



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL  
CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA DE CACAO  
TIPO TANQUE EMPLEANDO UNA CÁMARA DE  
ACONDICIONAMIENTO PARA LA INYECCIÓN DE AIRE  
CALIENTE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES:** Ariana Nohely Garcia Ruiz  
Wiliam Adrian Gutiérrez Paucar  
**TUTOR:** David Mateo Cortez Saravia

Guayaquil - Ecuador

2022

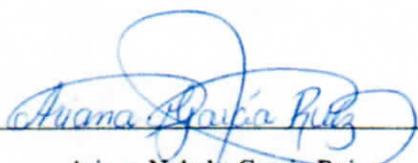
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Ariana Nohely García Ruiz** con documento de identificación N° **1207498195** y **Wiliam Adrian Gutiérrez Paucar** con documento de identificación N° **0932091275**; manifestamos que:

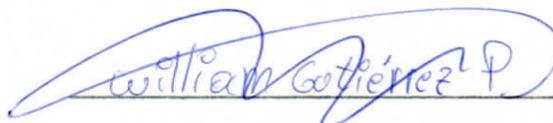
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ariana Nohely García Ruiz  
1207498195



Wiliam Adrian Gutiérrez Paucar  
0932091275

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

Nosotros, **Ariana Nohely García Ruiz** con documento de identificación N° **1207498195** y **Wiliam Adrian Gutiérrez Paucar** con documento de identificación N° **0932091275**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA DE CACAO TIPO TANQUE EMPLEANDO UNA CÁMARA DE ACONDICIONAMIENTO PARA LA INYECCIÓN DE AIRE CALIENTE**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

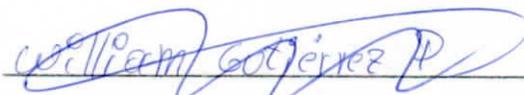
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ariana Nohely García Ruiz  
1207498195



Wiliam Adrian Gutiérrez Paucar  
0932091275

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **David Mateo Cortez Saravia**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA DE CACAO TIPO TANQUE EMPLEANDO UNA CÁMARA DE ACONDICIONAMIENTO PARA LA INYECCIÓN DE AIRE CALIENTE**, realizado por **Ariana Nohely Garcia Ruiz** con documento de identificación N° **1207498195** y por **Wiliam Adrian Gutiérrez Paucar** con documento de identificación N° **0932091275**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,



---

Ing. David Cortez Saravia, MSc.  
0963020193

## DEDICATORIA

Con regocijo, amor y esperanza; este proyecto va dedicado a mi familia, mis padres Aristóteles y Viviana, por todos los sacrificios y esfuerzo realizados a lo largo de estos años para poder darme una carrera, a mi hermano Ronny por siempre ser el apoyo incondicional en todo momento, por confiar en mí.

Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles este trabajo de titulación, que con mérito, fortaleza y dedicación he podido alcanzar.

A cada miembro de mi familia que de una u otra forma se convirtió en pilar fundamental para seguir el arduo camino.

A los familiares que hoy no me acompañan físicamente, que desde el cielo me iluminan para seguir adelante con mis proyectos.

Ariana García

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi familia, de manera muy especial a mis padres William y Amparo, por brindarme su apoyo tanto moral como económico para que hoy pueda lograr alcanzar esta meta tan anhelada.

A mi hermano y familiares en general por el apoyo que me brindaron día a día en el transcurso de cada semestre.

Este nuevo logro en gran parte es gracias a ustedes, logrando concluir con éxito esta etapa de mi vida que en sus inicios parecía difícil e interminable.

Muchas gracias a todos los seres queridos que formaron parte del proceso y depositaron su confianza en mí.

William Gutierrez

## AGRADECIMIENTO

Compite contra tí mismo, no contra todos!

Agradezco a Dios infinitamente por permitirme ser consciente de que todo esfuerzo trae consigo una recompensa, misma que es proporcional al sacrificio que realizamos.

A mis padres por realizar todos los esfuerzos necesarios para brindarme una educación de calidad, acompañada de sus consejos para las situaciones que lo ameriten. Gracias por cada madrugada en la que me acompañaron, para emprender el camino que me llevaría a la meta,

A mi hermano, por convertirse en una persona a quien admirar y llenar de orgullo en cada paso y meta que cumpla.

Agradezco a mi familia en general por brindarme su apoyo incondicional y constante; por brindarme la confianza. A cada uno de los docentes que me forjaron con conocimientos, más aún a aquellos que se convirtieron en amigos dispuestos a aconsejar y brindar su apoyo. A mis compañeros y amigos, quienes estuvieron dispuestos a compartir sus conocimientos y su apoyo en todo momento.

El éxito no se forja de la noche a la mañana; la constancia, perseverancia y decisión juegan un papel fundamental para cumplir los objetivos planteados. Hoy culmino una etapa muy importante, pero soy consciente de que será el inicio de muchas mejores.

Ariana García

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de cumplir esta meta, a mis padres por ayudarme incondicionalmente, ser siempre mis mejores amigos, por estar conmigo en mis victorias y mis derrotas, por ser los mejores guías de las cosas que debo o no realizar.

A mi hermano por su apoyo, su preocupación y por brindarme la oportunidad de demostrarle que teniendo todo en contra podemos lograr nuestros propósitos si tenemos la valentía de ir por ellos.

Agradezco a todas las dificultades que se presentaron en el camino porque sin ellas no hubiera notado de lo capaz que puedo ser, la vida nunca se tratará de cuantas veces caes, sino de cuantas veces uno se levanta y sigue avanzando.

Agradezco de todo corazón el apoyo brindado por las personas que estuvieron presentes en el transcurso de este viaje porque me demostró que siempre podré contar con ellas para ser el mejor.

William Gutierrez

## RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolló el diseño e implementación de una secadora de cacao tipo tanque empleando una cámara de acondicionamiento para la inyección de aire caliente.

El prototipo emplea la inyección del aire caliente mediante un blower, el cual está conectado a una tubería recubierta por resistencias eléctricas, luego se dirige a la parte interna a través de un serpentín de cobre. Los granos se encuentran en un movimiento continuo gracias a un motor conectado al aspa de la parte interna del tanque.

Se realizó el diseño en base al análisis del proceso de secado realizado de forma tradicional, teniendo en cuenta las condiciones climáticas en temporada de invierno; donde se determinó si es factible la implementación de dicho diseño y prototipo, también se realizó la respectiva revisión bibliográfica y teórica para conocer las normas y características que debe cumplir la secadora de cacao.

Se continúa con el proceso de diseño de cada una de las partes que conformarán la máquina empleando el software de diseño CAD-CAM Inventor, también se analiza el proceso de identificación de las partes eléctricas necesarias y la elección de las mismas, considerando que sean de rápida y fácil adquisición en el mercado nacional.

El proceso de automatización y control de la máquina será realizado empleando un PLC S7-1200 de la marca Siemens, el mismo que será programado mediante el programa de TIA PORTAL, el cual emplea un lenguaje de ladder permitiendo la interpretación de manera efectiva gracias a los nombres de las variables, segmentos y la descripción que se le puede colocar a cada uno de ellos para una posterior actualización o mejora de la programación.

Se controla la temperatura mediante el TCN4S, manteniéndola dentro de los rangos identificados durante la etapa de revisión bibliográfica, para el correcto proceso de secado del producto. Se diseña un tablero de control con botoneras y luces pilotos las cuales cuentan con sus respectivas etiquetas para brindar la facilidad de operación del usuario.

**Palabras Claves** Secador tipo tanque, Temperatura, Control, Aire Caliente

## ABSTRACT

In the present project, the design and implementation of a tank type cocoa dryer was developed using an adaptation chamber for the injection of hot air.

The prototype uses the injection of hot air through a blower, which is connected to a pipe wrapped by electrical resistances, then it is directed to the internal part through the copper pipe. The grains are in a continuous movement thanks to a motor connected to the blade of the internal part of the tank.

The design was made based on the analysis of the drying process carried out in a traditional way, taking into account the climatic conditions in winter season; where it was determined if the implementation of such design and prototype is feasible, also the respective bibliographical and theoretical review was made to know the standards and characteristics that the cocoa dryer must comply with.

We continue with the design process of each of the parts that will make up the machine using the CAD-CAM Inventor design software, we also analyze the process of identifying the necessary electrical parts and the choice of the same, considering that they are quick and easy to acquire in the domestic market.

The automation and control process of the machine will be carried out using a Siemens PLC S7-1200, which will be programmed by means of TIA PORTAL, which uses a ladder language allowing the interpretation in an effective way thanks to the names of the variables, segments and the description that can be placed to each one of them for a later update or improvement of the programming.

The temperature is controlled by the TCN4S, keeping it within the ranges identified during the literature review stage, for the correct drying process of the product. A control panel is designed with push buttons and pilot lights with their respective labels to provide ease of operation for the user.

**Key Words** Tank type dryer, Temperature, Control, Hot Air

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>II.</b>	<b>PROBLEMA</b>	9
II-A.	ANTECEDENTES	9
II-B.	JUSTIFICACIÓN	10
<b>III.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	11
III-A.	OBJETIVO GENERAL	11
III-B.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
<b>IV.</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	12
IV-A.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	12
IV-B.	MÉTODOS DE SECADO	12
IV-B1.	MÉTODO NATURAL AL SOL	12
IV-B2.	MÉTODO ROHAN	12
IV-B3.	ESTERILLAS	12
IV-B4.	SECADERO TIPO ELBA	13
IV-B5.	SECADO EN PISOS DE CEMENTO	13
IV-B6.	MARQUESINAS Y TÚNELES DE SECADO	14
IV-C.	TERMINACIÓN DEL SECADO	15
IV-D.	PARTES ELÉCTRICAS	15
IV-D1.	MOTOR MONOFÁSICO	15
IV-D2.	PARTES Y COMPONENTES DE UN MOTOR	16
IV-D3.	¿CÓMO FUNCIONA UN MOTOR ?	16
IV-D4.	SOPLADORES DE AIRE	16
IV-D5.	RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	17
IV-D6.	RESISTENCIAS ELÉCTRICAS TIPO ABRAZADERA	18
IV-D7.	SENSOR DE TEMPERATURA	19
IV-D8.	CONTROLADOR DE TEMPERATURA TC4NS-24R	19
IV-D9.	SECADORA DE CACAO	20
IV-E.	PARTES DE CONTROL DEL PROCESO	21
IV-E1.	PLC S7-1200	21
IV-F.	TIA PORTAL	22
<b>V.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	23
V-A.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	23
V-B.	DISEÑO DE PROTOTIPO	23
V-C.	PROGRAMA IMPLEMENTADO	27
V-D.	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO	27
V-E.	CONEXIONES	29
V-F.	COMPARACIÓN DE ANÁLISIS	32
V-F1.	ANÁLISIS DINÁMICO.	32
V-F2.	PRIMER PROTOTIPO	32
V-G.	PROTOTIPO FINAL	34
V-G1.	ANÁLISIS ESTÁTICO	34
V-H.	CÁLCULOS REALIZADOS	37
V-H1.	IDENTIFICAR LA CARGA	37
V-H2.	ÁREA Y DEFORMACIÓN	37
V-H3.	DEFORMACIÓN	39
V-H4.	SELECCIÓN DE MOTOR	39
V-H5.	VELOCIDAD ANGULAR	39
V-H6.	POTENCIA MECÁNICA	40
V-H7.	RPM	40
V-H8.	POTENCIA ELÉCTRICA	40
V-I.	ANÁLISIS DE SELECCION DE ELEMENTOS	42
V-I1.	PROGRAMA PROPUESTO	42

<b>VI. RESULTADOS</b>	44
VI-A. PRUEBA DE LOS MATERIALES . . . . .	44
VI-B. TIEMPO DE SECADO . . . . .	45
<b>VII. CRONOGRAMA Y ACTIVIDADES PARA REALIZAR</b>	46
<b>VIII. PRESUPUESTO</b>	47
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	48
<b>X. RECOMENDACIONES</b>	49
<b>XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	50
<b>XII. ANEXOS</b>	51
XII-A. PLANOS DE PROTOTIPO . . . . .	51
XII-B. ANÁLISIS ESTÁTICO . . . . .	58
XII-B1. RESTRICCIONES . . . . .	60
XII-C. RESUMEN DE RESULTADO . . . . .	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Método Rohan[Ilustración1],[15]. . . . .	12
2.	Método de Esterilla. [Ilustración 2], [15]. . . . .	13
3.	Método Tipo Elba.[Ilustración 3][15]. . . . .	13
4.	Método de Secado en Pisos.[Ilustración 4][15]). . . . .	14
5.	Método de Secado, Marquesinas y túneles.[Ilustración 5][15]). . . . .	14
6.	Método de Secado artificial.[Ilustración 6],[15]). . . . .	15
7.	Método de Secado artificial. [Ilustración 7],[15]). . . . .	15
8.	Motor Monofásico. [Ilustración 8],por mheducation. . . . .	16
9.	Blower. [Ilustración 9],por mheducation. . . . .	17
10.	Resistencias Eléctricas Industriales. [Ilustración 10],por serrawatt. . . . .	18
11.	Resistencias tipo abrazadera. [Ilustración 11],por serrawatt. . . . .	19
12.	Termocupla tipo K. [Ilustración 12],por serrawatt. . . . .	20
13.	Controlador de temperatura TCN4S[Ilustración 13], por AUTONICS . . . . .	20
14.	Diseño del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 14], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	21
15.	Dispositivo para automatizar el proceso. [Ilustración 15], por Siemens. . . . .	21
16.	Controlador de temperatura. [Ilustración 16], por AUTONICS. . . . .	23
17.	Diseño del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 17], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	24
18.	Capa externa del diseño de la secadora de cacao. [Ilustración 18], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	25
19.	Diseño del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 18], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	25
20.	Eje rotatorio que su movimiento será continuo y aspas para el movimiento del material. [Ilustración 20], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021 . . . . .	26
21.	Tubería por donde se conducirá el aire caliente. [Ilustración 21], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021 . . . . .	26
22.	Capa interna que contendrá material y concentración de calor. [Ilustración 22], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	27
23.	Software para diseño de piezas. [Ilustración 23], por Inventor Autodesk, 2019. . . . .	27
24.	Programa en TIA PORTAL [Ilustración 24], por autores. . . . .	28
25.	Programa en TIA PORTAL [Ilustración 25], por autores.. . . .	28
26.	Programa en TIA PORTAL [Ilustración 26], por autores. . . . .	29
27.	Conexión de un motor Monofásico. [Ilustración 27], por W. Gutiérrez y A. García, CADESIMU. . . . .	30
28.	Conexión de un motor Monofásico. [Ilustración 28], por W. Gutiérrez y A. García, CADESIMU. . . . .	30
29.	Conexiones. [Ilustración 29], por W. Gutiérrez y A. García, CADESIMU. . . . .	31
30.	Entradas de corriente del dispositivo. [Ilustración 30], por Digi- Key Electronic, 2018 . . . . .	31
31.	Selección de la estructura para el análisis de la secadora de cacao. [Ilustración 31], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	32
32.	Aplición de las fuerzas para el análisis de la secadora de cacao. [Ilustración 32], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	32
33.	Configuración de las fuerzas para el análisis, [Ilustración 33], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	33
34.	Datos obtenidos del análisis para la secadora de cacao. [Ilustración 34], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	33
35.	Datos que se obtuvieron del análisis para la secadora de cacao. [Ilustración 35], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	33
36.	Selección de la estructura para el análisis. [Ilustración 36], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	34
37.	Simulación de esfuerzos. [Ilustración 37], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	34
38.	Datos obtenidos por medio del análisis estático. [Ilustración 38], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	35
39.	Factor de seguridad que necesita nuestro prototipo [Ilustración 39], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	36
40.	Datos que se obtuvieron del análisis para la secadora de cacao. [Ilustración 40], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	37

41.	Datos que se obtuvieron del análisis para la seleccion de material. [Ilustración 41],www.grantadesign.com . . . .	42
42.	Datos que se obtuvieron del análisis para la seleccion de material. [Ilustración 42], por <a href="https://www.grantadesign.com">https://www.grantadesign.com</a>	43
43.	Diseño de prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 43], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.	51
44.	Diseño de las Aspas del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 44], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	52
45.	Diseño de las Aspas del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 45], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	53
46.	Diseño de la base del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 46], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	54
47.	Diseño del fondo del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 47], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	55
48.	Diseño del recipiente del material de secadora de cacao. [Ilustración 49], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	56
49.	Diseño del recipiente del material de secadora de cacao. [Ilustración 49], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	57
50.	Materiales de análisis. [Ilustración 50], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	58
51.	Materiales de análisis. [Ilustración 51], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	59
52.	Materiales de análisis. [Ilustración 53], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	60
53.	Materiales de análisis. [Ilustración 53], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	61
54.	Materiales de análisis. [Ilustración 54], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021. . . . .	62

## ÍNDICE DE CUADROS

I.	Coficiente de seguridad Diseño de Elementos de Máquinas. México: Editorial Limusa, 1995. 4ª. . . . .	36
II.	Densidad de los Granos. . . . .	38
III.	Temperaturas obtenidas en el aluminio . . . . .	44
IV.	Temperaturas obtenidas en el cobre . . . . .	44
V.	Cronograma y actividades a realizar. por autores . . . . .	46
VI.	Presupuesto para el prototipo, por autores . . . . .	47

## I. INTRODUCCIÓN

Considerando la necesidad de implementar un sistema de secado por lotes que permita secar una sección de cacao en poco tiempo, para esto se realizó el diseño e implementación de una secadora de cacao tipo tanque con adecuación para la inyección de aire caliente la cual pretende servir de apoyo para los agricultores en este proceso de secado; especialmente en temporada de lluvia, por cuando el método tradicional se ve dificultado por estas condiciones, tomando más tiempo de lo normalmente empleado.

El método que comúnmente conocemos para realizar el secado del grano de cacao involucra la coordinación y el trabajo de un gran número de personas a lo largo de todos los procesos, para obtener un grano de cacao de calidad y excelencia. El método más usado hasta la actualidad es el secado natural o también conocido como de “TENDAL”, que consiste en aprovechar la radiación solar para secar el grano. Dicho método tiene una duración aproximada de 5 a 7 días, dependiendo del clima y la mano de obra disponible para dicho proceso. Esta larga espera afecta considerablemente los ingresos de los agricultores que se dedican a este rubro para el sustento de toda su familia. [13]

Además, en temporada de lluvias; estación donde la producción es mayor, los granos de cacao se extienden en lonas o pisos de concreto de capa delgada y se voltean con un rastrillo para un secado uniforme, dicho proceso puede tardar de 10 a 12 días dependiendo del clima, ya que la radiación solar es limitada durante esa época del año.[22].

