



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA DESHIDRATADORA DE UVILLAS PARA UNA
CAPACIDAD MÁXIMA DE 25 KG.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de ingeniero mecánico

AUTOR: Carlos Alfonso Cabrera Paladines

TUTOR: Eduardo Xavier Vaca Michilena

Quito-Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Carlos Alfonso Cabrera Paladines con documento de identificación N° 0922868468 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 24 de Junio del año 2022

Atentamente,



Carlos Alfonso Cabrera Paladines

0922868468

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Carlos Alfonso Cabrera Paladines con documento de identificación No. 0922868468, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Diseño y Simulación De Una Deshidratadora De Uvillas Para Una Capacidad Máxima De 25 kg”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de Junio del año 2022

Atentamente,



Carlos Alfonso Cabrera Paladines

0922868468

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Xavier Vaca Michilena con documento de identificación N° 1721078424, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: : DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA DESHIDRATADORA DE UVILLAS PARA UNA CAPACIDAD MÁXIMA DE 25 KG, realizado por Carlos Alfonso Cabrera Paladines con documento de identificación N° 0922868468, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo de titulación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de Junio del año 2022

Atentamente,



.....
Ing. Eduardo Xavier Vaca Michilena, MSc.

1721078424

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, quienes supieron orientarme siempre por el buen camino lleno de buenos valores los cuales me han hecho crecer no solo a nivel profesional sino también a nivel personal y humano, agradezco las sabias palabras de mi papá cuando noche tras noche el me veía cansado y siempre me animo a seguir adelante y jamás bajar los brazos ante cualquier adversidad que no solo en mi etapa de estudiante también en mi etapa de crecimiento como persona sin él seguramente no estaría aquí ya que desde cuando sufrí el accidente que prácticamente me destrozó la cabeza y me dejó en estado de coma, de no haber sido por aquella donación de sangre que el me dio cuando yo más la necesitaba ni siquiera hubiera salido de aquella habitación en el hospital y a pesar de su trabajo él estuvo ahí cuidándome y gracias a él pude volver a abrir mis ojos y poder volver a sonar en grande como él siempre me ha dicho “lucha que tú fuiste, eres y serás siempre un guerrero”, también como olvidarme de mi querida madre que supo darme su amor y comprensión en todo este tiempo.

A mis hermanos quienes fueron los que aguantaron todo este tiempo de mi carrera universitaria, a mis amigos quienes cuando me quería desviar me apoyaron siempre, a mis tíos, a mis primos quienes han formado gran parte de mi vida todos ellos son quienes me brindaron grandes enseñanzas, me brindaron alegrías y fueron parte para mi logro.

Carlos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a todos sus docentes que en sus aulas han compartido su sabiduría y consejos para formarnos como buenos ingenieros, y, más que nada como unas excelentes personas.

A mi tutor, el Ingeniero Xavier Vaca, quien me dio una oportunidad para hacer un trabajo de calidad bajo su dirección. Sin su generosa disposición a ayudarme no podría haber culminado este proyecto.

También me gustaría agradecer al Ingeniero William Diaz quien fue el que me permitió el acceso para continuar con mis estudios ya que los mismos los había iniciado en Cuenca y él fue quien me brindo una oportunidad de poder terminarlos, agradezco también al Ingeniero William Quitiaquez que me ayudó mucho, al igual que mi tutor en la explicación de ciertos conceptos para mi tesis sin los cuales no hubiera podido salir adelante.

También quisiera agradecer al ingeniero Tomás Ibujés quien también formo parte en la formación de mi carrera profesional, al ser él quien me dio consejos en la universidad y por haberme dado siempre una mano cuando yo lo necesitaba.

Finalmente quisiera agradecer a mis padres que fueron quienes me brindaron esta oportunidad de seguir desarrollándome como persona de bien, este logro es más suyo que mío.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA DESHIDRATADORA DE UVILLAS PARA UNA CAPACIDAD MÁXIMA DE 25 KG

DESIGN AND SIMULATION OF AN GOLDEN BERRIES DEHYDRATOR FOR A MAXIMUM CAPACITY OF 25 KG

Cabrera Paladines Carlos¹

Resumen

La agricultura de los pequeños pueblos de Guachinguero y Moraspusgo no tienen apoyo del cantón de Otavalo y no se ha dado valor a los productos que en la actualidad se cultivan. Aspirando mejorar esta situación se incursiona en la producción de uvilla, que es un gran potencial como materia prima dentro del proceso de deshidratación, la misma que presenta muchas ventajas para el comercio que permite mejorar la calidad con relevancia en la conservación de la fruta. Adicionalmente con el proceso de deshidratado mejora el precio de la uvilla con lo que estas comunidades se beneficiarían. El artículo viabiliza la posibilidad de incrementar nuevos emprendimientos que mejorarán el estatus social de las comunidades indígenas en estudio. Para el desarrollo del Artículo se ha empleado el programa SolidWorks utilizado para el diseño y simulación estructural de la máquina y se considera los parámetros de esfuerzos de Von Mises, desplazamientos (URES) y el factor de seguridad. Finalmente, la simulación mostró que el esfuerzo a tensión máximo es de 10,22 MPa, el desplazamiento (URES) medio es de 0,125 mm. y máximo de 0,25 mm, tiene una deformación unitaria media de 0,000041 mm/mm y máxima de 0,000082 mm/mm además de un FDS mínimo de 20, dado que el factor de seguridad encontrado asegura un correcto funcionamiento y seguridad en el equipo.

Palabras claves: Simulación; factor de seguridad; deformación unitaria, esfuerzo a tensión.

Abstract

The agriculture of the small village of Guachinguero and Moraspusgo has no support of Otavalo and no value has been given to the products that in the present are growing. Pursuing to improve this situation, it ventures into the production of golden berry, which has great potential as a raw material in the dehydration process, and has many advantages for the trading, improving quality with relevance in the conservation of the fruit. Additionally, it increases the price of golden berry benefiting the communities. This article studies the viability to make possible the increase of new startups that will improve the social status of the indigenous communities under study. For the development of the article, the SolidWorks program was used for the designed and structural simulation of the machine, and the parameters of tension stress through the Von Mises method, displacements(URES), and the safety factor. Finally, the simulation showed that the mean tensile stress is 10,22 MPa, the mean displacement(URES) is 0,125 and the maximum 0,250 mm, it has a mean unit strain of 0,000041 mm/mm and maximum of 0,000082 mm/mm and a minimum safety factor of 20 the safety factor found ensures proper operation and safety of the equipment.

