

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO MECATRÓNICO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE  
MEDIANA CAPACIDAD, ASISTIDO POR BOMBA DE CALOR  
HÍBRIDA SOLAR, PARA EL SECADO SUSTENTABLE DE  
PRODUCTOS AGRÍCOLAS**

**DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL  
DESHIDRATADOR SOLAR Y SU CONTROL AUTOMÁTICO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**ERICK SANTIAGO CHICAIZA LEMA**

**erick.chicaiza@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: DR. ÁLVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGÁN**

**alvaro.aguinaga@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2023**

## CERTIFICACIONES

Yo, ERICK SANTIAGO CHICAIZA LEMA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



ERICK SANTIAGO CHICAIZA LEMA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ERICK SANTIAGO CHICAIZA LEMA, bajo mi supervisión.



DR. ÁLVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGÁN

DIRECTOR

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ERICK SANTIAGO CHICAIZA LEMA

DR. ÁLVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGÁN

## DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Integración Curricular con mucho cariño y amor a mis padres y toda mi familia por ser el motivo principal en crecer profesionalmente.

Dedico a las personas que deseaban seguir una carrera universitaria, pero vieron sus sueños truncados por problemas económicos, especialmente a los jóvenes brillantes que conocí en mi infancia y adolescencia, el esfuerzo y la dedicación rendirán frutos algún día. No debemos ver hacia abajo, nosotros forjamos nuestro destino y depende de nosotros que tan grande sea nuestro futuro.

También dedico este trabajo a mi yo de la infancia, un niño que nunca pensó culminar una carrera universitaria debido a las condiciones por las que pasaba, pero su tenacidad nos llevó a culminar 18 años de estudios con este documento, la vida nos puso muchas pruebas y supimos superarlas una a una, y de lo que hemos logrado espero que te sientas orgulloso, pero no conforme.

*“Innumerables fueron las noches que no dormí para vivir este sueño”*

*Erick Santiago Chicaiza Lema*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios por la salud y la vida. A la Virgen del Quinche por proteger a toda mi familia y bendecirme a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis padres Gonzalo y María por el amor, motivación y apoyo en cada proyecto que me he planteado, por forjar en mí valores morales que me acompañarán por el resto de mi vida. Prometo seguirme esforzando para llenarlos de orgullo.

A mis hermanos Jessica, Alex, Fernando, Oscar y Anahí, por ser mis amigos, entenderme y acompañarme cuando más los he necesitado. Deseo ver en un futuro cercano a mis tres hermanos menores culminar sus carreras para llenar de alegría a nuestros padres.

A mi tía Olimpia y mi primo Xavier, que son como segundos padres para mí, ustedes me vieron crecer y han estado presentes en todos los momentos importantes de mi vida. Gracias por todo el apoyo tanto emocional como económico.

A Denisse por acompañarme desde el minuto cero en mi vida universitaria, por ser el complemento perfecto para lograr esta meta en mi vida, nunca dudó de mis capacidades y es el motor que constantemente me impulsa a ser mejor. Gracias por ayudarme a tomar elecciones importantes, por cada abrazo y palabras de apoyo. También agradezco a sus padres y su familia por acogerme como uno más de ellos y aconsejarme como un hijo.

A mis amigos Danny, Martin, Dylan, Jhoan, José, Raúl, Melissa, Nicolás, Gustavo y más amigos que encontré en la universidad, las experiencias compartidas hicieron inolvidable la carrera universitaria. También un agradecimiento especial para mi amiga Ana Victoria por su ayuda al inicio de la carrera.

Agradezco también al Instituto Nacional Mejía y a todos mis profesores que dejaron en mí la semilla para declinarme por mi carrera universitaria.

Finalmente, agradezco a la Escuela Politécnica Nacional y todos los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos conmigo, especialmente al Dr. Álvaro Aguinaga Barragán, quien fue director y guía importante en la culminación de este documento.

A todos ustedes no me alcanzará la vida para agradecerles

*Erick Santiago Chicaiza Lema*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico.....	4
Métodos de deshidratación de alimentos .....	4
Deshidratación natural .....	4
Deshidratador solar .....	5
Deshidratador solar directo .....	6
Deshidratador solar indirecto .....	7
Producción agrícola de las comunidades rurales del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.....	7
Situación climatológica.....	8
Bombas de calor .....	8
Bomba de calor aire-aire.....	9
Bomba de calor aire-agua.....	10
Bomba de calor agua-agua.....	10
Bomba de calor tierra-agua y tierra-aire.....	10
Deshidratadores solares actuales .....	11
2 METODOLOGÍA .....	14
2.1 Enfoque metodológico .....	14
2.2 Descripción del proceso dentro del deshidratador.....	15
2.3 Diseño de elementos mecánicos .....	15
2.4 Elección de material base .....	16
2.5 Portabandejas .....	17
Antecedentes .....	17
Análisis .....	17

Cálculos .....	18
2.6    Bandejas .....	23
Antecedentes .....	23
Análisis .....	24
Especificaciones de los bordeados .....	25
2.7    Chimenea .....	26
Antecedentes .....	26
Análisis .....	26
Optimización.....	27
2.8    Puerta de la cámara de deshidratación.....	27
Antecedentes .....	27
Análisis .....	27
Optimización.....	28
2.9    Portabandejas de la cámara de deshidratación.....	28
Antecedentes .....	28
Análisis .....	28
2.10   Ensamblaje de la cámara deshidratación.....	29
Elección de remaches .....	29
2.11   Diseño del colector .....	31
Antecedentes .....	31
Estructura del colector .....	31
Cubierta protectora.....	32
Placa absorbente de calor .....	33
Estructura de asentamiento .....	33
Ensamble del colector .....	34
2.12   Diseño de la ductería .....	34
Accesorios dentro de la ductería .....	36
2.13   Ensamble del deshidratador.....	37
3    RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
3.1    Resultados .....	39
Calentamiento inicial del deshidratador solar con bomba de calor común.....	39
Matrices del sistema .....	40
Calentamiento inicial del deshidratador solar con bomba de calor asistida por colectores solares híbridos PV/T (BCSH) .....	41
4    Conclusiones .....	42
5    Recomendaciones.....	43

6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
7	ANEXOS.....	47
	ANEXO I .....	47
	ANEXO II .....	48
	ANEXO III .....	50



## RESUMEN

La finalidad del presente Trabajo de Integración Curricular “DISEÑO MECATRÓNICO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE MEDIANA CAPACIDAD, ASISTIDO POR BOMBA DE CALOR HÍBRIDA SOLAR, PARA EL SECADO SUSTENTABLE DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS” es realizar un diseño óptimo de los componentes mecánicos del deshidratador solar y su control automático para solventar el actual método de deshidratación, el cual utiliza combustibles como el gas GLP o energía eléctrica. Los métodos antes mencionados afectan al olor, color y sabor, sin mencionar la pérdida de nutrientes. Por otra parte, el secado sustentable busca conservar los productos agrícolas hasta por un año manteniendo las propiedades nutritivas y el aspecto ideal.

La propuesta de implementar bombas de calor híbrida solar nace debido a la ubicación del Ecuador, en donde los rayos solares caen de forma perpendicular y la energía entregada por el sol puede ser aprovechada especialmente para reducir costos de producción en zonas rurales del país. La implementación de esta alternativa ecológica representa varias ventajas frente a los métodos actuales, el uso de bombas de calor híbrida solar además de ser de fácil manejo y bajo costo reducirá tiempos de secado y mejoramiento del producto.

El presente documento es un apartado de estudio de los componentes mecánicos del diseño de un deshidratador, el análisis energético se presenta en un documento similar. Ambos trabajos explican de forma completa el diseño mecatrónico de un deshidratador solar. Se menciona lo anterior para interés del lector.

**PALABRAS CLAVE:** deshidratador, bombas de calor híbrida solar, secado sustentable.

## **ABSTRACT**

The purpose of this Curricular Integration Work "MECHATRONIC DESIGN OF A MEDIUM CAPACITY SOLAR DRYER, ASSISTED BY SOLAR HYBRID HEAT PUMP, FOR THE SUSTAINABLE DRYING OF AGRICULTURAL PRODUCTS" is to carry out an optimal design of the mechanical components of the solar dehydrator and the control automatic to solve the current method of dehydration, which uses fuels such as LPG gas or electric power. The methods before appearing to smell, color and taste, not to mention the loss of nutrients. On the other hand, sustainable drying seeks to preserve agricultural products for up to one year while maintaining nutritional properties and ideal appearance.

The proposal to implement solar hybrid heat pumps was born due to the location of Ecuador, where the sun's rays fall perpendicularly, and the energy delivered by the sun can be used specially to reduce production costs in rural areas of the country. The implementation of this ecological alternative represents several advantages compared to current methods, the use of solar hybrid heat pumps, in addition to being easy to use and low cost, will reduce drying times and improve the product.

This document is a study section of the mechanical components of a dehydrator design, the energy analysis is presented in a similar document. Both works fully explain the mechatronic design of a solar dehydrator. The above is mentioned for the interest of the reader.

**KEYWORDS:** dehydrator, hybrid solar heat pumps, sustainable drying.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El presente trabajo denominado Trabajo de Integración Curricular fue dividido en dos componentes; componente mecánico y componente térmico. Este documento cuenta con el diseño de los componentes mecánicos: estructurales y funcionales, del deshidratador solar y control automático. Por lo que se presentaron los diseños de los elementos mecánicos o estructurales que conformarán el deshidratador solar, así como los cálculos que establecieron la cantidad máxima que se debe ingresar a la cámara de deshidratación.

Los elementos estructurales o mecánicos que se presentaron en este trabajo se detallan a continuación según cada módulo.

- Cámara de deshidratación. – en este módulo se presenta el diseño del portabandejas, bandejas, chimenea, techo de la chimenea, puerta de la cámara de deshidratación. En tanto a los cálculos, se muestran los valores de cantidad de producto máximo, análisis del pandeo en las columnas del portabandejas y cálculo para la selección de remaches según la fuerza de cizallamiento.
- Ductos. – este apartado es separado del módulo anterior solo para simplificar el diseño, debido a que la ductería solo permite circular el aire caliente seco que se dirige a la cámara de deshidratación.
- Colector. – es el lugar en donde se calentará el aire en la primera etapa. Se considera como primera etapa debido a que la bomba de calor ayudará a que el aire aumente más la temperatura. Se presenta el diseño del colector y ventilador que se utilizará.

Los elementos que se presentan en este componente son los diseños finales después de que se descartaron prototipos anteriores. De igual forma para los materiales, se muestran los materiales que se consideraron mejores en el momento que fue escrito este documento.

El documento que cuenta con la información de los componentes térmicos que complementan este trabajo de titulación se publicará de forma simultánea.

Finalmente, el documento cuenta con información sobre los materiales que se pueden utilizar para que el lector pueda recrear la máquina (el cambio de material queda a criterio del constructor en caso de buscar una alternativa al material propuesto), es decir, en cada diseño se presenta información en forma de cita de los distribuidores que podrían facilitar la adquisición de dichos materiales dentro del territorio.

## 1.1 Objetivo general

Diseñar de los componentes mecánicos un deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrida solar, para el secado sustentable de productos agrícolas con enfoque mecatrónico, desarrollando la tecnología de los deshidratadores solares de fácil manejo y bajo costo destinado a productores de las comunidades rurales del Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.

## 1.2 Objetivos específicos

1. Determinar procedimientos, parámetros de funcionamiento y características técnicas de los deshidratadores solares para el secado sustentable de productos agrícolas.
2. Realizar el levantamiento de información de la producción de los sectores rurales del Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.
3. Desarrollar tecnologías que mejoren la eficiencia de un deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrida solar.
4. Diseñar un deshidratador solar asistido por bomba de calor solar híbrida de fácil manejo y bajo costo, para determinar las especificaciones técnicas de los componentes que intervengan en el mismo.

## 1.3 Alcance

En la ejecución del Trabajo de Integración Curricular se realizarán las siguientes actividades en cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos propuestos:

**Objetivo específico 1 (OE1):** Determinar procedimientos, parámetros de funcionamiento y características técnicas de los deshidratadores solares para el secado sustentable de productos agrícolas.

- *Actividad (A1.1):* Recopilación de información documental.
- *Actividad (A1.2):* Evaluación de la información recopilada.
- *Actividad (A1.3):* Elaboración del informe con la información documental para establecer los procedimientos, parámetros de funcionamiento y características técnicas de los deshidratadores para el secado sustentable.

**Objetivo específico 2 (OE2):** Realizar el levantamiento de información de la producción de los sectores rurales del Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.

- *Actividad (A2.1):* Recopilación de información de los productos agrícolas que más aprovecharían el deshidratador.
- *Actividad (A2.2):* Análisis y evaluación de los datos levantados.
- *Actividad (A2.3):* Elaboración de documentos memoria y esquematización de la tecnología desarrollada para los deshidratadores, asistidos por bomba de calor híbrida, de alta eficiencia energética.

**Objetivo específico 3 (OE3):** Desarrollar tecnologías que mejoren la eficiencia de un deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrida solar.

- *Actividad (A3.1):* Revisión bibliográfica de patentes presentes de deshidratadores asistidos por bomba de calor híbrida solar.
- *Actividad (A3.2):* Análisis de la información recopilada y sinterización de la misma.
- *Actividad (A3.3):* Elaboración de la memoria y esquemas de la tecnología desarrollada para los deshidratadores, asistidos por bomba de calor híbrida, de alta eficiencia energética.

**Objetivo específico 4 (OE4):** Diseñar los componentes mecánicos un deshidratador solar asistido por bomba de calor solar híbrida de fácil manejo y bajo costo, para determinar las especificaciones técnicas de los componentes que intervengan en el mismo.

- *Actividad (A4.1):* Desarrollar diseños para los componentes mecánicos del deshidratador solar asistido por bomba híbrida solar para fácil manejo para el secado sustentable de productos agrícolas en las comunidades rurales del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.
- *Actividad (A4.2):* Análisis económicos de los diseños de los componentes mecánicos del deshidratador solar asistido por bomba híbrida solar para fácil manejo para el secado sustentable de productos agrícolas en las comunidades rurales del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.
- *Actividad (A4.3):* Elaboración de documentos memoria de los diseños realizados y especificaciones técnicas, así como los planos de los componen del deshidratador solar asistido por bomba híbrida solar para fácil manejo para el secado sustentable de productos agrícolas en las comunidades rurales del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.

## **1.4 Marco teórico**

Desde la antigüedad la humanidad se ha interesado en formas de preservar los alimentos y la primera forma en la que lo consiguieron fue el secado de los alimentos exponiéndolos al sol. La exposición al sol provoca la deshidratación del alimento y con eso se logra prolongar el tiempo de consumo además de conservar las propiedades nutricionales e incluso el sabor. Por otra parte, existe otra forma de deshidratar los alimentos, el cual es la implementación de un deshidratador solar, ambas formas siguen el mismo principio, retirar la humedad de los alimentos, pero existen varias diferencias entre ellas.