El deterioro que se ve evidenciado en el producto, debido a la exposición excesiva de calor durante el proceso de secado, afectan a una amplia cantidad de sembríos; lo mismo que les impide a los agricultores aprovechar de las ventas adecuadas de su producto, muchas veces causandoles pérdidas de sus inversiones. La temperatura máxima que se debe tener en este tipo de procesos es de 60°C, ya que si se pasa de esta temperatura, el grano de cacao tiende a volverse frágil y deshacerse, lo cual devalúa su precio al mercado. De acuerdo a publicaciones de investigaciones realizadas por ingenieros químicos y botánicos especializados en este campo, se recomienda que la temperatura promedio de secado debe sondear los 35 a 45 grados centígrados para tener una mayor resistencia y conservación del material. [18]

El proceso de secado conlleva una cantidad de tiempo considerable, por esta razón el campo atrae innovación para realizarlo de una forma más rápida mejorando las formas tradicionales que se siguen empleando. Es de esta forma que muchas empresas han implementado secadores de cacao ya sea por inyección de calor artificial, control por termocuplas o cámaras de aire caliente. La calidad del producto puede mejorar dependiendo la forma de secado que se aplique.

Sin embargo, el problema es la uniformidad del secado del grano de cacao, al utilizar máquinas compradas individualmente y que no consideran todo el proceso como tal. La propuesta del presente trabajo busca la implementación de un proceso de secado uniforme controlando la temperatura a lo largo de toda la línea de producción. [8]

## II. PROBLEMA

### II-A. ANTECEDENTES

El comercio a nivel mundial de los productos primarios cumple con una gran importancia socioeconómica en América Latina y partes del Caribe; dentro de estos se encuentran las plantaciones del cacao que se da desde México a Brasil, sea el comercio de este en materia prima o productos más elaborados. El cultivo de cacao comprende una parte fundamental en el sustento económico de las familias ubicadas en dicho sector, ya que es una de las fuentes principales de ingresos económicos.

El cacao y sus derivados tienen una gran demanda a nivel mundial y es aprovechado como materia prima de muchas producciones industriales especialmente en el área de la chocolatería; así como productos cosméticos y de aseo (esto último específicamente para la manteca de cacao) sin embargo, su oferta está sujeta a la producción, la misma que se puede ver limitada por las características climatológicas. [20]

El cacao es uno de los principales productos de exportación en el Ecuador, aportando el 5 % de la población económicamente activa (PEA) y el 15 % con la PEA rural según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC); convirtiéndose así en una de las bases fundamentales para el sustento de la economía familiar del país. Según la ICCO, Ecuador es uno de los principales productores de granos de cacao, ocupando el tercer lugar a nivel mundial, representando el 7 % de la producción total. [2]

Según [3], el cacao está clasificado de la siguiente manera:

- o División -Espermatofita
- o Clase - Angiosperma
- o Sub-clase - Dicotiledónea
- o Orden - Malvales
- o Sub-orden - Malvinas
- o Familia - Esterculiaceas
- o Tribu - Bitneria
- o Género - Theobroma
- o Especie – Cacao

Según estudios realizados por un gran número de investigadores, el tiempo de secado del cacao se puede reducir controlando estrictamente la cantidad y el contenido de humedad de los granos de cacao, por esta razón, por lo que se eligió como estudio la implementación de un prototipo de secadora de cacao para reducir el tiempo de secado.

Se han estudiado diferentes aspectos de la producción de cacao, de esta forma buscando siempre optimizar el proceso y mejorar de la calidad del producto. Por ejemplo, la fermentación del cacao aumenta significativamente su sabor, su aroma, su calidad y su finura, pero este proceso se realiza en un periodo de tiempo muy extenso; además, si se aumenta el tiempo de fermentación, también se aumenta el tiempo empleado para secar el producto. Otro método propone el lavado de los granos de cacao para reducir el tiempo de secado, cabe recalcar que el método que se efectúa para este secado será la inyección de aire caliente mediante el serpentín de cobre ubicado entre las dos capas que conforman el prototipo. [16]

Como antecedente histórico, tenemos el diseño y la implementación de diferentes prototipos de secadores artificiales de cacao en otros proyectos, como lo son: el secador rotatorio y el secador tipo plataforma el cual consiste en la implementación de un método de combustión con quemador a gas donde las variables consideradas fueron:

- o Temperatura ambiente
- o Presión atmosférica
- o Humedad del ambiente

Y de unos flujos determinados:

- o Flujo de combustible

o Caudal del gas (aire)

La aplicación de este método consiste en elevar la temperatura de la capa de almacenamiento del material y en un tiempo determinado para complementar la combustión y remoción del material en un tiempo determinado, cabe recalcar que el tiempo que se emplea por proceso es mayor al tiempo que se estima en este proyecto que es de 3 a 4 horas. [18]

## *II-B. JUSTIFICACIÓN*

El cacao es uno de los productos más importantes para la economía, ya que se convirtió en el primer país exportador de cacao en grano en América y ocupa el cuarto puesto en el mundo entre todos los tipos de cacao, lo que representa un aumento del 168 % en los últimos años[21], por esta razón el proyecto busca la implementación de la automatización de uno de los procesos más importantes, evitando la pérdida de producto y reduciendo el tiempo empleado para el secado del cacao.

Después de la fermentación, el proceso de secado tiene la finalidad de quitarle el exceso de humedad el cual debe descender hasta un 7 u 8 % para la conservación de sus propiedades puesto que si baja más de lo anteriormente indicado el grano puede adquirir un olor desagradable; y, si este porcentaje es muy alto puede ser susceptible a adquirir hongos. Estas dos situaciones pueden generar pérdida del producto a los agricultores por ende también pérdidas económicas. [6]

El método de secado natural al sol básicamente consisten en aprovechar la radiación solar, para mantener una temperatura adecuada, mientras los granos están tendidos en el piso de cemento o en toldas los cuales son movidos con rastrillos de forma permanente para que reciban el sol en todos los ángulos posibles; permitiendo la conservación correcta de sus propiedades. El prototipo posee un sistema automatizado que optimiza el calor suministrado para un secado uniforme evitando el desperdicio de la materia prima.

El secado solar se demora entre cuatro y seis días, dependiendo de las condiciones climáticas a las que este expuesto durante esa etapa del prototipo. [1]. A comparación del prototipo propuesto donde el tiempo máximo de secado es de 4 a 5 horas.

El proceso de secado artificial consiste en la disminución controlada de la humedad mediante el uso de equipos o dispositivos especialmente configurados con ese fin. Generalmente, estos procesos emplean fuentes convencionales de energía donde la temperatura no debe exceder de los 80 °C [15], la cual será controlada mediante sensores ubicadas de manera estratégica dentro del prototipo diseñado.

Y aunque preferiblemente se emplea el secado natural, el artificial se presenta como una alternativa viable en aquellas regiones donde llueve mucho en temporada de cosecha; ya que la implementación del prototipo no depende de las condiciones climáticas a las que se vea sometido en el medio que este sea instalado. [15]

Los sistemas industriales de secado en nuestro país, requiere de una importante inversión en el uso de nueva tecnología, que no supondrá dificultades para los grandes fabricantes, mientras que los pequeños fabricantes no podrán acceder a la tecnología de esta automatización, ya que les resulta ser imposible de adquirir este tipo de tecnología.

Este proyecto es beneficioso debido a que mediante la aplicación del sistema de automatización con el PLC S7-1200 junto a los sensores de temperatura adecuados permitirá que el proceso de secado de cacao se realice en menor tiempo que el secado convencional, de esta forma asegurando que los pequeños productores puedan alcanzar la utilización completa de todos los granos cosechados sin importar la estación del año y evitando la pérdida económica.

Sin duda alguna los principales beneficiados serán los pequeños agricultores junto a todo el personal que interviene en el proceso, puesto que la inversión será recompensada con las ganancias adquiridas en las ventas de los granos previamente secados.[10]

### III. OBJETIVOS

#### *III-A. OBJETIVO GENERAL*

- Desarrollar un prototipo de secadora de cacao tipo tanque, con la finalidad de presentar una alternativa más eficiente que el secado convencional, reduciendo el tiempo empleado en la etapa del secado y evitando la pérdida de producto por malas condiciones climáticas.

#### *III-B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- Desarrollar el sistema de la secadora tipo tanque, empleando una cámara de acondicionamiento para la inyección de aire caliente.
- Desarrollar el sistema de control para la secadora tipo tanque.
- Implementar un control amigable e intuitivo para el operario, que permita calibrar la secadora tipo tanque.
- Realizar pruebas de funcionamiento para verificar la eficiencia del sistema.

## IV. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### IV-A. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Se deben cumplir los requisitos previamente se determinaron y decidieron para establecer un prototipo y su diseño, donde para iniciar especificamos la temperatura como la variable básica que debe determinar el prototipo, la calidad del producto debe estar en los estándares de producción para afirmar que el prototipo cumple con los estándares de calidad para los productos de consumo humano.

### IV-B. MÉTODOS DE SECADO

El secado es fundamental para facilitar el transporte, manipulación, almacenamiento, ventas y distribución del grano de cacao. Después de la fermentación, el cacao aún conserva con más o menos 55 % de humedad, pero ésta se debe asegurar que pueda llegar a reducirse a un equilibrio entre 6.5 a 7.5 % como garantía para que en días posteriores pueda ser vendido o almacenado para la adquisición de todo se recurso. [15] El cacao se puede secar natural o artificialmente.

*IV-B1. MÉTODO NATURAL AL SOL:* Su función principal es aprovechar el calor generado por la radiación solar que suministra una temperatura necesaria para culminar con los cambios que aún no han terminado en los granos de cacao posterior a estar sometido al proceso de la fermentación. El secado natural al sol se puede demora un aproximado de cuatro a seis días sobre pisos de madera o esteras de bambú rajado, siempre y cuando las condiciones climáticas.

*IV-B2. MÉTODO ROHAN:* Este método también es conocido como fermentación en gavetas, el cual consiste en extender el cacao allí mismo y se pone al sol sobre bases previamente acomodados y colocadas a una altura aproximada de 50 centímetros para que no haya influencia de la humedad del suelo con el proceso de secado en las bandejas. [11]

El uso de estas bandejas es muy práctico para los pequeños productores como podemos visualizar en la ilustración 1, pero también sirve en casos de extensiones mayores, donde se cuente con más espacio y personal específicamente dedicado a ese proceso.



Figura 1. Método Rohan[Ilustración1],[15].

*IV-B3. ESTERILLAS:* Una vez que el cacao ha pasado por el proceso de fermentación, se colocan los granos en tendales o esterillas hechas de bambú expuestas directamente al sol, construidas de una forma predeterminado para facilitar la tarea de envolver y recoger para secar o guardar dependiendo del caso.[15]

La operación se hace sobre largueros a buena altura del suelo como podemos visualizar en la ilustración 2.



Figura 2. Método de Esterilla. [Ilustración 2], [15].

*IV-B4. SECADERO TIPO ELBA:* Para plantaciones más grandes, se sugiere la instalación de una secadora tipo Elba, que consta de varios carros de madera que se deslizan sobre rieles, protegidos por una marquesina permanente, como podemos visualizar en la ilustración 3.

Para comodidad de este método de secado, se puede implementar en la construcción un cuarto especial para el proceso de la fermentación y a la vez una sección donde van los carros de madera que se sacan o guardan rodando según lo requiera la presencia de sol o lluvia.



Figura 3. Método Tipo Elba.[Ilustración 3][15].

*IV-B5. SECADO EN PISOS DE CEMENTO:* El método de secado más usados es el de pisos de cemento, ladrillos o de madera. El cacao obtenido después de este proceso es comunmente llamado como grano o pepa “de sol”, el cual se seca cuidadosamente durante un largo tiempo a una temperatura que no pase de 50 °C, removiéndolo constantemente, resultando de mejor calidad, de aroma más fino y de un color claro. [12]

El procedimiento recomendado para el secado en patios de cemento es como sigue:

o Primer día: Proporcionar pocas horas al sol (2 a 4 horas, máximo 4 horas) para evitar una desecación muy rápida; para ello el cacao se extiende en capas con un espesor de 8-12 cm si el tiempo es seco y caliente, de 5 a 7 cm si es húmedo con noches frías. Luego amontonar y cubrirlo durante la noche porque si no se enfría y adquiere un olor desagradable.

o Segundo día: Extender de nuevo las almendras, aumentando las horas de sol hasta 5-6 horas y se disminuye el espesor de la capa, se debe remover los granos con implementos de madera (palas, rastrillos) y al finalizar el tiempo se amontona de nuevo, tapándolo otra vez.

o Tercer día: Se proporciona sol todo el día y así hasta que esté bien seco, lo cual se debe completar en 4 a 6 días según las condiciones del medio ambiente.

Durante el secado se deben formar en los patios pequeños camellones con los granos, luego deben extenderse y rastrillarse con frecuencia para que todos los granos reciban una cantidad suficiente de sol y se sequen en forma uniforme. Además, se deben eliminar materias extrañas, almendras inmaduras, defectuosas, adheridas unas a otras, pasillas, granos muy pequeños como podemos visualizar en la ilustración 4.



Figura 4. Método de Secado en Pisos.[Ilustración 4][15]).

*IV-B6. MARQUESINAS Y TÚNELES DE SECADO:* El secado natural del cacao mediante marquesinas o túneles se ha vuelto popular. Son estructuras de madera o metal con cubiertas especiales de plástico o policarbonato que permiten el paso de la radiación solar, produciendo zonas con lluvias constantes durante la cosecha del cacao. [12]

En marquesinas y túneles de secado es crítico ya que se debe controlar la ventilación, la temperatura y la humedad relativa, lo que se puede lograr parcialmente subiendo o bajando las persianas laterales. como podemos visualizar en la ilustración 5.



Figura 5. Método de Secado, Marquesinas y túneles.[Ilustración 5][15]).

Aunque se prefiere el secado natural, el secado artificial es una opción esencial en áreas con mucha lluvia de cosecha o en plantaciones tan grandes que es prácticamente imposible secar todo el cacao por métodos naturales. A nivel mundial se han diseñado diversos tipos de dispositivos para el secado artificial, uno de ellos se puede apreciar en la Figura 6. Secado artificial.

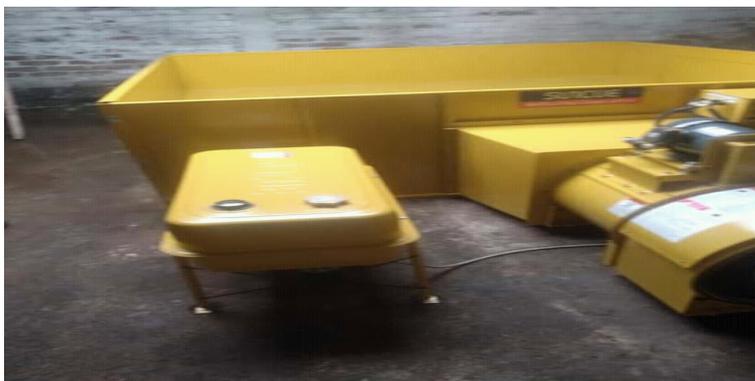


Figura 6. Método de Secado artificial.[Ilustración 6],[15]).

Durante el secado artificial, use flujo de aire caliente y tenga cuidado para evitar la contaminación, especialmente el humo. Como fuentes de calor se puede utilizar leña, carbón, diésel, gas natural o electricidad. [11]

En los secadores rotativos tipo guardiola se realiza un pre-secado del cacao que se encuentra en baba durante un día en patios de cemento, esto es realizado con la finalidad de evitar que el moho, es decir la capa que envuelve el grano de cacao; obstruya las aberturas del cilindro giratorio. Para el secado artificial, la temperatura no debe superar los 80°C, controlada por un termostato conectado a la entrada de aire caliente. Todo el proceso puede tomar alrededor de 24 horas, luego el producto está listo para la venta, en la Figura 7 podemos visualizar una maquinaria utilizada para el secado artificial.



Figura 7. Método de Secado artificial. [Ilustración 7],[15]).

#### IV-C. TERMINACIÓN DEL SECADO

El cacao puede comprobarse seco mediante una prueba de agrietamiento o usando un dispositivo portátil para medir el contenido de humedad de los granos, en este proceso se debe eliminar impurezas extrañas como cáscaras de mazorca, astillas de madera, hojas, entre otros. Luego se separan los granos partidos y los defectuosos, para de esta forma evitar que se desmerite la buena calidad para luego llevar el cacao a su almacenamiento. [15]

La tarea de aseo se hace principalmente a mano, no obstante, en fincas de mucha producción, se utilizan conjuntos que efectúan el aseo y división mecánicamente, sacando por una sección el cacao bueno y por otra los residuos y granos que, por su forma, tamaño, peso y otras propiedades, poseen escasa aprobación para el mercado de cacao.

#### IV-D. PARTES ELÉCTRICAS

**IV-D1. MOTOR MONOFÁSICO:** Los reductores mecánicos y los motorreductores pueden considerarse algunos de los inventos más antiguos de la humanidad e incluso en el siglo XXI todavía se utilizan en casi todos los tipos de máquinas que vemos, desde el más pequeño siendo capaz de variar e incorporar el giro velocidad en un reloj, velocidad variable en un

automóvil e incluso en el gigante reductor de engranajes que impulsa el camión cisterna, la planta de cemento, la máquina perforadora de túneles gigante.

La sencillez de puesta en marcha y su idoneidad para diversas aplicaciones a lo largo de los siglos han determinado el valor de la invención.

Una caja de engranajes o caja reductora es un mecanismo, que principalmente consta de un grupo de engranajes, por medio de el cual la rapidez de salida se puede conservar alrededor de las condiciones ideales para la operación del generador.



Figura 8. Motor Monofásico. [Ilustración 8], por mheducation.

