las grandes y pequeñas industrias. La parte de control y mando suele ser un autómatas programable con tecnología interna programada que permite disponer de esta programación de forma controlada en un proceso determinado. (Herrera, Zapata, 2015).

Descripción general de un acero inoxidable

Se considera acero inoxidable si su característica principal es el contenido de cromo y su valor esta entre 10.5% hasta 30% y también contener otros elementos de aleación. Debido a que el material presenta alta resistencia a la oxidación y corrosión tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas, las aplicaciones de este acero en ingeniería son diversas. El acero inoxidable se

utiliza en innumerables aplicaciones en la industria y en la construcción como: industria alimenticia, cocinas industriales, hospitales, laboratorios, industria de la aviación, entre otras. Es un material que frente a los alimentos se presenta neutro es decir no se descascara, no se oscurece al transcurrir el tiempo y tiene gran aspecto estético. (Almeida, Villena, 2009).

Propiedades y clasificación de aceros inoxidable

Se seleccionan aceros inoxidable para la construcción y aplicación, los cuales en general presentan alta resistencia a la corrosión, y principalmente pueden soportar altas temperaturas, se consideraron dos tipos de la serie 400 y serie 300.

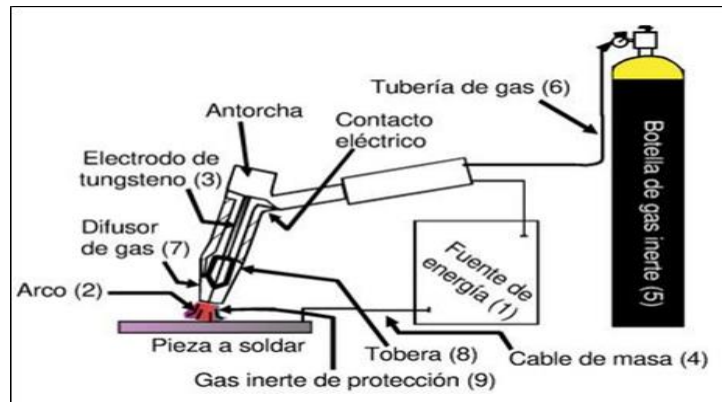
Ferríticos serie 300: Aceros austeníticos inoxidable de aleaciones de hierro, cromo y níquel. Se pueden agregar otros elementos de aleación como cromo, cobre, entre otros. Para mejorar la resistencia a la corrosión, el estado del acero dependerá siempre del medio en donde se trabaje, ya sea como acabado superficial o como un tipo de acero de estructura. Sus propiedades básicas y sobresalientes son: la alta resistencia a la tensión, buen factor de higiene y limpieza, excelente soldabilidad, habilidad de trabajar a altas temperaturas hasta 925 grados centígrados.

Ferríticos serie 400: Las principales características de esta serie se consideran resistentes a la corrosión, moderada a buena, la aleación de cromo o molibdeno aumenta la resistencia y durabilidad, endurecidos para trabajo en frío o en caliente ya que estos no se deforman ni se endurecen cuando trabajan, tienen una característica magnética y soportan mejor la soldadura.

Soldadura por proceso TIG

El proceso de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), es una soldadura eléctrica con electrodo no consumible, el proceso es protegido por un gas regulable, este tipo de soldadura también se puede utilizar sin la presencia de material de aporte, ideal para soldaduras de alto y bajo impacto, este proceso puede ser similar al proceso MIG, pero presenta sus mejoras. La protección provista por medio del gas genera una atmósfera que cubre el material fundido y lo protege de impurezas durante el proceso. Un gas de uso común es el argón, y también una mezcla de argón con helio también existen una gran variedad de gases, cada uno de los cuales aporta una mejora a la calidad de la soldadura. (Cornejo, 2021).

Ilustración 3: Elementos que intervienen en el proceso TIG.



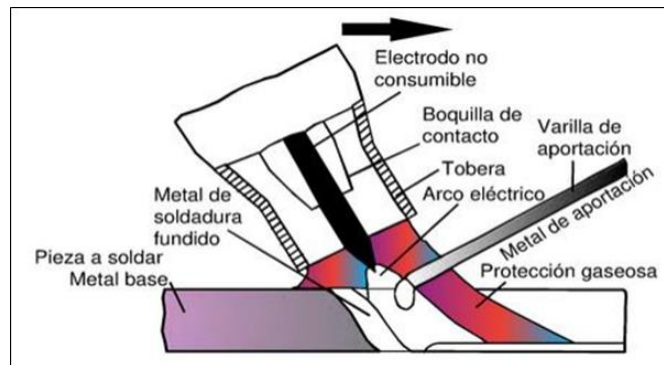
Fuente: (Cornejo, 2021).

El amplio campo de aplicación de la soldadura TIG presenta facilidad y versatilidad en su aporte de material, esto brinda calidad en la soldadura y es aplicable en materiales como: acero inoxidable, cobre y sus aleaciones, aleaciones ligeras de aluminio, titanio y varios metales.

Material de aporte

Para el proceso de soldadura TIG requiere el uso de varillas de soldadura de acero inoxidable, esto puede considerarse como material de aporte que se emplea en la soldadura, la mayoría de los prefijos que acompañan a estos materiales de aporte son R o ER, el material también puede utilizarse como electrodo o varilla de soldadura. Esto asegurara que la composición del metal de soldadura sea similar a la del material base. (Camacho, y otros, 2011).

Ilustración 4: Proceso de soldadura TIG.



Fuente: (Cornejo, 2021).

Fibra de vidrio

Este material tiene propiedades químicas estables, no absorbentes y no es inflamable. Como elementos activos adicionales: son resistentes a los ataques de insectos, roedores y hongos. Una de las propiedades más relevantes que presentan las fibras de vidrio es su aislamiento térmico. Es un material fibroso que se obtiene a partir del vidrio, obtenido a través de procesos como: centrifugación y estirado mecánico. La fibra de vidrio constituye una gran ayuda al aislamiento térmico, es de poco peso y fácil de instalar. (Morales, 2008).

Ilustración 5: Fibras de vidrio.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Vidrio templado

El vidrio es un tipo de material duro, transparente y frágil o quebradizo, estas son las características principales que lo definen, aunque es sólido se encuentra como un líquido sobre enfriado sin forma. El vidrio templado, también conocido como vidrio tensionado, se denomina así porque se somete a un proceso de templado que consiste en calentarlo hasta llegar a temperaturas que superen los 650 °C y luego soplando aire frío de manera brusca, esto hace que aumente su resistencia térmica y mecánica. El vidrio templado se considera un vidrio de seguridad y se recomienda su uso en distintas áreas y sus aplicaciones son: fachadas de locales comerciales, mamparas, en la industria automotriz y visores de puertas para hornos. (Guerrero, 2012).

Ilustración 6: Vidrio templado.



Fuente: (Carbajal, y otros, 2009).