Keywords: Simulation; safety factor; unit strain; tensile stress.

¹ Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, ccabrerap1@est.ups.edu.ec.

1. Introducción

En el devenir histórico, la humanidad a través de sus experiencias cotidianas, mejoran su condición de vida y en su peregrinar aprenden a conservar mejor los alimentos facilitándoles un adecuado aprovisionamiento por más tiempo. En este sentido, ha utilizado el desecado como un² mecanismo de conservación de los alimentos, que no es sino la extracción del agua, a través de medios ambientales como el sol, el agua y sales de conservación; posteriormente se implementa la deshidratación con la aplicación de calor artificial.

En la actualidad aplicando una tecnología innovadora se elimina gran cantidad de agua que contienen estos frutos para evitar que se descompongan; ya que se considera de mucha importancia mantener por más tiempo el buen estado de las frutas en condición de deshidratación que permite el ingreso a múltiples mercados, además de obtener mejores ingresos económicos.

Existen varias técnicas de eliminación de agua o deshidratación de productos agroalimentarios, entre los cuales se menciona según Galaviz [1] la liofilización, centrifugado, entre otros procesos de deshidratación. Maupoey *et al.* [2] menciona que las técnicas más usadas en productos agrícolas son la evaporación superficial, la deshidratación osmótica (convencional o pulsos de vacío) y la liofilización. Considerando una posible combinación de técnicas según el producto a obtener.

Actualmente la estructura socio económica de las comunidades indígenas del País se basa fundamentalmente en la agricultura familiar con un nivel de desarrollo alarmantemente bajo, con pocas posibilidades de acceder directamente a la tecnología y a una adecuada explotación de los recursos naturales. Este tipo de agricultura, en la cual el trabajo es asumido por el padre o la madre como jefes de familia, también involucra a sus descendientes; los mismos que aprovechan los cambios estacionales para realizar labores agropecuarias, inmiscuyendo a los niños escolares

en las labores de labranza. Estos problemas son difusos y crónicos, visibles únicamente para quienes comparten esta desesperanza y sin embargo buscan por todos los medios el acercamiento al conocimiento para mejorar las condiciones de vida.

Entre estas situaciones se trata de establecer un mecanismo tecnológico aplicable a este desarrollo que permita mejorar el rendimiento productivo y el valor agregado que se le dé a la uvilla.

La uvilla, descrita como *Physalis peruviana* L., por el científico Carlos Linneo, tiene su origen en los Andes, caracterizada conforme indican Criollo y Upegui [3] en la descripción, de fruto agridulce y buen contenido de micronutrientes como vitaminas A y vitaminas C, además de hierro y fósforo.

En nuestro medio la explotación de la fruta es incipiente y de forma natural. Los productores ecuatorianos han visualizado oportunidades de abrir mercados a nivel internacional en base al apoyo e información de PRO ECUADOR (Instituto de promoción de Exportaciones e Inversiones) y es así como se aumenta los cultivos de uvilla particularmente en las provincias de Pichincha, Imbabura y Carchi con fines de exportación. Actualmente el aporte de la comercialización de la uvilla al PIB significa el 0,02%, que se detalla en la publicación de PRO ECUADOR [4].

Problemática

Se ha presentado en la Comunidad de Guachinguero y Moraspungo de la ciudad de Otavalo la oportunidad de realizar nuevos emprendimientos, optando por la siembra de uvilla y transformando el producto mediante la deshidratación, labores que revalorizan las condiciones socio económicas de la población, a través de mejores ingresos, evitando la migración a la ciudad.

En este sentido el aporte de vinculación de la Universidad con las comunidades indígenas se centrará en el diseño y simulación de un prototipo de deshidratadora de uvillas, que permita organizar

mejor a las comunidades para ejecutar las labores agrícolas y optimizar la producción de la fruta.

Con el diseño de esta máquina deshidratadora se propone deshidratar la uvilla, que proveerá un producto en mejores condiciones de consumo, cuyo boceto permitirá configurar y seleccionar el mejor grado de desecado. Considerando este factor se alcanza la textura adecuada de conservación de la uvilla, estabilidad en el tiempo de deshidratado y temperatura para no perder nutrientes, ahorrar energía y tiempo en el proceso y sobre todo alargar el tiempo de conservación de la fruta que facilite el almacenamiento y manipulación, manteniendo los sabores a pesar de la reducción de tamaño; según Espinoza [5], de este modo se impide el crecimiento de patógenos y la actividad enzimática, a pesar de que la temperatura del proceso generalmente no es la adecuada para causar su inactivación.

Para este proceso es necesario especificar parámetros de diseño y simulación que permita escoger el mejor material para la construcción del equipo; paralelamente con los datos estadísticos obtenidos se pueda validar la calidad del producto terminado.

De acuerdo con Navarrete [6], un parámetro es un dato que se toma como fundamental para analizar o valorar un escenario. A partir de este, cualquier circunstancia puede comprenderse en perspectiva.

Godoy-Barrera et al. [7] indican que los parámetros que intervienen en la optimización de un secador son dos: 1) Las particularidades del aire (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, entre otras); y 2) Las variables direccionales como longitud, grosor, altura, diámetro del secador y el bosquejo de este.

El empleo de parámetros y la automatización de algunas tareas, Navarrete [6] nos da infinitas posibilidades de diseño bajo la óptica arquitectónica, en que las tecnologías logren realizar con eficiencia las tareas que a priori eran propias del arquitecto-diseñador.

Sin embargo Marrero y Martínez [8] mencionan que al no haber un criterio coincidente en el proceso de diseñar, no hay un concepto definido de diseño, razón por la cual se investiga bajo dos aspectos: el diseñador y la computadora. A fin de ahondar en estos dos aspectos, afirma Marrero y Martínez [8] se ha diseñado modelos cognitivos, computacionales descriptivos, prescriptivos.

El-Sebaili y Shalaby [9] señalan que deshidratar los alimentos tiene innumerables ventajas para su conservación, disminuye el peso y también se reduce el espacio de almacenamiento.

De Michelis y Ohaco [10] manifiestan que para obtener productos de calidad es necesario perfeccionar todos los procesos y en su diseño se tome en cuenta las consecuencias de los principios de transferencia de calor y la estructura que inciden en la corteza de la fruta.