*IV-D2. PARTES Y COMPONENTES DE UN MOTOR :* Tenemos la posibilidad de dividir los elementos de un motor en 3 piezas específicas y diferenciadas. Estas son las siguientes: el estator, el rotor y los escudos/carcasa.

#### ESTATOR

Comprende la parte fija y opera como base del motor. La unidad consta de una carcasa en la que se fija una corona de placas de acero al silicio o ferrosilicio, en la que todavía hay algunas muescas. Se muestran en estos zócalos, como motor trifásico podemos encontrar 3 devanados y 3 circuitos diferentes. En cada circuito hay tantas bobinas como polos tiene el motor. [14]

#### ROTOR

El rotor es la parte móvil dentro del estator. Un núcleo ranurado de acero al silicio se inserta en el eje, y en sus ranuras, se colocan tiras de cobre o aluminio (que componen la conductividad eléctrica) en un sistema conocido como "jaula de ardilla". Esto se debe a que la varilla queda acortada 2 vueltas en el saliente y en el fondo, dándole un aspecto de enjaulado.

*IV-D3. ¿CÓMO FUNCIONA UN MOTOR ?:* El estator incluye la parte que conforma el electroimán, por lo que a esta parte también se le conoce como inductor. Los devanados de 3 etapas atraen corriente y crean un campo magnético que induce corrientes paralelas en las barras del rotor. Su gestión se basa en los inicios de la inducción mutua de Faraday.

Necesitamos entender que este campo magnético se genera precisamente al aplicar una fuente de CA de 3 niveles. La corriente alterna tiene una onda que suele cambiar de negativa a positiva cada segundo. Estamos hablando de un tipo de onda conocida como "onda sinusoidal".

*IV-D4. SOPLADORES DE AIRE:* Los sopladores industriales utilizan un método de arranque bastante simple, que es un ventilador con álabes en espiral dentro del estator.

La fuerza centrífuga durante la rotación creará pequeños remolinos desde la entrada hasta la salida. El ventilador no tiene partes abiertas y no requiere mantenimiento de rutina, pero siempre puede funcionar dentro del rango de presión establecido solo cuando se aspira aire como refrigerante.

#### APLICACIONES

Las aplicaciones en las que podemos ver este tipo de equipos son las siguientes:  
o Alimentación y embotellado

- o Medio Ambiente
- o Educación.
- o Electrónica.
- o Envasado de producto alimentario y no alimentario.
- o Industria química, médica y textil.
- o Metalurgia, metalización y semiconductores.
- o Plástico, goma y resina.
- o Limpieza industrial de componentes.
- o Impresión y papel.
- o Transporte neumático.
- o Vidrio, piedra y madera.



Figura 9. Blower. [Ilustración 9], por mheducation.

*IV-D5. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS:* La resistencia es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en calor y genera calor de varias maneras para satisfacer las necesidades de producción industrial.

Cuando hablamos de resistencia industrial, existen diferentes tipos, materiales y mecanismos dependiendo de los requerimientos del proceso.

Cada resistencia de calentamiento de semiconductores cumple con los requisitos de calidad del servicio industrial.

Si bien estamos hablando de la parte importante de la conservación, manipulación, almacenamiento y manipulación de productos químicos, alimentos, productos metálicos, etc. a la temperatura requerida, el termistor es una excelente solución para las necesidades de la industria.

Las resistencias industriales son muy utilizadas en diversos campos de la vida diaria, como gran parte de las resistencias utilizadas en la industria alimentaria, como sartenes, hornos industriales, máquinas, etc. embalajes, etc. Se siguen fabricando con materiales idóneos, dependiendo de su campo de aplicación.

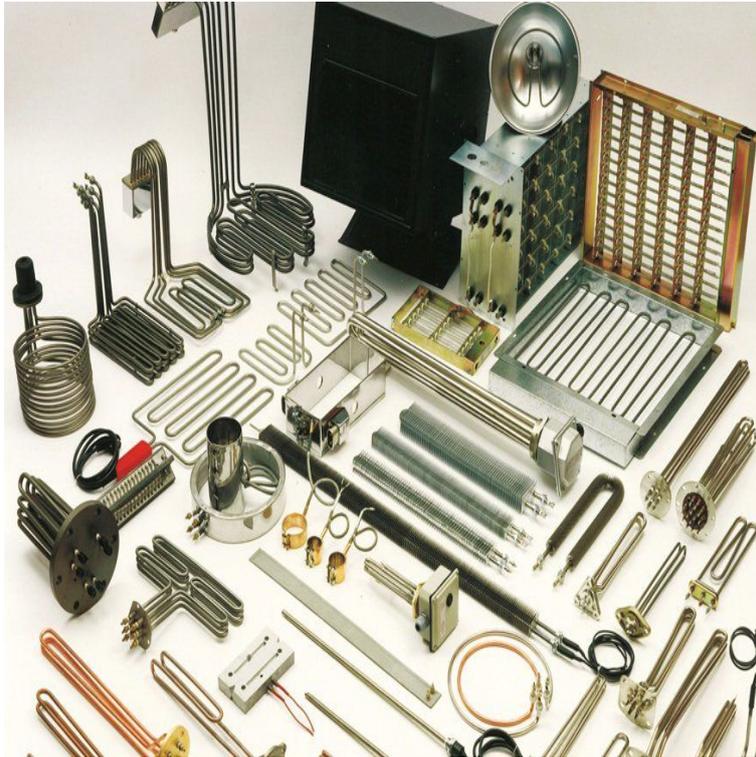


Figura 10. Resistencias Eléctricas Industriales. [Ilustración 10], por serrawatt.

**IV-D6. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS TIPO ABRAZADERA:** Estos modelos vienen en diferentes medidas y acabados, conectividad por cable o pin y diferentes patrones de montaje. La configuración cerrada ofrece una variedad de soluciones como flejes, tornillos de cabeza hueca y más.

Asimismo, se pueden utilizar cajas de derivación, clavijas especiales de porcelana, tomas protegidas, etc. Dependiendo de la aplicación, se recomiendan resistencias de clip de metal, terminales blindados de cerámica o terminales sellados.

#### Materiales

- o Acero zincado
- o Acero inoxidable
- o Latón
- o Aislamiento de mica
- o Aislamiento de cerámica.

#### Datos Técnicos

Se construyen en cualquier tensión, potencia, medidas y forma, para cada necesidad.

#### Aplicaciones

Máquinas de inyección de plástico, boquillas, máquinas de extrusión, máquinas de soplado, termoconformado, calentamiento de alimentos, calentamiento de tuberías, tanques o bandejas.



Figura 11. Resistencias tipo abrazadera. [Ilustración 11], por serrawatt.

*IV-D7. SENSOR DE TEMPERATURA:* Los sensores de temperatura son componentes eléctricos y electrónicos que, en calidad de sensores, permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica determinada. Dicha señal puede enviarse directamente o mediante el cambio de la resistencia. También se denominan sensores de calor o termo sensores. Un sensor de temperatura se usa, entre otras aplicaciones, para el control de circuitos. Los sensores de temperatura también se llaman sensores de calor, detectores de calor o sondas térmicas. [5]

Los termistores PTC señalan un aumento de la temperatura junto con un aumento de su resistencia.

El termistor NTC señala un aumento de la temperatura y una disminución de la resistencia en base a un óxido de metal o semiconductor. El término termistor proviene del inglés termistor.

Dependiendo del material utilizado, existen resistencias de medición de platino, silicio y cerámica. Están disponibles en diferentes rangos de temperatura. Los semiconductores cerámicos también funcionan bien como elementos calefactores independientes o adhesivos de fusión en caliente.

Hay otros materiales de interés en esta área, como un sensor de temperatura de cuarzo que oscila como unidad de medida, que muestra de manera confiable un aumento de la temperatura al variar la frecuencia aditiva y proporciona mediciones excepcionalmente precisas.

Los materiales termoeléctricos responden a cambios en la densidad del portador en su superficie a medida que cambia la temperatura. Se produce una polarización espontánea. Termómetro de radiación térmica.

Los interruptores bimetálicos funcionan mecánicamente y activan el interruptor doblando el bimetálico a medida que aumenta la temperatura.

El sensor de temperatura ferromagnético tiene un imán permanente que se pega o vuelve a descansar dependiendo de la temperatura. En este caso, la tensión del resorte se mantiene magnéticamente o se acciona el interruptor.

*IV-D8. CONTROLADOR DE TEMPERATURA TC4NS-24R:* TC4NS-24R es un controlador de temperatura PID con funciones básicas y rendimiento avanzado para un control de temperatura perfecto con un algoritmo de control PID recientemente desarrollado y una velocidad de muestreo rápida de 100 ms. Es de destacar que el soporte de salida SSRP y salida de relé para un control eficiente y económico, una mejor visibilidad y un tamaño compacto son otras características de la serie TC.



Figura 12. Termocupla tipo K. [Ilustración 12], por serrawatt.

#### Ventajas

- o Fuente de Poder de 24 VCA a 50/60 Hz, 24 a 48 VCD
- o Algoritmo de control PID avanzado
- o Opción incorporada para elegir entre salida de relevo o SSR
- o Diseño compacto y paneles de pantalla grandes para una mejor visualización
- o 2 pantallas digitales
- o Tiempo integral y derivativo de 9999s

#### Especificaciones

- o Tipo Display: 7 segmentos LED (PV: Rojo, SV: Verde)
- o Termocuplas: K, J, L, T, R, S
- o RTD: Pt-100
- o Salida de Control: Relé + SSR
- o Alarmas: Salidas Alarma 1 + Alarma 2
- o Alimentación: 100-240VAC 50/60Hz
- o Tamaño: 1/16 DIN (48x48mm)
- o Peso: 147g aprox.



Figura 13. Controlador de temperatura TCN4S[Ilustración 13], por AUTONICS

*IV-D9. SECADORA DE CACAO:* La secadora de cacao estará compuesta principalmente de dos partes, la estructura del procesamiento electromecánico y la de control, ambas estarán construidas con acero inoxidable.

Los aceros inoxidables reúnen un conjunto de características que los hace diferentes de otros materiales. Entre estas, podemos destacar que los aceros inoxidables tienen elevada resistencia mecánica, muy buena resistencia a la corrosión, pueden ser

soldados, doblados y conformados.

Es por todo esto que los podemos usar en un amplio campo de aplicaciones. [13] Es por eso que con ellos se hace tanques para la industria, columnas de destilación y cafeteras, evaporadores y cacerolas, vasos de presión y barriles de cerveza, hornos industriales y fregaderos de cocinas.[4]

El prototipo completo tendrá una dimensión de 1,40m x 1m como vemos en la ilustración 14.

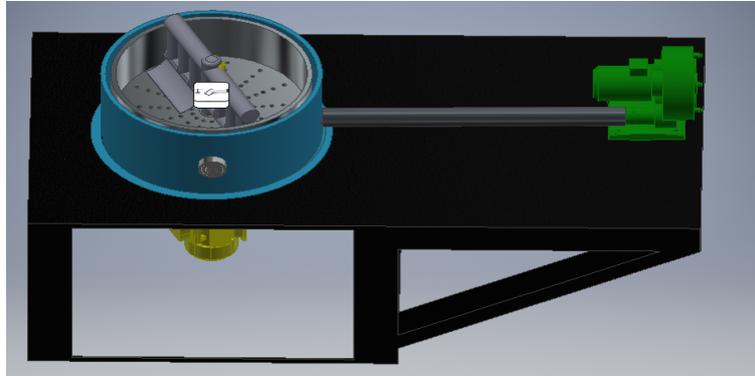


Figura 14. Diseño del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 14], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

#### IV-E. PARTES DE CONTROL DEL PROCESO

*IV-E1. PLC S7-1200:* El PLC es un dispositivo de control computarizado que cumple la función de realizar procesos automatizados en la industria. Se sustenta en la ingeniería automática que es la fuente de alimentación de todo el sistema. Está elaborado para ejecutar las entradas y salidas E/S de manera rápida y segura.

Los PLC operan de variadas formas, una de la más recurrente es su capacidad en la resolución de control y secuencia del sistema operativo. El aporte de entradas y salidas les permite tener procesos automatizados que garanticen calidad y durabilidad en el tiempo.

Son útiles en industrias gracias a su enorme campo de aplicación en métodos para el funcionamiento de máquinas y de producción, como para ampliación de la red. [23]

Los controladores básicos SIMATIC S7-1200 (ilustración 15), son la opción ideal cuando se trata de realizar tareas de automatización de manera flexible y eficiente en el rango de rendimiento medio a bajo. Cuentan con una amplia gama de funciones tecnológicas e IO integradas, así como un diseño especialmente compacto y que ahorra espacio en las empresas. [19]



Figura 15. Dispositivo para automatizar el proceso. [Ilustración 15], por Siemens.

#### *IV-F. TIA PORTAL*

TIA Portal es el innovador sistema de ingeniería que permite configurar de forma intuitiva y eficiente todos los procesos de planificación y producción. Convince por su funcionalidad probada y por ofrecer un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento.

El TIA Portal incorpora las nuevas versiones de software SIMATIC Step 7, WinCC y Stardrive para la programación, parametrización y diagnóstico de los controladores SIMATIC, pantallas de visualización y accionamientos, la nueva versión del sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7 para la planificación, la programación y el diagnóstico de controladores SIMATIC.

Con una nueva generación de editores de programación más productivos se optimiza la calidad, la eficiencia y la consistencia de todo el proceso de producción. Se dispone así de texto estructurado, diagramas de contactos, esquemas de funcionamiento, listas de instrucciones y la posibilidad de programar la cadena de procesos. [23]

Como parte integrante de TIA Portal, SIMATIC STEP 7 abre nuevas perspectivas para maximizar la eficiencia en la programación y calidad de la energía.

## V. MARCO METODOLÓGICO

Una investigación debe estar sustentada en un marco metodológico el cual implica la definición de técnicas, métodos, estrategias, instrumentos y procedimientos a utilizar en el estudio que se desarrolla.

Según Finol y Camacho el marco metodológico se refiere a “cómo se realizará la investigación, muestra el tipo y diseño de la investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, validez y confiabilidad y las técnicas para el análisis de datos”. [6] En otras palabras, es la estructura para la recolección, organización y análisis de toda la información que permite llevar a cabo la investigación basada en datos reales.

### V-A. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Dado que el objetivo de nuestra investigación será el diseño de un prototipo de máquina secadora de cacao con la implementación de inyección de aire caliente, se requirió a un diseño de investigación experimental basándonos en experimentación pura ya que se pretende establecer el posible efecto de una causa que se puede manipular, es decir que podremos manipular las variables independientes para observar los respectivos cambios.

Según el autor [9]: La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

Dentro de las variables dependientes estarán: la selección del material ya que al trabajar con productos de consumo alimenticio debemos estar acorde con esta industria, también encontraremos la temperatura de secado puesto que comprende una parte fundamental para la calidad del producto. Esta variable será medida por una termocupla tipo K y el controlador de temperatura TCN4S; el cual al tener su configuración funciona perfectamente con nuestro proceso el cual deberá estar a una temperatura máxima de +60°.

Dentro de las variables independientes tenemos la temperatura de trabajo para el prototipo por cual se optó por el uso del dispositivo TC4NS-24R que me permite el uso de una termocupla tipo K para sensar la temperatura . (Ilustración 16).

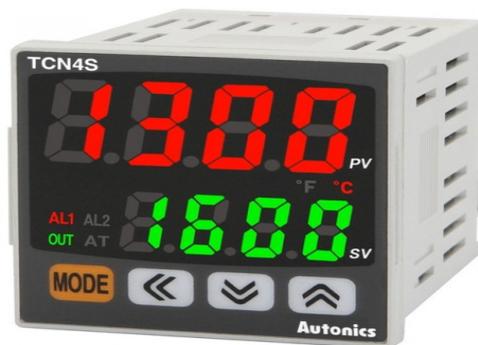


Figura 16. Controlador de temperatura. [Ilustración 16], por AUTONICS.

### V-B. DISEÑO DE PROTOTIPO

Como se observa en la ilustración 14, el prototipo contará con una doble capa de acero inoxidable SAE 316, en la principal se encontrará el eje y las aspas para tener un movimiento constante en los granos mientras se lleva a cabo el proceso de secado, este eje se moverá por medio del movimiento rotatorio de un motor.

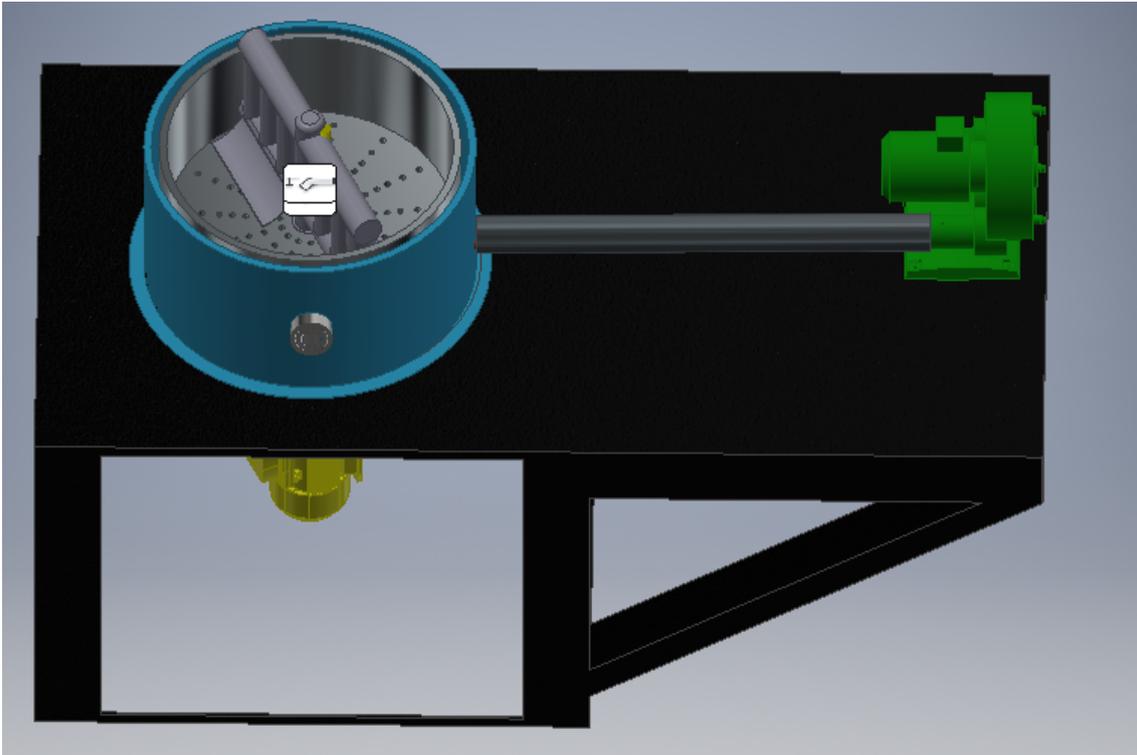


Figura 17. Diseño del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 17], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

La capa externa (ilustración 18) cumplirá dos funciones, la principal es evitar que la secadora se caliente demasiado y alguien pueda sufrir un accidente al estar en contacto con la máquina; la otra función es, que esta capa permita llevar las conexiones de manera ordenada estética hasta la parte de control del proceso.