### **Métodos de deshidratación de alimentos**

Mucho antes de que existiera métodos de refrigeración y congelación de alimentos, el ser humano se vio en la necesidad de conservar sus productos y fue así como en la antigüedad utilizaron la energía del sol para conservar los alimentos mediante la deshidratación. La lista de alimentos que se pueden deshidratar es muy amplia y entre los más importantes tenemos: granos, frutas, verduras, pescado, carne, entre otros. Las dos formas de deshidratación se presentarán a continuación.

#### **Deshidratación natural**

Este método de deshidratación es el más antiguo y por su simpleza es el que se ha utilizado por varios siglos, consiste en exponer los alimentos al aire libre aprovechando las condiciones climáticas. La humedad de los alimentos es removida con el calor en el ambiente gradualmente. Una de las desventajas de este proceso es la exposición por varios días y que las condiciones ambientales deben cumplir que la temperatura supere los 30°C y la humedad relativa sea menor al 60%, por lo que no se puede garantizar que todos los días pueda perder humedad el alimento (Cocina Solar, 2022).

Dentro de este proceso existen varias maneras de exponer los alimentos al sol, siendo los siguientes tres los más comunes:

- Exposición sobre el suelo. – se colocan los alimentos sobre una manta y se expone al sol. Es comúnmente utilizado para el secado de granos, pero se considera de poca higiene.
- Bandejas planas. – se coloca el producto sobre bandejas para exponerlas al sol. La desventaja de este proceso es que el secado se produce de forma heterogénea ya que se le dificulta eliminar la humedad de la superficie de contacto entre el alimento y la bandeja, además de que en esa sección se forma costras que podrían generar mal olor en el caso de formaciones excesivas.

- Colgantes. – se coloca los alimentos a través de hilos o se los tiende sobre una malla para evitar el uso de bandejas, así el alimento se puede deshidratar de forma más eficiente, pero podría estar expuesto a gases que podrían alterar el sabor o la textura del alimento.



**Figura 1.** Deshidratación natural de hortalizas (De Michelis & Ohaco, 2015).

Finalmente se considera que la ventaja principal es la sencillez con la que se realiza, ya que no se necesita de mucha inversión económica para poder realizarla. Sin embargo, la principal desventaja es que tiene total dependencia de las condiciones climáticas y este factor no se puede controlar.

### **Deshidratador solar**

El deshidratador solar está conformado principalmente por la cámara de secado y el colector. El colector es en donde es aprovechada la energía solar para calentar el aire que se encuentra en el interior y la cámara de secado es en donde se coloca los alimentos que se desean deshidratar. El proceso que sucede dentro esta máquina trata de simular al proceso tradicional de secado, con la diferencia que lo hace con mayor rapidez y sin exponer los alimentos directamente al ambiente por lo que lo hace más higiénico, el principio es que el aire dentro del colector se calienta al punto de perder humedad, la humedad es expulsada al exterior de la máquina y el aire caliente y seco circula por los alimentos en donde es capaz de absorber humedad nuevamente.



**Figura 2.** Deshidratador solar de línea (SAECSA, 2019).

Existe una gran variedad de deshidratadores solares, incluso pueden construirse de forma casera, pero en donde se notará la diferencia será en el producto final, ya que variedad de máquinas es principalmente porque no todos los alimentos se deshidratan de la misma manera o simplemente se trata de mejorar el producto final, disminuyendo los tiempos de secado, eliminación de olores, conservación de textura, conservación de las propiedades nutricionales, entre otras necesidades. Dentro de los deshidratadores solares existen dos formas de clasificarlos.

### **Deshidratador solar directo**

Esta forma de deshidratación es la más rápida, ya que la cámara y el colector están juntos, por lo que los alimentos son capaces de absorber calor y eliminar humedad de forma directa, lo que acelera el proceso de secado.



**Figura 3.** Deshidratación solar directa (De Michelis & Ohaco, 2015).



### **Deshidratador solar indirecto**

En esta forma la cámara y colector trabajan de forma separada, por lo que el alimento no esta es capaz de eliminar la humedad de forma directa, si no que el aire se calienta en el colector y mediante un ventilador se hace circular el aire por todo el interior de la cámara de secado.



**Figura 4.** Deshidratación solar indirecta *(De Michelis & Ohaco, 2015).*

### **Producción agrícola de las comunidades rurales del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito**

El sector rural del Noroccidente de Quito se dedica principalmente a las actividades agrícolas debido a que sus ingresos económicos dependen de ello, es por eso que se debe buscar formas para proteger los productos luego de la cosecha, ya que debido a la maduración estos pueden llegar a dañarse, además de climas impredecibles como: lluvias excesivas, sequias, heladas, pueden dañar la producción desde la formación de la planta y una manera de no afectar los ingresos económicos, es prolongar la durabilidad de su producción, esto evitará las desigualdades y en un futuro la tecnificación de su producción podría mejorar.

El Distrito Metropolitano de Quito está conformado por 65 parroquias, las cuales se dividen en 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales, pero el estudio se centrará en el noroccidente de Quito, teniendo como principales a las parroquias de Pacto, Gualea, Nanegalito, Nanegal, Nono y Calacalí. Las parroquias mencionadas tienen similar producción de productos agrícolas. A continuación, se presenta los principales productos según los PDOTs (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial) de cada parroquia.

**Tabla 1.** Productos agrícolas más producidos en la zona rural del noroccidente de Quito

Parroquias					
Pacto	Gualea	Nanegalito	Nanegal	Nono	Calacalí
Maíz, maní, zanahoria, frejol, zapallo, plátano, yuca.	Maíz, frejol, café, cacao, naranja, naranjilla, limón, mandarina, guayaba, plátano, papaya.	Maíz, café, frejol, yuca, plátano, caña de azúcar.	Maíz, yuca, aguacate, naranja, limón, sandia, guayaba, zanahoria.	Maíz, papas, mellocos, frejol, cebolla, zambo, habas,	Maíz, habas, frejol, apio, papas.

### Situación climatológica

Las parroquias de la zona rural del noroccidente de Quito, mismas que ya fueron mencionadas en la tabla 1, forman parte del Chocó Andino, mismo que se caracteriza por ser una zona de los andes tropical con mucha humedad y clima cálido. En la siguiente tabla se presenta los datos del rango de temperatura de las parroquias que conforman el noroccidente de Quito.

**Tabla 2.** Información climática de las parroquias de la zona rural del noroccidente de Quito.

Parroquias	Pacto	Gualea	Nanegalito	Nanegal	Nono	Calacali
Temperatura [°C]	17-20	20-24	15-22	12-28	14-15	12-22
Humedad relativa [%]	65-80	70-80	90	75-89	75-89	77-89

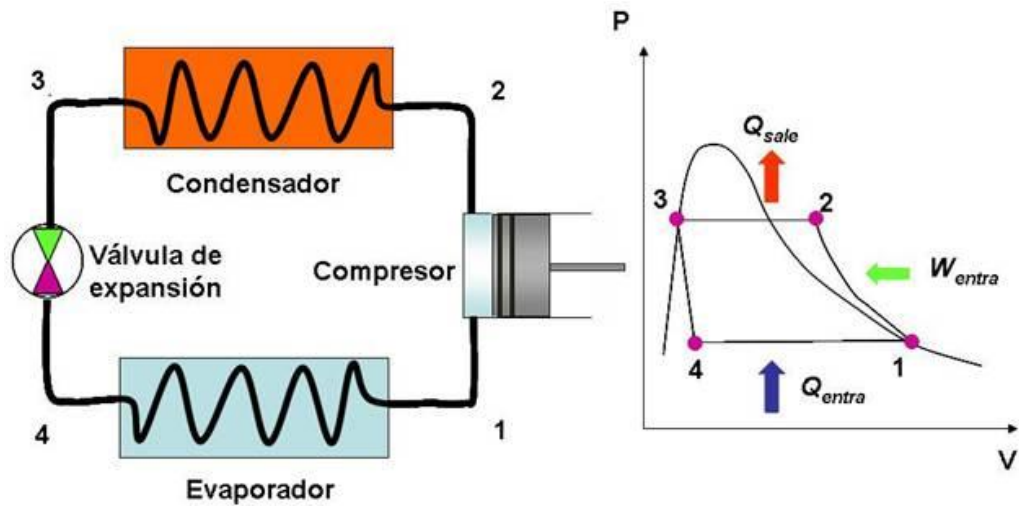
La información climática de cada parroquia fue compilada de la página en línea Worldmeteo, en donde se encuentra la información tanto de temperatura, humedad relativa, precipitación, salida del sol. Con lo que se evidencia que la presencia de la luz solar son aproximadamente 12 horas, por lo que la implementación de deshidratadores solares en este sector será de mayor provecho, tanto por la luz solar como por la presencia de mucha humedad relativa.

### Bombas de calor

Las bombas de calor comúnmente son utilizadas para la climatización de espacios, ya que son capaces de invertir su funcionamiento, es decir, pueden calentar en épocas de invierno

y enfriar en verano. Su aplicación también se ha visto en zonas combinadas, en donde se utiliza el calor para calentar piscinas y el enfriador para climatizar las pistas de hielo.

El principio de funcionamiento de una bomba de calor se basa en un ciclo de refrigeración, con un compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.



**Figura 5.** Ciclo de refrigeración (Navarro, s.f.).

Las bombas de calor se clasifican según los fluidos que intervienen en el intercambio de calor, por eso se clasifican de la siguiente manera:

- Bomba de calor aire-aire.
- Bomba de calor aire-agua.
- Bomba de calor agua-agua.
- Bomba de calor tierra-agua
- Bomba de calor tierra-aire

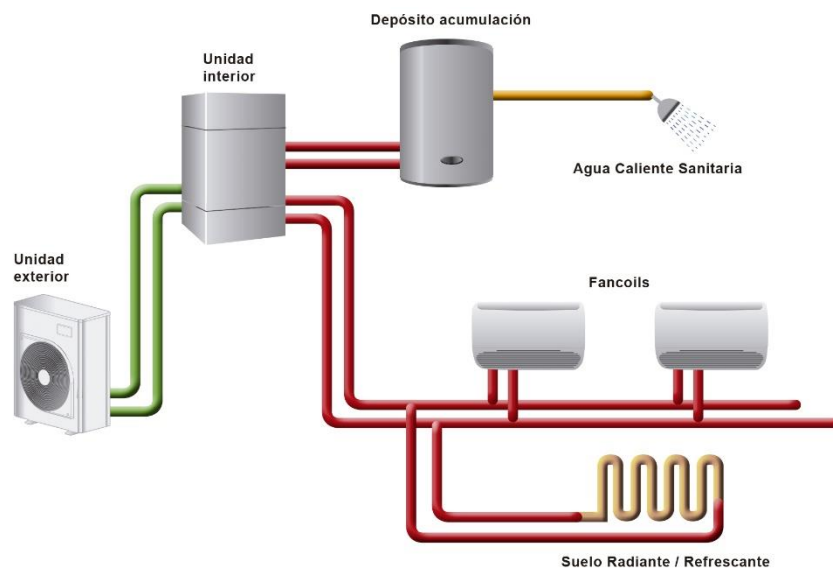
Su clasificación también podría darse por el sentido de funcionamiento, ya sea; solo calefacción, reversible o ambivalente, pero es una clasificación muy general que no se podría apreciar los beneficios más específicos de cada tipo.

### **Bomba de calor aire-aire.**

Es la bomba de calor más simple en comparación a las demás, porque se utiliza únicamente como aire acondicionado, no puede brindar agua caliente sanitaria o calefacción por radiadores. Es la más económica de instalar, pero en contra parte el costo energético es superior a los demás dado que solo cumple una necesidad. (Climargas, s.f.)

### **Bomba de calor aire-agua.**

Esta bomba de calor ya puede actuar de forma reversible, porque es capaz de trabajar como enfriador o calefactor, para ello toma energía del exterior para transmitirlo por agua a un circuito de refrigeración o calefacción y así lograr calentar o enfriar el interior de una vivienda. A diferencia del modelo aire-aire, este ya puede ser utilizado con fancoils, Split o radiadores y son recomendados para techo radiante o suelo. En tanto a lo económico, es capaz de generar un ahorro energético de hasta 70%, aunque el costo de instalación es elevado cada vez es más utilizado debido a que la inversión se amortiza rápidamente.



**Figura 6.** Diagrama de una bomba de calor aire-agua (AFEC, s.f.).

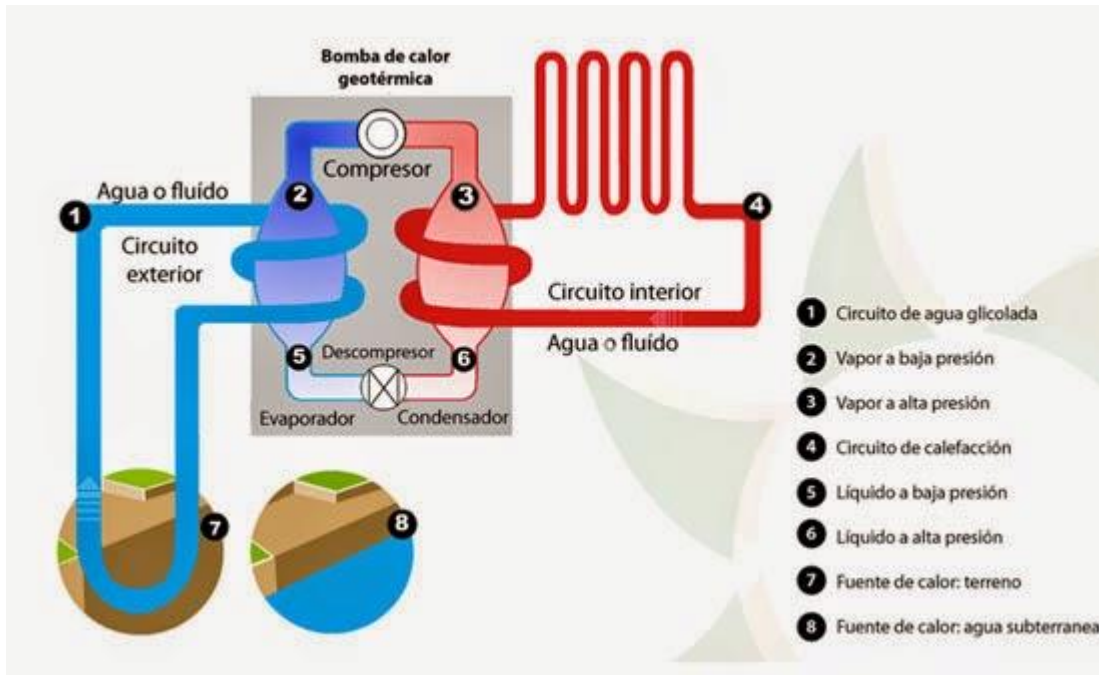
### **Bomba de calor agua-agua.**

Son conocidas también como bombas de agua subterránea, ya que su fuente de calor es el agua subterránea, acuíferos, ríos o mares mediante circuitos hidráulicos y son utilizados para la calefacción y agua caliente. Este modelo de bomba de calor es la más amigable con el medio ambiente y más eficiente junto con la bomba de calor geotérmica, sin embargo, son poco utilizadas por no tener una fuente cercana y por los costos de instalación que implica.