Protocolo de pruebas

Muestreo de aceptación utilizando las tablas MIL STD 105

El muestreo de aceptación consiste en extraer de forma aleatoria una muestra del lote dependiendo de qué cantidad me defina las tablas MIL ST 105, esta inspección se la realiza por atributos es decir se clasifica simplemente las unidades de muestra como conforme o no conforme, con el objetivo de ahorrar tiempo y dinero al no analizar todo el lote. (INEN, 2023).

Se utilizarán varios factores como:

- El AQL o NCA, que es el nivel de calidad aceptable que representa el nivel máximo que puedo aceptar de calidad.
- El tipo de inspección, que puede ser reducida, normal o severa la cual dependerá del tipo de análisis que se va a ejecutar y en donde se lo ejecutará.

Niveles, estos se clasifican en tres niveles donde el nivel 1 se lo utiliza cuando pocos productos son rechazados, el nivel 2 es el más usual y aplicable y el nivel 3 cuando se conoce de antemano la mala calidad y que habrá muchas muestras rechazadas. (INEN, 2023).

Ilustración 7: Código para el tamaño de muestra.

Tamaño del lote	Niveles especiales de inspección				Niveles generales de inspección		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 a 8	A	A	A	A	A	A	B
9 a 15	A	A	A	A	A	B	C
16 a 25	A	A	B	B	B	C	D
26 a 50	A	B	B	C	C	D	E
51 a 90	B	B	C	C	C	E	F
91 a 150	B	B	C	D	D	F	G
151 a 280	B	C	D	E	E	G	H
281 a 500	B	C	D	E	F	H	J
501 a 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1201 a 3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 200 a 10 000	C	D	F	G	J	L	M
10 001 a 35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001 a 150 000	D	E	G	J	L	N	P
151 000 a 500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 y mas	D	E	H	K	N	Q	R

Fuente: (INEN, 2023).

Ilustración 8: Muestreo simple.

Nivel de inspección	Nivel de calidad aceptable (NCA o AQL) en porcentaje	Tamaño del lote																			
		2	3	5	8	13	20	32	50	80	125	200	315	500	800	1250	2000	3150	5000	8000	
A	0.010																				
B	0.025																				
C	0.050																				
D	0.100																				
E	0.150																				
F	0.250																				
G	0.400																				
H	0.650																				
I	1.000																				
J	1.500																				
K	2.500																				
L	4.000																				
M	6.500																				
N	10.000																				
P	15.000																				
Q	25.000																				
R	40.000																				

Fuente: (INEN, 2023).

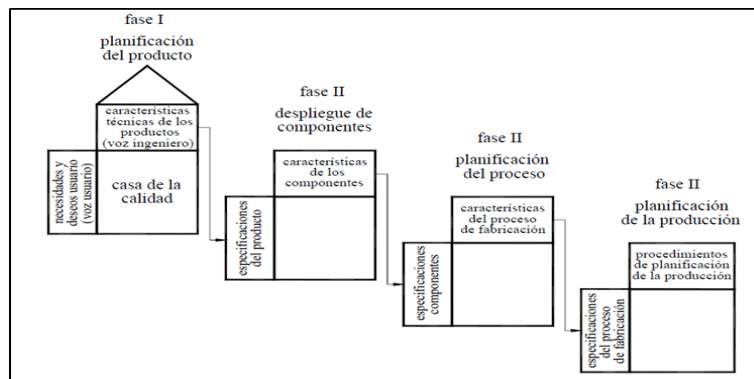
Metodología

Despliegue de la función de calidad

El QFD son las siglas que provienen del inglés Quality Function Deployment que traducidas al español significan Despliegue de la Función de la Calidad, esta traducción también proviene de tres ideogramas japoneses (HIN SHITSU= Calidad, características, atributos, cualidades), (KI NOU= Función, mecanización, sistemática), (TEN KAI= Despliegue, difusión, desarrollo, evolución), estos ideogramas dan la idea principal, además es una herramienta de planificación que se desarrolla un sistema para transmitir la características que debe tener los productos durante el proceso. (Gonzales, 2014).

(Riva, 2002), en su investigación afirma que el QFD es una metodología simple que involucra a varias matrices, las mismas que nos permiten determinar las necesidades de un cliente, analizar a las posibles competencias y descubrir caminos dentro del mercado que aún no han sido explotados. Dicha metodología se divide etapas las cuales se detallan a continuación: en la ilustración 1.

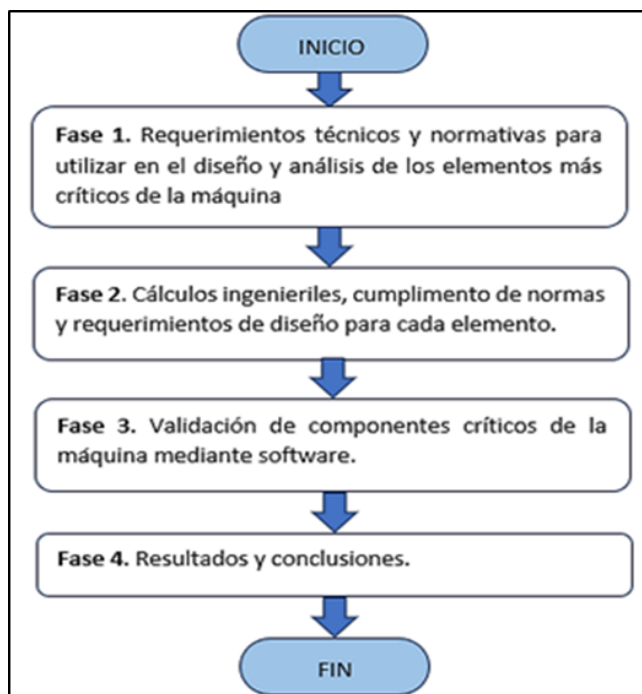
Ilustración 9: Esquema general QFD.



Fuente: (Riva, 2002).

En la primera etapa de diseño se presenta un diagrama con la metodología empleada se observa en la ilustración 2, la misma que deberá respetar la máquina, será también la base para fomentar los respectivos cálculos. En la siguiente instancia se realizará la matriz morfológica la cual nos permitirá justificar una solución correcta al problema, para finalizar se desarrollará el proyecto.

Ilustración 10: Diagrama de la metodología.



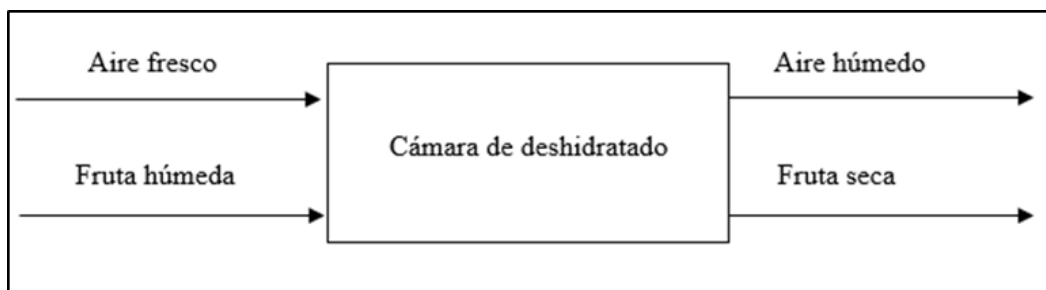
Fuente: (Nivicela, y otros, 2021).