En la parte inferior de estas dos capas puede observar que se tiene una base cuadrada, con la finalidad de tener el espacio suficiente para el almacenamiento del motor y ubicar las botoneras de control en dicha parte, es decir; botones de start, stop y luces pilotos.

Se propone utilizar la capa externa (Ilustración 18) para conservación de la temperatura interna, además, como protección al peligro que se puede presentar por las altas temperaturas.

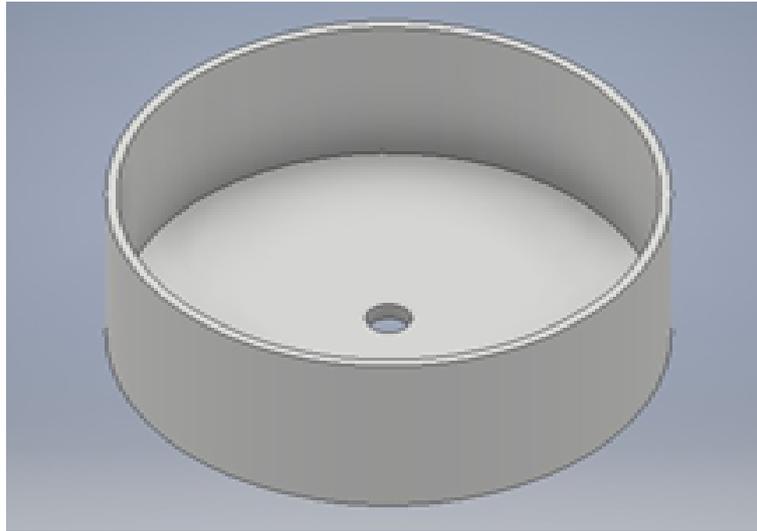


Figura 18. Capa externa del diseño de la secadora de cacao. [Ilustración 18], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Para la visualización de los componentes del prototipo tenemos la vista explosionada como tenemos a continuación en la ilustración 19.

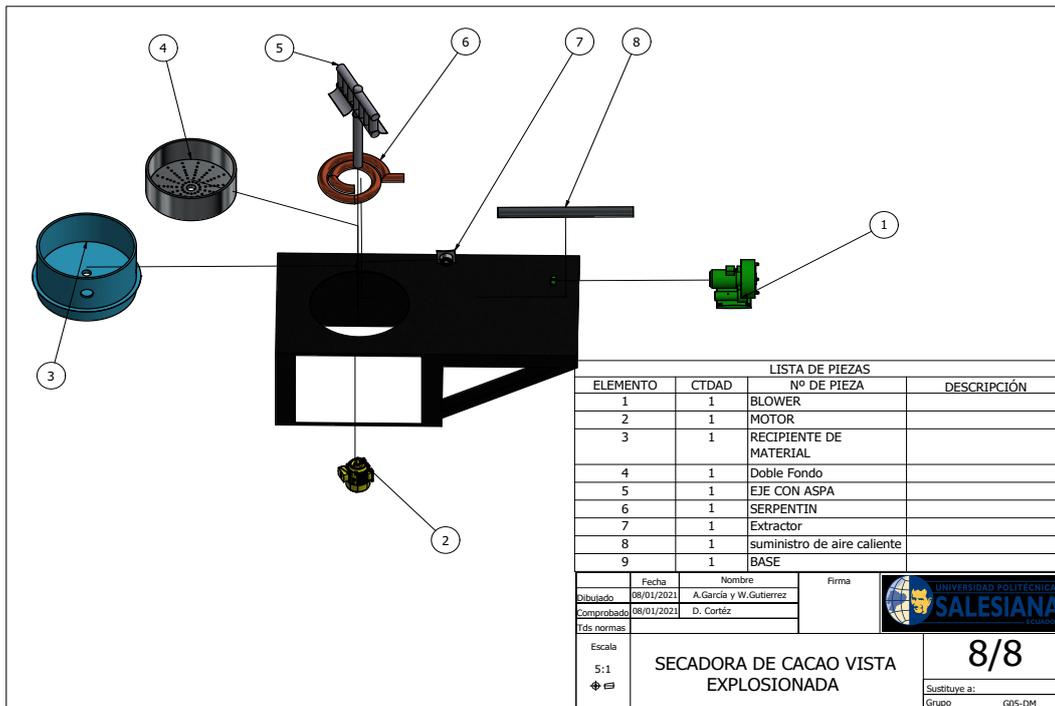


Figura 19. Diseño del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 18], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

El eje y las aspas se encargarán de ejercer un movimiento continuo en la parte interna donde se encontrarán los granos de cacao, como podemos observar en la ilustración 20.

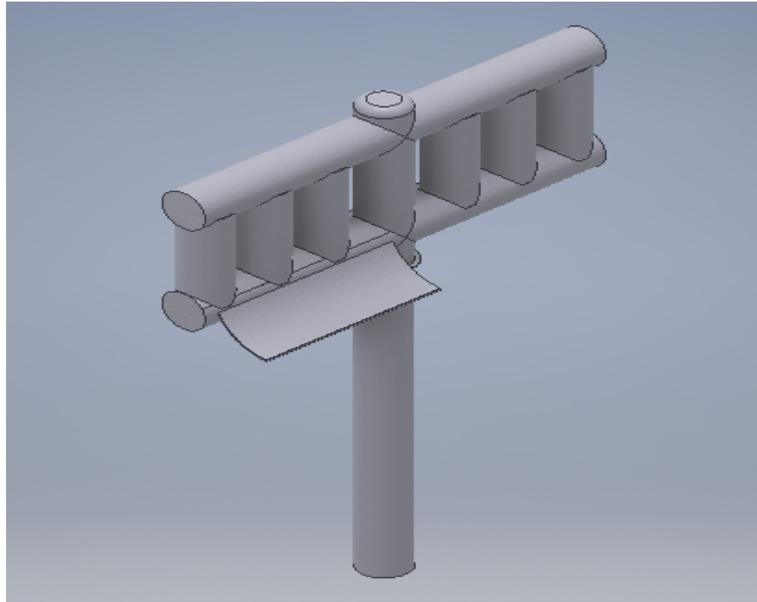


Figura 20. Eje rotatorio que su movimiento será continuo y aspas para el movimiento del material. [Ilustración 20], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021

Para el flujo del aire caliente se implementó un serpentín de cobre como podemos visualizar en la ilustración 21, gracias a las propiedades del material tendremos una mejor conducción del calor que se transmite por medio de las resistencias y del Blower.



Figura 21. Tubería por donde se conducirá el aire caliente. [Ilustración 21], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021

En la parte interna se colocarán los granos de cacao para el proceso de secado como podemos observar en la ilustración 22. Esta estructura consta con pequeños agujeros que sirven para la filtración del aire caliente, de esta forma la inyección de aire caliente será uniforme para todos los puntos de la cámara de secado.

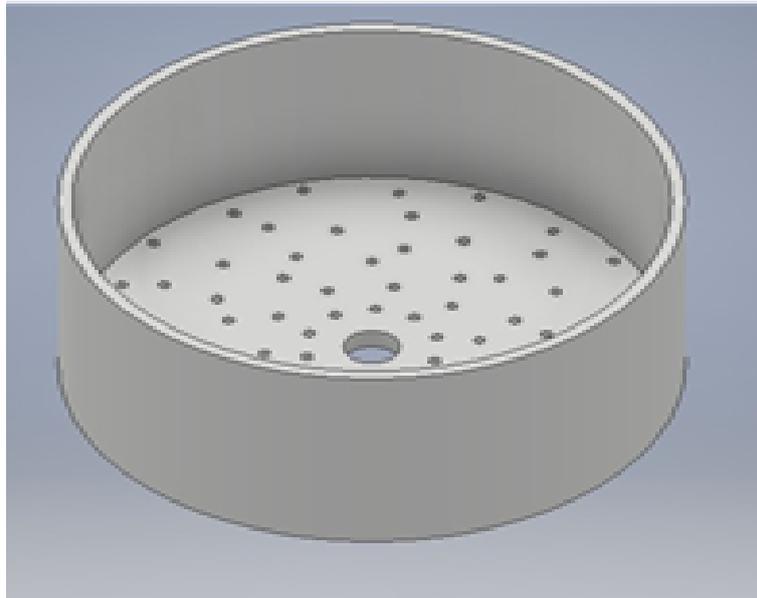


Figura 22. Capa interna que contendrá material y concentración de calor. [Ilustración 22], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

#### V-C. PROGRAMA IMPLEMENTADO

El programa donde se realizó el diseño de las partes que conformarían el prototipo es el Autodesk Inventor Profesional 2019. El software CAD y de diseño mecánico Inventor brinda herramientas de diseño mecánico 3D, documentación y simulación de productos de calidad profesional. Podemos visualizar la portada principal del programa de diseño en la ilustración 23.

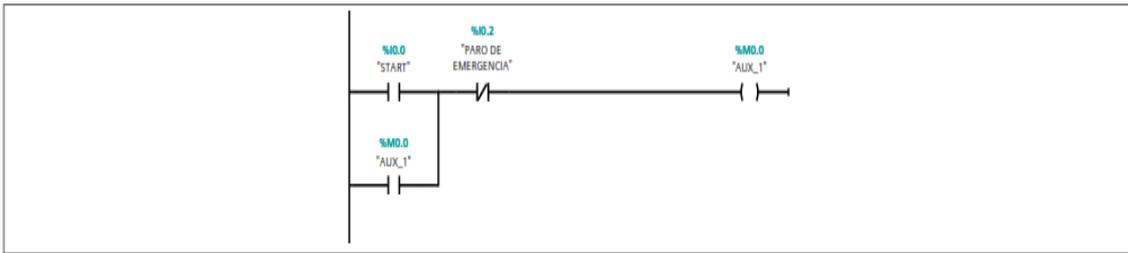


Figura 23. Software para diseño de piezas. [Ilustración 23], por Inventor Autodesk, 2019.

#### V-D. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

En la programación del prototipo tenemos el uso de la programación Ladder que se aplica en el programa “tía portal” como podemos visualizar en la ilustración 24.

### Segmento 1: Arranque y Seguridad



### Segmento 2: sistema de Giro de motor/ Inicio de Sensor

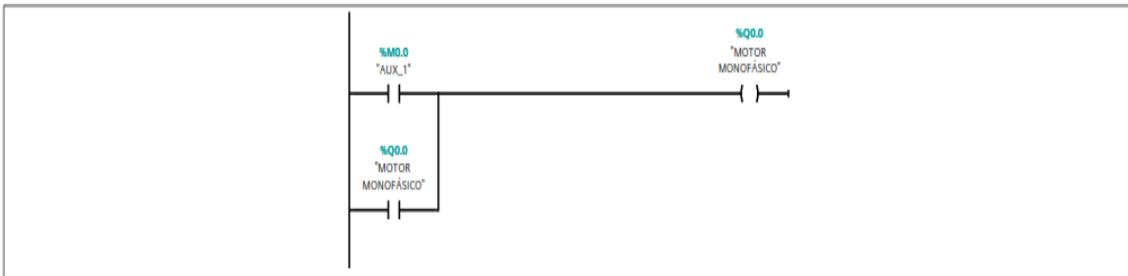


Figura 24. Programa en TIA PORTAL [Ilustración 24], por autores.

### Segmento 3: ENCENDIDO DE BLOWER

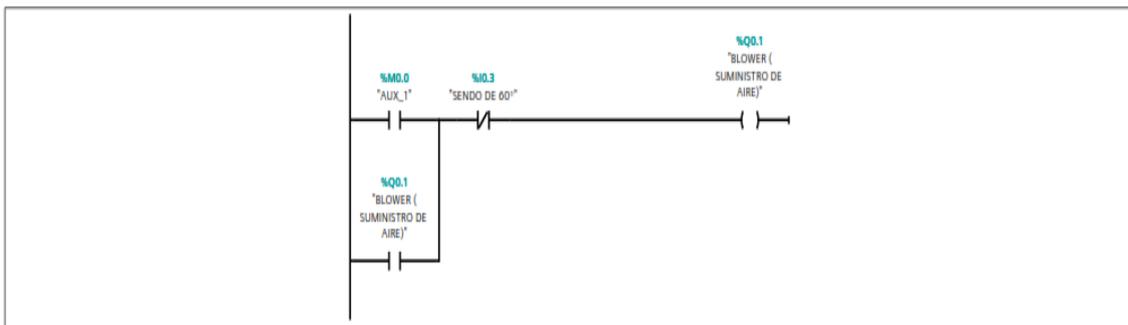


Figura 25. Programa en TIA PORTAL [Ilustración 25], por autores..

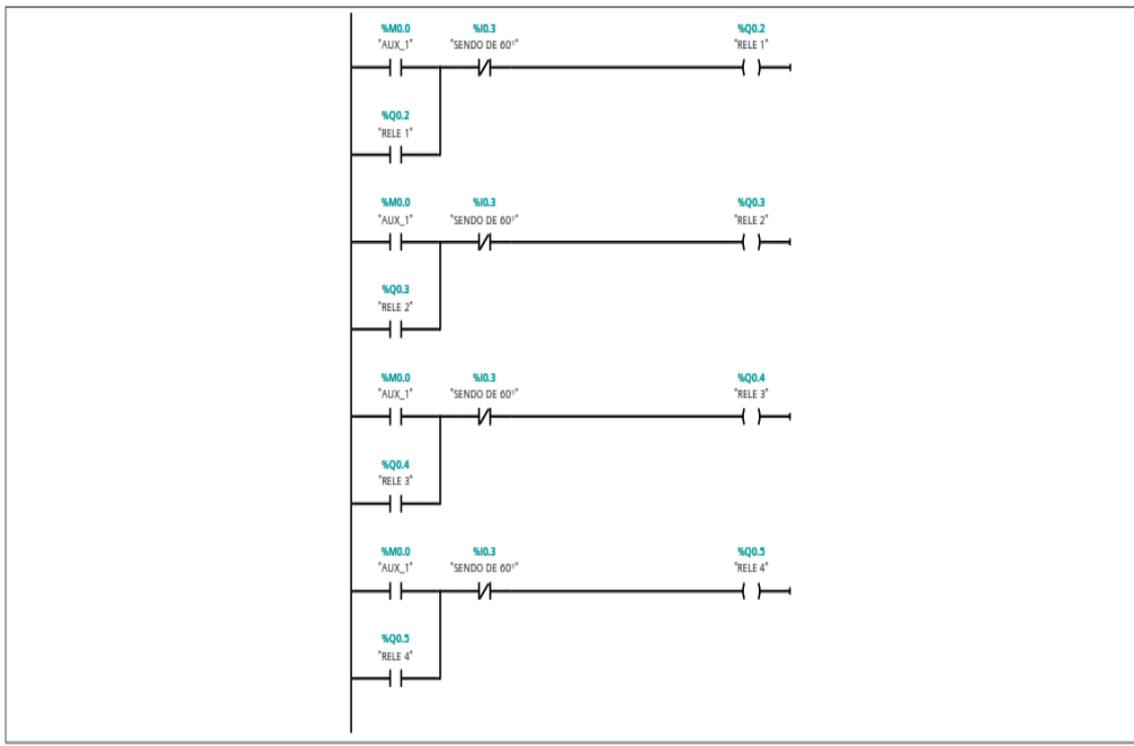


Figura 26. Programa en TIA PORTAL [Ilustración 26], por autores.

En el primer segmento se realizó el arranque del motor y se colocó la seguridad respectiva, que en este caso es un paro de emergencia por si llega a presentar algún accidente o se necesita parar el proceso de forma urgente.

En el segundo segmento se da inicio al funcionamiento del sensor en conjunto con el controlador de temperatura TCN4S.

Y para los demás segmentos se establece el arranque de las resistencias.

#### V-E. CONEXIONES

El motor Monofásico de 1/4 hp se encuentra en una conexión de 110V, esta tensión es la más usada por la población evitando el problema de realizar una conexión especial para el suministro eléctrico del prototipo como podemos visualizar en la ilustración .

Para el control eléctrico se implementaron 2 motores Monofásicos, uno para el Blower (suministro de aire) y el otro para el movimiento de las aspas para la secadora. En la ilustración 27 podemos visualizar las conexiones que se implementaron desde el simulador CADE SIMU.

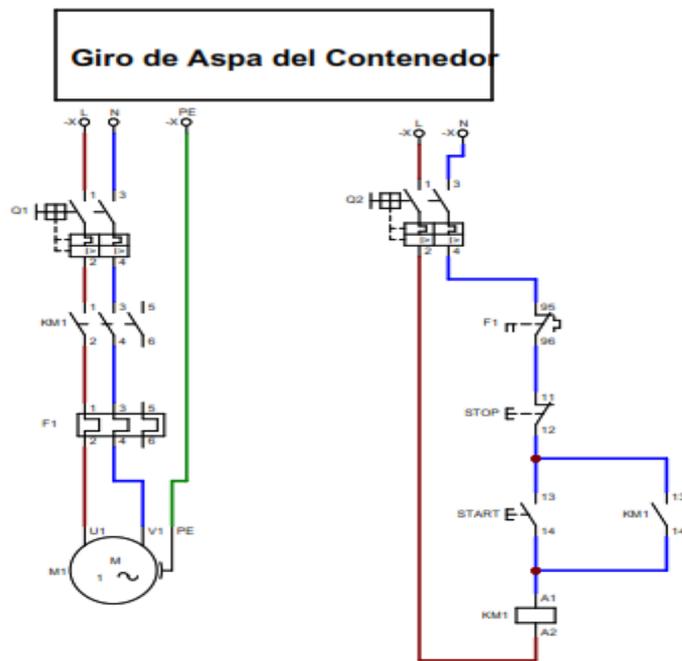


Figura 27. Conexión de un motor Monofásico. [Ilustración 27], por W. Gutiérrez y A. García, CADESIMU.