### **Bomba de calor tierra-agua y tierra-aire.**

También conocidas como instalaciones geotérmicas, se caracterizan por aprovechar la energía térmica del subsuelo mediante un circuito instalado en la tierra y un sistema de geotermia que transportan la energía al interior de la vivienda ya sea para calentar el agua sanitaria o para calefaccionar el ambiente. Su instalación es compleja por que se ve en la necesidad de realizar perforaciones, pero la ventaja que presenta es que no genera costo energético y no se debe realizar mantenimiento.

Las bombas de calor tierra-aire son similares al tipo tierra-agua, ya que son geotérmicas, pero se limita a climatizar el ambiente con aire acondicionado.



**Figura 7.** Diagrama de una bomba de calor tierra-agua y tierra-aire (*Ecosistemas del sureste, 2017*).

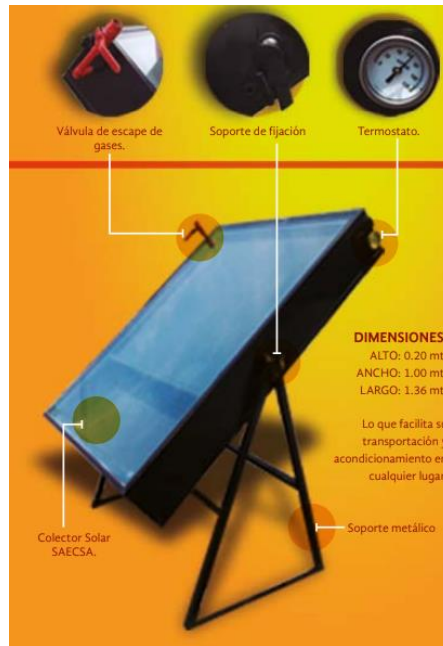
### Deshidratadores solares actuales

Los modelos actuales de deshidratadores utilizan como fuente de energía la combustión del GLP o energía eléctrica, pero este método puede contaminar con azufre o dióxido de carbono lo que altera el sabor, textura, color y propiedades nutricionales. Utilizar la energía solar además de ser una alternativa ambiental, solventa la contaminación con dióxido de carbono y azufre.

La implementación del aprovechamiento de energía solar ha estado en aumento en los últimos años, por eso varios fabricantes han utilizado esta energía para pequeños diseños, en donde con los rayos solares se pueden alcanzar altas temperaturas. A continuación, se presentan distintos modelos de deshidratadores solares que utilizan como fuente de calor al sol.

#### - Deshidratador solar para granos

Este modelo es de SAECSA utiliza únicamente energía solar, porque debido a sus dimensiones es capaz de llegar a una temperatura de 86°C. Este deshidratador es del tipo directo, porque tiene la cámara y el colector en el mismo espacio, posee un indicador de temperatura en la cámara de deshidratado, válvula de escape de gases y un soporte de fijación para poder variar la inclinación.



**Figura 8.** Deshidratador solar para granos (SAECSA, 2014).

- Deshidratador solar básico para alimentos

Al igual que el modelo anterior, únicamente aprovecha la radiación solar, no tiene alimentación a una fuente eléctrica y es capaz de alcanzar altas temperaturas, es de fácil mantenimiento porque solo debe mantenerse limpio para introducir los alimentos.



**Figura 9.** Deshidratador para alimentos (SAECSA, 2014).

Los modelos que se expusieron son 100% amigables con el ambiente, pero existen limitaciones desde sus dimensiones, ya que al ser muy pequeñas en relación con la producción que se puede llegar a tener, su utilización sería insignificante, además, que

estos modelos solo funcionan en el día, debido a que la única fuente de energía que poseen es la solar, y no poseen paneles fotovoltaicos que puedan almacenar la energía para ser aprovechada en la noche.

## 2 METODOLOGÍA

En el presente capítulo se aborda el diseño del deshidratador solar, que para el caso será del tipo indirecto. Se realiza el diseño de cada pieza que formará la máquina según se considere sea la mejor alternativa en base a la bibliografía revisada en el capítulo anterior.

Con el propósito de cumplir los objetivos establecidos para este proyecto se sigue una serie cronológica de etapas que marca el inicio y el fin de las actividades.

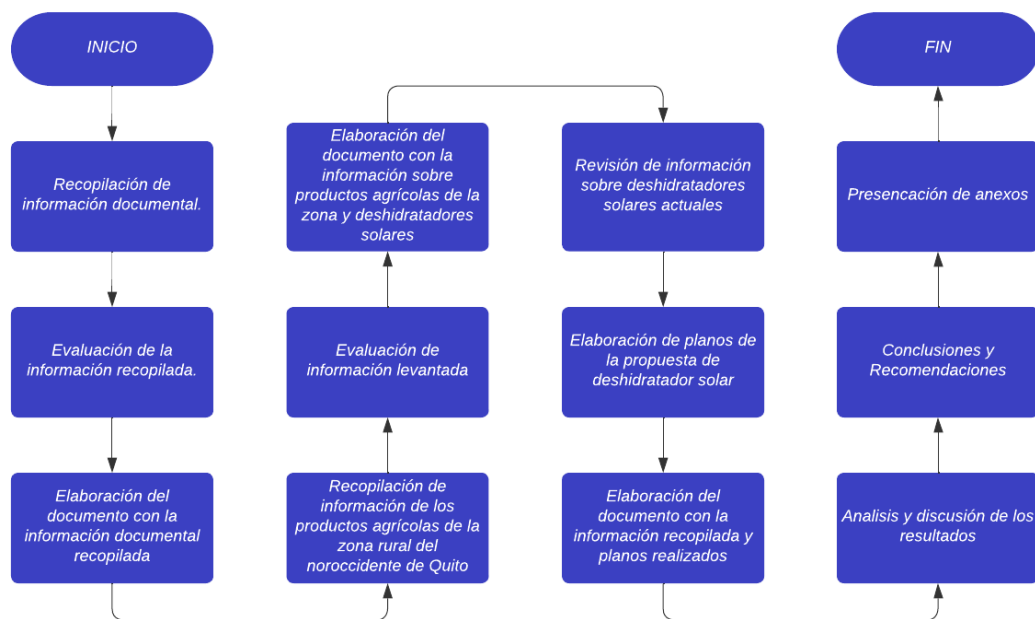


Figura 10. Diagrama de flujo de la metodología (Fuente propia).

### 2.1 Enfoque metodológico

El presente trabajo tiene la finalidad de solventar la necesidad de tecnificar la producción agrícola, ya que por años los sectores rurales han basado su producción en conocimientos empíricos. La evolución tecnológica ha ayudado a varios sectores, y la agricultura también debe tener mejoras, por eso se presenta como alternativa al secado tradicional de productos agrícolas, la implementación de un deshidratador solar asistido por una bomba de calor solar híbrido, esta medida es una solución conveniente en el ámbito energético, además de reducir los tiempos de secado, ayuda a los pequeños productores a distribuir de mejor manera el tiempo que les tomaba en sacar y guardar sus productos.

El desarrollo del presente trabajo se divide en investigación exploratoria en la sección de investigación de información publicada con anterioridad por distintos autores, con la finalidad de recopilar conocimientos sobre métodos y formas actuales de deshidratación. Por otra parte, se realizó una investigación correlacional para identificar los factores que



intervienen en el proceso de deshidratación y buscar maneras de modificar de forma favorable las características del mismo.

El enfoque que se le tiene en el proyecto es el mecatrónico, esta rama combina distintas disciplinas de la ingeniería mecánica como transferencia de calor y termodinámica con electrónica, software, óptica y control automático. Cuando se da el enfoque mecatrónico a un sistema, se trata de entender como es el comportamiento dinámico, es decir, cómo funciona el sistema.

## 2.2 Descripción del proceso dentro del deshidratador

Para el diseño a realizar se utilizará un panel solar híbrido (PVT) como principal fuente de energía. El panel solar híbrido entregará energía térmica al evaporador para conservar el sistema a baja temperatura debido a la evaporación de refrigerante y por otra parte el panel asistirá también de energía eléctrica al compresor de la bomba de calor. Dentro de la cámara de deshidratación se procederá a calentar el aire para circular por los productos agrícolas que se deseen deshidratar. Esto debido a que cuando el aire se calienta tiene mayor capacidad de absorber humedad y para evitar saturar de humedad la cámara de deshidratación se hace circular el aire expulsándolo al ambiente mediante ventiladores. A continuación, se muestra el proceso que de deshidratación.

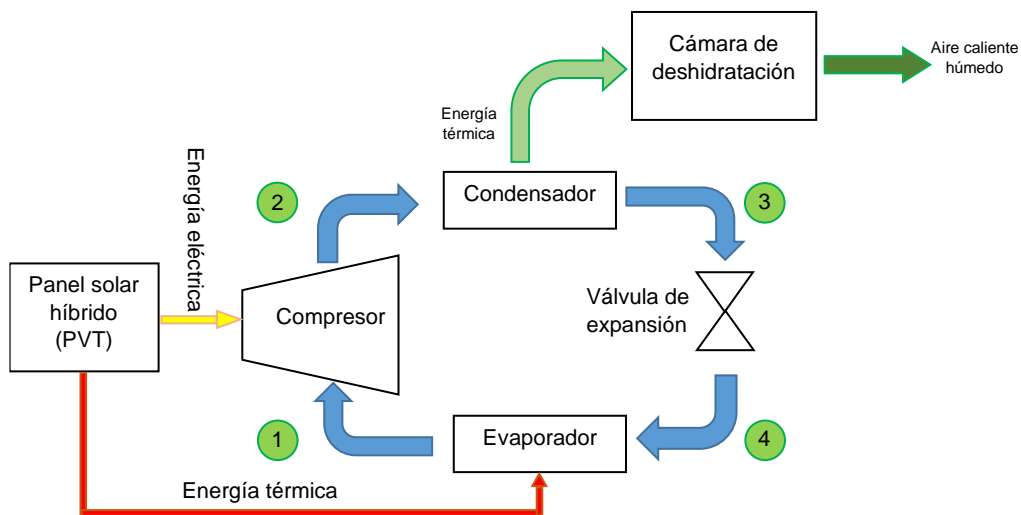


Figura 11. Diagrama del deshidratador solar (Fuente propia).

## 2.3 Diseño de elementos mecánicos

En el documento actual, denominado Trabajo de Integración Curricular (T.I.C) con tema “DISEÑO MECATRÓNICO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE MEDIANA CAPACIDAD, ASISTIDO POR BOMBA DE CALOR HÍBRIDA SOLAR, PARA EL SECADO

SUSTENTABLE DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS” para cumplir con el alcance y explicar de forma detallada se divide el proyecto en dos componentes como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** División del proyecto en componentes.

Componente	Responsable	Actividades
A	Chicaiza Lema Erick	Diseño de los componentes mecánicos: estructurales y funcionales, del deshidratador solar y control automático.
B	Chicaiza Jami Danny	Diseño de los componentes energéticos, del deshidratador solar y control automático.

Esta sección presenta el componente A, por lo que se detalla los elementos estructurales y mecánicos que conformarán el deshidratador solar asistido por bomba de calor. Sin embargo, este componente A se realizó de manera coordinada con el componente B, puesto que se trata del mismo deshidratador solar, por este motivo, para complementar la información que se presenta en este trabajo se recomienda revisar el documento con el componente B que se publicará de forma simultánea en el Repositorio Digital de la Escuela Politécnica Nacional.

## 2.4 Elección de material base

Definir la selección del material base es importante debido a que a que tendrá contacto directo con los alimentos o con la humedad del ambiente. Para la selección se plantea los siguientes materiales comúnmente utilizado para la construcción de máquinas para alimentos.

**Tabla 4.** Ventajas y desventajas de materiales para la construcción del deshidratador.

Material	Ventajas	Desventajas
Acero galvanizado	- Resistencia por periodos prolongados a la corrosión y oxidación	- Cuando el acero galvanizado tiene contacto con jugos cítricos desprende zinc que puede ocasionar envenenamiento.
Acero al carbono	- Fácil acceso y costos bajos	- No presenta resistencia a la corrosión por lo que no puede tener contacto directo con los alimentos.
Acero Inoxidable	- Presenta alta resistencia a la corrosión y altas temperaturas. - Tiene buen acabado superficial lo que lo hace más higiénico. - Fácil acceso	- Costos altos.
Aluminio	- Más ligero - Económico	- No es recomendable utilizar el aluminio como recipientes, entre ellos bandejas debido a que es soluble en pH ácido.

De la tabla 4, se selecciona el acero inoxidable para la construcción de la mayoría de los elementos que tienen contacto con el alimento dentro del deshidratador solar. Analizando la disponibilidad del stock dentro del país se selecciona específicamente el acero inoxidable 304.

## 2.5 Portabandejas

### Antecedentes

Existe varios diseños de porta bandejas para la cámara de deshidratación, las dimensiones varían dependiendo de la necesidad, para el caso actual se presenta una estructura con dimensiones de 1 m de largo, 0,5m de ancho y 1 metro de alto.

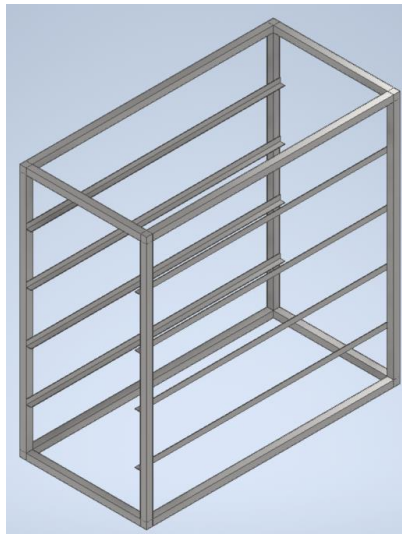


Figura 12. Porta bandejas diseñado en Inventor (Fuente propia).

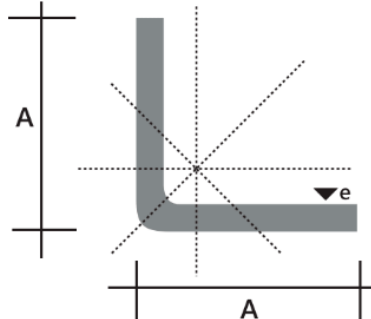
### Análisis

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
PLG.	mm	ESPESOR	PESO	PESO
		mm	Kg/mt	Kg/6mt
1	25	1	0,76	4,57
1	25	1,2	0,91	5,44
1	25	1,5	1,12	6,71

Figura 13. Extracto del catálogo de tubería cuadrada de acero inoxidable 304 (IMPORT ACEROS, s.f.).

Para evitar desperdicios de material, se seleccionó tubos cuadrados de acero inoxidable 304 con dimensiones de 1 pulgada de lado y con 1,5 mm de espesor, mismos que constan en el catálogo de Import Aceros ubicados en Quito, para evitarse buscar perfiles similares.

En tanto sobre el material utilizado para las cejas o guías de las bandejas, se utilizaron ángulos inoxidables con denominación AL 25X2 del mismo distribuidor antes mencionado.