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Evaluación de la estructura funcional

Esta evaluación proporciona una idea general y básica de la secuencia que tiene el sistema de deshidratación de frutas cítricas, entre el flujo de entrada y salida del proceso en el nivel 0 y nivel 1 que se presentan en las ilustraciones siguientes.

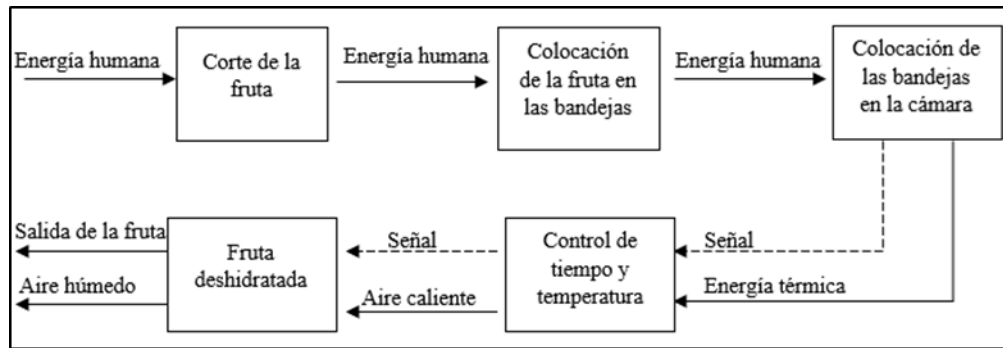
Ilustración 11: Análisis funcional Nivel 0.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A continuación, se presenta el nivel 1 de la estructura funcional.

Ilustración 12: Análisis funcional Nivel 1.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Características técnicas

Todas las características técnicas se consideran en función de las necesidades del cliente. Esta es la base que se necesita para considerar cada opción y realizar su propia evaluación. A esto se suma la voz del ingeniero como se muestra en la Tabla 3-1. Además, se debe realizar el estudio de la casa de la calidad, y de esta manera seleccionar la mejor opción en función de esa ponderación.

Tabla 1: Voz del usuario vs voz del ingeniero.

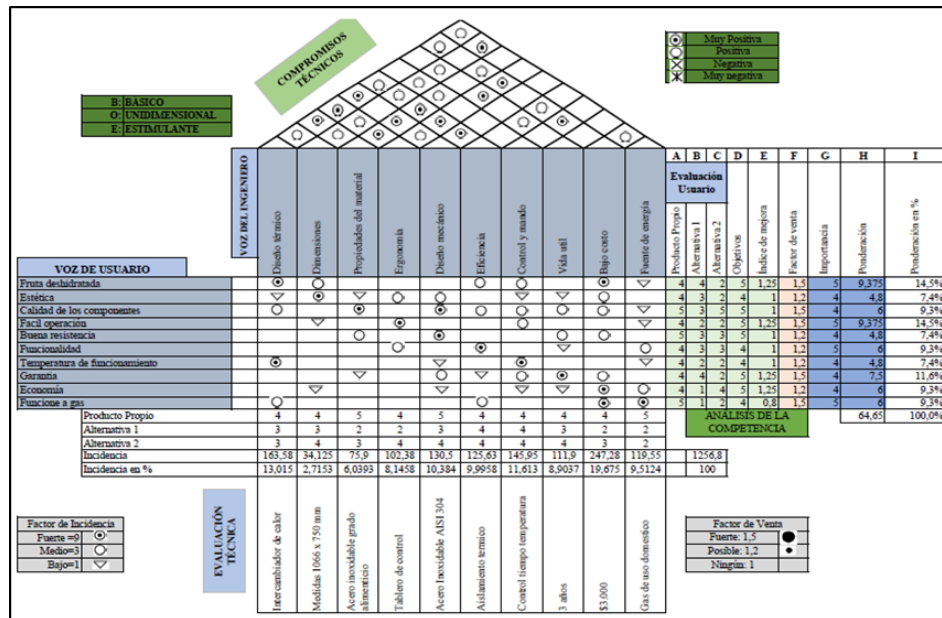
Voz del usuario		Voz del ingeniero
Fruta deshidratada	B	Diseño térmico
Estética	E	Dimensiones
Calidad de los componentes	O	Propiedades del material
Fácil operación	E	Ergonomía
Buena resistencia	B	Diseño mecánico
Funcionalidad	E	Eficiencia
Temperatura de funcionamiento	B	Control y mando
Garantía	O	Vida útil
Económica	E	Bajo costo
Funcionamiento a gas	E	Fuente de energía

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Casa de la calidad

La comparación de los tipos de secadoras que existen se define con los equipos que existen en el mercado y aquellos que poseen similares requisitos técnicos que describimos anteriormente, con ayuda de la tasa de ocurrencia se evalúan las características del equipo competente, se involucran de manera directa tanto la voz del usuario como la voz del ingeniero. Se aprecia en la ilustración 3-4. Dicha relación de los factores mencionados gracias a la casa de la calidad.

Ilustración 13: Casa de la calidad.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.











Matriz morfología de alternativas

La matriz morfológica ayuda a comprender la variación de los conceptos establecidos con anterioridad, además la morfología se define como el estudio de la forma y sus posibles transformaciones, la matriz morfológica permite la búsqueda de nuevos conceptos de diseño, también se puede establecer una conexión entre la creatividad, esto es un plus potencial porque con pocos elementos se puede llegar a lograr un gran número de alternativas diferentes. También se debe tomar en cuenta que con frecuencia los consumidores prefieren productos mejorados en lugar de los productos desconocidos. (Báez, García, 2009).

La tabla 2 que representa la matriz morfológica de alternativas da paso a que se puedan generar opciones para cada característica empleada en el diseño, habilitando la generación de alternativas

de materiales y diseño de detalle. Por lo general los trabajos de integración curricular involucran generar satisfacción y solución a las necesidades por medio del producto final. Por lo tanto, el porvenir de este proyecto está en dependencia de la acogida que tenga la máquina en el mercado.

Tabla 2: Matriz morfológica.

Función	Componentes		
Tipo de deshidratador	 Bandejas	 Banda transportadora	
Control del proceso	 Control digital	 Controlador Tiempo-Temperatura	
Medición de temperatura	 Sensor EA1240	 Termocupla tipo J	 Sensor Pt-100
Alimentación y descarga del producto	 Manual bandejas	 Cinta transportadora	 Conjunto de bandejas
Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Una vez que se crea la matriz de alternativas, las mismas que están unidas y relacionadas mediante flechas del mismo color, donde se establecen las combinaciones en donde la ruta de color rojo representa la primera alternativa, la ruta de color azul es la segunda alternativa y la ruta de color naranja representa la tercera alternativa.