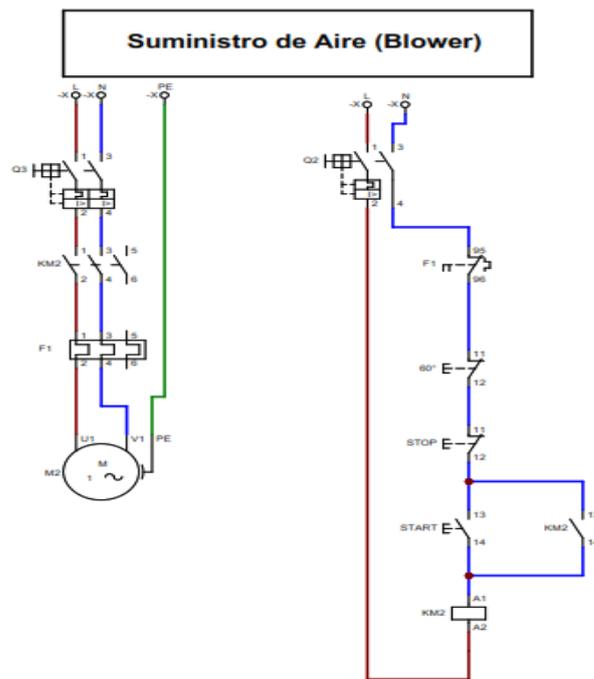


Figura 28. Conexión de un motor Monofásico. [Ilustración 28], por W. Gutiérrez y A. García, CADESIMU.

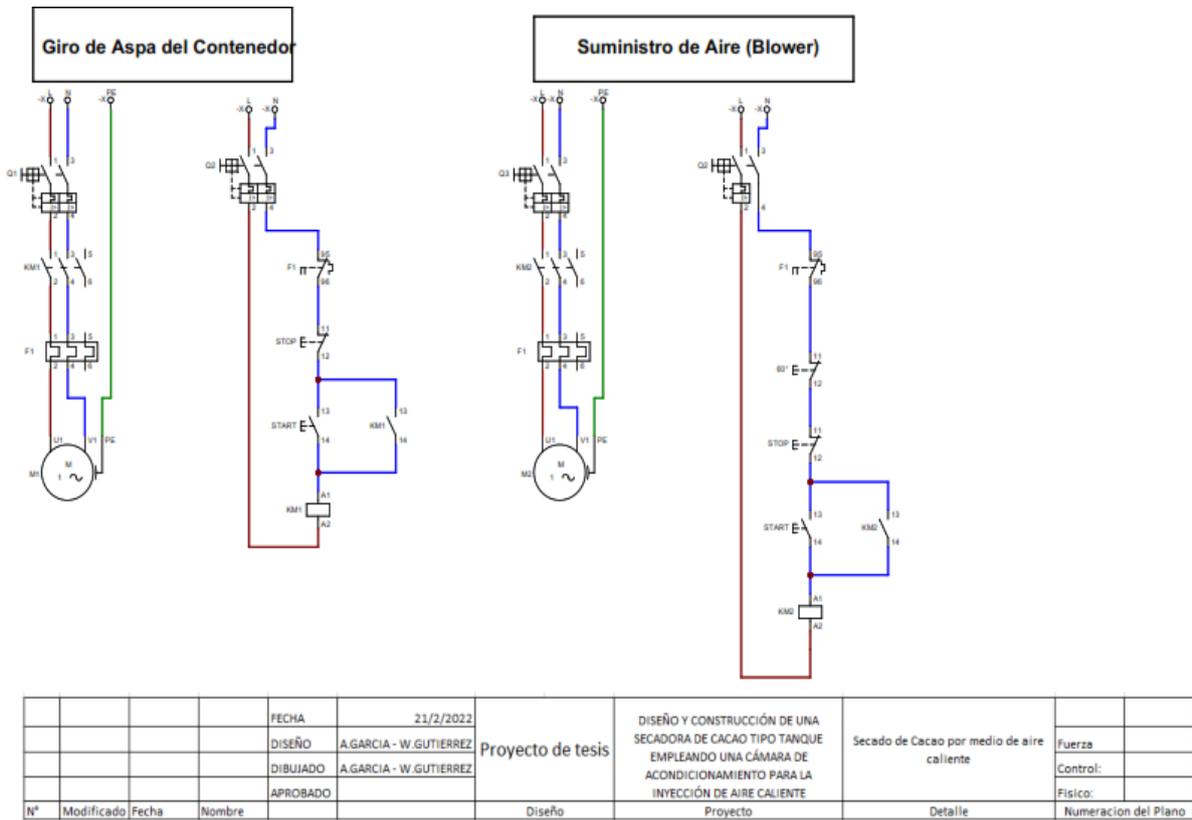


Figura 29. Conexiones. [Ilustración 29], por W. Gutiérrez y A. García, CADESIMU.

El Controlador de Temperatura TCN4S-24R permite censar la temperatura por medio de una termocupla tipo k, gracias a la salida de una señal analógica podemos establecer una comunicación con el PLC para la activación y desactivación del suministro de aire caliente, su esquema eléctrico está representado por la ilustración 30 conexiones del sensor.

### ● TCN4S

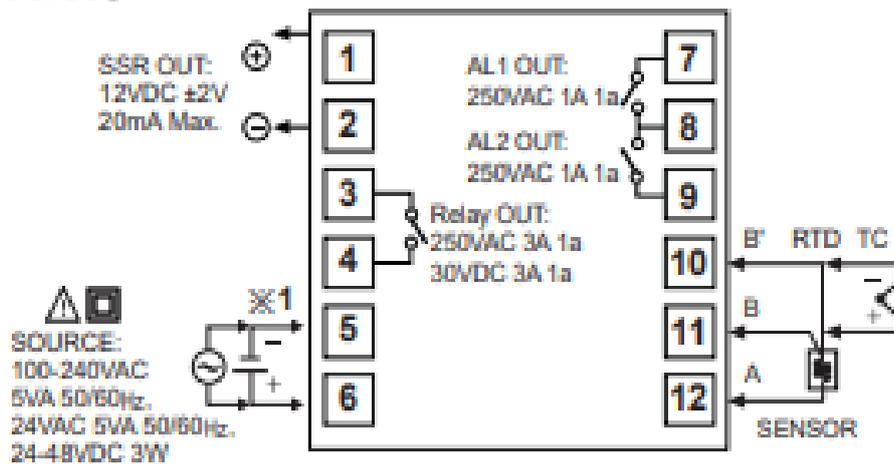


Figura 30. Entradas de corriente del dispositivo. [Ilustración 30], por Digi- Key Electronic, 2018

## V-F. COMPARACIÓN DE ANÁLISIS

V-F1. **ANÁLISIS DINÁMICO**.: En el programa de diseño Autodesk Inventor se realizó un análisis dinámico para simular las fuerzas de arranque que se deben implementar en el prototipo, como podemos visualizar en la Ilustración 31.

En este segmento se puede visualizar la comparación de los análisis realizados al primer prototipo y al prototipo final.

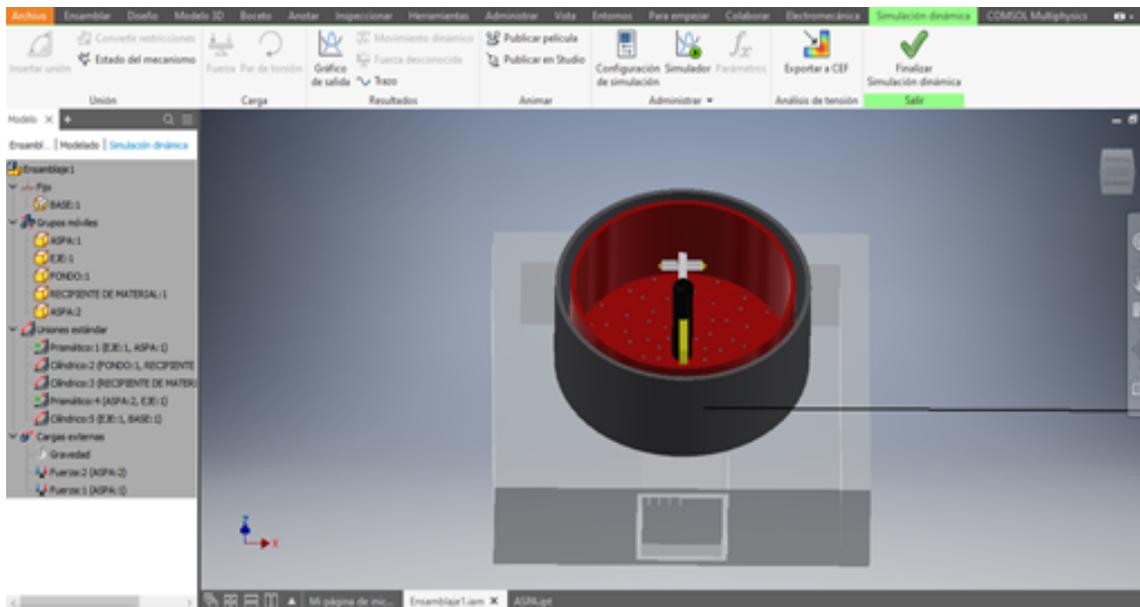


Figura 31. Selección de la estructura para el análisis de la secadora de cacao. [Ilustración 31], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

V-F2. **PRIMER PROTOTIPO**: Para la selección del giro, se tomó como referencia las aspas del prototipo ya que son estas, junto al eje que tomarán una velocidad adecuada para el movimiento del material como vemos en la Ilustración 32.

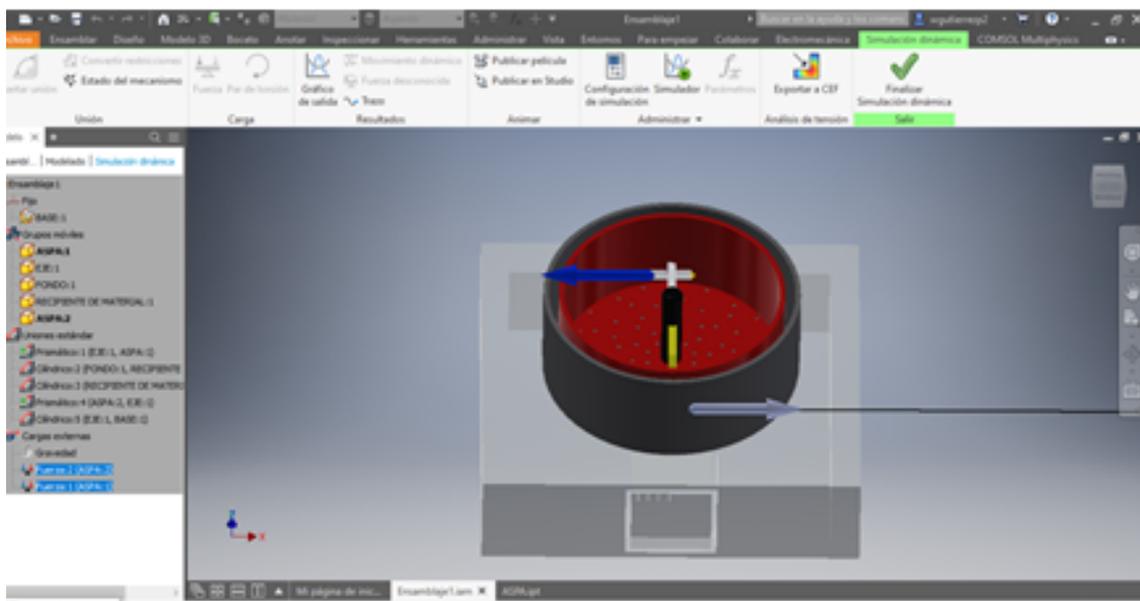


Figura 32. Aplicación de las fuerzas para el análisis de la secadora de cacao. [Ilustración 32], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Para el análisis se realizó la respectiva configuración del valor de las fuerzas que se van a aplicar para el estudio como

vemos en la ilustración 33.

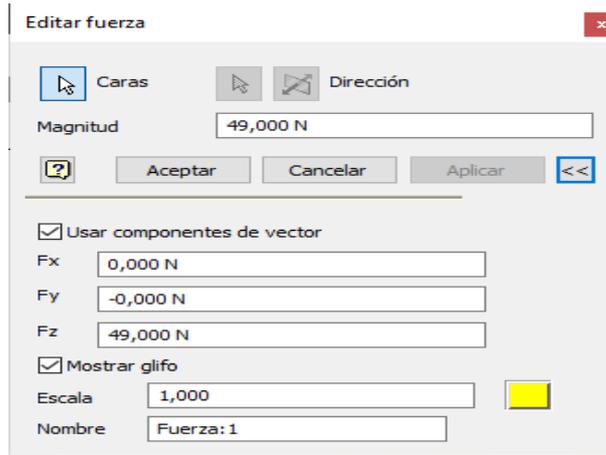


Figura 33. Configuración de las fuerzas para el análisis, [Ilustración 33], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

El gráfico de salida de datos nos muestra los datos máximos y mínimos que tiene el análisis, de la misma forma da apertura a los cambios en valores de fuerzas para establecer un mejor resultado como lo vemos en la Ilustración 34 y la Ilustración 35.

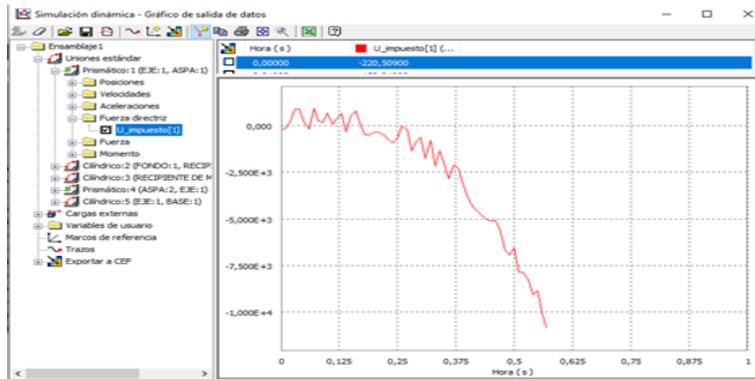


Figura 34. Datos obtenidos del análisis para la secadora de cacao. [Ilustración 34], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

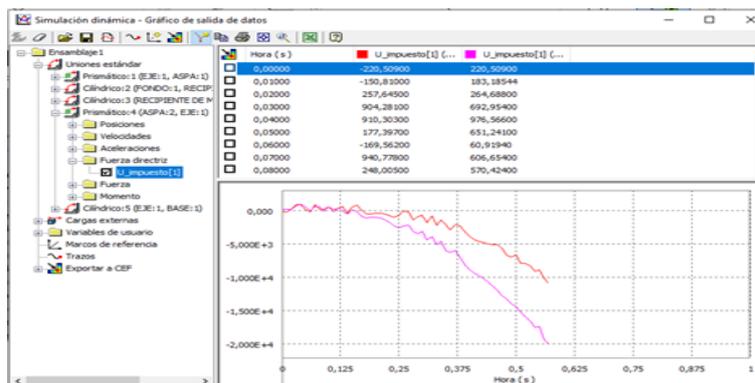


Figura 35. Datos que se obtuvieron del análisis para la secadora de cacao. [Ilustración 35], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

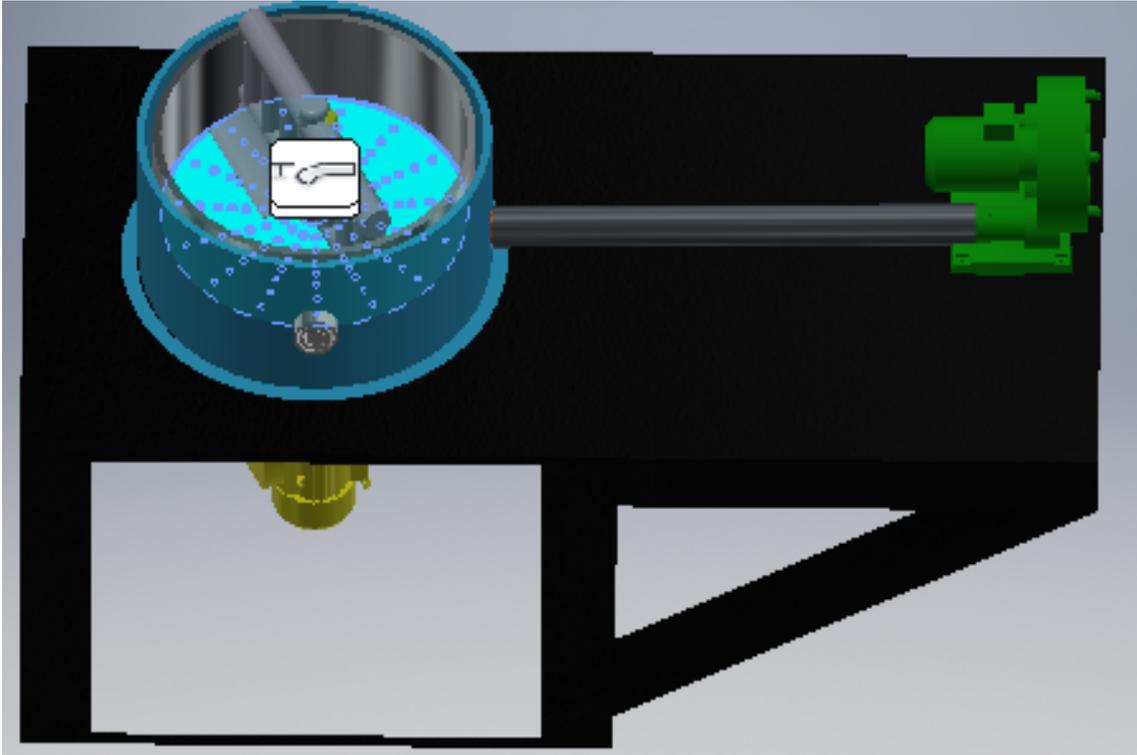


Figura 36. Selección de la estructura para el análisis. [Ilustración 36], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

V-G1. ANÁLISIS ESTÁTICO: Para el análisis se establecen los diferentes estudios para determinar los esfuerzos que intervienen en el prototipo como vemos en la Ilustración 37.