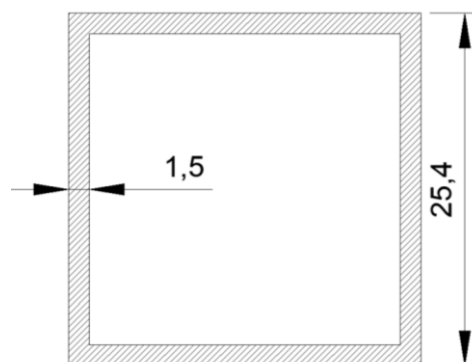


DENOMINACION	DIMENSIONES		PESOS	
	mm		kg/m	kg/6m
	a	e		
AL 20X2	20	2	0,64	3,84
AL 20X3	20	3	0,96	5,76
AL 25X2	25	2	0,8	4,8

**Figura 14.** Extracto del catálogo de ángulos inoxidables 304 (*IMPORT ACEROS, s.f.*)

### Cálculos

En la figura 15, se muestra el perfil que se utilizó para construir la carcasa del del portabandejas, y se analizará la carga que podría soportar. Las dimensiones se encuentran en milímetros y los cálculos se harán en sistema SI, considerar el criterio antes mencionado a pesar de que se presentarán los cálculos con unidades.



**Figura 15.** Dimensiones del perfil del tubo cuadrado seleccionado para el portabandejas (Fuente propia).

- Área del perfil

$$A = l^2 - (l - 2e)^2$$

**Ecuación 1.** Área de un cuadrado hueco.

$$A = 25,4^2 - (25,4 - 1,5 - 1,5)^2$$

$$A = 143,4 [mm^2]$$

- Momento de inercia

$$I = \frac{a * b^3}{12} - \frac{a_1 * (b_1)^3}{12}$$

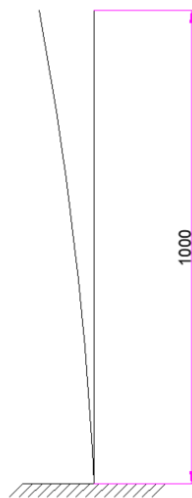
**Ecuación 2.** Momento de inercia de un cuadrado hueco.

$$I = \frac{25,4^4}{12} - \frac{(25,4 - 1,5 - 1,5)^4}{12}$$

$$I = 13705,694 [mm^4]$$

El momento de inercia se calcula para conocer la carga critica, y saber la capacidad de alimento que podrá soportar la carcasa. Para el caso se considera los perfiles como columnas, y se analiza el plano en cual la columna podría empezar a pandearse como se muestra en la figura 16, esto debido a que por efecto del peso de los productos a deshidratarse se genera cargas de compresión axiales sobre la columna.

Debido a que se trata de un perfil cuadrado, el momento de inercia mínimo será el mismo, tanto en el eje x como en el eje y, por eso no hace falta hacer la distinción de los ejes en los cálculos.



**Figura 16.** Deflexión de columnas (Fuente propia).

- Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad para el acero inoxidable 304 es de  $E = 193 \text{ GPa}$  o  $28 * 10^6 \text{ psi}$ , como se muestra en la siguiente tabla.

Material	Módulos de elasticidad		Coeficiente de Poisson
	GPa	10 <sup>6</sup> psi	
<b>Acero inoxidable</b>			
Acero inoxidable 304:	193	28	0.30
Acero inoxidable 316 y 316L:	193	28	0.30
Acero inoxidable 440 A:	200	29	0.30
Acero inoxidable 17-7PH:	204	29.5	0.30

**Figura 17.** Módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson para algunos aceros inoxidables (SONELASTIC, s.f.)

- Longitud efectiva

<b>TABLE C-A-7.1 Approximate Values of Effective Length Factor, <math>K</math></b>						
Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical $K$ value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
End condition code						
	<p style="text-align: center;">  Rotation fixed and translation fixed   Rotation free and translation fixed   Rotation fixed and translation free   Rotation free and translation free </p>					

**Figura 18.** Valor de  $K$  para la longitud efectiva (American Institute of Steel Construction, 2011).

Se considera como columna empotrada en ambos extremos, por lo que se tomará un valor de  $K=0.5$

$$L_E = K * L$$

**Ecuación 3.** Longitud efectiva.

$$L_E = 0,5 * 1000$$

$$L_E = 500 \text{ [mm]}$$

- Carga crítica

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_E^2}$$

**Ecuación 4.** Carga crítica

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 193 * 10^9 \left[ \frac{N}{m^2} * \frac{m^2}{(1000mm)^2} \right] * 13705,694 \text{ [mm}^4\text{]}}{4 * (500 \text{ [mm]})^2}$$

$$P_{cr} = 26107,067[N]$$

- Esfuerzo critico

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

**Ecuación 5.** Esfuerzo critico

$$\sigma_{cr} = \frac{26107,067[N]}{143,4 \text{ [mm}^2\text{]}} * \frac{1000^2 * \text{[mm}^2\text{]}}{1 \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$\sigma_{cr} = 182057636 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$\sigma_{cr} = 182,0576 \text{ [MPa]}$$

- Resistencia a la fluencia

Según la ASTM A-240, señala q las siguientes propiedades mecánicas de los aceros inoxidables austeníticos.

STEEL TYPE TIPO DE ACERO	TENSILE STRENGTH RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		YIELD STRENGTH RESISTENCIA A LA FLUENCIA		ELONGATION IN 50 mm or 2 inches ELOGACION EN 50 mm o 2 pulg.	HARDNESS DUREZA	
	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Max.	Max.
	Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	Brinell	Rockwell B
301	75	515	30	205	40	217	95
304	75	515	30	205	40	201	92
304L	70	485	25	170	40	201	92
316	75	515	30	205	40	217	95
316L	70	485	25	170	40	217	95
321	75	515	30	205	40	217	95

**Figura 19.** Propiedades mecánicas de algunos Aceros inoxidables austeníticos según ASTM A-240 (Cobralum S.A, 2007).

$$S_y = 205 [MPa]$$

- Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{cr}}$$

**Ecuación 6.** Factor de seguridad.

$$n = \frac{205 [MPa]}{182,0576 [MPa]}$$

$$n = 1,12$$

Cuando el factor de seguridad es muy próximo a  $n = 1$ , quiere decir que podría darse el fallo, por eso en diseño estructural se recomienda que el factor de seguridad sea superior a  $n = 2$ . Con ello se procede a realizar las correcciones del caso para evitar trabajar con valores próximos a la falla.

Con  $n = 2$

$$\sigma_{cr} = \frac{S_y}{n}$$

**Ecuación 7.** Esfuerzo crítico.



$$\sigma_{cr} = \frac{205 [MPa]}{2}$$

$$\sigma_{cr} = 102,5 [MPa]$$

- Máxima carga permitida

$$P_{maxima} = \sigma_{cr} * A$$

**Ecuación 8.** Carga máxima de diseño.

$$P_{m\acute{a}xima} = 102,5 * 10^6 [Pa] * 143,4 [mm^2] * \frac{1 [m^2]}{1000^2 [mm^2]}$$

$$P_{m\acute{a}xima} = 14698,5 [N]$$

Mediante la transformación de unidades, tendríamos que  $P_{m\acute{a}xima} = 3304,35 [lbf]$ , y transformando las libras fuerza a libras masa considerando la gravedad en unidades inglesas como  $g = 32,1742 ft/s^2$ ,

$$lbm = \frac{P_{m\acute{a}xima}}{g}$$

**Ecuación 9.** Transformación de libras fuerza a libras masa.

$$lbm = \frac{3304,35 lbf}{32,1742 ft/s^2}$$

$$lbm = 102,70 lb$$

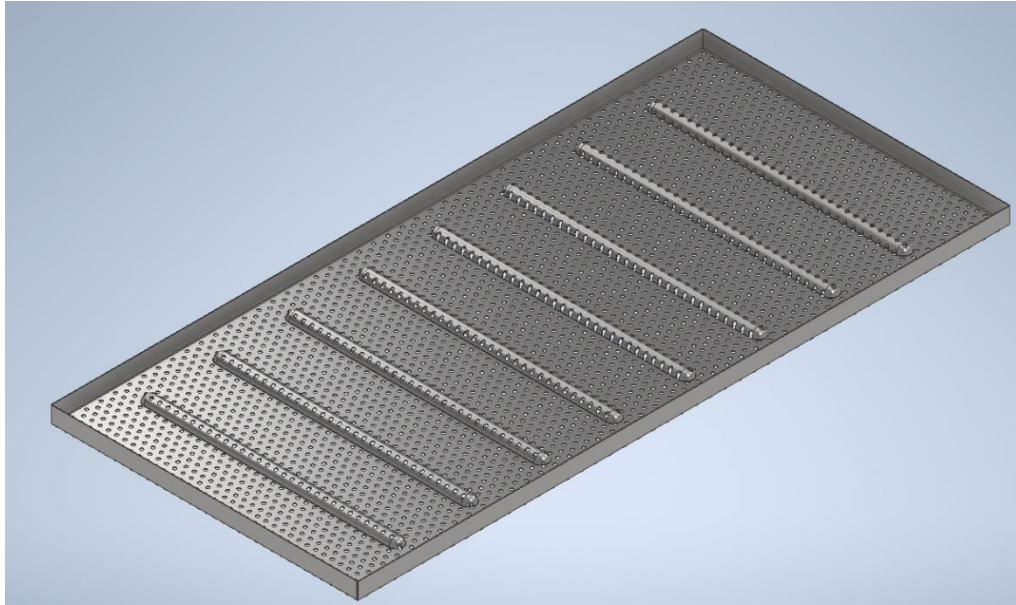
Esta cantidad de producto será dividido dentro de la cámara de deshidratación en 4 bandejas.

## 2.6 Bandejas

### Antecedentes

En el diseño de la bandeja en modelos de deshidratadores solares anteriores se utilizaban placas metálicas lisas, pero la utilización de este tipo de láminas dificultan la circulación del aire por los alimentos, en algunos casos se utilizaban mallas metálicas para tener mayor área de contacto entre el aire y el producto, pero se denotaba una limitante que era únicamente para granos, porque productos como frutas (piñas, plátanos, arándanos, etc.) o verduras (papas, zanahorias, tomates, etc.) se apilaban una sobre otra prolongando así el tiempo de secado.

Para el diseño de deshidratador, se propone una bandeja fabricada con plancha perforada de acero inoxidable 304, con dimensiones de 945 mm de largo por 445 mm de ancho, con dobleces de 25 mm de alto.

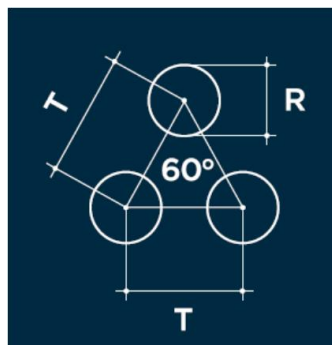


**Figura 20.** Bandeja con bordeados diseñada en Inventor (Fuente propia).

### **Análisis**

Para brindarle mayor rigidez a la bandeja se modifica su geometría con una máquina bordeadora biseladora, los bordeados se realizan con la cavidad hacia abajo con doble propósito. El primero, en el caso de colocarse granos, no se obstruyan fácilmente porque el propósito de la bandeja es dejar circular el aire, por otra parte, el segundo propósito es que en el caso de querer deshidratar frutas o verduras sirvan como separadores.

La implementación de los bordeados en la bandeja es aumentar la rigidez que tiene la lámina plana. Se busca hacer más rígida a la bandeja, debido a que, según los cálculos, la bandeja debe soportar 25 libras. A continuación, se muestra las especificaciones de la lámina perforada que se seleccionó.



**Figura 21.** Esquema de distancia entre centros y diámetro del agujero (REPERMETAL S.A, 2021).

Debido a que se desea el deshidratador para distintos de productos agrícolas, se selecciona una plancha metálica perforada con las siguientes características.

**Tabla 5.** Especificaciones de la lámina seleccionada.

Símbolo o letra	Significado	Valor
R	Diámetro del agujero	5 [mm]
T	Distancia entre centros	12 [mm]
e	Espesor	1 [mm]
%	Área abierta	90 %

De la tabla 4, las especificaciones que fueron más atractivas para su selección fue el diámetro del agujero y el área abierta. Estas especificaciones fueron tomadas del fabricante REPERMETAL, y se seleccionó porque se busca que el diámetro del producto agrícola más pequeño (maíz) pueda ser colocado en la bandeja y debido a que posee bastante área abierta facilitará la circulación del aire a través de todas las bandejas.

La figura 21, pese a que pudo ser recreada en algún software de diseño, es cita para facilitar al lector en la compra de la lámina en Ecuador, en el caso de recrear la máquina.

### Especificaciones de los bordeados

Cada bordeado tiene 345 mm de largo, se realizan cada 105 mm en la plancha, es decir, tiene 8 bordeados en toda la bandeja, y en tanto a la geometría del espacio de la cavidad y la profundidad, se detalla en el siguiente corte de un bordeado.

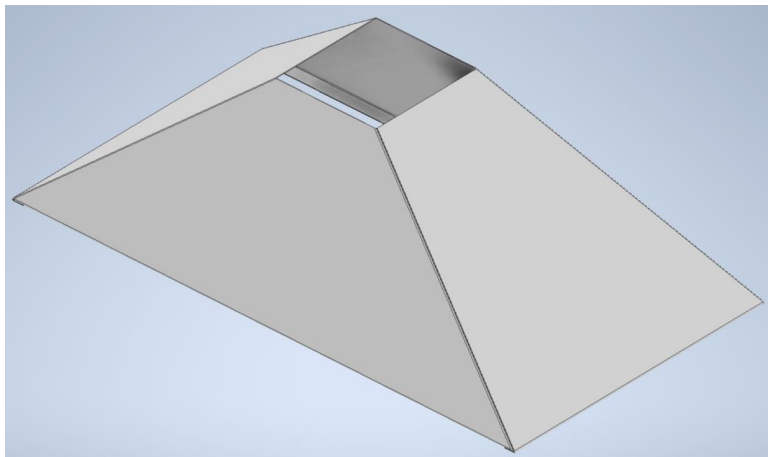


**Figura 22.** Esquema del ancho y profundidad del bordeado (Fuente propia).

## 2.7 Chimenea

### Antecedentes

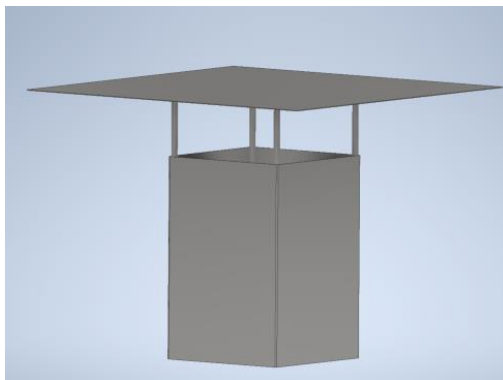
La chimenea sirve para desalojar el aire caliente húmedo que se produce por la extracción de humedad de los alimentos dentro de la cámara de deshidratación. Inicialmente se tenía como propuesta la implementación de un ventilador que expulse el aire hacia el exterior, pero fue descartado para no intervenir con el aislamiento térmico en las paredes de la cámara de deshidratación.