Evaluación del peso específico para cada alternativa

Luego de obtener los criterios de evaluación para cada una de las alternativas, se debe catalogar conforme al orden de importancia, de la siguiente manera:

Tabla 3: Evaluación del peso específico para todos los criterios.

	Capacidad	Dimensiones	Operación	Costo	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Pond
Capacidad		0,5	1	0,5	0,5	3,5	0,23
Dimensiones	0,5		1	0,5	0,5	3,5	0,23
Operación	0	0		0	0,5	1,5	0,10
Costo	0,5	0,5	1		1	4	0,27
Mantenimiento	0,5	0,5	0,5	0		2,5	0,17
						15	1

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Alternativa 1

En esta alternativa, el tipo de deshidratador es un horno rectangular tipo bandejas, con un accionamiento de control tiempo-temperatura, para la medición de temperatura se realiza mediante una termocupla tipo J y para la carga y descarga del producto es de forma manual en las bandejas.

Alternativa 2

Para esta alternativa, el tipo de deshidratador es de bandas transportadoras, con un accionamiento y control digital con una pantalla HDMI, para la medición de temperatura se utilizan sensores Pt-100 y para la carga y descarga del producto es directamente en la banda donde va a ser transportado el producto.

Alternativa 3

Esta última alternativa, este tipo son utilizado de manera artesanal en el campo, para el tipo de deshidratador es rectangular tipo horno de bandejas, el control se realiza mediante un controlador tiempo-temperatura el cual también se puede adaptarlo ya que generalmente no tienen controladores de temperatura, para la medición de temperaturas utiliza un sensor tipo EA 1240 que también se los adapta y para la carga y descarga de producto será de tipo bandejas, pero es un conjunto de bandejas.

Criterios para la evaluación de las alternativas

Planteamos los siguientes criterios de evaluación que se detallan a continuación para cada una de las alternativas antes determinadas:

- **Costo:** Consiste en evaluar los rubros que se necesitan invertir para fabricar el equipo de deshidratación, debe incluir los costos de compra de materiales, pago de trabajador, transporte y otros valores que se deben considerar.

Tabla 4: Evaluación del criterio Costo.

Criterio: Costo					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Pond
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,42
				6	1

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el cuarto criterio “Costo” es el siguiente:

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

- Dimensiones: Responde a las dimensiones que tiene el equipo, en esencia es las longitudes de la cámara de secado.

Tabla 5: Evaluación del criterio Dimensiones.

Criterio: Dimensiones					
Dimensiones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Pond
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,33
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,33
				6	1

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el segundo criterio “Dimensiones” es el siguiente:

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3

- Capacidad: Determina el total de producto, en este caso la cantidad de fruta que abarca el equipo para poder lograr el objetivo de deshidratar.

Tabla 6: Evaluación del criterio capacidad.

Criterio: Capacidad					
Capacidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Pond
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0		1,5	0,25
				6	1

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el primer criterio “Capacidad” es el siguiente:

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

- **Mantenimiento:** Se refiere a todos los procesos y mantenimientos que se le puedan dar al equipo, y que complicado y a que tiempo se le debe suministrar.

Tabla 7: Evaluación del criterio Mantenimiento.

Criterio: Mantenimiento					
Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Pond
Alternativa 1		1	1	3	0,50
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,17
				6	1

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el quinto criterio “Mantenimiento” es el siguiente:

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

- **Operación:** Este criterio está basado en el manejo del equipo, además de satisfacer la necesidad del usuario, la cantidad de fruta que es capaz de deshidratar en una jornada.

Tabla 8: Evaluación del criterio Operación.

Criterio: Operación					
Operación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Pond
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,42
				6	1

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el tercer criterio “Operación” es el siguiente:

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

Conclusión de alternativas

Se analiza el resultado final de conclusiones en las alternativas, esto nos permite visualizar la mejor alternativa entre los resultados y seleccionar la mejor alternativa como un modelo de prediseño para continuar con el proceso de diseño del equipo de deshidratación.

Tabla 9: Resultado de prioridad de alternativas.

Resultados Finales							
Criterio Alternativa	Costo	Capacidad	Dimensiones	Mantenimiento	Operación	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,097	0,078	0,042	0,111	0,083	0,411	1
Alternativa 2	0,078	0,078	0,017	0,044	0,056	0,272	3
Alternativa 3	0,058	0,078	0,042	0,111	0,028	0,317	2

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Como se puede evidenciar en la tabla 9 la alternativa 1 es considerada como un modelo de inicio al diseño, por medio de los criterios y las alternativas se obtienen los presentes resultados.

Resultados

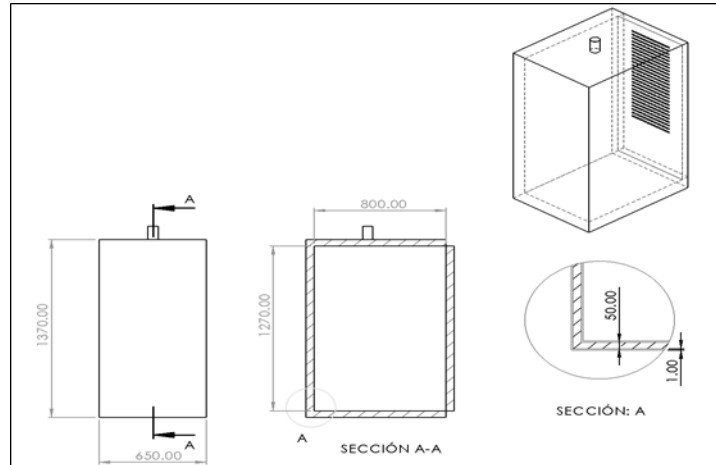
Validación del Análisis térmico en el software ANSYS

Se realiza el análisis mediante software ANSYS para realizar la validación de los cálculos térmicos obtenidos para la cámara de deshidratado, para ello seguimos una serie de pasos y presentamos los resultados.

Definición de la geometría

Con la finalidad de simplificar el análisis de volúmenes finitos, se presenta las dimensiones del modelo utilizado en la simulación térmica transitoria. La Geometría Spaceclean, modelada se trabaja en el modelador de ANSYS. Para establecer contactos tipo Bonded y la unión de los cuerpos de análisis.

Ilustración 14: Geometría para el análisis ANSYS.

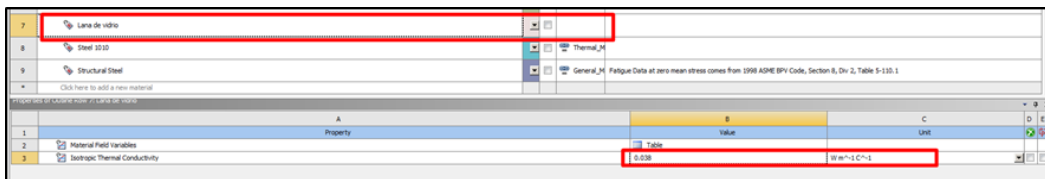


Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Definición de los materiales

La lana de vidrio se define como aislante térmico de espesor 50 mm y Conductividad térmica 0,038 W/m°C.