### ☐ Tensión de Von Mises

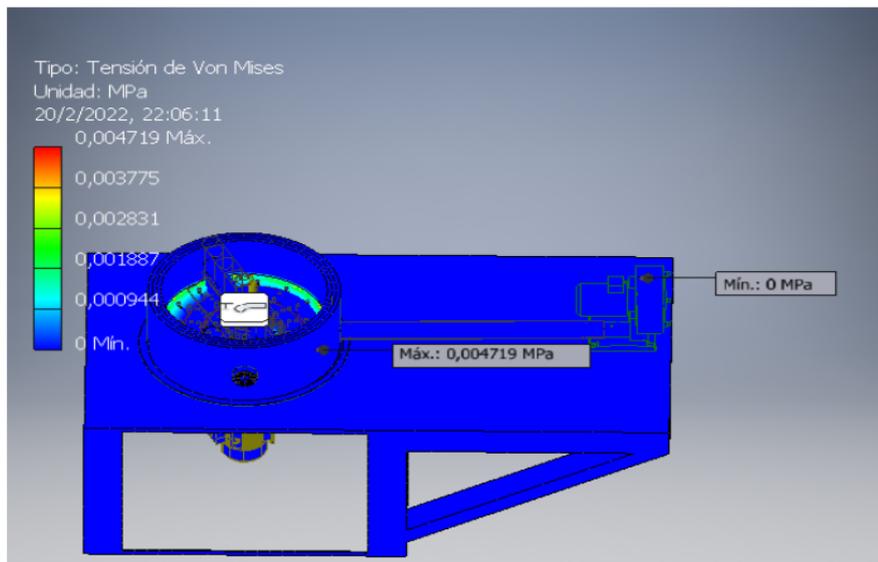


Figura 37. Simulación de esfuerzos. [Ilustración 37], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Con el análisis obtenemos los siguientes datos como vemos en la ilustración 38.

## ☐ Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	618655000 mm <sup>3</sup>	
Masa	4803,24 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	0,00471865 MPa
Primera tensión principal	-0,00112274 MPa	0,0063419 MPa
Tercera tensión principal	-0,00334349 MPa	0,00186324 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0000181205 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0,00297349 MPa	0,00477249 MPa
Tensión XY	-0,00195976 MPa	0,00197931 MPa
Tensión XZ	-0,00170601 MPa	0,00170121 MPa
Tensión YY	-0,00303048 MPa	0,00512425 MPa
Tensión YZ	-0,00197778 MPa	0,00216987 MPa
Tensión ZZ	-0,00308653 MPa	0,00335776 MPa
Desplazamiento X	-0,00000232881 mm	0,00000233371 mm
Desplazamiento Y	-0,00000232942 mm	0,00000232351 mm
Desplazamiento Z	-0,000000727075 mm	0,0000181199 mm
Deformación equivalente	0 su	0,000000021635 su
Primera deformación principal	-0,000000000865581 su	0,0000000261952 su
Tercera deformación principal	-0,0000000140072 su	0,000000000894884 su
Deformación XX	-0,0000000134605 su	0,0000000213261 su
Deformación XY	-0,0000000120411 su	0,0000000121612 su
Deformación XZ	-0,000000010482 su	0,0000000104525 su
Deformación YY	-0,000000013655 su	0,0000000219792 su
Deformación YZ	-0,000000012152 su	0,0000000133321 su
Deformación ZZ	-0,0000000139865 su	0,00000000920993 su
Presión de contacto	0 MPa	0,00685895 MPa
Presión de contacto X	-0,00563294 MPa	0,00477953 MPa
Presión de contacto Y	-0,00529455 MPa	0,00523129 MPa
Presión de contacto Z	-0,00271923 MPa	0,0010471 MPa

Figura 38. Datos obtenidos por medio del análisis estático. [Ilustración 38], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

El gráfico representa una opción del factor de seguridad que se escogió para la implementación del prototipo.

## ☐ Coeficiente de seguridad

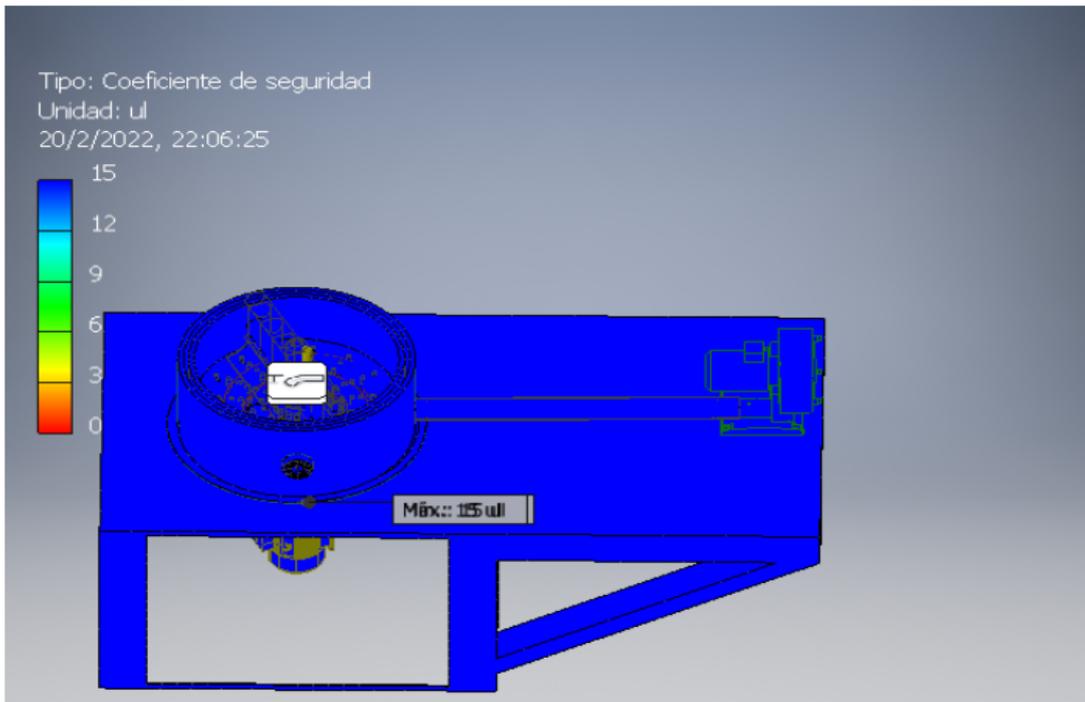


Figura 39. Factor de seguridad que necesita nuestro prototipo [Ilustración 39], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

**Tabla 3.1** Tabla de factores de seguridad. Valores mínimos recomendados. Modificada de Faired<sup>[1]</sup>.

TIPO O CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima*	Basado en la resistencia de fluencia**	Basado en la resistencia máxima*	
Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga	3 - 4	1.5 - 2	5 - 6	7

Cuadro I

COEFICIENTE DE SEGURIDAD DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. MÉXICO: EDITORIAL LIMUSA, 1995. 4ª.

En este gráfico podemos visualizar el coeficiente de seguridad que se obtuvo en el análisis del prototipo. El mismo que sugiere según la escala de colores un factor entre 3 y 6; cosa que comprobamos con la tabla de factores de seguridad según los materiales empleados.

## ☐ Deformación equivalente

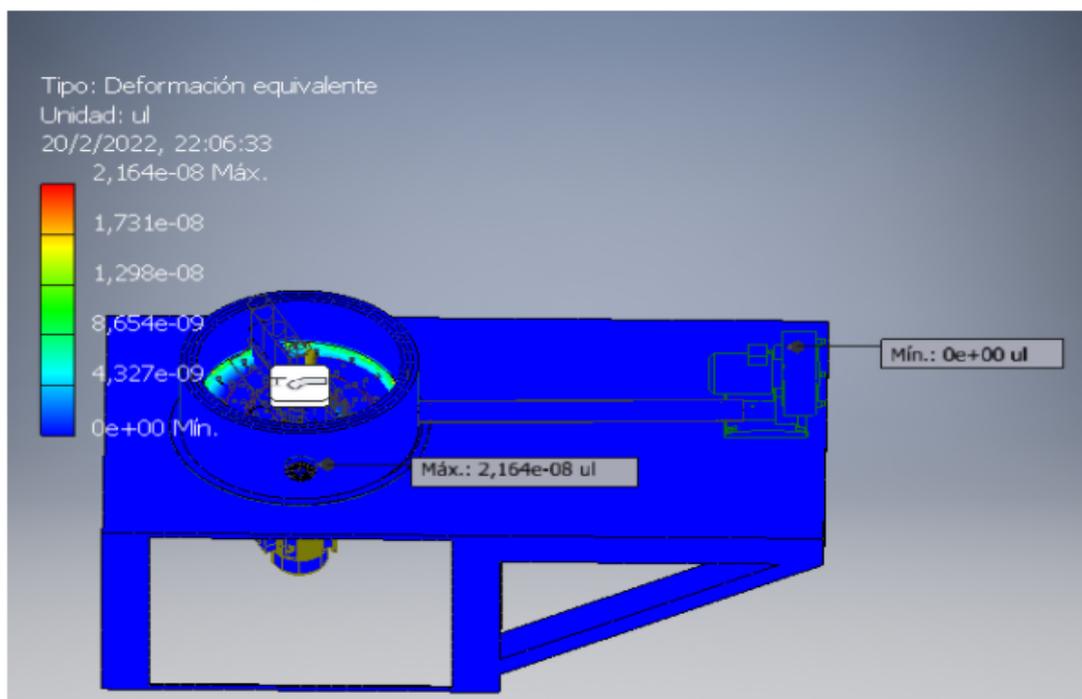


Figura 40. Datos que se obtuvieron del análisis para la secadora de cacao. [Ilustración 40], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

### V-H. CÁLCULOS REALIZADOS

V-H1. IDENTIFICAR LA CARGA: La masa establecida para el prototipo es de 5Kg, para determinar la fuerza que se aplica en el estudio tenemos:

$$Fuerza = masa \times gravedad$$

$$F = 5Kg \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 49,05 N$$

V-H2. ÁREA Y DEFORMACIÓN: Para la dimensión del actuador usamos lo siguiente:

$$Area \ de \ Carga = \frac{masa \ a \ secar}{densidad \times (1 - E) \times (h)}$$

Condiciones:

Con estudios anteriores tenemos que la fracción de vacío (E) para el cacao fermentado será de 0.42.

Según estudios de la "universidad politecnica del Litoral" la altura(h) del cacao fermentado se sitúa alrededor de 0.03 m.

Cuadro II  
DENSIDAD DE LOS GRANOS.

Estado del grano	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Cacao fresco	900
Cacao grano fermentado	775
Cacao grano seco	635

Con la siguiente tabla tenemos las densidades del grano en diferentes etapas del proceso.

Para el cálculo del área de la Carga se establece la fracción del vacío.

La variable de relación de vacíos se calculó mediante la relación de los espacios de vacío que se detectó, al llenar un recipiente con granos de cacao y a su vez este contenga cierta cantidad de líquido en este caso, agua; la cantidad de agua que se pudo introducir entre los granos y el recipiente resulta ser el espacio de vacíos. Por medio de datos establecidos por otros autores, el cacao húmedo al 60 % está en 500kg/m<sup>3</sup> aproximadamente.

[7]

$$E = \frac{\text{volúmen de vacios}}{\text{volúmen del recipiente}}$$

$$E = \frac{\text{Volumen de vacios}}{\text{Volumen del recipiente}} = \frac{220\text{cm}^3}{525\text{cm}^3} = 0.41904$$

$$\text{Area de Carga} = \frac{5\text{Kg}}{775\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times (1 - 0.42) \times (0.03)\text{m}} = 0.3703\text{m}^2$$

Con el Área de la Carga se puede establecer la deformación del material.

V-H3. *DEFORMACIÓN*: Cálculos para determinar la deformación que producirá la carga ejercida.

$$\text{Deformación} = \frac{F}{\text{Area}}$$

$$\text{Deformación} = \frac{40 \text{ N}}{0.3703 \text{ m}^2}$$

$$\text{Deformación} = 108.02 \text{ Pa}$$

V-H4. *SELECCIÓN DE MOTOR*: Especificaciones

- o Carga 5Kg
- o Velocidad de subida 2m/s
- o Diámetro 0,58 m
- o Radio 0,29 m
- o Altura 0,15 m
- o Eje del tambor será acoplado al eje del motor.

V-H5. *VELOCIDAD ANGULAR*: Ecuaciones para establecer la velocidad angular.

$$V = \omega \times r$$

$$2 \frac{m}{s} = \omega \times r$$

$$\omega = \frac{2 \frac{m}{s}}{0.29 \text{ m}}$$

$$\omega = 6.89 \frac{\text{rad}}{s}$$

V-H6. **POTENCIA MECÁNICA:** Ecuaciones para establecer la Potencia Mecánica.

$$P = T \times \omega$$

$$T = F \times r$$

$$T = 5 \text{ Kg} \times 9.81 \frac{\text{N}}{\text{Kg}} \times 0.29 \text{ m}$$

$$T = 14.22 \text{ N} - \text{m}$$

$$P = T \times \omega$$

$$P = 14.22 \text{ N} - \text{m} \times 6.89 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = 97.97 \text{ WATT}$$

$$P = 0.15 \text{ hp}$$

V-H7. **RPM:** Ecuaciones para establecer las RPM.

$$N = 6.89 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ m}}$$

$$N = 65.79 \text{ RPM}$$

V-H8. **POTENCIA ELÉCTRICA:** Ecuaciones para establecer la Potencia Eléctrica.

Potencia eléctrica=Potencia Mecánica/Eficiencia

Eficiencia por considerar: 60 % - 85 %

Caso 1 (60 %)

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{0.15 \text{ hp}}{0.60}$$

$$P_{\text{eléctrica}} = 0.25 \text{ hp}$$

Caso 2 (85 %)

$$P_{electrica} = \frac{0.15 \text{ hp}}{0.85}$$

$$P_{electrica} = 0.18 \text{ hp}$$

Con los analisis númericos realizados se determino que un motor con una potencia de 1/4 hp seria conveniente para el proceso.

## V-I. ANÁLISIS DE SELECCION DE ELEMENTOS

### V-II. PROGRAMA PROPUESTO: CES EduPack:

Es un programa dedicado al análisis de selección de materiales, con las funciones que tiene el programa podemos determinar el mejor material para las estructuras que se implementen, dentro de sus características tenemos:

- La base de datos del programa tiene una gran variedad de materiales y procesos, gracias a eso puede brindarnos mucha información exhaustiva sobre propiedades técnicas. Además de ayudarnos con los costos de materiales y medioambientales. Posee 3 niveles para preñizaje los cuales son muy amigables para la enseñanza de las personas que deseen usarlo.

- EL programa consta de notas científicas, estas notas son de mucha ayuda para el suministro de información que va acompañada de notas al estilo de los libros de texto explicando la ciencia que hay detrás de los fenómenos.

- Posee una base de datos que se actualiza cada cierto tiempo para tener las mejores características como función del programa, tenemos como ejemplo lo siguiente:

Polímeros, ecodiseño, arquitectura, aeronáutica, energías bajas en carbono. Los enlaces a otros recursos online refuerzan la enseñanza avanzada.

[17]



Figura 41. Datos que se obtuvieron del análisis para la selección de material. [Ilustración 41],www.grantadesign.com

Las herramientas de selección y representación ayudan a las personas que no tienen experiencia en el uso del programa a desarrollar prácticas de selección de materiales. También se puede usar con una metodología estructurada para permitir que el usuario pueda realizar comparaciones entre los procesos.

[17]

Para el caso propuesto tenemos diferentes tipos de materiales, pero como resultado el software establece que el mejor material para la conducción de calor es el cobre, verificando el uso del serpentín para una mejor transmisión de calor.

Además, que se reitera el uso del acero inoxidable debido al grado alimenticio que posee.

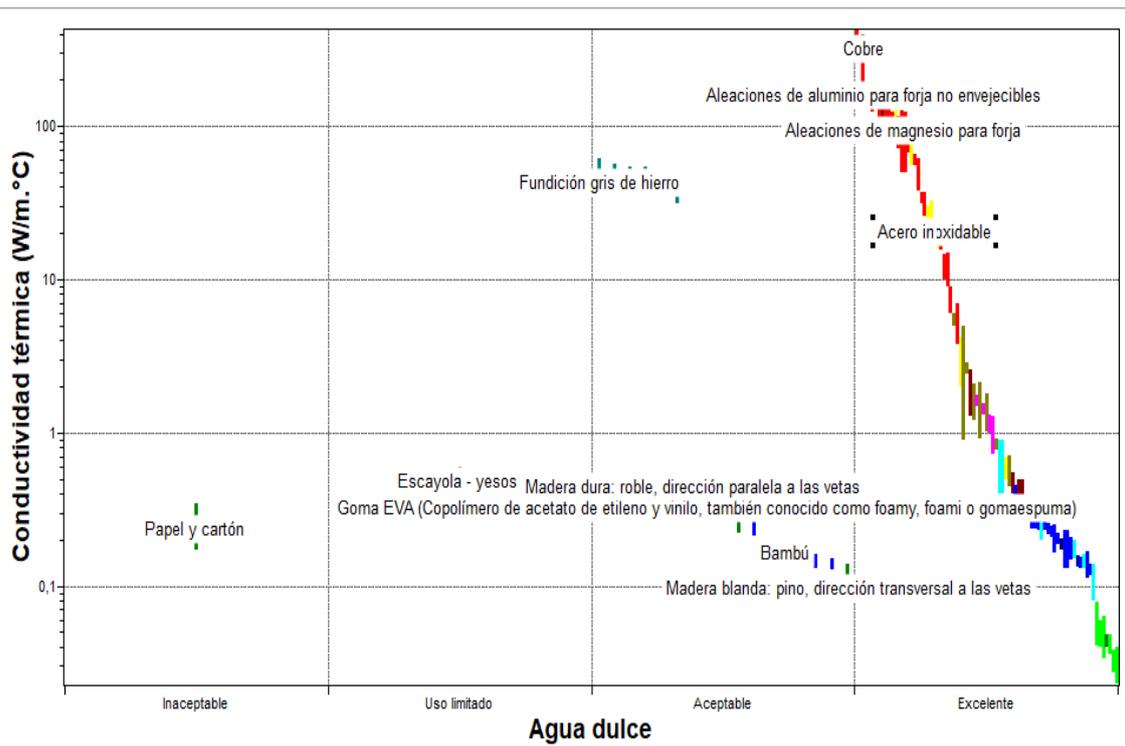


Figura 42. Datos que se obtuvieron del análisis para la selección de material. [Ilustración 42], por <https://www.grantadesign.com>

## VI. RESULTADOS

### VI-A. PRUEBA DE LOS MATERIALES

Como resultado tenemos la variación de la temperatura que se obtuvo en la prueba de los 2 serpentines uno siendo de aluminio y otro siendo de cobre.