**Figura 23.** Chimenea diseñada en Inventor (Fuente propia).

### Análisis

Debido a que este elemento no debe soportar más carga que su propio peso y un pequeño techo que aíse la cámara de la lluvia, no se realiza una estructura como refuerzo. Por otra parte, este elemento debido a que no tiene contacto directo con los alimentos o contacto con la humedad por tiempo prolongado puede ser construido por el mismo material de los otros elementos (acero inoxidable 304) o puede ser sustituido por láminas de acero galvanizado.



**Figura 24.** Techo cobertor de la chimenea diseñada en Inventor (Fuente propia).

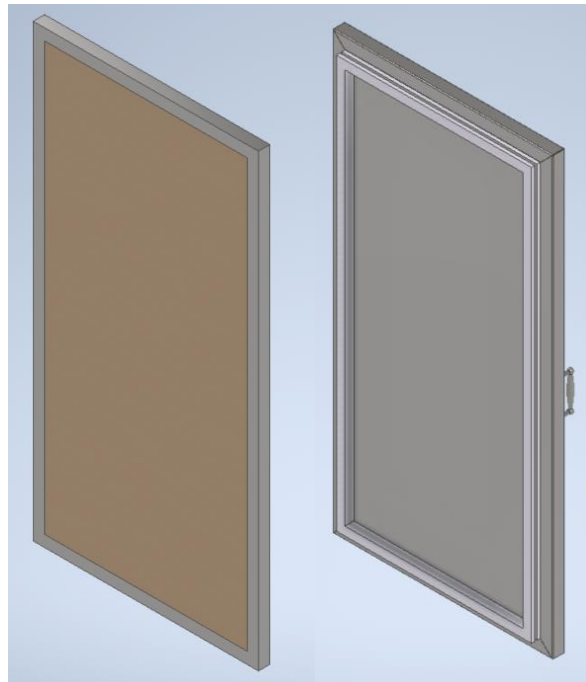
## Optimización

El diseño de este elemento es simple, no se puede realizar trabajos de optimización o especificar algún cálculo.

## 2.8 Puerta de la cámara de deshidratación

### Antecedentes

La construcción de la puerta debe contar con aislamiento térmico, al igual que las paredes de la cámara de deshidratación. Como antecedentes se tiene que gran variedad de configuraciones entre materiales externos (para el caso, acero inoxidable) e internos (para el caso, lana de vidrio). En la siguiente figura se muestra a la izquierda la puerta únicamente con el marco y el material aislante, y a la derecha la puerta ya cubierta con plancha de acero inoxidable 304, empaque de sellado para puerta y la manija.



**Figura 25.** Puerta de la cámara de deshidratación diseñada en Inventor (Fuente propia).

### Análisis

Los materiales que conforman la puerta tienen la misma configuración que tiene la cámara de deshidratación, la principal diferencia es la implementación de empaque de sellado, este material puede ser configurado según sea el criterio del constructor.



**Figura 26.** Empaques para sellado de puertas (AI YELLOW, s.f.).

La figura 26, es citada para mencionar al distribuidor que podría facilitar la disposición del material para la recreación del deshidratador.

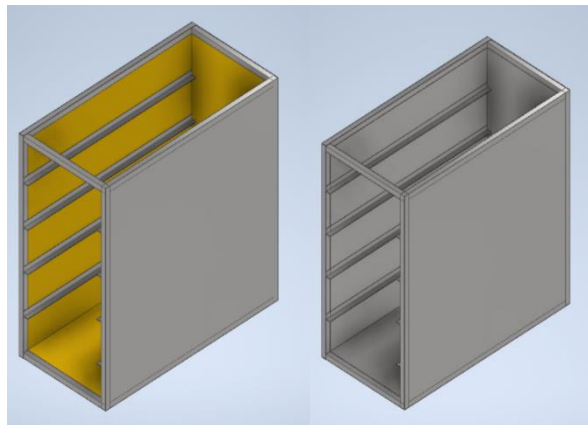
### **Optimización**

El diseño de este elemento es simple, no se puede realizar trabajos de optimización, en tanto a los cálculos, son similares a los ya presentados en el diseño del portabandejas. Sin embargo, no sería necesario presentar los cálculos debido a que la única carga que debe soportar es únicamente su propio peso.

## **2.9 Portabandejas de la cámara de deshidratación**

### **Antecedentes**

El antecedente del diseño del portabandejas está en la sección 2.3.1, En este apartado se presentará solo la cabina de deshidratación terminada, es decir, forrada con la lámina de acero inoxidable 304, las paredes con aislamiento térmico y más detalles de construcción.



**Figura 27.** Portabandejas de la cámara de deshidratación (Fuente propia).

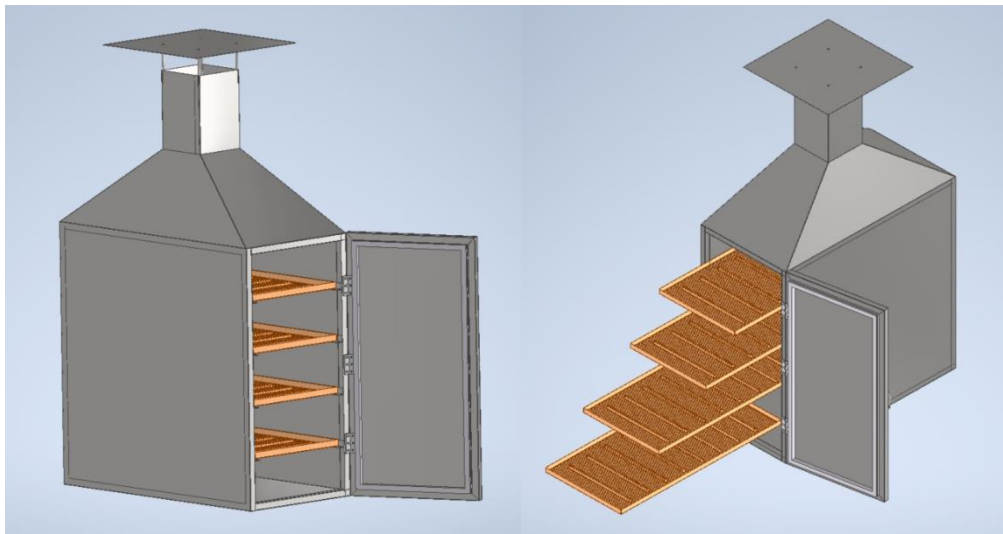
### **Análisis**

En la figura 27, se visualiza a la izquierda el portabandejas con el aislamiento térmico visible y a la derecha el portabandejas ya forrada con plancha de acero inoxidable de 1 mm de

espesor. Se evidencia que la parte superior se deja expuesta, esto debido a que será unido a la chimenea con remaches.

## 2.10 Ensamblaje de la cámara deshidratación.

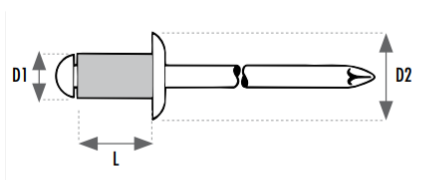
Este apartado finaliza con el ensamblaje de la cámara de deshidratación, existieron elementos que no se presentaron como diseño, debido a que son elementos comerciales con gran variedad para elección, y como ya se mencionó la puerta solo debe resistir la carga de su propio peso. El elemento en concreto es la bisagra para la puerta de la cámara.



**Figura 28.** Ensamble de la cámara de deshidratación en Inventor (Fuente propia).

Por otra parte, como ya se viene mencionando al forrar la estructura con láminas de acero inoxidable, se recomienda utilizar remaches, tanto para la unión de la lámina con la estructura como para unir los ángulos en L en donde se asentarán las bandejas.

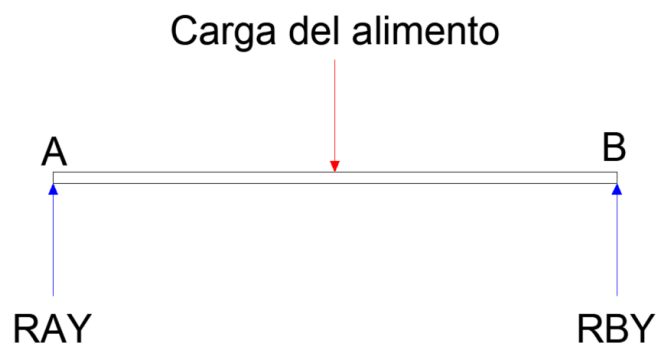
### Elección de remaches



Resistencias					
Ø remache	Fuerza cizallamiento		Fuerza tracción		D2 (mm) Máx.
	N / kp	N / kp	N / kp	N / kp	
2,4	350	35	450	46	5,0
3,0	700	71	900	92	6,5
3,2	720	73	950	97	6,5
4,0	1.400	143	2.000	204	8,0
4,0 x 30-40	850	87	1.000	102	8,0
4,8	1.800	184	2.700	275	9,5
5,0	2.000	204	2.800	286	9,5
6,0	3.100	316	3.800	388	12,0
6,4	3.400	347	4.600	469	13,0

**Figura 29.** Remaches de aluminio (GESIPA, s.f.).

De la figura 29, se puede evidenciar que para seleccionar el remache se debe conocer la fuerza de cizallamiento y la fuerza de tracción. Por parte del forraje, no se necesita calcular, basta con seleccionar los remaches para los ángulos en L, debido a que en estos perfiles se asentarán las bandejas con el producto a deshidratar. En el diseño del portabandejas ya se especifica que la carga total de producto se establece en 102 libras, pero se puede redondear este valor a 100 libras (el valor de 100 libras es para que la estructura no llegue a dañarse, porque siguiendo los cálculos con la carga crítica el valor es de 182 libras como cantidad máxima de producto), es decir, cada bandeja debe soportar 25 libras (con la carga crítica la cantidad en cada bandeja podría llegar a ser de 45 libras). A continuación, se presenta el diagrama de cuerpo libre para cada bandeja.



**Figura 30.** Diagrama de cuerpo libre de una bandeja con alimento (Fuente propia).

Con el criterio de la figura 30, se debe considerar la diferencia entre peso y masa, el peso es la carga de diseño  $P_{m\acute{a}xima} = 14698,5 [N]$

$$RAY = RBY = \frac{14698,5}{2} [N]$$

$$RAY = RBY = 7349,25 [N]$$

Se desprecia la flexión mecánica en la bandeja, debido a que la fuerza de cizallamiento es mayor, y basta con encontrar dicho valor. Las reacciones en A y B son únicamente en un punto, y los remaches van a estar tanto en la parte frontal como trasera del portabandejas. Por eso la fuerza de cizallamiento es:

$$F_c = 3674,625 [N]$$

De la figura 29, la fuerza de cizallamiento calculada supera a de todos los valores de los catálogos que cuentan con información sobre fuerza de tracción y fuerza de cizallamiento, sin embargo, existen remaches con 7 mm de diámetro, por lo que se recomienda utilizarlos para la unión.



## 2.11 Diseño del colector

### Antecedentes

Antes de realizar el diseño del colector solar, se debe tener ciertos criterios de diseño. En este caso, la incidencia de los rayos solares en la zona en donde se vaya a colocar. Para ello se especifica que el deshidratador solar se está diseñando para las comunidades rurales del Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.

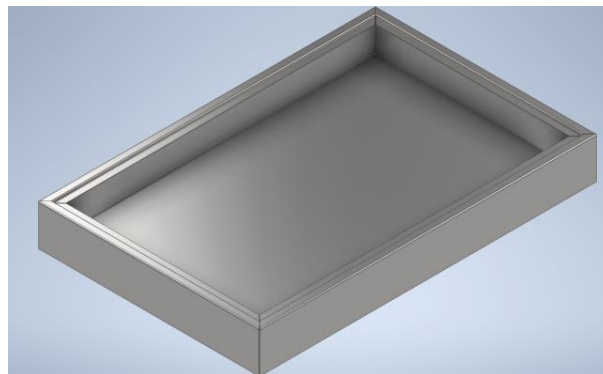
**Tabla 6.** inclinación idónea para la instalación de paneles solares (CPM SOLAR, 2019).

Incidencia de los rayos solares	Inclinación
Constante durante todo el año	La inclinación debe ser igual a la latitud
Invierno	La inclinación debe ser igual a la latitud + 15°
Verano	La inclinación debe ser igual a la latitud - 15°

Explicando la tabla 5, la inclinación que debe tener las placas solares depende de la ubicación y se sigue el mismo criterio para la inclinación del colector solar. Para ello se conoce que Quito se encuentra en la mitad de la Tierra, por lo que los rayos solares caen de forma perpendicular en la superficie. Sin embargo, la latitud céntrica de las parroquias rurales en donde se va a instalar el panel solar es de 0,1126, es decir, es muy próximo a cero, por lo que el diseño del panel solar no debería tener una inclinación para que se aproveche de mejor manera los rayos del sol.

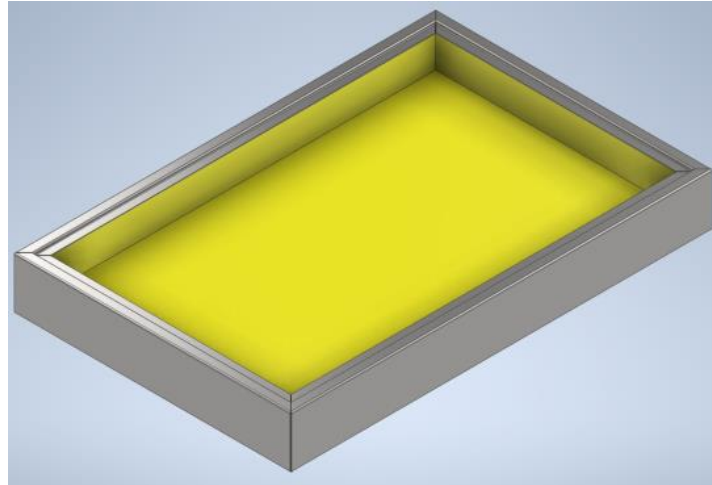
### Estructura del colector

Para este diseño se utiliza una lámina de acero negro de 2 mm de espesor, las esquinas deben ser soldadas para reforzar la estructura, las dimensiones externas del colector son de 1220x800 mm.