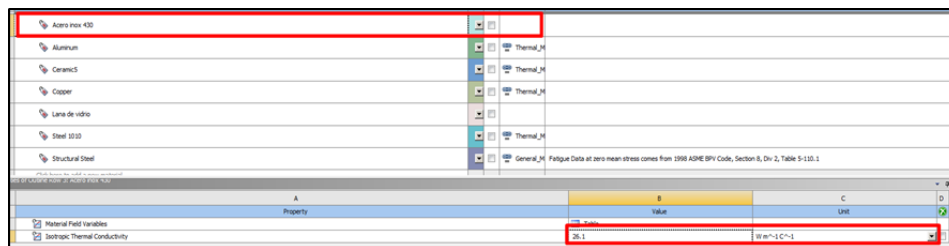
Ilustración 15: Definición del material lana de vidrio.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Definimos el acero inoxidable calidad 430 de espesor 1 mm y conductividad térmica 26.1 W/m°C.

Ilustración 16: Definición del material acero inoxidable.

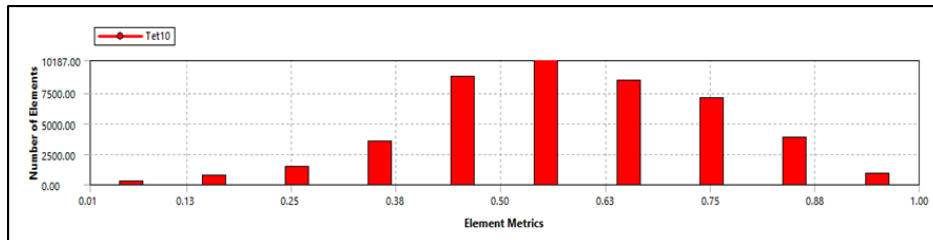


Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Definición de la calidad de mallado

Se verifica la calidad de malla, para el análisis se utiliza la métrica Element Quality recomendado para elementos tetraédricos con pequeñas curvaturas. De acuerdo con las recomendaciones de ANSYS Client. El valor promedio de esta métrica debe estar en el rango de (0.55 – 0.96).

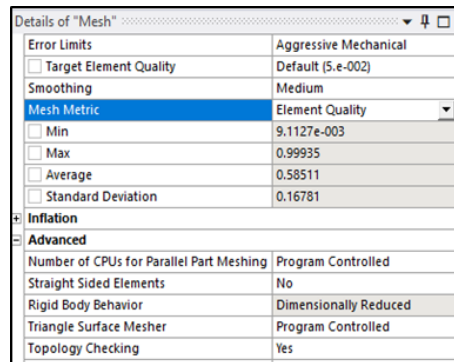
Ilustración 17: Definición de la calidad de mallado.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

De acuerdo con la gráfica en promedio la calidad de nuestra malla es 0.60. Lo cual corrobora la siguiente ilustración.

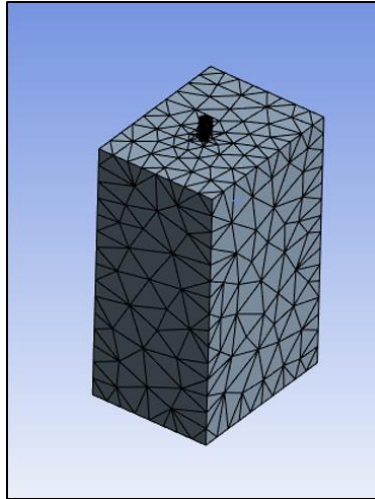
Ilustración 18: Definición de la calidad de mallado.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Una vez obtenidos las ingresadas todas las variables y verificación de estas se proceden con el mallado y se presenta de la siguiente manera.

Ilustración 19: Mallado de la cámara de secado.

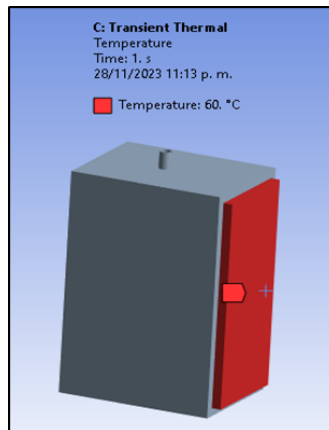


Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Pre procesamiento

Se define las condiciones de simulación. El elemento que genera el calor y temperatura necesaria, para el caso se define como elemento principal de calor a las rejillas de ingreso del aire caliente producto de la combustión, con un valor de temperatura de ingreso de 60°C.

Ilustración 20: Definición del elemento principal de calor.



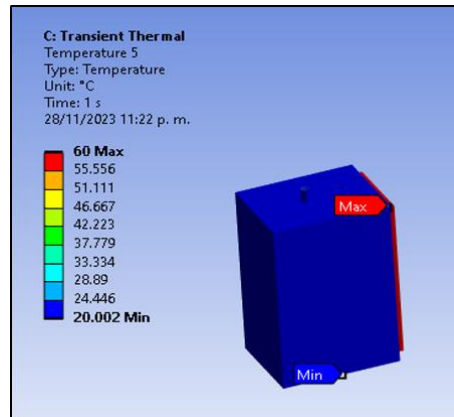
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

El calor se transfiere desde el interior hacia el exterior mediante los coeficientes de transferencia de los materiales involucrados.

Post procesamiento

Se verifica las temperaturas a las que están sometidas las paredes de nuestro modelo. La temperatura máxima generada en el ingreso del aire caliente y la temperatura mínima generada en las paredes exteriores del modelo.

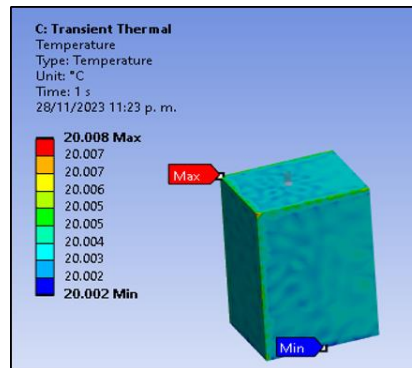
Ilustración 21: Verificación de temperaturas en las paredes.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Se verifica las temperaturas a lo largo de las paredes exteriores, las mismas se encuentran a una temperatura promedio de 20°C.

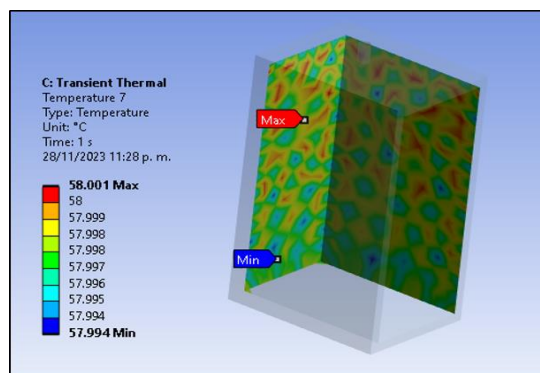
Ilustración 22: Temperaturas en las paredes exteriores.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Las temperaturas en las paredes interiores se corroboran en 58 grados centígrados, en la misma se observa que las temperaturas mayores se encuentran en el nivel más alto. Caso contrario las temperaturas mínimas.