Cuadro III  
TEMPERATURAS OBTENIDAS EN EL ALUMINIO

Temperatura en ingreso	Temperatura en tubería
28°C	26°C
50°C	32°C
90°C	53°C

Como se observa en la tabla anterior la variación entre las temperatura de entrada y del tubo no es significativa, por lo que al emplear ese material tardaría mucho tiempo para calentar todo el sistema.

Cuadro IV  
TEMPERATURAS OBTENIDAS EN EL COBRE

Temperatura en ingreso	Temperatura en tubería
28°C	26°C
50°C	42°C
90°C	70°C

En la tabla anterior podemos observar la gran variación que existe entre ambas temperaturas, de esta forma comprobando la rapidez en conducción de calor y la conservación del mismo en la tubería.

La prueba fue realizada bajo las mismas condiciones para los dos materiales, en un tiempo aproximado de 1 minuto; donde el tubo de aluminio solo se calentó los primeros 15 cm, mientras que en tubo de cobre llegó a calentarse los primeros 40 cm aproximadamente. Es por esta razón que se escogió implementar la tubería de cobre para la elaboración del serpentín, el cual es el encargado de mantener la temperatura en la parte interna del prototipo realizado.



Para la obtención de calor se el proceso de secado, se realizó una prueba por el metodo de radiación donde se evidenció que habia un mayor rango de tiempo hasta llegar a la temperatura deseada.

Se realizaron agujeros tanto en la base de la capa o tanque de acero inoxidable como en el serpentín del cobre para mejorar la transmisión de calor y poder llegar a la temperatura indicada por medio del metodo de convección, donde se obtuvo el resultó mas cercano a lo propuesto.

#### *VI-B. TIEMPO DE SECADO*

Para las pruebas que se realizaron en el prototipo se estableció una temperatura promedio de 50 a 55 grados centigrados siendo 60 grados centigrados la temperatura máxima que alcanzó el prototipo, se determinó esta temperatura máxima para evitar el sobresecado del producto.

El rango de tiempo que se estableció en las pruebas fue de 3 a 5 horas y puede estar sometido a cambios ya que la etapa de secado dependerá del porcentaje de humedad que presenta el producto, el mismo que depende de factores externos a nuestro proceso, ya que; antes de llegar al proceso de secado el cacao pasa por dos etapas importantes: la fermentación que es donde el grano adquirirá todas sus características como olor, sabor, entre otras y el proceso de presecado. Cabe recalcar que cada agricultor aplica técnicas diferentes en estos procesos, lo que hace mantener un margen de horas para obtener el producto final ya secado bajo las condiciones correctas.

## VII. CRONOGRAMA Y ACTIVIDADES PARA REALIZAR

A continuación se presenta la tabla de actividades realizadas en intervalos de semanas.

Cuadro V  
CRONOGRAMA Y ACTIVIDADES A REALIZAR. POR AUTORES

ITEM	PROYECTO DE TITULACION	MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPT.				OCT.				NOV.				DIC.				ENERO															
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
1	Propuesta de tema para trabajo de titulación	■	■																																														
2	Realizar un analisis de los problemas de la industria cacaotera			■	■																																												
3	Definición del problema					■	■																																										
4	Establecer las variables del problema detectado						■	■																																									
5	Establecer la zona donde se va aplicar el prototipo							■	■																																								
6	Estudio de la zona de implemetacion del proyecto							■	■																																								
7	Determinar la cantidad de material que se aplicará en el prototipo									■	■																																						
8	Investigacion del tema a profundidad										■	■																																					
9	Estudio de prototipos similares											■	■																																				
10	Elección del prototipo a desarrollar											■	■																																				
11	Elección de componentes												■																																				
12	Elección de material para prototipo												■																																				
13	Diseño mecánico de partes del prototipo												■	■																																			
14	Diseño eléctrico													■																																			
15	Diseño del programa de control													■																																			
16	Diseño del sistema de engranajes para reducción de velocidad														■																																		
17	Cotización de los implementos															■																																	
18	Compra de materiales																■																																
19	Elaboración de estructura interna y externa																	■	■																														
20	Elaboración de aspas y eje																		■	■																													
21	Confección del sistema de engranajes																			■	■																												
22	Elaboracion de base																				■	■																											
23	Montaje de botoneras de control																					■	■																										
24	Montaje de sistema eléctrico y de control																						■	■																									
25	Elaboracion de manuales																							■	■																								
26	Puebas de equipo																								■	■																							
27	Recomendaciones y conclusión																									■	■																						

Como se puede observar, las actividades van desde la propuesta de proyecto, hasta elaboración de conclusiones y recomendaciones, luego de pasar por las pruebas necesarias

## VIII. PRESUPUESTO

En la siguiente tabla se puede observar el costo de cada componente del prototipo

Cuadro VI  
PRESUPUESTO PARA EL PROTOTIPO, POR AUTORES



### PRESUPUESTO Proyecto de titulación

					\$ 3.161,62
ITEM	Material	U.	Q T	P.U.	P.T.
1	Tubería de cobre de 1/4"	U.	2	\$ 25,00	\$ 50,00
2	Tubería galvanizada de 2 1/2"	U.	1	\$22	\$ 22,00
3	Resistencias eléctricas de 100W a 110v	U.	4	\$20	\$ 80,00
4	Blower 110v -2 1/2"	U.	1	\$120	\$ 120,00
5	Plancha de acero	U.	2	\$210,00	\$ 420,00
6	Plancha de acero galvanizado	U.	1	\$150,00	\$ 150,00
7	Motor monofásico 1/4 hp	U.	1	\$125,00	\$ 125,00
8	Tubería de acero inoxidable de 1/4"	U.	1	\$25,00	\$ 25,00
9	Termocupla tipo K	U.	4	\$8,35	\$ 33,40
10	Cable #14	M	10	\$0,95	\$ 9,50
11	Cable #16	M	10	\$0,95	\$ 9,50
12	Cable #18	M	10	\$0,95	\$ 9,50
13	Cable térmico	M	8	\$2,30	\$ 18,40
14	Computador	U.	1	\$500,00	\$ 500,00
15	PLC S7-1200 CPU 24C DC/DC/DC	U.	1	\$506,10	\$ 506,10
16	Módulo de expansión PLC 24XP	U.	1	\$300	\$ 300,00
17	Tablero Monoblock 40x30x20	U.	1	\$45	\$ 45,00
18	Contactador 9 Amp 110v	U.	2	\$16	\$ 32,00
19	V-LR2-D1307 Termico 1,6-2,5 Amp	U.	1	\$13,00	\$ 13,00
20	Termico 2,5-4 Amp	U.	1	\$9	\$ 9,00
21	Relé de 8 pines 110v	U.	4	\$6	\$ 24,00
22	Base P/Relé 8 pines	U.	4	\$2	\$ 8,00
23	Luz Piloto verde 22mm	U.	1	\$2,32	\$ 2,32
24	Luz Piloto amarilla 22mm	U.	1	\$2,32	\$ 2,32
25	Pulsador metal on/off	U.	1	\$4,58	\$ 4,58
26	Pulsador tipo hongo paro de emergencia	U.	1	\$16	\$ 16,00
27	Controlador TCN4S	U.	1	\$52	\$ 52,00
28	Herramientas	U.	1	\$325	\$ 325,00
29	Otros varios	U.	1	\$250	\$ 250,00

Y en la parte superior en el recuadro azul, el total de la inversión realizada.

## IX. CONCLUSIONES

Mediante los estudios realizados se pudo observar que los pequeños y medianos productores del cacao venden sus producto en condiciones de humedad, es decir; fermentado o muchas veces en baba, lo que genera una gran pérdida económica. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas, se desarrolló un prototipo para que la producción no se vea afectada durante esta temporada de año, las cuales son totalmente impredecible.

Se diseñó el prototipo con la característica principal de su doble fondo; la capa externa tiene como finalidad proteger a los operarios del calor que se genera para el proceso de secado, la capa interna, es de acero inoxidable con la finalidad de que nuestro producto; el cacao, cumpla con las normas alimenticias a las que debe ser sometido para la industria alimenticia.

Se implementó un sistema para el control de ON/OFF, para de esa forma hacerlo amigable para el operador. La parte principal del control está conformado por un tablero en la esquina inferior derecha de la máquina para aprovechar área y hacer más compacto el prototipo. Dicho tablero cuenta con las botoneras de Start y Stop con sus debidas etiquetas y las luces indicadoras con la finalidad que cualquier operario o usuario sea capaz de entender en que parte del proceso se encuentra la máquina; además de esto, cuenta con un interruptor tipo hongo con enclavamiento para brindar el servicio de paro de emergencia. El objetivo del tablero y cada elemento empleado en el mismo, es para facilitar la interacción con el usuario; evitando que se tenga que maniobrar directamente con los componentes, especialmente en las resistencias tipo abrazaderas las cuales pueden generar quemaduras sino se tiene el cuidado pertinente para la situación.

Dentro de las pruebas realizadas, se verificó la velocidad y capacidad de los materiales para conducir el aire caliente a través de ellos, donde se pudo observar que el cobre conduce más rápido y presenta una alta conservación de la temperatura en menos tiempo que el aluminio. Para la obtención de calor necesario en el proceso de secado, se realizó una prueba por el metodo de radiación donde se evidenció que habia un mayor rango de tiempo hasta llegar a la temperatura deseada. Se realizaron agujeros tanto en la base de la capa o tanque de acero inoxidable como en el serpentín del cobre para mejorar la transmisión de calor y poder llegar a la temperatura indicada por medio del metodo de convección, donde se obtuvo el resultó mas cercano a lo propuesto.

Al realizar el presupuesto se puede observar que el prototipo puede ser visto como una inversión para los pequeños y medianos productores, tomando en cuenta los beneficios que pueden obtener del mismo y la rentabilidad adquirida al momento de vender su producto con todos los estándares de calidad y excelencia.

## X. RECOMENDACIONES

Dentro de las pruebas que se realizaron en un inicio en el prototipo, nos dimos cuenta que con el movimiento del aspa provocaba que varios granos de cacao se quedaran agrupados en los costados de la máquina. En esta situación el aspa quedaba atrapada e impedía seguir con circulación del motor. Para lo anteriormente descrito se sugiere la implementación de un analizador de corriente, debido a la variación de corriente se generará un movimiento en sentido contrario y el aspa deje de estar atrapada para seguir con su movimiento normal.

También se sugiere la implementación de un motor trifásico para el movimiento del aspa, para facilitar el control de velocidad del mismo mediante un variador de frecuencia y evitar el uso de cajas reductoras.

Se aconseja un estudio de los materiales a utilizar antes de realizar la compra de los mismos, teniendo claro cuales son las especificaciones que estos deben cumplir en el proceso, para de esa forma evitar el desperdicio de material o la inversión en uno nuevo si el anterior no cumple con los requerimientos. Dentro de la misma línea se recomienda el estudio de los métodos para la transferencia de calor, de esta manera según la aplicación requerida se escoja de manera oportuna la opción mas viable y eficiente.

Para que los granos tengan un movimiento uniforme por medio de las aspas se recomienda tener cuidado al momento de realizar la union del tambor por medio de soldadura, porque el calor ejercido por la maquina puede generar pandeos en la base y distorcionar el volumen de carga que se tenia previsto.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### REFERENCIAS

- [1] Arrunátegui, r. I., *Fundamentos del secado del cacao*, <https://cacaofcaug.files.wordpress.com/2015/08/fundamentos-del-secado-del-cacao.pdf>, Accessed: 2020-08-06, 2013.
- [2] Asociación Nacional de Exportaciones de Cacao-Ecuador, *Sector Exportador de Cacao*. Asociación Nacional de Exportaciones de Cacao-Ecuador, Guayaquil, 2019.
- [3] J. Barat, P. Ofito, A. Andrés y A. Albors, «Introducción al secado de alimentos por aire caliente.» Tesis de mtría., Editorial Universitat Politècnica de València., Valencia, mar. de 2016.
- [4] V. Blázquez, V. Lorenzo y E. López, «Ingeniería y ciencia de los materiales metálicos.» Tesis de mtría., Dextra Editorial S.L., Malaga, sep. de 2014.
- [5] Ferrero J, *Instrumentación Electrónica*. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, 1994.
- [6] M. Firol y H. Camacho, «El proceso de investigacion científica,» Tesis de mtría., EDILUZ, Maracaibo, Venezuela, feb. de 2008.
- [7] H. A. G. V. y FRANKLIN MAURICIO SANMARTÍN FAJARDO, «ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROCESO DE SECADO DE CACAO Y DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA UNIDAD SECADORA TIPO PLATAFORMA,» Tesis de mtría., UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, ECUADOR, MILAGRO, jun. de 2013.
- [8] H. GILCES, «ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROCESO DE SECADO DE CACAO Y DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA UNIDAD SECADORA TIPO PLATAFORMA.» *Facultad de Ciencias de la Ingeniería*, vol. 1, n.º 1, págs. 9-27, 2013.
- [9] J. Glaria, «Automatizacion Industrial-Sensores de humedad.» Tesis de mtría., Universidad Tecnica Federico Santa Maria., Valparaiso, jun. de 2001.
- [10] F. Hernandez y Baptista., «Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias.» Tesis de mtría., McGraw Hill Education., Mexico, oct. de 2014.
- [11] J. Jiménez, Tesis de mtría., INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue., Quevado, jul. de 2011.
- [12] O. L. G. G. L., «EFECTO DEL SECADO AL SOL SOBRE LA CALIDAD,» *Facultad de Agronomía, Maracay*, vol. 1, n.º 1, págs. 15-23, 2004.
- [13] J. A. López Chica, *Desarrollo de un sistema de secado de cacao de aroma, utilizando combustible convencional y energía renovable*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, feb. de 2015.
- [14] Mora, J., *Maquinas Electricas*, McGraw-Hill, España, 2003.
- [15] Nogales, I., *POSCOSECHA CACAO*. <https://poscosechacacao.blogspot.com/>, Accessed: 2021-07-16, 2017.
- [16] P. Parra y Negrette., «Computer Vision Methods in the Process of Fermentation of the Cocoa Bean.» *Universidad Politecnica Salesiana*, vol. 1, n.º 1, págs. 1-6, 2018.
- [17] PRODUCT OVERVIEW GRANTA, *CES EduPack*, <https://es.freedownloadmanager.org/Windows-PC/CES-EduPack-2007.html>, Accessed: 2022-2-25, 2018.
- [18] J. Químico, «EVALUACION DE UN SECADOR SOLAR INCLINADO CON ABSORBEDOR DE ZEOLITA PARA GRANOS DE CACAO CCN51.» vol. 1, n.º 1, págs. 16-26, 2013.
- [19] Siemens., *New Siemens. Obtenido de Simatic S7-1200*. <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>, Accessed: 2021-08-27, 2018.
- [20] M. Sosa Arencibia, *Mercado internacional del cacao: una referencia obligada para la inserción del cacao de Baracoa*, Revista Cubana de Economía Internacional, mar. de 2018.
- [21] SPUTNIK, M., *MUNDO SPUTNIK*, <https://mundo.sputniknews.com/20170302/cacao-ecuador-1067327233.html>, Accessed: 2021-07-15, 2015.
- [22] E. Vicente, C. Bravo e I. Nataly, «Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (Theobroma cacao l.) en la parroquia Panguintza del cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe.» Tesis de mtría., Universidad Nacional de Loja, Loja,Ecu, sep. de 2011.
- [23] Wong, E., *Industrias GSL. Obtenido de Industrias GSL*, <https://www.industriasgsl.com/blog/post/plc-siemens>, Accessed: 2021-06-28, 2021.