En el sistema de deshidratación que bosqueja Maupoey et al. [2] por convección, las bandejas están diseñadas para que el aire caliente circule adecuadamente entre ellas, por intermedio del ventilador que está conectado al motor, induciendo a que se mueva con anterioridad por el calentador conformado por un conjunto de tubos que en su interior ya se encuentra recorriendo con normalidad el vapor del agua por que por el conducto de salida abandona constantemente el aire humedecido y por la brecha de entrada ingresa el aire fresco.

Es decir, este proceso como afirma Maupoey et al. [2], radica en la eliminación total del líquido de la fruta, utilizando el calor, sin descomponer los minerales, nutrientes, vitaminas y además de concentrar su sabor. Este método es el que más se utiliza en la eliminación de líquidos de frutas y hortalizas, en la industria agroalimentaria más conocido como deshidratación por aire caliente.

En cuanto a los materiales que se pueden utilizar para hacer el deshidratador Godoy-Barrera et al. [7], dicen que pueden ser variados, como metales, cerámicas, plásticos y últimamente se están utilizando metales que contengan módulos antimicrobianos. Sin embargo el acero inoxidable se

considera como primordial para que entre en contacto directo con los alimentos, teniendo al hierro fundido de sostén. Por otro lado, según Casaburi et al. [11] el aluminio muestra mayor migración hacia el calor, por lo tanto es otro material que se usa ya que toma contacto directo con los alimentos, cuya ventaja es la alta relación de resistencia/peso [7].

Los detalles a tomarse en cuenta para evaluar el diseño en la deshidratación, según Vanegas y Parra [12] son el peso del producto, la cantidad de humedad inicial y final, calor específico, temperatura de secado, densidad y características del alimento.

Llumiquinga y Suquillo [13] sugieren en su estudio que la forma de apartar el líquido del sólido corresponde a la ebullición lenta y continua debido a una temperatura constante y moderada que está en los rangos de 50 °C y 70 °C.

Por el contrario De Michelis y Ohaco [10], indica que la temperatura para el secado nunca debe ser mayor a los 60 °C, porque a temperatura más alta empieza la cocción de la fruta.

Hadenburg [14] en su estudio plantea que la humedad de las frutas deshidratadas puede oscilar entre el 25% al 2%.

De acuerdo a Llumiquinga y Suquillo [13] la fruta antes de pasar al proceso de deshidratación mantiene un tanto por ciento de agua entre 80 y 85%.

El porcentaje de humedad relativa de la uvilla es del 68 y 88%. [15]

La uvilla (*Physalis peruviana*) cuenta con una humedad del 87% cuando esta fresca y con una humedad del 2,5% cuando esta deshidratada. [16] De Michelis y Ohaco [10] alude en el estudio realizado, que la composición del producto incide en el valor de la actividad de agua (*A_w*) por consiguiente, para cada fruta, hortaliza y hongo es necesario saber los valores de *A_w* para calcular la

humedad residual requerida con la finalidad de obtener un producto estable.

En el artículo que escribe Gimferrer [17] resalta que la actividad de agua (*A_w*) es el porcentaje de agua existente en el alimento, esto significa que es la cantidad de agua mínima para que crezcan los patógenos y se puedan ejecutar varias reacciones químicas. Los valores oscilan máximo de 1 y mínimo de 0; si este valor es menor, mejor se preservará el producto.

En relación a la actividad de agua (*A_w*) Friedrich [18] la define, como la humedad en proporción de un producto, señalada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie.

2. Materiales y Métodos

2.1. Propiedades del material

El presente trabajo se orienta en el diseño de una deshidratadora para eliminar la mayor cantidad de agua de la uvilla, sin perder su composición química, sabor y conservando todas las propiedades dietéticas y medicinales.

Actualmente en la comunidad de Guachinguero y Moraspungo se encuentran en producción de esta fruta, por lo tanto, se necesita crear otras opciones de comercialización.

Se indica las propiedades físicas de la uvilla en la tabla 1, realizadas en el estudio de Yıldız [19] en las cuales se puede apreciar las propiedades más significativas de la misma.

Tabla 1. Propiedades físicas de la uvilla [19]

Parámetros	Mín.	Máx.	Med.
Largo, mm	13,92	19,87	17,52
Diámetro, mm	13,58	20,75	17,31
Esfericidad, %			98,9
Superficie,	5,79	13,53	9,41

cm ²			
Masa fruta, g	2,734	3,71	3,09
Volumen fruta, cm ³	1,31	4,68	2,72
Densidad de la fruta, $\frac{Kg}{m^3}$	952,2	1032,2	997,3
Densidad a granel, $\frac{Kg}{m^3}$	439,4	498,3	462,3
Porosidad, %	48,96	56,29	53,6

En la tabla 2, se identifica los parámetros mínimo, máximo y medio que representan las características químicas más importantes de la uvilla.

Tabla 2. Características químicas de la uvilla [19]

Parámetros	Mín.	Máx.	Med.
Materia seca, %	17,74	20,56	18,67
Materia seca soluble en agua, %	14	14,5	14,17
Ceniza, %	2,95	3	2,98
Proteína, %	1,58	1,8	1,66
Aceite, %	0,15	0,2	0,18
Carbohidratos, %	12,91	15,72	13,86
Acidez titulable, %	1,21	1,28	1,26
pH	6,05	6,08	6,07
Azúcar total, g/Kg	63,39	64,31	63,9
Azúcar reducida, g/Kg	31,55	32,35	31,99
Capacidad antioxidante, %	57	59	57,67

Contenido total de fenol (mg GAE/100 g)	136,64	154,55	145,22
---	--------	--------	--------

2.2. Sistema de deshidratación

En la investigación planteada se ha optado por realizar un deshidratador de bandejas.

El funcionamiento de la máquina no es continuo por estar supeditada a la cosecha de la fruta, es decir una vez que se obtenga la producción se iniciará la deshidratación de la uvilla.

El equipo empleado en este proceso consta de una cámara de deshidratación apoyada sobre un armazón metálico con soporte móvil.

La cámara deshidratadora contiene 10 bandejas de acero inoxidable montadas sobre ángulos de soporte. El proceso de deshidratación se inicia al activar la resistencia eléctrica y por acción del ventilador el aire caliente se distribuye de manera uniforme en toda la cámara, produciéndose la eliminación de agua de la fruta.