Ilustración 23: Temperaturas en las paredes interiores.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Pruebas de campo

Porque el tamaño del lote es muy grande optamos por analizar tres muestras, una localizada en la parte superior, otra en el intermedia y otra en la parte inferior de la cámara de deshidratado, para lo cual la masa de la fruta aproximadamente será de 20 kg de carga total, mediremos en intervalos de 1 hora para así poder recabar datos que servirán para analizar el proceso de deshidratación.

Resultados de la deshidratación de la Piña

Las pruebas se realizaron con carga máxima de 20 bandejas cargadas con piñas, para el análisis de estos resultados se seleccionó solamente las bandejas superiores, intermedia e inferior, para posteriormente realizar una comparación entre las tres posiciones y verificar el correcto funcionamiento.

Resultados de la bandeja de Piña en la parte superior

Tabla 10: Resultados de deshidratación de la Piña en la parte superior de la cámara.

Bandeja Superior				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,77	0,77	0	84,9
1	0,77	0,54	0,23	78,46852
2	0,54	0,40	0,14	70,93250
3	0,4	0,29	0,11	59,90690
4	0,29	0,20	0,09	41,86500
5	0,2	0,16	0,04	27,33125
6	0,16	0,14	0,02	16,95000
7	0,14	0,13	0,01	10,56154
7,5	0,13	0,13	0	10,56154

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 11: Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Piña de la bandeja superior.

Variables	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	10,5615	5,62
Masa final	0,129	0,13	0,63

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Resultados de la bandeja de Piña en la parte intermedia.

Tabla 12: Resultados de deshidratación de la Piña en la parte intermedia de la cámara.

Bandeja Intermedia				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,71	0,71	0	84,9
1	0,71	0,55	0,16	80,50727
2	0,55	0,43	0,12	75,06744
3	0,43	0,33	0,1	67,51212
4	0,33	0,24	0,09	55,32917
5	0,24	0,17	0,07	36,93529
6	0,17	0,14	0,03	23,42143
7	0,14	0,13	0,01	17,53077
7,5	0,13	0,13	0,005	14,23200
8	0,125	0,12	0,005	10,65833

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 13: Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Piña de la bandeja intermedia.

Variables	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	10,66	6,58
Masa final	0,119	0,12	0,74

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Resultados de la bandeja de Piña en la parte inferior

Tabla 14: Resultados de deshidratación de la Piña en la parte inferior de la cámara.

Bandeja inferior				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,82	0,82	0	84,9
1	0,82	0,70	0,12	82,31143
2	0,7	0,54	0,16	77,07037
3	0,54	0,41	0,13	69,80000
4	0,41	0,32	0,09	61,30625
5	0,32	0,23	0,09	46,16522
6	0,23	0,18	0,05	31,21111
7	0,18	0,16	0,02	22,61250
7,5	0,16	0,15	0,01	17,45333
8	0,15	0,14	0,01	11,55714

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 15: Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Piña de la bandeja inferior.

Variables	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	11,56	15,57
Masa final	0,138	0,14	1,76

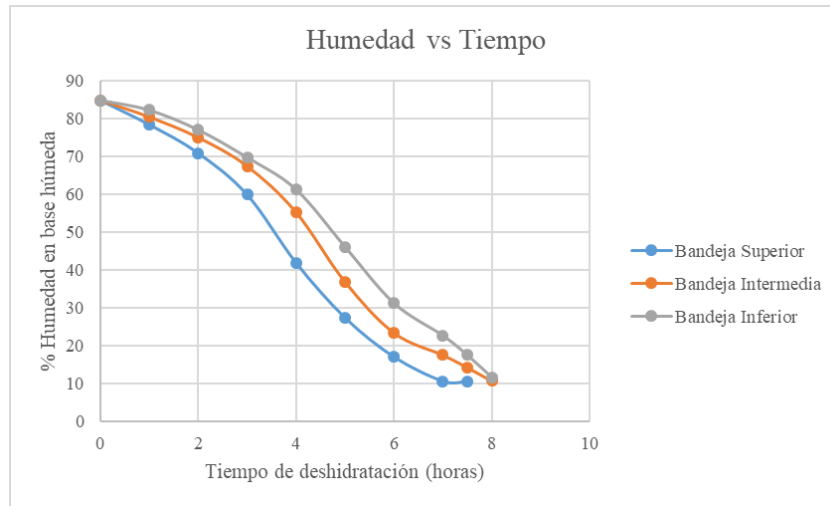
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Análisis de datos de la Piña

Con esto podemos trazar la gráfica relacionando las variables de humedad y tiempo para conocer la tendencia del secado dentro de la cámara y sacar conclusiones.

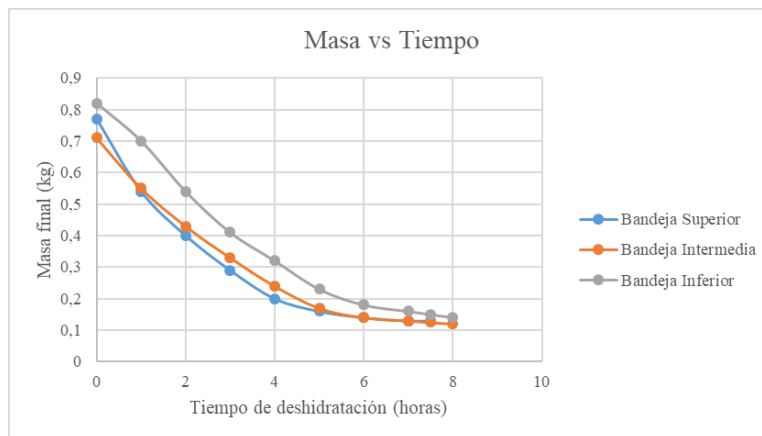
Ilustración 24: Gráfica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Piña.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

También podemos trazar la gráfica que relaciona el tiempo con la masa final obtenida para conocer la tendencia que dibuja esta variable.

Ilustración 25: Gráfica comparación Masa vs Tiempo de las tres



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Resultados de la deshidratación de la Naranja

Las pruebas se realizaron con carga máxima de 20 bandejas, para el análisis de estos resultados se seleccionó solamente las bandejas superiores, intermedia e inferior, para posteriormente realizar una comparación entre las tres posiciones y verificar el correcto funcionamiento.

Resultados de la bandeja de Naranja en la parte superior

Tabla 16: Resultado de deshidratación de la Naranja en la parte superior.

Bandeja Superior				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,63	0,63	0	85,9
1	0,63	0,46	0,17	80,68913
2	0,46	0,33	0,13	73,08182
3	0,33	0,23	0,1	61,37826
4	0,23	0,13	0,1	31,66923
4,5	0,13	0,1	0,03	11,17000

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 17: Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja superior.

VARIABLES	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	11,17	11,70
Masa final	0,099	0,1	1,32

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Resultados de la bandeja de Naranja en la parte intermedia.