**Figura 31.** Diseño del colector en inventor (Fuente propia).

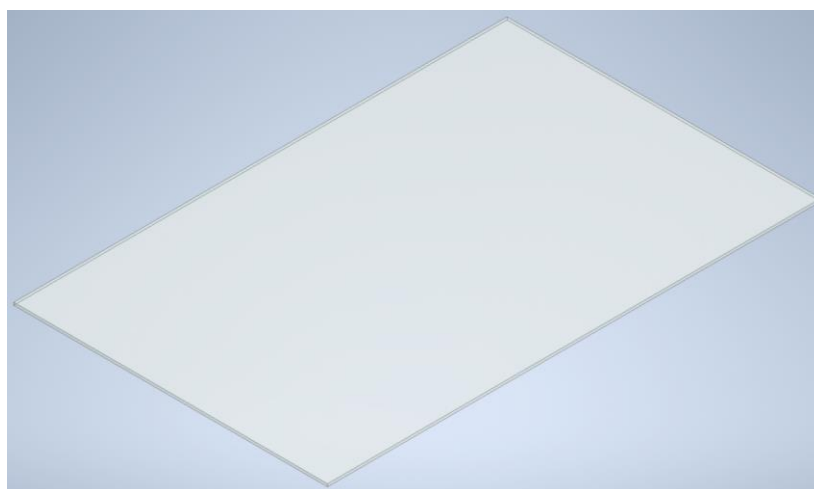
Al diseño del colector se debe aumentar lana de vidrio como aislante térmico, en algunos casos puede colocarse madera, funciona de igual manera con la diferencia que la fibra de vidrio tiene mayor resistencia térmica, pero queda a elección del lector la elección entre lana de vidrio y madera.



**Figura 32.** Colector con aislamiento térmico (Fuente propia).

### **Cubierta protectora**

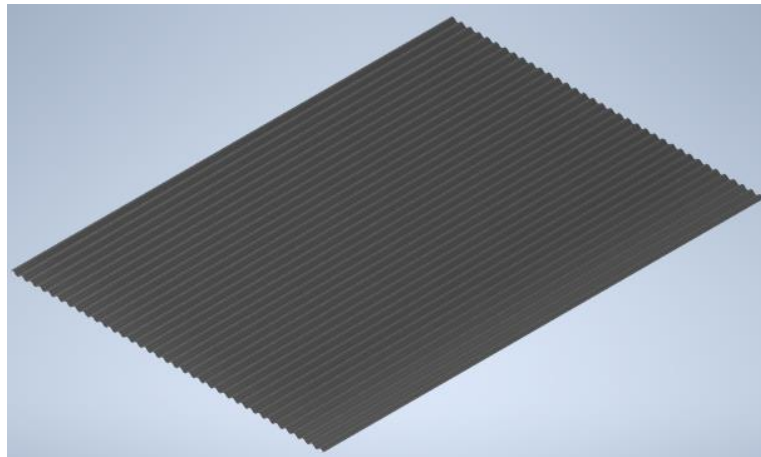
Se coloca vidrio de borosilicato de 6 mm de espesor y dimensiones de 1154x734 mm. El uso de este cristal a diferencia del vidrio tradicional a base de sílice, es que es capaz de resistir temperaturas de hasta 500 °C, además de ser muy resistente a cambios bruscos de temperatura, sus aplicaciones principales son en las ópticas, hornos, bandejas, en sí este elemento amplifica la absorción de calor y resiste altas temperaturas, lo cual le favorece a la captación de rayos solares en el colector, y no se produzca el efecto contrario de rebotar los rayos y enviarlos fuera del colector.



**Figura 33.** Vidrio presentado en Inventor (Fuente propia).

### **Placa absorbente de calor**

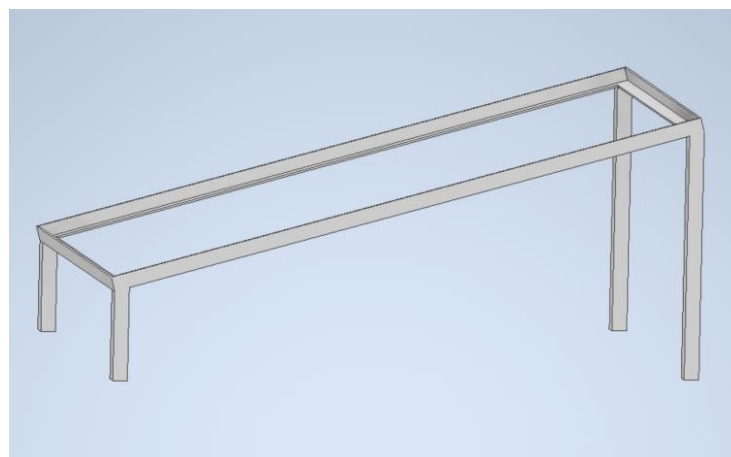
La función de esta lámina es absorber los rayos solares. Generalmente esta lámina es de aluminio, pero el aluminio refleja casi el 90% de la energía que le llega, para evitar eso se le aplica pintura para aplicaciones solares negro mate, lo que ayuda a que no refleje los rayos solares. Debido a que la aplicación del aluminio es calentarse y luego transferir esta energía al aire, puede sustituirse por láminas de zinc que son fáciles de conseguir a precios más bajos siempre y cuando se le dé el mismo tratamiento de pintura antes mencionado.



**Figura 34.** Lámina de zinc en Inventor (Fuente propia).

### **Estructura de asentamiento**

Como ya se mencionó, el colector se aprovechará más cuando no tenga inclinación debido a que los rayos solares caen de forma perpendicular, sin embargo, cuando el aire se calienta se vuelve más liviano que el aire frío, entonces se desea que esa tener una inclinación para que el aire caliente se situé en la parte superior, por eso se coloca una inclinación de 15° de forma arbitraria.

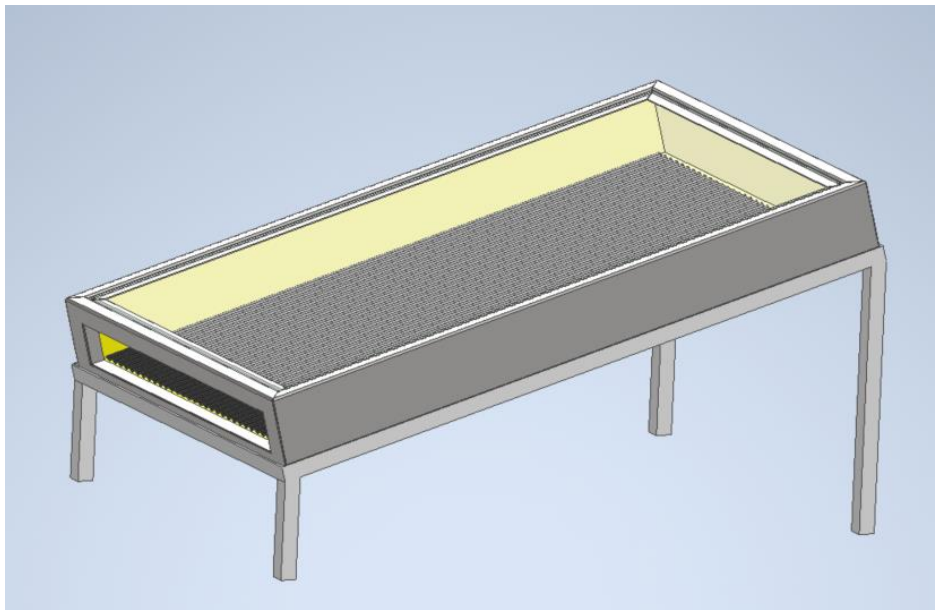


**Figura 35.** Estructura diseñada en Inventor (Fuente propia).

Los ángulos en L y los tubos cuadrados son de acero al carbono, los ángulos tienen la denominación AL 30X4 y el tubo cuadrado tiene 30 mm de lado y 1,5 mm de espesor, ambos perfiles pueden ser adquiridos del distribuidor Import aceros que ya fue mencionado anteriormente.

### Ensamble del colector

Durante el ensamblaje, se realizaron modificaciones para la entrada de aire al colector, por lo que se propone una abertura en la parte inferior, la abertura tiene las dimensiones de 700x80 mm. El aislamiento se presenta en color amarillo únicamente para la visualización del lector, debido a que debe ser forrado con la plancha de acero negro.



**Figura 36.** Colector ensamblado en Inventor (Fuente propia).

### 2.12 Diseño de la ductería

Para el diseño de los ductos se debe realizar los cálculos pertinentes para así llegar al diámetro de tubería que cumpla con la necesidad de flujo de aire dentro de la cámara. Para ello se parte del dato de flujo de masa de aire (dato que fue proporcionado por el documento complementario de este T.I.C).

$$\dot{m}_{aire} = 0,01 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Con el flujo masico y la densidad del aire en quito se puede llegar al flujo volumétrico. El valor de la densidad del aire para Quito es de  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ .

$$\dot{V}_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire}}$$

**Ecuación 10.** Flujo volumétrico.

$$\dot{V}_{aire} = \frac{0,01 \text{ kg/s}}{1,225 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V}_{aire} = 8,16 * 10^{-3} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Con el flujo volumétrico calculado, se considera los criterios de diseño de deshidratadores solares, en donde se recomienda utilizar la velocidad del aire entre 1m/s a 1.9 m/s. Con el antecedente mencionado, se toma la velocidad del aire  $v_{aire} = 1,9 \text{ m/s}$ .

$$\dot{V}_{aire} = A * v_{aire}$$

**Ecuación 11.** Flujo volumétrico en función de la velocidad del fluido.

$$A = \frac{\dot{V}_{aire}}{v_{aire}}$$

$$A = \frac{8,16 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1,9 \text{ m/s}}$$

$$A = 4,296 * 10^{-3} [\text{m}^2]$$

Con el área ya calculada, se puede dimensionar el diámetro de la tubería circular.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

**Ecuación 12.** Área de un círculo.

$$D^2 = \frac{4,296 * 10^{-3} \text{ m}^2 * 4}{\pi}$$

$$D = 0,0739 [\text{m}]$$

$$D = 73,96 [\text{mm}]$$

Con el cálculo anterior, es posible seleccionar la tubería.

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
3	76,20	1,50	3,52	2,76	24,56	6,45	2,64
		1,80	4,21	3,30	29,13	7,65	2,63
		2,00	4,66	3,66	32,11	8,43	2,62
		3,00	6,90	5,42	46,29	12,15	2,59
		4,00	9,07	7,12	59,30	15,56	2,56
		5,00	11,18	8,78	71,22	18,69	2,52

**Figura 37.** Extracto de las dimensiones de tubos circulares (Import Aceros, s.f.).

Se selecciona el tubo de 3pulg de diámetro exterior con espesor de 1,50 mm, es decir, se cuenta con un diámetro interno de 73,2 mm, con lo que los cálculos son resumidos en la siguiente tabla.

**Tabla 7.** Datos calculados a través de la elección del diámetro de la tubería.

Diámetro interno [mm]	Área [mm <sup>2</sup> ]	Flujo volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Flujo másico [kg/s]
73,2	4,20 * 10 <sup>3</sup>	7,99 * 10 <sup>3</sup>	0.0098

El flujo másico es muy próximo, por lo que la elección de la tubería circular de 3 pulgadas de diámetro externo con 1,50 mm de espesor.

### Accesorios dentro de la ductería

Para hacer la conexión se utilizará los tubos que ya fue mencionado, sin embargo, se necesita un ventilador y una T para realizar la conexión con la bomba de calor. Finalmente, para la conexión del ventilador se necesita un reductor de 4 a 3 pulgadas.



**Figura 38.** Tee soldable de 3 pulgadas de acero al carbón (Mercado Libre, s.f.).

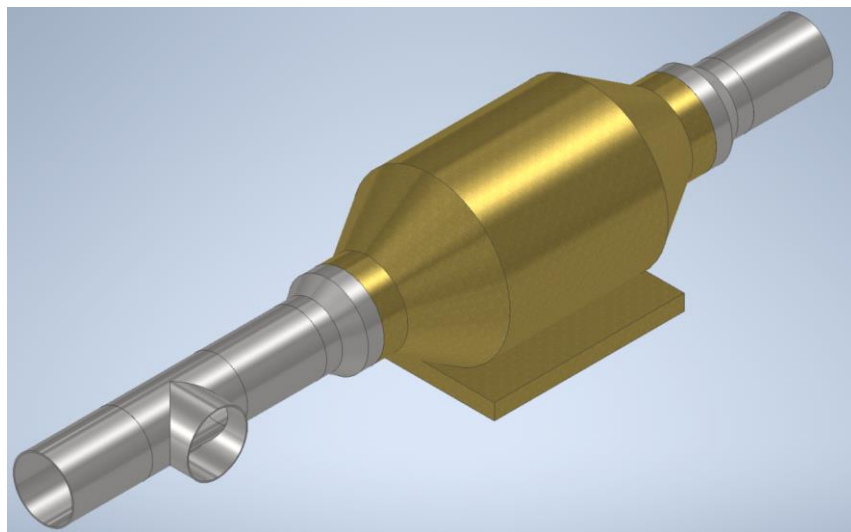


**Figura 39.** Ventilador de conducto en línea de 4 pulgadas (AC Infinity, s.f.).



**Figura 40.** reductor de 4 a 3 pulgadas de acero galvanizado (Amazon, s.f.).

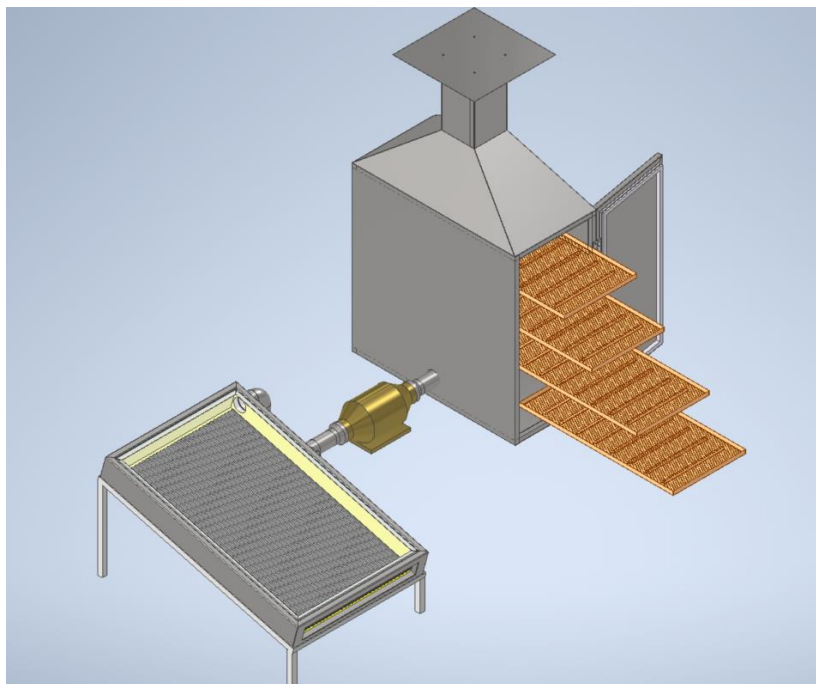
Los elementos presentados no se presentan individual para el diseño porque son elementos comerciales que pueden ser adquiridos o son más costosas de producir.