Se presenta a continuación la vista de una sección isométrica de la máquina deshidratadora de frutas con varios de los componentes indicados, como se enseña en la figura 1.

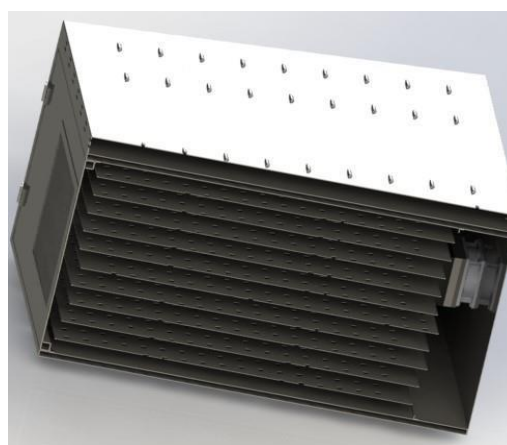


Figura 1. Vista de la sección isométrica de la deshidratadora de acero inoxidable AISI 304

El diseño de la bandeja se indica en la figura 2.

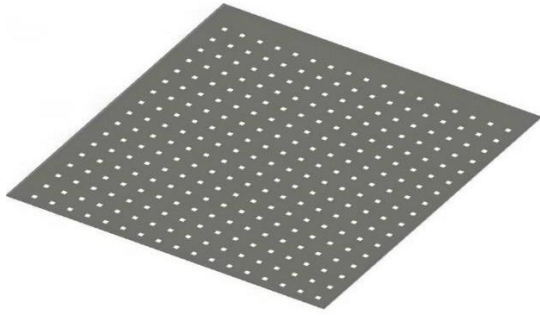


Figura 2. Diseño de la bandeja de acero inoxidable AISI 304

Se utilizan bandejas perforadas (ϕ 10 mm, distancia entre centros 16 mm), y según Maupoey et al. [2] el aire circula entre una capa sólida, ensanchando el área del sólido mostrada a la acción del aire reduciendo los tiempos del período de secado.

Maupoey et al. [2] menciona que el secado del equipo podría ser de flujo Transversal, donde el aire circula perpendicularmente por la cama a secar.

2.3. Fundamentos de transferencia de calor

Para el diseño y simulación del deshidratador de uvillas de bandejas se enuncian las ecuaciones que rigen el comportamiento de transferencia de calor en el sistema de deshidratación.

2.3.1 Calor por convección forzada

El concepto dado por Çengel y Ghajar [20] es la energía debido a la transferencia de temperatura en uno o varios cuerpos; siempre que existe una diferencia de temperatura (ΔT), la cual se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura; de acuerdo a los conceptos termodinámicos el calor es la energía que se transfiere como resultado de la diferencia de temperatura.

En este tipo de transferencia se obliga al fluido a fluir mediante medios externos como un ventilador o una bomba. La ecuación es la siguiente.

$$Q_{CV} = hA (T_s - T_\infty) \quad (1)$$

En la tabla 4 se muestra los cálculos de transferencia a de calor por convección.

Tabla 4. Cálculos de transferencia de calor por convección

Parámetro	h [W/m ² K]	A [m ²]	T [K]	T_∞ [K]	Q_c $\frac{v}{[W]}$
Valor	12,572	5,28	16	60	2919,76

h = coeficiente de transferencia de calor por convección para el fluido de trabajo (aire) cuyo valor va de 12,572 $\frac{W}{m^2K}$ [21]

A = Es el área superficial de todas las uvillas lo cual da un resultado de 5,28 m^2 , para una capacidad de 25 Kg.

T_s = Es la temperatura superficial a la cuál se encuentra el cuerpo.

T_∞ = Es la temperatura del aire ambiente

En la siguiente figura se muestra como ocurre la transferencia de calor por convección en la uvilla.

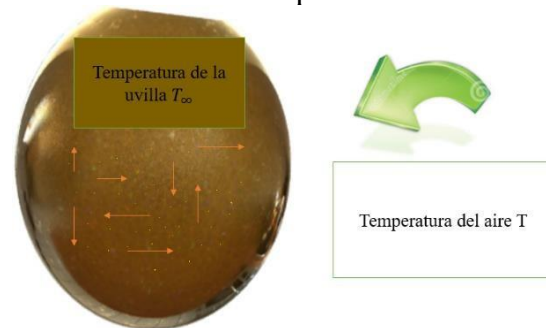


Figura 3. Gráfico que representa la transferencia de calor por convección en la uvilla

2.3.2 Calor sensible

Según Sánchez [22] calor sensible, refiere a la energía que absorbe las frutas que se van a deshidratar aumentando la temperatura en relación a la temperatura ambiente, sin que cambie su estructura molecular.

Este calor se representa en la ecuación presentada a continuación.

$$Q_s = \frac{m_h * C_{p\text{producto}} * (T_{\text{proceso}} - T_a)}{t_{\text{proceso}}} \quad (2)$$

Siendo:

$Q_s = \text{Calor sensible}$ [W]
 $m_h = \text{Masa del producto a deshidratar}$ [kg]
 $C_p \text{ prodcuto}$
 $= \text{Calor específico del producto}$ [kJ/kgK]
 $T_{\text{proceso}} = \text{Temperatura del proceso}$ [K]
 $T_a = \text{Temperatura del ambiente}$ [K]
 $t_{\text{proceso}} = \text{T tiempo del proceso de secado}$ [s]

Molibdeno	0,30
Carbono	0,05
Fósforo	0,03
Silicio	0,30
Zufre	0,002

Tabla 6. Características mecánicas del acero inoxidable AISI 304. [25] y [26]

Propiedades	Valor
Resistencia a la fluencia S_y , MPa	276
Resistencia última S_u , MPa	568
Módulo de elasticidad, kN/mm ²	187,5
Módulo de rigidez, kN/mm ²	70,3
Punto de fusión, °C	1454
Densidad, g/cm ³	8.0

En la tabla 5 se muestran los cálculos del calor sensible.