Tabla 18: Resultado de deshidratación de la naranja en la parte intermedia

Bandeja intermedia				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,81	0,81	0	85,9
1	0,81	0,6	0,21	80,96500
2	0,6	0,49	0,11	76,69184
3	0,49	0,36	0,13	68,27500
4	0,36	0,23	0,13	50,34348
4,5	0,23	0,17	0,06	32,81765
5	0,17	0,13	0,04	12,14615

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 19: Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja intermedia

Variables	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	12,15	21,46
Masa final	0,127	0,13	2,44

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Resultados de la bandeja de Naranja en la parte inferior

Tabla 20: Resultado de deshidratación de la Naranja en la parte inferior

Bandeja inferior				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,82	0,82	0	85,9
1	0,82	0,66	0,16	82,48182
2	0,66	0,54	0,12	78,58889
3	0,54	0,41	0,13	71,80000
4	0,41	0,27	0,14	57,17778
4,5	0,27	0,20	0,07	42,19000
5	0,2	0,14	0,065	14,35556

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 21: Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja inferior

Variables	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	14,36	43,56
Masa final	0,128	0,14	5,09

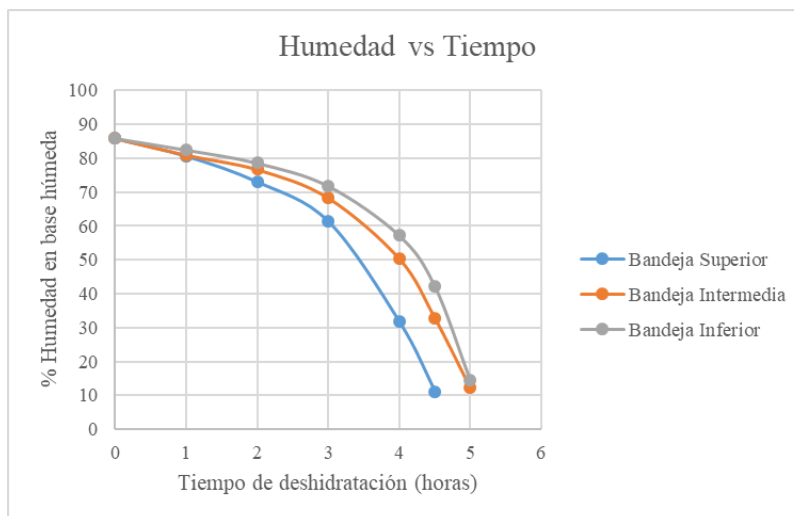
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Análisis de datos de la Naranja

Con esto podemos trazar la gráfica relacionando las variables de humedad y tiempo para conocer la tendencia del secado dentro de la cámara y sacar conclusiones.

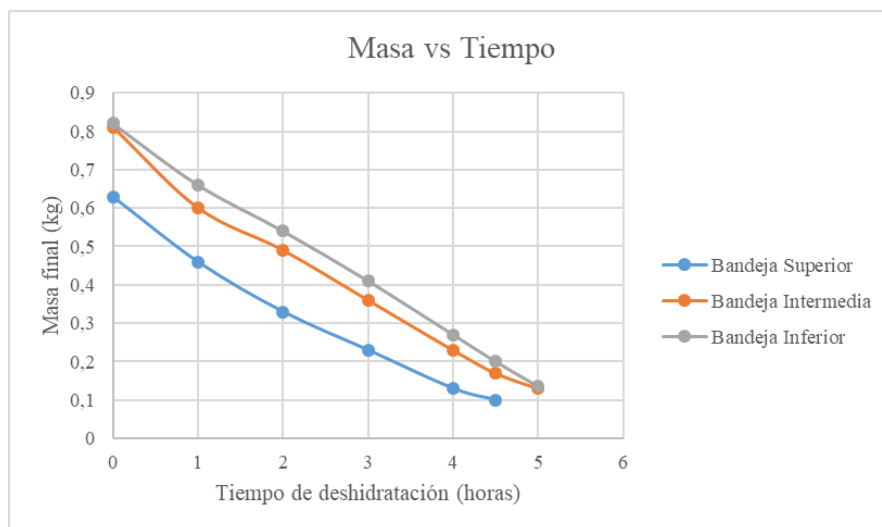
Ilustración 26: Gráfica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Naranja.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

También podemos trazar la gráfica que relaciona el tiempo con la masa final obtenida para conocer la tendencia que dibuja esta variable.

Ilustración 27: Gráfica de comparación Masa vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Naranja.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Análisis de datos del Limón

Las pruebas se realizaron con carga máxima de 20 bandejas, para el análisis de estos resultados se seleccionó solamente las bandejas superiores, intermedia e inferior, para posteriormente realizar una comparación entre las tres posiciones y verificar el correcto funcionamiento.

Resultados de la bandeja de Limón en la parte superior

Tabla 22: Resultado de deshidratación del Limón en la parte superior.

Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,68	0,68	0	91,8
1	0,68	0,45	0,23	87,60889
2	0,45	0,22	0,23	74,65455
3	0,22	0,11	0,11	49,30909
4	0,11	0,07	0,04	20,34286
4,5	0,07	0,06	0,008	10,06452

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 23: Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en la bandeja superior.

Variables	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	10,065	0,65
Masa final	0,062	0,062	0,07

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Resultados de la bandeja de Limón en la parte intermedia.

Tabla 24: Resultado de deshidratación del Limón en la parte intermedia.

Bandeja intermedia				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,69	0,69	0	91,8
1	0,69	0,51	0,18	88,90588
2	0,51	0,32	0,19	82,31875
3	0,32	0,18	0,14	68,56667
4	0,18	0,10	0,08	43,42000
4,5	0,1	0,08	0,02	29,27500
5	0,08	0,06	0,016	11,59375

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 25: Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en la bandeja intermedia

Variables	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	11,59	15,94
Masa final	0,063	0,064	1,80

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Resultados de la bandeja de Limón en la parte inferior

Tabla 26: Resultado de deshidratación del Limón en la parte inferior.

Bandeja inferior				
Tiempo de deshidratación [h]	Masa inicial [Kg]	Masa Final [Kg]	Masa evaporada [Kg]	% Humedad en base húmeda
0	0,63	0,63	0	91,8
1	0,63	0,5	0,13	89,66800
2	0,5	0,39	0,11	86,75385
3	0,39	0,25	0,14	79,33600
4	0,25	0,12	0,13	56,95000
4,5	0,12	0,09	0,035	39,22353
5	0,085	0,06	0,025	13,90000

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

Tabla 27: Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en la bandeja inferior

Variabes	Valor Teórico	Valor experimental	% Error
% Humedad final	10	13.90	39,00
Masa final	0,057	0,06	4,53

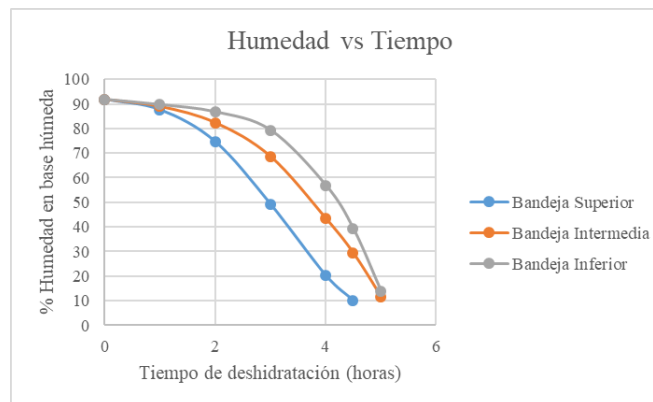
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

Análisis de datos del Limón

Con esto podemos trazar la gráfica relacionando las variables de humedad y tiempo para conocer la tendencia del secado dentro de la cámara y sacar conclusiones.