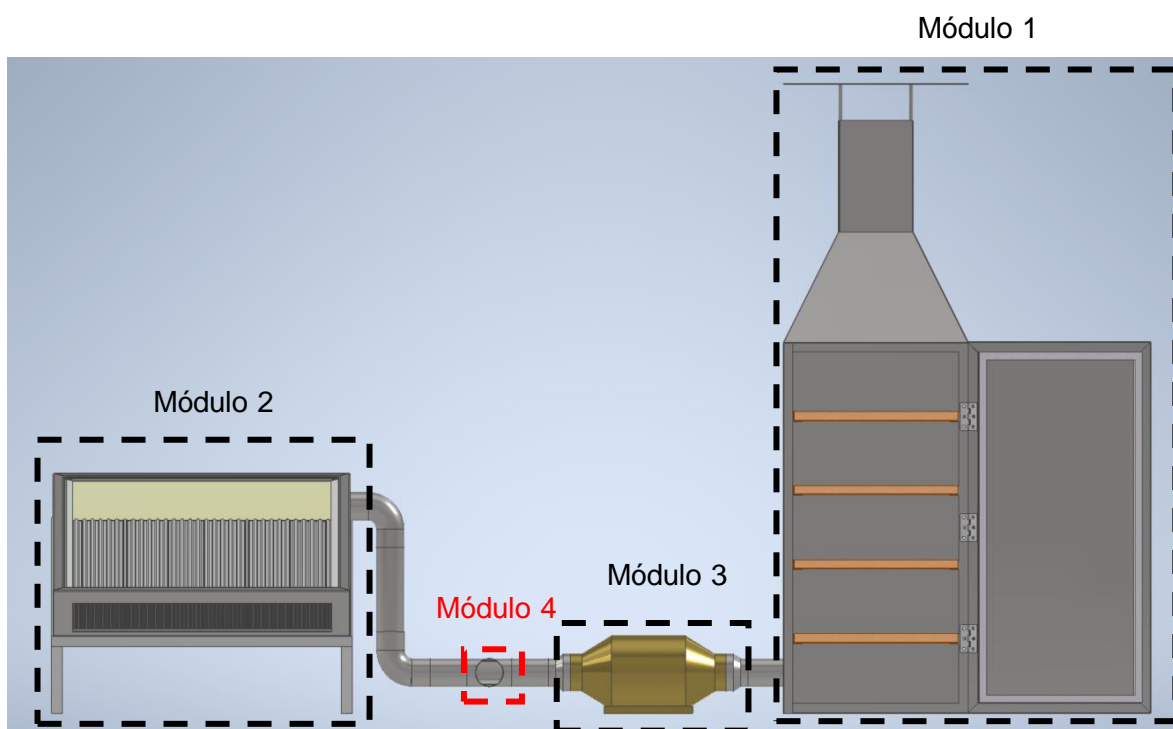
**Figura 41.** Conexión principal de la ductería (Fuente propia).

## 2.13 Ensamble del deshidratador

Para el ensamble se tuvieron que realizar modificaciones en la estructura de la cámara de deshidratación y en el colector. La modificación fueron los agujeros para realizar la conexión con los ductos.



**Figura 42.** Vista superior izquierda del ensamblaje del deshidratador solar (Fuente propia).



**Figura 43.** División modular del deshidratador solar (Fuente propia).

En el desarrollo de este componente se plantea la división modular del proyecto en 4 módulos; el Módulo 1 se trata sobre la cámara de deshidratación, en cálculos previos se mostraron que la carga recomendada son 100lb (45kg) de producto dividido en 4 bandejas, el material que destaca en la estructura es acero inoxidable 304 y como aislante térmico



lana de fibra de vidrio. El Módulo 2 indica la composición del colector solar, aquí es en donde el aire se calienta por eso se coloca una lámina de zinc aplicada pintura de color negro mate para aplicaciones solares, acero negro para la estructura y la cubierta de vidrio de borosilicato y como aislante en las paredes lana de fibra de vidrio. El módulo 3 indica la tubería por donde circulará el aire calentado anteriormente en el colector, se presentan cálculos que ayudaron a seleccionar el tubo mismo que debe ser de 3 pulgadas de diámetro exterior con 1,5 mm de espesor, también se muestra que se necesitan dos codos de 90°, dos reductores de 4 a 3 pulgadas y se propone un ventilador de conducto en línea de 4 pulgadas de diámetro. Finalmente, el módulo 4 resaltado en color rojo en la figura 43 corresponde a la conexión que se deja para que ingrese la bomba de calor, el diseño y cálculos constan en el trabajo complementario de este trabajo.

Los objetivos establecidos en este proyecto se cumplen debido a que a lo largo de la metodología se explica la capacidad, especificaciones de construcción de la parte mecánica y/o estructural, así como materiales y detalles de los motivos por los que se seleccionaron ciertos perfiles. En tanto al levantamiento de información de los productos agrícolas de las zonas rurales del noroccidente de Quito se muestra en el marco teórico, estos productos fueron tomados en cuenta para el diseño de la bandeja de la cámara de deshidratación considerando que el producto agrícola más pequeño es el grano de maíz y siguiendo el criterio de que el diámetro más pequeño en promedio de un grano de maíz es 1-0.9cm, se propuso láminas perforadas de 0.5cm de diámetro. Finalmente, con la presentación de los diseños de los elementos expuestos en 3D en un software de diseño y la especificación de las dimensiones ayudan a cumplir el objetivo de que en el caso de que el lector desee construir el equipo, se cuente con toda la información necesaria para recrearlo sin inconvenientes.

### **3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1 Resultados**

Para la simulación del control automático se considera dos tipos de bombas: bomba de calor común y bomba de calor asistida por colectores solares híbridos PV/T (BCSH)

#### **Calentamiento inicial del deshidratador solar con bomba de calor común**

Para continuar con la simulación se plantea el modelo matemático linealizado, para ello se debe considerar un producto agrícola. De la tabla 1, el producto agrícola que prevalece en todas las parroquias es el maíz. Por ello, se considera al maíz como elemento de prueba.

$$[\dot{\Delta T}] = \left[ -\frac{\dot{m}_{aire} * Cp_{aire}}{m_{maíz} * Cp_{maíz}} \right] * [\Delta T] + \left[ \frac{1}{m_{maíz} * Cp_{maíz}} \right] * [\dot{Q}_{cond}]$$

**Ecuación 13.** Modelo matemático del sistema.

$$[y1] = [1] * [\Delta T] + [0] * [\dot{Q}_{cond}]$$

**Ecuación 14.** Modelo matemático del sistema.

### Matrices del sistema

Para la elaboración del código en Matlab, se debe realizar el ingreso de matrices y con ayuda del Control System Toolbox de Matlab se podrá realizar la simulación del sistema.

- A(t): Matriz de estado
- B(t): Matriz de entrada
- C(t): Matriz de salida
- D(t): Matriz nula

Con ello se tiene lo siguiente:

$$A = \left[ -\frac{\dot{m}_{aire} * Cp_{aire}}{m_{maíz} * Cp_{maíz}} \right]$$

**Ecuación 15.** Matriz de estado.

$$B = \left[ \frac{1}{m_{maíz} * Cp_{maíz}} \right]$$

**Ecuación 16.** Matriz de entrada.

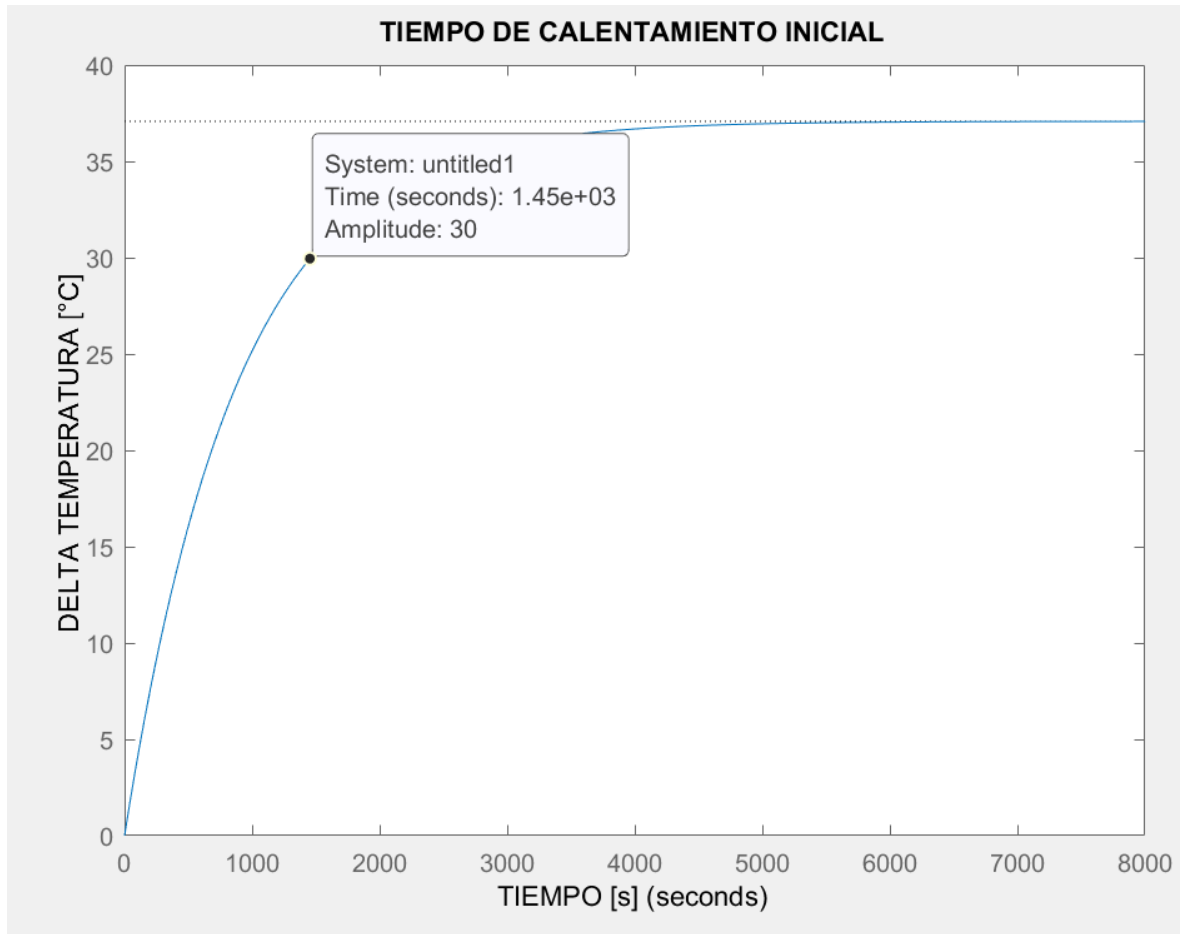
$$C = [1]$$

**Ecuación 17.** Matriz de salida.

$$D = [0]$$

**Ecuación 18.** Matriz nula.

El código de Matlab se presentará en los anexos, tanto para la bomba común como para la bomba asistida por colectores solares.

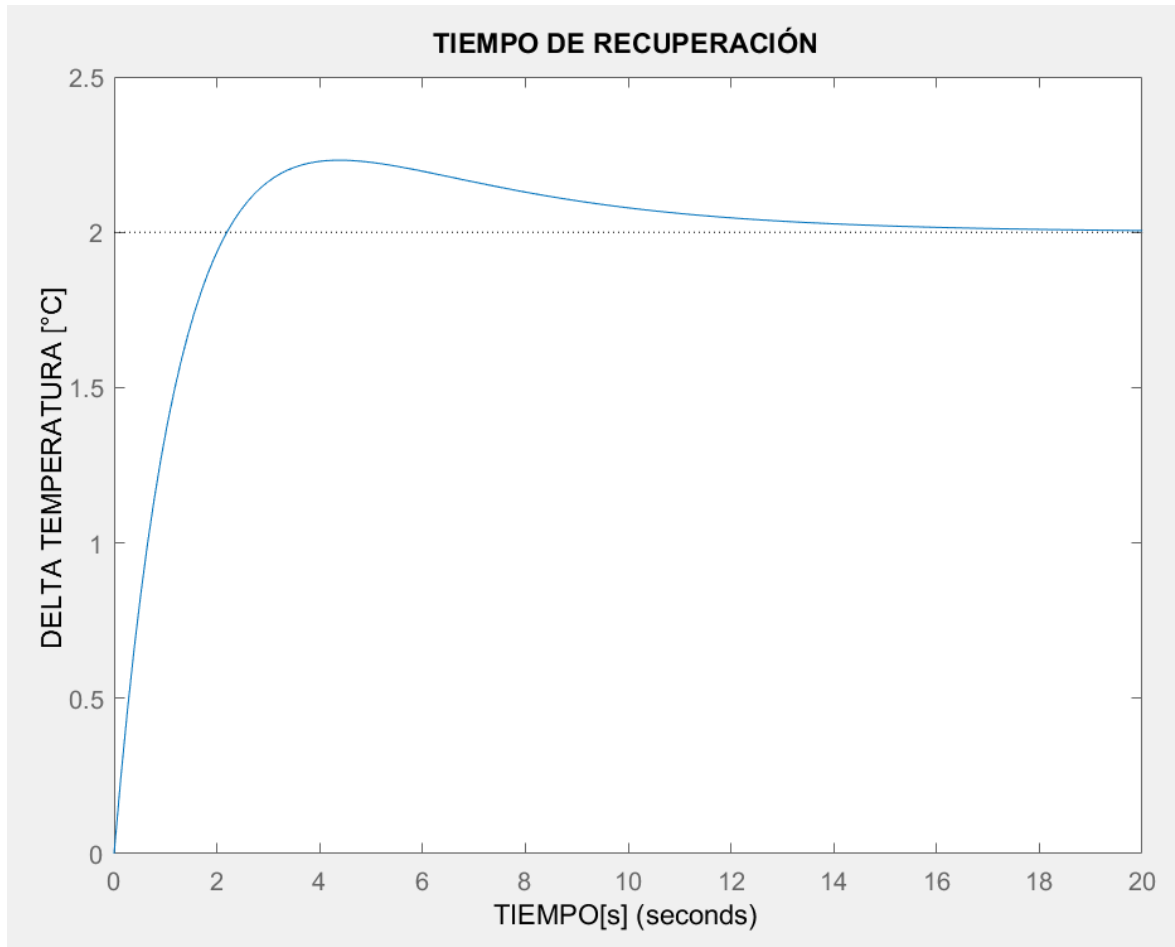


**Figura 44.** Tiempo de calentamiento inicial con una bomba de calor común (Fuente propia).

De la figura 44, se evidencia que le toma 1450 [s] conseguir la diferencia de temperatura de 30°C entre la temperatura ambiente y la temperatura del secador, es decir, en aproximadamente 24 minutos ya se consigue la temperatura para iniciar la deshidratación.

### **Calentamiento inicial del deshidratador solar con bomba de calor asistida por colectores solares híbridos PV/T (BCSH)**

El modelo matemático es el mismo que se utilizó en la bomba de calor común



**Figura 45.** Tiempo en recuperar la temperatura de deshidratación (Fuente propia).

Se plantea el control automático para el sistema, el mismo se establece en 2°C, es decir, cuando el sistema detecta que la temperatura baja en más de 2°C el controlador activa el PID para mantener constante la temperatura de deshidratación. Y queda en evidencia que le toma 10 [s] en corregir la caída de temperatura.