Tabla 5. Cálculo del calor sensible

Parámetro	$C_p \text{ pro}$ [kJ/kgK]	$T_{\text{proc.}}$ [K]	T_a [K]	m [kg]	t_{proc} [s]	Q_s [W]
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2.4. Diseño

2.4.1 Bandejas

El acero inoxidable AISI 304 es el acero que se ha elegido para el diseño ya que tiene los siguientes usos, tales como: tanques en general, industria de hospitales, alimentos, etc. [23]

Para el diseño de la máquina deshidratadora se ha considerado 10 bandejas de 734 × 720 mm con un grosor de 1,9 mm cada una, en la cual entran 809 uvillas, dando un total de 8088 uvillas aproximadamente en toda la máquina deshidratadora. Además cada bandeja soporta un peso de 25 N.

La composición química y propiedades mecánicas del acero AISI 304 se muestra en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Composición química (% peso) del acero inoxidable AISI 304 [24]

Elementos	Porcentaje
Cromo	18,10
Hierro	71,12
Manganeso	1,10
Níquel	9,00

La bandeja de la deshidratadora de frutas se ha realizado, como se detalla en la figura 4.

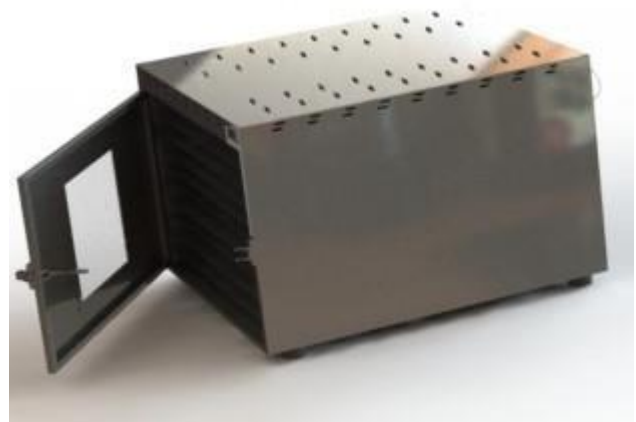


Figura 4. Diseño de la máquina deshidratadora de alimentos en acero inoxidable AISI 304

2.4.2 Aislante térmico

Para elaborar el diseño y construir a futuro un prototipo del deshidratador de uvillas se ha optado por utilizar como aislante térmico a la lana de vidrio ya que Polomo [27] manifiesta que el costo es el más económico junto a otros aislantes como poliuretano, lana de roca, corcho etc. Por tal motivo se indica las propiedades de la lana de vidrio en la tabla 7.

Tabla 7. Propiedades mecánicas de la lana de vidrio [27]

Propiedades	Unidades	Valor
Conductividad	W / mK	0,034
Producción de CO ₂	KgCO ₂	10,73
Entropía	MJ / Kg	71,03
<u>Reciclabilidad</u>		<u>Si</u>

2.4.3 Ventilador axial

Se eligió este tipo de ventilador debido a que presenta mayores beneficios a la máquina. Las características se aprecia en la tabla 8.

Tabla 8. Características de los ventiladores axiales. [28]

Características	Descripción
Resistencia al flujo	Muy baja
Presión estática mín.	5-25 mm cdH ₂ O
Trayectoria entrada de aire	Superficies cilíndricas coaxiales
Trayectoria salida de aire	Superficies cilíndricas coaxiales
Flujo de aire	Paralelo al eje de giro de la hélice
Instalación	Fácil
Eficiencia	95%
Dirección del fluido	Constante
Caudal	800-14000 cfm
Costo	Bajo
Caída de presión estática	Hasta 0,375 pulg. ca

3. Discusión y resultados

3.1 Límite elástico

Se analizo el límite elástico de la máquina deshidratadora mediante el esfuerzo realizado utilizando el método de Von Mises, los resultados se obtuvieron de la gráfica de colores generada por el programa de Solidworks obteniéndose los resultados más adecuados para la simulación.

Según el estudio realizado en la máquina deshidratadora de uvillas se obtuvo un esfuerzo medio realizado por Von Mises de 5,109 MPa, aplicado los 2,5 Kg por bandeja; en este punto se empieza a notar como la bandeja se deforma hacia los lados.

También en el estudio de Von Mises se observa el resultado de un esfuerzo máximo correspondiente a 10,22 MPa, debido a que la carga de 2,5 Kg genera una deformación casi imperceptible.

En la siguiente figura se muestra los esfuerzos de Von Mises resultantes que presenta la máquina deshidratadora.

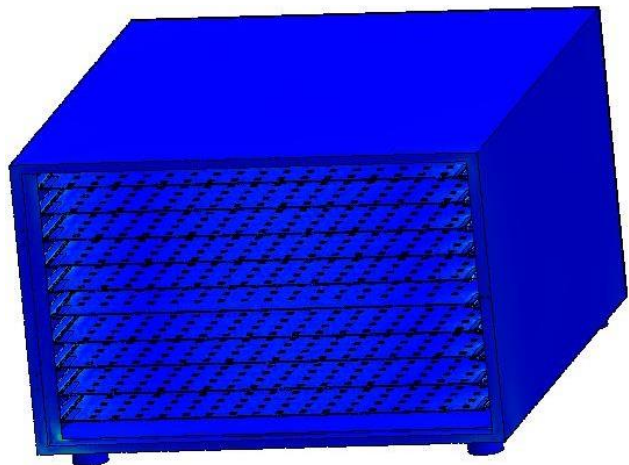


Figura 5. Esfuerzos resultantes de Von Mises

Los valores hallados en el estudio de esfuerzo por tensión en la máquina de deshidratación se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de los esfuerzos por tensión

Esfuerzo de Von Mises (MPa)	Resultados
Mínimo	0,001
Medio	5,11
Máximo	10,22

3.2 Desplazamientos resultantes

Se analizaron los desplazamientos resultantes de la máquina deshidratadora de uvillas utilizando el programa de Solidworks, dichos resultados se

obtuvieron mediante una gráfica de colores generada en el mismo programa según la función.

De acuerdo al estudio que se realizó en la máquina deshidratadora se obtuvo un desplazamiento de flexión resultante medio de 0,125 mm, aplicando los 2,5 Kg de materia (uvilla) por cada bandeja, anotando en este punto que el desplazamiento se presenta en los costados de las bandejas.

También existe un desplazamiento de flexión máximo de 0,250 mm, valor que incide en el centro de la bandeja aproximadamente, lo que genera una deformación por flexión casi imperceptible.