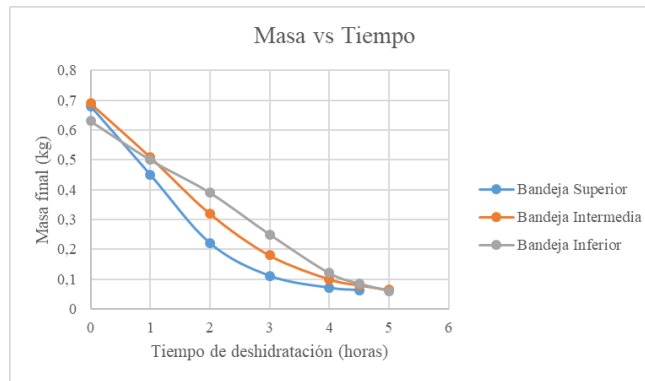
Ilustración 28: Gráfica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres muestras Limón.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

También podemos trazar la gráfica que relaciona el tiempo con la masa final obtenida para conocer la tendencia que dibuja esta variable.

Ilustración 29: Gráfica de comparación Masa vs Tiempo de las tres muestras de Limón.



Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Conclusiones

- Se desarrolló el diseño conceptual para realizar el análisis QFD, el cual me definió el prediseño de una deshidratadora con las siguientes características, semi industrial, semiautomática, y con una alimentación de producto hecha sobre bandejas.
- Se realizó el diseño térmico aplicando los conceptos de transferencia de calor, resultando principalmente datos de calores y temperaturas, los cuales los corroboramos utilizando el software ANSYS, principalmente para analizar temperaturas, donde al comparar los datos iterativos con los experimentales, para la temperatura interior de la cámara me da un error de alrededor del 5, 17% y para la comparación de los diferentes análisis de la temperatura exterior me da un error del 5%.
- Se diseñó los elementos mecánicos enfocándose principalmente en el diseño de la bandeja, calculando así su deformación con el software SAP, la cual es muy pequeño debido a que las bandejas soportan un peso máximo de 1 kilogramo.
- Se seleccionó los elementos que forman parte del sistema de control y mando, es así que con la ayuda de un controlador de marca INOVA, que fue elegido basándonos en parámetros de funcionalidad, precio y disponibilidad en el mercado, me permitirá controlar el tiempo y la temperatura de funcionamiento de la deshidratadora, para esto el controlador utilizará un sensor de llama, una termocupla tipo J y una electroválvula, estos elementos me enviarán las señales requeridas por el controlador.
- Se realizó la construcción de la máquina deshidratadora siguiendo los parámetros calculados en las etapas previas, luego se ejecutó las pruebas de funcionamiento aplicando

el muestreo de aceptación MIL ST 105 para los lotes de fruta, la cual me establece el tamaño de la muestra, con lo cual puedo comprobar la calidad de mi producto, para posteriormente al analizar los datos experimentales corroborar que mi producto llega al 10% de humedad en el tiempo calculado para cada fruta.

Referencias

1. ARIZA Pilar, SÁEZ Andrés. Métodos de los elementos finitos introducción a ANSYS. [Versión Pdf]. Editorial Universidad de Sevilla 2015.
2. BAUTISTA Luis, MEZA David. Diseño y construcción de una deshidratadora automática, para frutas y verduras para la empresa sensortecsa S.A. Tesis de grado. Repositorio institucional, Sangolquí 2016.
3. BUENO Fernando, PAREDES Joan. Desarrollo de un sistema de deshidratado de fruta de bajo costo mediante el control de temperatura para PYMES. Tesis de grado. Repositorio académico UPC. 2017.
4. CENGEL Y. Transferencia De Calor Y Masa. (4ta edición). México D.F. McGraw Hill.
5. CENGEL Y. Termodinámica. (7ma edición). México D.F. McGraw Hill.
6. ESPIN D. Diseño de un quemador industrial de gas licuado de petróleo (glp) para secado de grano de maíz a razón de 8,5 toneladas por día instalado en el canton ventanas. Obtenido de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6648/1/CD-5029.pdf>
7. GÓMEZ Daniel. Soldabilidad de aceros inoxidables austeníticos serie 300 mediante el proceso de soldadura mmaw (electrodo revestido) en ambiente húmedo. Tesis de grado. Repositorio institucional. Saltillo 2015.
8. GONZALES Arturo. Quality Fuction Deployment: Una herramienta para establecer los requerimientos técnicos de un edificio en México. Tesis de postgrado. Repositorio universitario Universidad Politécnica De Valencia. Valencia, España 2014.
9. GUAMÁN Cristian. Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas. Tesis de grado repositorio institucional. Sangolquí, 2021.
10. HERRERA José, ROJAS Cristian. Diseño y construcción de un deshidratador eléctrico automatizado para el secado de la semilla de cereales para el proceso de producción de harinas en agroindustrias. Tesis de pregrado. Repositorio institucional. Latacunga 2015.

11. LLUMIQUINGA Paúl, SUQUILLO Byron. Diseño y construcción de un prototipo de deshidratador de frutas de capacidad de 12 kg con circulación de aire forzado utilizando resistencias eléctricas. Tesis de grado. Repositorio institucional. Quito 2015.
12. MARIÑO Jessica, CHICO Luis. (Diseño, construcción e instalación de una cámara experimental para deshidratación de productos agrícolas. Tesis de grado. Repositorio institucional ESPOCH. Riobamba, 2012.
13. MATAMOROS Ingrid, CHICHANDE Daniel. Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos. Tesis de grado. Repositorio institucional Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, 2021.
14. MUÑOZ John, ZAPATA César, MEDINA Pedro. Lean Manufacturing Modelos y herramientas. Colección de textos académicos Facultad de Ciencias empresariales. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira 2022.
15. NAREA Diego, TAPIA Jorge, Mejora de la eficiencia de un ventilador axial que opera en un refrigerador doméstico. Trabajo de titulación de pregrado. Repositorio institucional universidad politécnica salesiana. Cuenca, 2021.
16. ORREGO C. Procesamiento De Alimentos. (1era edición). Manizales. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
17. SINGH P. Introducción a la Ingeniería de los alimentos. (2da edición). Zaragoza. ACRIBIA.