Los cálculos energéticos y energéticos que acompañan al código fueron mencionados y explicados en el documento complementario de este Trabajo de Integración Curricular.

## 4 Conclusiones

Se cumplió con la finalidad del presente Trabajo de Integración Curricular, el cual era diseñar los componentes mecánicos y/o estructurales de un deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrida solar, mismos diseños que fueron separados en 3 módulos (cámara de deshidratación, colector solar y ductería) y presentados mediante diseños en 3D en el software de diseño Inventor, contando con la explicación de la selección de materiales y perfiles que optimizarán el uso del equipo.

Se presentan los cálculos de diseño estructural para especificar la cantidad máxima (80kg) e idónea (45kg) que podrá ingresarse en el deshidratador solar para evitar fallos en el sistema, además de estar diseñado para cumplir con el secado de la mayoría de los productos agrícolas de la zona. La cantidad máxima e idónea debe repartir su peso en las 4 bandejas con las que cuenta la cámara de deshidratación.

El levantamiento de información de los productos agrícolas se basó en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial denominados PDOTs. Los documentos antes mencionados contaban con la información de las principales actividades agrícolas de las parroquias que conforman el Noroccidente de Quito en el periodo del 2015-2019, por lo que no se necesitaron realizar encuestas personalizadas de la zona.

Como antecedente de los deshidratadores solares en la zona, no se contaron con la presencia de ningún equipo que realice dicho trabajo, debido a que sus técnicas se basan en el empirismo. Por lo que la propuesta de implementar un deshidratador solar híbrido asistido por bomba de calor híbrida solar ya es considerada como mejora en la metodología de producción de la zona.

Finalmente, el diseño del deshidratador solar que es presentado en la metodología cuenta tanto con las especificaciones técnicas como las alternativas de los materiales que se pueden utilizar para la construcción. En tanto a la información sobre el uso, basta con colocar 25 libras (11kg) en cada bandeja y encender la bomba de calor para que el proceso de deshidratación empiece. Además, en la parte de resultados se menciona el tiempo inicial que le toma al deshidratador alcanzar la temperatura de deshidratación, así como, el tiempo que le toma al control automático PID corregir la caída de temperatura.

## **5 Recomendaciones**

Durante toda la metodología se propone utilizar acero inoxidable 304, pero eso aumentaría los costos de instalación, como alternativa se recomienda utilizar acero negro, y reforzar la propiedad anticorrosiva colocando pintura antioxidante, esto con la finalidad de evitar la contaminación de los productos con agentes oxidantes que podrían alterar el color, sabor, textura e incluso las propiedades nutricionales de los productos agrícolas de la zona.

En tanto al material utilizado como aislamiento térmico (lana de fibra de vidrio), se recomienda utilizar alternativas como poliuretano expandido en planchas, siempre y cuando se corrobore que en la zona de instalación tanto el colector como la cámara de deshidratación no supere los 80°C, esto debido a que el poliuretano expandido soporta

hasta la temperatura de 80°C en uso continuo y en el caso de presentarse más temperatura, el material llegaría a derretirse, comprimirse o dañarse.

En varios diseños de ductería se olvidan de aislar las tuberías de la temperatura del ambiente exterior, por lo que se recomienda utilizar aislante térmico en la ductería en el caso de no llegar a la temperatura de deshidratación y/o reducir el trabajo de la bomba de calor.

En el caso de querer aumentar la capacidad de carga en la cámara de deshidratación, se recomienda seguir los cálculos variando el espesor del perfil de las columnas, diámetro de los remaches y diámetro de la ductería, debido a que esta son las limitantes del diseño propuesto.

Una nueva propuesta para optimizar el uso de la energía térmica dentro del colector solar es la implementación de tubos de cobre que son recubiertos por la placa absorbadora de calor y sirven para precalentar el agua.

Finalmente, si se desea cambiar de productos de deshidratación, se recomienda utilizar el código Matlab, mismo que cuenta con propiedades físicas del aire, así como propiedades del alimento, en dicho script se puede variar el flujo de masa de aire, calor específico del alimento a secar, temperatura necesaria para deshidratación, etc. Cuando se cambia los valores, especialmente del ANEXO I, se puede volver a dimensionar los 3 módulos, cámara de deshidratación, colector y ductería.

## **6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AC Infinity. (s.f.). AC Infinity CLOUDLINE T4, silencioso ventilador de conducto en línea de 4 pulgadas con controlador de humedad y temperatura - Ventilador de escape para calefacción, enfriamiento, carpas de cultivo, hidroponía. Obtenido de <https://tiendamia.com/ec/producto?amz=B06ZXWN3BG&pName=AC%20Infinity%20CLOUDLINE%20T4,%20silencioso%20ventilador%20de%20conducto%20en%20l%C3%ADnea%20de%204%20pulgadas%20con%20controlador%20de%20humedad%20y%20temperatura%20-%20Ventilador%20de%20escape%20pa>

AFEC. (s.f.). Bomba de Calor aire-agua. Obtenido de <https://www.bombadecolor.org/consumidor/sistemas-agua/>

AI YELLOW. (s.f.). FRIO MATD Empaques a Medida y Repuestos de Refrigeración. Obtenido de <https://www.aiyellow.com/empaques-repuestos/>

Amazon. (s.f.). Reductor o aumento de tubo de metal redondo de 4 a 3 pulgadas o 3 pulgadas o 3 pulgadas - Construcción de acero galvanizado. Obtenido de <https://www.amazon.com.mx/HVAC-Premium-Reductor-tubos-redondo/dp/B083JLFBCH?th=1>

American Institute of Steel Construction. (2011). Steel Construction Manual. United States of America: AISC.

Climargas. (s.f.). Tipos de bomba de calor: opciones existentes en el mercado. Obtenido de <https://climargas.es/tipos-de-bomba-de-calor/>

Cobralum S.A. (2007). Acero Inoxidable propiedades. Obtenido de <http://www.cobralum.com/productos/acero/propiedades.html>

Cocina Solar. (12 de diciembre de 2022). Obtenido de Gastronomía solar: <https://gastronomiasolar.com/deshidratador-solar-secado-alimentos/>

CPM SOLAR. (31 de Octubre de 2019). Encontrar la óptima Orientación e inclinación de los paneles solares. Obtenido de <https://cpmsolar.com/2019/10/31/encontrar-la-optima-orientacion-e-inclinacion-de-los-paneles-solares/#:~:text=Sobre%20la%20%C3%ADnea%20del%20ecuador,0%20grados%2C%20sin%20ninguna%20inclinaci%C3%B3n.>

De Michelis, A., & Ohaco, E. (2015). DESHIDRATACION Y DESECADO DE FRUTAS, HORTALIZAS Y HONGOS. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Ecosistemas del sureste. (2017). Clasificación de la bomba de calor con aire acondicionado. Obtenido de <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/clasificacion-de-la-bomba-de-calor-o-aire-acondicionado/>

GESIPA. (s.f.). Remaches de aluminio. Obtenido de <https://www.farnell.com/datasheets/1694931.pdf>

IMPORT ACEROS. (s.f.). Ángulos inoxidables. Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/angulos-acero-inoxidable/>

IMPORT ACEROS. (s.f.). Tubería Cuadrada Acero Inoxidable 304. Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tuberia-cuadrada-acero-inoxidable-304/>

Import Aceros. (s.f.). Tubo redondo estructural. Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-redondo-estructural/>

Mercado Libre. (s.f.). Tee Soldable De 3 Pulgadas Acero Al Carbón. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-940066691-tee-soldable-de-3-pulgadas-acero-al-carbon-\\_JM#position=13&search\\_layout=grid&type=item&tracking\\_id=756a457d-6f41-4129-9aa9-3f9b7269a042](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-940066691-tee-soldable-de-3-pulgadas-acero-al-carbon-_JM#position=13&search_layout=grid&type=item&tracking_id=756a457d-6f41-4129-9aa9-3f9b7269a042)

Navarro, A. (s.f.). CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR. Obtenido de [https://navarro.orgfree.com/Docencia/Termodinamica/CiclosGeneracion/ciclo\\_refrigeracion.htm](https://navarro.orgfree.com/Docencia/Termodinamica/CiclosGeneracion/ciclo_refrigeracion.htm)

REPERMETAL S.A. (2021). Agujeros redondos. Obtenido de <https://repermetal.com.ec/agujeros-redondos/>

SAECSA. (2014). DESHIDRATADOR. Obtenido de <https://saecsa.com/catalogos/Deshidratador.pdf>

SAECSA. (2019). Tecnología solar aplicada. Obtenido de Saecsa energía solar: <https://saecsaenergiasolar.com/brochures/deshidratadores.pdf>

SONELASTIC. (s.f.). Metales Ferrosos. Obtenido de <https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/metales-ferrosos.html>

Worldmeteo. (2022). Obtenido de Tiempo por hora y día: <https://www.worldmeteo.info/es/>



## 7 ANEXOS

### ANEXO I

#### Código Matlab para el calentamiento inicial del deshidratador solar con bomba de calor común

```
% CALENTAMIENTO INICIAL DEL DESHIDRATADOR SOLAR
% Con bomba de calor común
% Refrigerante R32

clear all;

% COEFICIENTES
Tamb=15; %temperatura del ambiente oC
Tsec=45; %temperatura alta de secado en condensador oC
Tb=5; %temperatura baja en el evaporador oC
deltaT=Tsec-Tamb %delta temperatura deshidratador/ambiente oC
Tcolter=25; % temperatura agua/aire colector solar térmico oC
ancho=0.5; % ancho de deshidratador en m
largo=1; % largo de deshidratador en m
alto=1; % alto de deshidratador en m
Ac=2*ancho*largo+2*ancho*alto+2*largo*alto; % area de paredes m2
m=45; % masa de maíz kg
Cpm=2270; % calor específico del grano de maiz en J/(kg.oC)
mflujo=0.01; % flujo de masa de aire kg/s
Cpa=1005; % calor específico del aire J/(oK*kg)
U=26.48; % coeficiente global de transferencia de calor W/(oK*m2)
perdidas=U*Ac; % pérdidas por deltaT unitario
potcom=1000 % potencia de compresor W
COP=4.3; % coeficiente de desempeño de la bomba de calor
potcon=COP*potcom % potencia de calentamiento en el condensador.

% MODELO EN ESPACIO DE ESTADOS
A=[-(mflujo*Cpa)/(m*Cpm)-perdidas/(m*Cpm)];
B=[1/(m*Cpm)];
C=[1];
D=[0];
SS=ss(A,B,C,D);
GP=tf(SS);

% % COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO
Gp1=GP(1,1);
step(potcon*Gp1);

% CÁLCULOS ENERGÉTICOS
poteva=potcon-potcom % potencia en el evaporador
tcalent=1700 % tiempo de calentamiento inicial del deshidratador s
calorcon=potcon*tcalent % calor suministrado al deshidratador J
caloreva=poteva*tcalent % calor entrante al evaporador J

% CÁLCULOS EXERGÉTICOS
flujoexercom=potcom % flujo exergético en el compresor W
flujoexercon=potcon*(1-Tamb/Tsec) % flujo exergético en el compresor W
flujoexereva=poteva*(1-Tb/Tcolter) % flujo exergético en el compresor W
```

## ANEXO II

### Código Matlab para el calentamiento inicial del deshidratador solar con bomba de calor asistida por colectores solares híbridos PV/T (BCSH)

```
% CALENTAMIENTO INICIAL DEL DESHIDRATADOR SOLAR
% Con bomba de calor asistida por colectores solares híbridos PV/T (BCSH)
% Refrigerante R32

clear all;

% COEFICIENTES
Tamb=15; %temperatura del ambiente oC
Tsec=45; %temperatura alta de secado en condensador oC
Tb=5; %temperatura baja en el evaporador oC
deltaT=Tsec-Tamb %delta temperatura deshidratador/ambiente oC
Tcolter=25; % temperatura agua/aire colector solar térmico oC
ancho=0.5; % ancho de deshidratador en m
largo=1; % largo de deshidratador en m
alto=1; % alto de deshidratador en m
Ac=2*ancho*largo+2*ancho*alto+2*largo*alto; % area de paredes m2
m=45; % masa de café kg
Cpm=2270; % calor específico del grano de maiz en J/(kg.oC)
mflujo=0.01; % flujo de masa de aire kg/s
Cpa=1005; % calor específico del aire J/(oK*kg)
U=26.48; % coeficiente global de transferencia de calor W/(oK*m2)
perdidas=U*Ac; % pérdidas por deltaT unitario
potcom=1000 % potencia de compresor W
potcomBCSH=1000 % potencia de compresor W en BCSH
COP=4.3; % coeficiente de desempeño de la bomba de calor
potcon=COP*potcom % potencia de calentamiento en el condensador.
poteva=potcon-potcom % potencia en el evaporador W
potevaBCSH=poteva*(1-Tb/Tcolter)/(1-Tb/Tamb) % potencia en el evaporador W en
BCSH
potconBCSH=potevaBCSH+potcomBCSH % potencia en el condensador W en BCSH
COPBCSH=potconBCSH/potcomBCSH % coeficiente de desempeño en BCSH
Porinc=(COPBCSH-COP)*100/COP % porcentaje de incremento del coeficiente de
desempeño en BCSH

% MODELO EN ESPACIO DE ESTADOS
A=[-(mflujo*Cpa)/(m*Cpm)-perdidas/(m*Cpm)];
B=[1/(m*Cpm)];
C=[1];
D=[0];
SS=ss(A,B,C,D);
GP=tf(SS);

%CONTROL DE MODULACIÓN
Gp1=GP(1,1);
consignadeltaT=2; % Delta Temperatura oC
[Gc,info]=pidtune(Gp1,'PID',1)
H=feedback(Gp1*Gc,1)
step(consignadeltaT*H);

% CÁLCULOS ENERGÉTICOS BCSH
tcalent=20
% tiempo de calentamiento inicial del deshidratador s
```

```
calorconBCSH=potconBCSH*tcalent % calor suministrado al deshidratador J
calorevaBCSH=potevaBCSH*tcalent % calor entrante al evaporador J

% CÁLCULOS EXERGÉTICOS BCSH
flujoexercomBCSH=potcomBCSH % flujo exergético en el compresor W
flujoexerconBCSH=potcon*(1-Tamb/Tsec) % flujo exergético en el compresor W
flujoexerevaBCSH=potevaBCSH*(1-Tb/Tcolter) % flujo exergético en el compresor W
```

**NOTA:** para que el código compile se debe instalar la extensión CONTROL SYSTEM TOOLBOX.

### ANEXO III

**En el siguiente enlace se encuentra todos los recursos de inventor y Matlab.**

Chicaiza E. (2023). Recursos de Inventor de un deshidratador solar con entrada para una bomba de calor solar híbrida. Enlace generado el 22 de febrero de 2023 en: [https://drive.google.com/drive/folders/1T\\_wfUiruJbEY5YVKjK42ZSA0xAxwwG4O?usp=share\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1T_wfUiruJbEY5YVKjK42ZSA0xAxwwG4O?usp=share_link)