La tabla 10 detalla los valores encontrados en el estudio de desplazamiento por flexión que existen en la máquina deshidratadora.

Tabla 10. Resultados del desplazamiento por flexión

Desplazamiento por flexión(mm)	Valor
Mínimo	0
Medio	0,125
Máximo	0,25

En la Fig. 6 se muestra los desplazamientos resultantes que presenta la máquina deshidratadora.

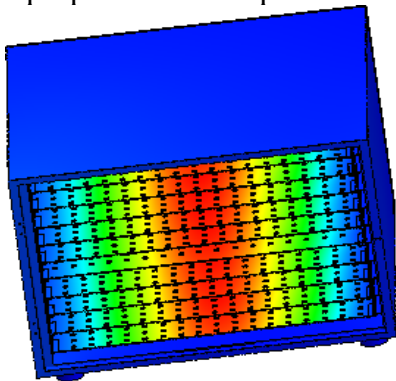


Figura 6. Desplazamientos resultantes que muestra la máquina deshidratadora

3.3 Deformación unitaria

Se analizaron los resultados de la deformación unitaria en la máquina deshidratadora de uvillas utilizando el programa de Autodesk Inventor, los

resultados se obtuvieron mediante la gráfica de colores generada en el mismo programa y se obtuvo los resultados adecuados para la función de la máquina.

En el análisis de resultados, obtenido en la máquina deshidratadora se tiene una deformación unitaria (ESTRN) media de 0,000041 aplicando una carga de 2,5 Kg, resultado que incide en la deformación de los costados de las bandejas, siendo este mínimo; además se obtiene una deformación unitaria (ESTRN) máxima de 0,000082 aplicando la misma carga, que es casi imperceptible en comparación a la deformación unitaria media que se da al centro de las bandejas.

La tabla 11 ilustra los valores encontrados en el estudio de la deformación unitaria (ESTRN) que se presentaron en la máquina deshidratadora.

Tabla 11. Resultados de la deformación unitaria (ESTRN)

Deformación unitaria(mm/mm)	Valor
Mínimo	0,0000000018
Medio	0,000041
Máximo	0,000082

La deformación unitaria que presenta el estudio de la máquina deshidratadora se puede apreciar en la Fig. 7

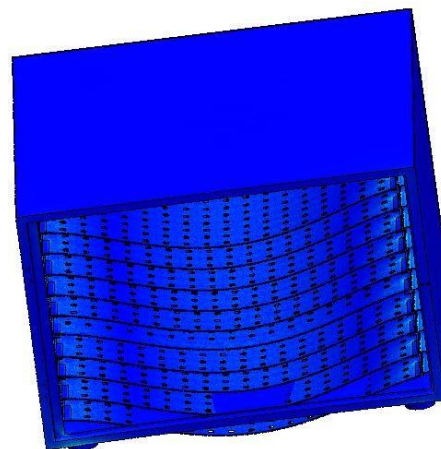


Figura 7. Deformación unitaria que se presenta en la máquina deshidratadora

3.4 Factor de seguridad(FS)

Se analizaron la carga (peso de la uvilla) en cada bandeja de la máquina deshidratadora para lo cual se utilizó el programa de SolidWorks y se obtuvieron diversos factores de seguridad los cuales se generaron mediante el programa y se obtuvo los resultados acordes a la carga para su posterior construcción ya que concuerdan con las medidas de seguridad y garantiza un correcto funcionamiento del mismo.

Según el estudio que se realizó en la máquina deshidratadora se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 20,24.

3.5 Calidad de malla

Mediante el programa de SolidWorks se realizó una simulación de la máquina deshidratadora un mallado con una calidad de malla fina que dio como resultado un cociente de aspecto que esta entre los valores de 1 y 15,76, siendo el objetivo de la malla que los esfuerzos que surgen en la máquina sean lo más aproximados a la realidad.

La figura 8 ilustra el cociente de aspecto.

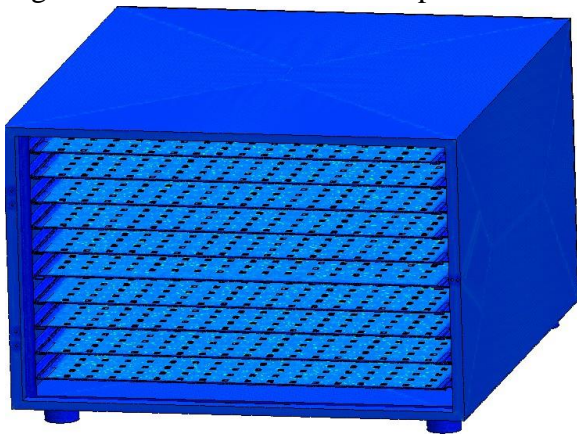


Figura 8. Cociente de malla que se presenta en la máquina deshidratadora

La tabla 12 indica los valores encontrados en el estudio de la calidad de malla que se presentaron en la simulación de la máquina deshidratadora.

Tabla 12. Resultados del cociente de aspecto

Cociente de malla	Valor
-------------------	-------

Mínimo	1
Medio	8,38
Máximo	15,76

3.6 Costos de los materiales

Para los costos se buscó los mejores materiales para la construcción de la máquina deshidratadora de uvillas, en lo referente al cuerpo de la máquina y bandejas, se buscó planchas de acero inoxidable AISI 304 en Import Aceros Industria metalmeccánica, para las bandejas se necesitan hacer los agujeros con corte Laser se hizo la cotización en corte Laser de metales y el resto de materiales electrónicos incluido el ventilador se buscaron en diferentes electrónicas. La tabla 13 presenta la proforma del costo de la construcción de la máquina deshidratadora.

Tabla 13. Costos de materiales para la construcción del deshidratador de uvillas

Ord	Material/ Partes	Can t	Costo Unitario	Costo Total
1	Plancha: 2 mm espesor acero Inox. AISI 304	2	\$227,68	\$455,36
2	Plancha con 2 mm acero Inox. AISI 304 para las bandejas	4	\$227,68	\$910,72
3	Pirómetro óptico	1	\$115	\$115
4	Termocupla Tipo K	1	\$78,00	\$78,00
5	Termostato	1	\$19,98	\$19,98
6	Vidrio Templado	1	\$30,00	\$30,00
7	Patas de apoyo de caucho	4	\$1,00	\$4,00
8	Ventilador axial 220 V 3 inches	1	\$110	\$110
9	Pernos M6	4	\$0,45	\$1,8

10	Lana de vidrio	7	\$7,00	\$49,00
11	Chapa para la puerta	1	\$3,50	\$3,50
12	Sensor de humedad y temperatura	1	\$9,40	\$9,40
13	Paro de emergencia	1	\$12,00	\$12,00
14	Pulsadores 2 Na y Nc	4	\$2,00	\$8,00
15	Mano de obra (Montaje, corte laser y dobladora)	8	\$30,00	\$240,00
16	Cableado		\$30,00	\$30,00
17	Resistencias	2	\$31,36	\$62,72
Costo Total				\$2139,48
				8

$L = \text{factor de carga}$

$t_{wo} = \text{T tiempo de recuperación del capital}$
 En la siguiente tabla se muestra los parámetros para el costo de producción.

Tabla 14. Valores de los diferentes parámetros para el costo de producción

Ord.	Parámetros	Valor
2	m	25 Kg
3	f	$\frac{1}{10}$
4	C_c	\$2139,48
5	C_{oh}	\$400
6	n	1011
7	L	8
8	t_{wo}	1

3.7 Costos de producción

El resultado de los costos de producción en este proceso está en función de los parámetros más influyentes como lo son el costo del material (C_m)

y la masa de unidad a producir.

Para obtener el costo de producción de 25 Kg de Uvillas(C) se utiliza la siguiente ecuación que se detalla a continuación como se muestra.

$$C = \frac{m * C_m}{(1 - f)} + \frac{1}{n} \left(\frac{C_c}{L * t_{wo}} + C_{oh} \right) \quad (2)$$

Siendo:

$$C_m = \text{Costo del material} \quad \left[\frac{\$}{Kg} \right]$$

$$m = \text{Masa de la unidad a producir} \quad [Kg]$$

$$f = \text{fracción desperdiciada}$$

$$C_c = \text{Costo de equipo} \quad [\$]$$

$$C_{oh} = \text{Tasa de gastos generales}$$

$$n = \text{Tasa de producción} \quad \left[\frac{\text{unidades}}{\text{hora}} \right]$$

Resolución de la ecuación (2).

$$C = \frac{25 \text{ Kg} * 1,50}{\left(1 - \frac{1}{10}\right)} + \frac{1}{1011} \left(\frac{\$2139,48}{8 * 1} + \$400 \right)$$

$$C = \$42,32$$

Costo de producción de 25 Kg de uvilla fresca.

3.8 Estudio realizado con lámina de 1,5 mm de espesor para las bandejas.

Se realizó una simulación adicional en el programa de SolidWorks para comparar el estudio de las láminas. Aunque el espesor considerado de 1,5 mm no existe en el mercado.

Los resultados para la disminución del espesor de la lámina (1,5 mm), se especifican en la siguiente tabla que son dados por el programa de SolidWorks. Los parámetros analizados son el esfuerzo realizado en las bandejas, el factor de seguridad y el desplazamiento por flexión que se da en las bandejas.

Tabla 15. Resultados para un espesor de lámina de 1,5 mm

	Límite elástico σ_f (MPa)	F.D.S	Desplazamiento por flexión(mm)
Mínimo	0	1	0
Máximo	179,411	100	4,365

4. Conclusiones

El presente estudio permitió diseñar una deshidratadora con capacidad para deshidratar 25 kg de uvillas en 8 horas, además con la utilización del programa Solidworks se realizaron simulaciones obteniéndose varios datos con los cuales se puede comprobar la calidad del material, la resistencia y la seguridad que esta proporciona al operario.

Concomitantemente a lo anterior se obtuvieron los siguientes datos: el límite elástico medio corresponde a 5,11 MPa y máximo de 10,22 MPa, el desplazamiento medio es de 0,125 mm y máximo de 0,250 mm, la deformación unitaria media es de 0,000041 mm/mm y máximo 0,000082 mm/mm, con un FDS de 20 que garantiza tanto la seguridad de la máquina como del operador.

Esta máquina tiene un largo de 734 mm, fondo de 819 mm y una altura de 500 mm, que son las medidas requeridas para el presente proyecto.

Por lo tanto, los resultados y análisis obtenidos de los cálculos realizados indica la factibilidad de la futura construcción de la máquina deshidratadora de uvillas.

Se determinó que la fuente más adecuada para realizar la construcción de la máquina deshidratadora es la fuente de energía térmica debido a los componentes que tiene la máquina que son de fácil instalación y uso.

Analizando los respectivos costos de los materiales en el mercado se concluye que el proyecto es factible y rentable en costos, anotando

que la recuperación de la inversión se da a partir del 3 año.

5. Recomendaciones

Se recomienda en la aplicación del programa SolidWorks se considere que el cociente de malla sea lo más bajo posible, ya que al momento de fabricar el equipo se obtendría mejores resultados en cuanto a esfuerzos y al factor de seguridad de la máquina.

Los nuevos proyectos de deshidratadores deben ser automatizados con la finalidad de disminuir el riesgo para el operador.

Con la finalidad de obtener un producto final de calidad, los procesos tanto de producción como selección de la materia prima deben ser continuos.

La implementación de esta nueva tecnología, requiere de capacitación y manejo integral de la fruta, para obtener resultados óptimos.

3 Referencias

- [1] J. V. Galaviz, Estrategia Tecnológica Sustentable Para Deshidratar Frutas; Verduras y Legumbres, Espana: Palibrio, 2012.
- [2] P. F. Maupoey, A. M. Andrés Grau, J. M. Barat Baviera y A. M. Albors Sorolla, Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Valencia: Universitat Politècnica de València, 2016.
- [3] H. Criollo y P. A. Upegui, «Determinación de la madurez fisiológica de semillas de uvilla(*Physalis peruviana* L.),» *Revista de ciencias agrícolas*, vol. XXII, nº I-II, pp. 1-13, 2005.
- [4] Anónimo, «Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca,» 2020. [En línea]. Available:

- <https://www.proecuador.gob.ec/oferta-de-uvilla-ecuatoriana-en-mercados-potenciales-2020/>. [Último acceso: 6 Agosto 2020].
- [5] J. Espinoza S., «Innovación en el deshidratado solar,» *Ingeniere. Revista chilena de ingeniería*, vol. 24, n° Número Especial, pp. 72-80, 2016.
- [6] S. Navarrete, «Diseño paramétrico.El gran desafío del siglo XXI,» pp. 63-72, 2014.
- [7] J. A. Godoy-Barrera, J. d. J. E. Barrientos-Ávalos, A. Rodríguez-García y M. Méndez-Mendoza, «Deshidratador solar/eléctrico de alimentos con comunicación a dispositivo móvil,» *Revista de Tecnologías de la Información y Comunicaciones*, vol. 3, n° 10, pp. 13-20, 2019.
- [8] S. A. Marrero Osorio y J. Martínez Escanaverino, «Estrategia para el diseño paramétrico basado en modelos,» *Revista de ingeniería mecánica*, pp. 39-46, 2008.
- [9] A. A. El-Sebaï y S. M. Shalaby, «Solar drying of agricultural products: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n° 1, pp. 37-43, 2012.
- [10] A. De Michelis y E. Ohaco, «Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos,» de *Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*, Neuquén, Inta Ediciones, pp. 4-5.
- [11] M. Casaburi, N. Flamini, J. Lettieri, M. Therisod y M. Stambulliam, «Revisión bibliográfica sobre la migración de metales y otros elementos desde utensilios de cocina hacia los alimentos,» *Revista Nutrición Investiga*, vol. IV, n° 1, pp. 1-58, 2019.
- [12] P. Vanegas Mahecha y A. Parra Coronado, «Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de secador dinámico para la obtención de pulpas de frutas deshidratadas laminadas,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 31, n° 1, pp. 163-170, 2011.
- [13] P. A. Llumiyinga Moromenacho y B. S. Suquillo Pulupa, *Artists, Diseño y construcción de un prototipo de deshidratador de frutas de capacidad de 12 Kg con circulación de aire forzado utilizando resistencias eléctricas*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [14] R. E. Hadenburg, *Alimento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros*, San José: IICA, 1988.
- [15] P. A. Alvarado, C. A. Berdugo y G. Fischer, «Efecto de un tratamiento de frío (a 1,5° C) y la humedad relativa sobre las características físico-químicas de frutos de uchuva *Physalis peruviana* L. durante el posterior transporte y almacenamiento,» *Agronomía Colombiana*, vol. 22, n° 2, pp. 147-159, 2004.
- [16] A. M. Castro, L. Rodríguez y E. M. Vargas, «Secado de uchuva (*Physalis Peruviana* L) por aire caliente con pretratamiento de osmodeshidratación,» *Vitae Revista de la facultad de química farmacéutica*, vol. 15, n° 2, pp. 226-231, 2008.
- [17] N. Gimferrer Morató, «Eroski Consumer,» 26 3 2008. [En línea]. Available: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/el-agua-en-los-alimentos.html>. [Último acceso: 7 10 2021].
- [18] C. R. Friedrich, «La importancia de la Aw- Actividad del agua- Equinlab,» 14 9 2009. [En línea]. Available: http://www.equinlab.com/pdf_/La%20importancia%20de%20la%20activida

- d%20de%20agua%20(aw).pdf. [Último acceso: 7 10 2021].
- [19] G. Yıldız, N. İzli, H. Ünal y V. Uylaşer, «Physical and chemical characteristics of goldenberry fruit (*Physalis peruviana* L.),» *Springer*, vol. 52, n° 4, pp. 2320-2327, 2015.
- [20] Y. A. Çengel y A. J. Ghajar, «Convección,» de *Transferencia de calor y masa*, México D.F, McGraw-Hil, 2011, pp. 25-26.
- [21] W. F. Changoluiza Cunuhay y D. R. Martínez Córdova, Artists, *Implementación de una máquina deshidratadora de insumos vegetales para el sector agroalimentario del cantón La Maná*. [Art]. Universidad técnica de Cotopaxi extensión La Maná, 2022.
- [22] M. Sánchez, Procesos de elaboración de alimentos y bebidas, Madrid: AMV Ediciones, 2003.
- [23] Anónimo, «La paloma compania de matalas S.A de C.V,» 21 02 2019. [En línea]. Available: https://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metalas/aceroinoxidable.html. [Último acceso: 23 08 2021].
- [24] Y. Hedberg, M. E. Karlson, E. Blomberg y J. Hedberg, «Colloids and Surfaces B : Biointerfaces Correlation between surface physicochemical properties and the release of iron from stainless steel AISI 304 in biological media,» *ScienceDirect*, vol. 122, pp. 216-222, 2014.
- [25] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, «Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales,» de *Diseno en ingeniería mecánica de Shigley*, México, McGraw-Hill Interamericana, 2008, p. 1007.
- [26] Alloy wire international, «Fabricantes de alambre, barras y cable de alambre de aleaciones exóticas de altas prestaciones,» 21 6 2017. [En línea]. Available: <https://www.alloywire.es/products/stainless-steel-304/>. [Último acceso: 30 5 2022].
- [27] M. Palomo Cano, Artist, *Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos*. [Art]. Universidad Politécnica de Madrid, 2017.
- [28] C. A. Echeverri Londoño, «Ventiladores,» de *Ventilación industrial*, Medellín, Ediciones de la U., 2011, p. 128.
- [29] S. M. D. J. Magaña-Barrera, B. López Salazar, U. Palma López y H. D. Hidalgo Leal, «Aprovechamiento de frutas y hortalizas de temporada de la Región de Tabasco, mediante la deshidratación del producto, utilizando una estufa solar,» *Revista de energías renovables*, vol. 3, n° 9, pp. 35-40, 2019.
- [30] J. Á. Saiz Jimenez y L. Cornejo Royo, «Secado de alimentos mediante energía solar,» *3C Tecnología*, vol. 3, n° 4, pp. 234-244, 2014.
- [31] G. Medina, Artist, *Determinación del potencial nutritivo y nutraceutico de dos ecotipos de uvilla (*Physalis Peruviana* l) y granadilla (*Passiflora Ligularisl*)*. [Art]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2006.
- [32] M. Sahul, E. Tomčíková, M. Sahul, M. Pašák, B. Ludrovcová y E. Hodúlová, «Effect of Disk Laser Beam Offset on the Microstructure and Mechanical Properties of Copper—AISI 304 Stainless Steel Dissimilar Metals Joints,» *MDPI*, vol. 10, n° 10, pp. 2-22, 2020.