## XII. ANEXOS

### XII-A. PLANOS DE PROTOTIPO

Plano de Prototipo completo para implementación. (Ilustración 43)

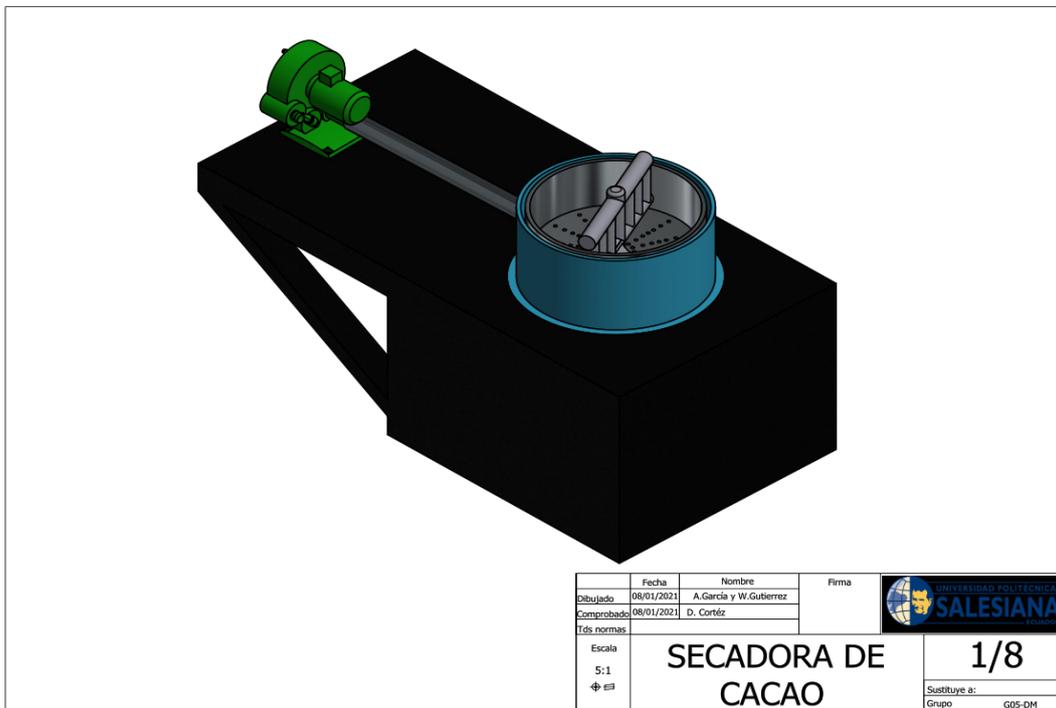


Figura 43. Diseño de prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 43], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Aspas internas para movimiento del material en forma horaria. (Ilustración 44)

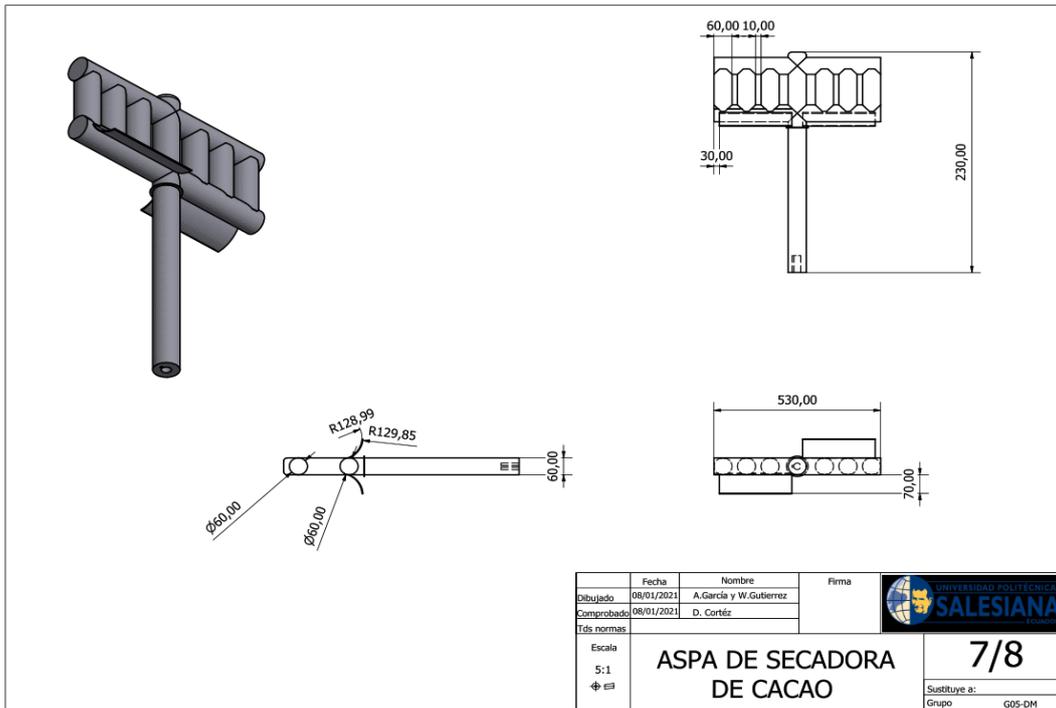


Figura 44. Diseño de las Aspas del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 44], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Para el suministro del aire y el calentamiento de las resistencias tenemos:

(Ilustración 45)

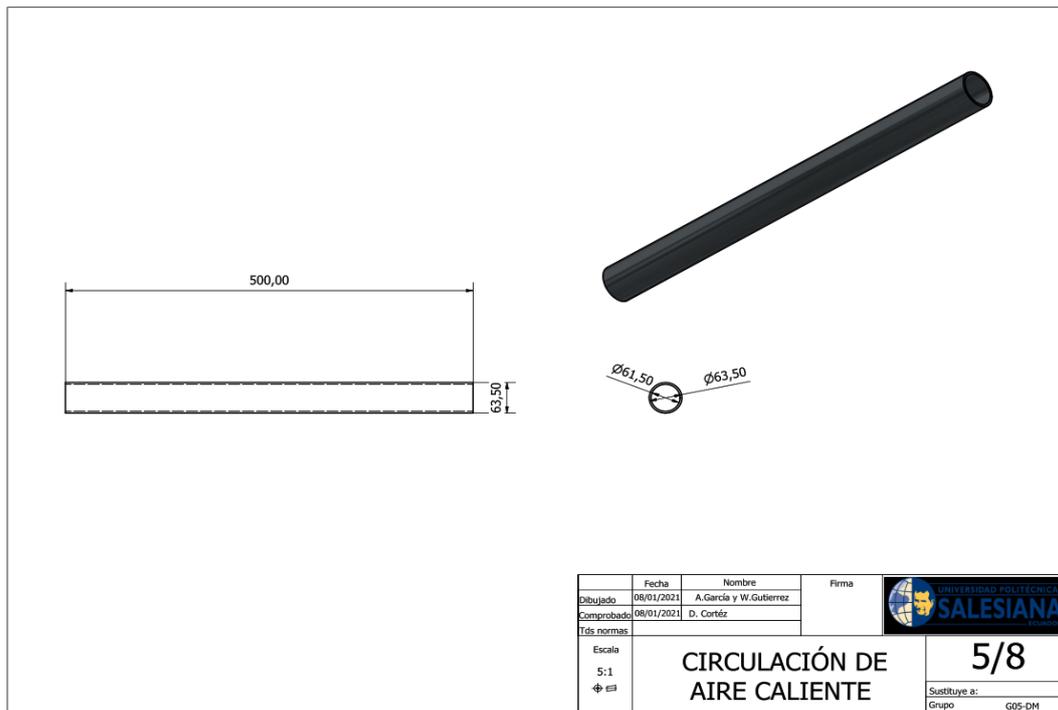


Figura 45. Diseño de las Aspas del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 45], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Base de prototipo y contenedor de cables de conexión y motor.(Ilustración 46)

Base de Prototipo.

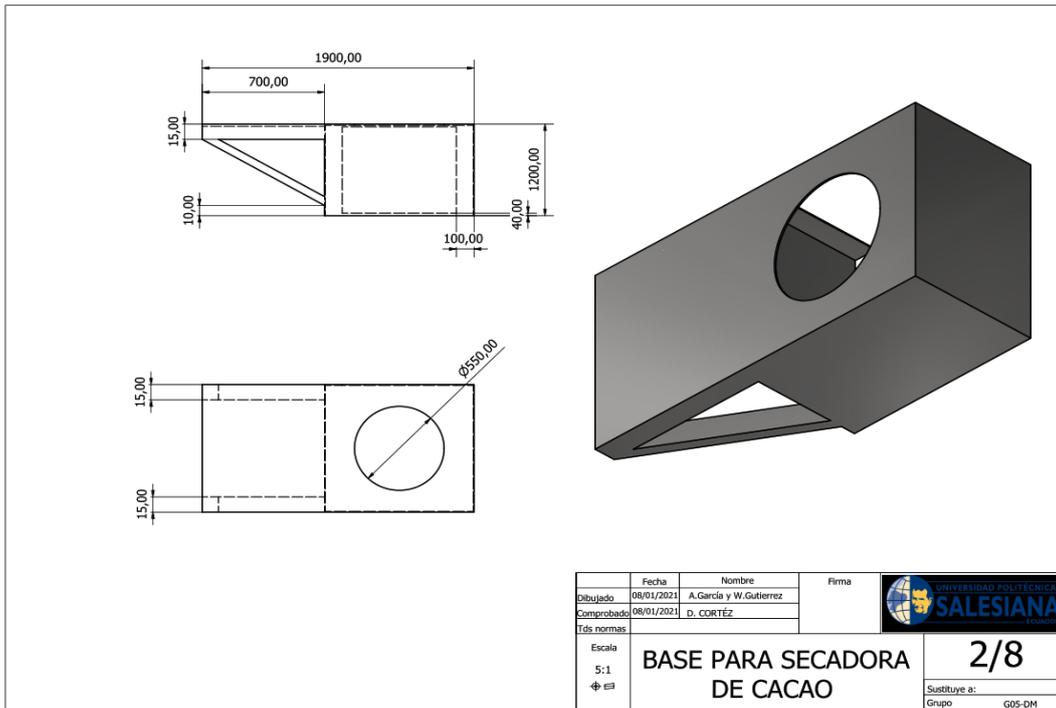


Figura 46. Diseño de la base del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 46], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Fondo de estructura para mejor conservación del aire caliente. (Ilustración 47)

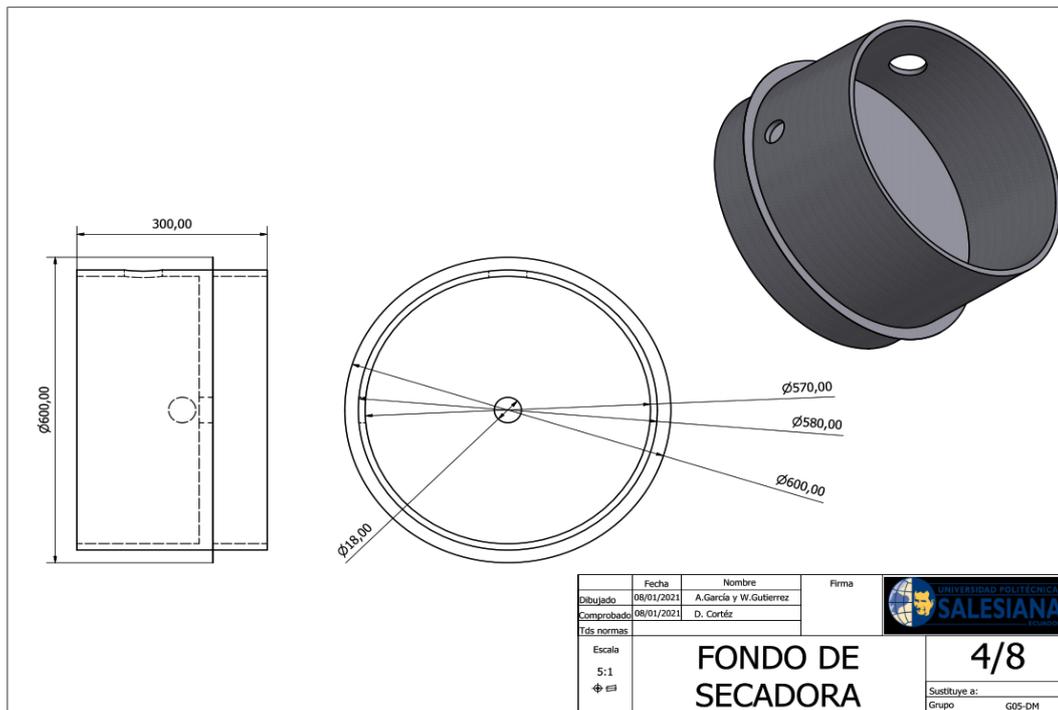


Figura 47. Diseño del fondo del prototipo de secadora de cacao. [Ilustración 47], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

El recipiente del material mantiene la temperatura adecuada para el secado estándar que debe tener el cacao como se muestra en la ilustración 48.

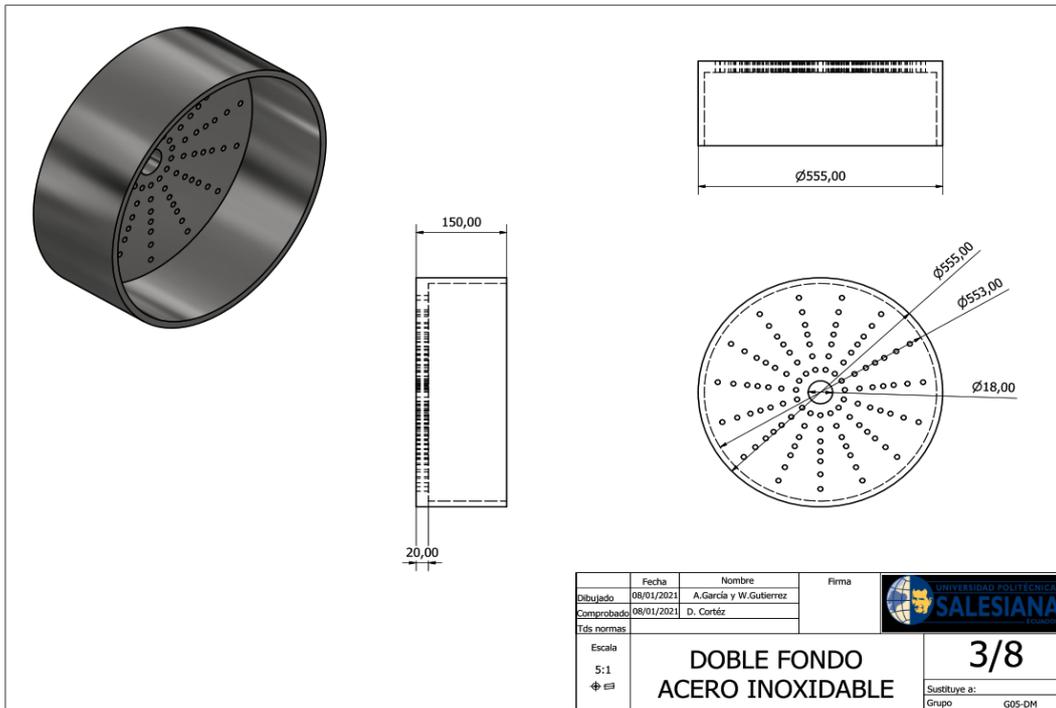


Figura 48. Diseño del recipiente del material de secadora de cacao. [Ilustración 49], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Para tener una mayor concentración de calor se optó por el uso de un serpentín de cobre como visualizamos en la ilustración 50.

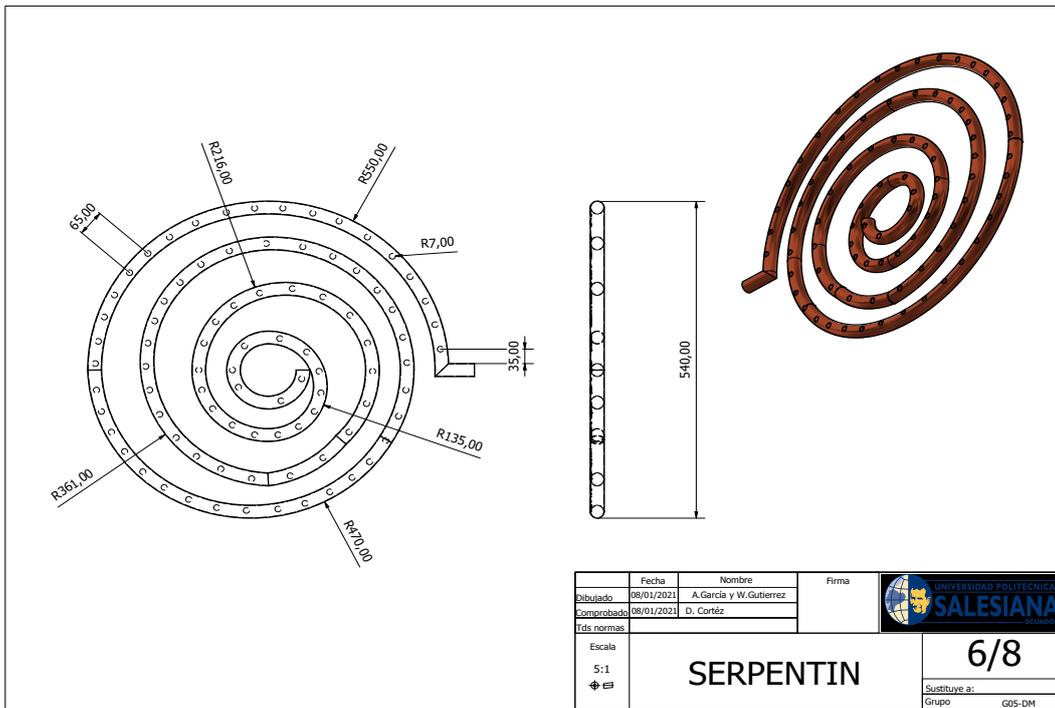


Figura 49. Diseño del recipiente del material de secadora de cacao. [Ilustración 49], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Estos fueron los planos realizados para el montaje del prototipo de secadora de cacao.

XII-B. ANÁLISIS ESTÁTICO

MATERIALES IMPLEMENTADOS.

☐ **Material(es)**

Nombre	Acero inoxidable AISI 440C, soldado	
General	Densidad de masa	7,8 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	689 MPa
	Resistencia máxima a tracción	861,25 MPa
Tensión	Módulo de Young	206,7 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,27 su
	Módulo cortante	81,378 GPa
Nombre(s) de pieza	RECIPIENTE DE MATERIAL_3 EJE FINAL-01	
Nombre	Acero, galvanizado	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	200 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9231 GPa
Nombre(s) de pieza	BASE Extractor	
Nombre	Cobre	
General	Densidad de masa	8,94 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	33,3 MPa
	Resistencia máxima a tracción	210 MPa
Tensión	Módulo de Young	117,5 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,345 su
	Módulo cortante	43,6803 GPa
Nombre(s) de pieza	Filtro de Aire Caliente	

Figura 50. Materiales de análisis. [Ilustración 50], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Nombre	Acero inoxidable, 440C	
General	Densidad de masa	7,75 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	689 MPa
	Resistencia máxima a tracción	861,25 MPa
Tensión	Módulo de Young	206,7 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,27 su
	Módulo cortante	81,378 GPa
Nombre(s) de pieza	Doble Fondo	
Nombre	Hierro, gris	
General	Densidad de masa	7,15 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	119 MPa
	Resistencia máxima a tracción	276 MPa
Tensión	Módulo de Young	90 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	34,6154 GPa
Nombre(s) de pieza	1le1001-1ca03-4aa4 10_04_02_00068_01 10_04_02_00068_02	
Nombre	Hierro, fundido	
General	Densidad de masa	7,15 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	758 MPa
	Resistencia máxima a tracción	884 MPa
Tensión	Módulo de Young	120,5 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	46,3462 GPa
Nombre(s) de pieza	suministro de aire caliente	

Figura 51. Materiales de análisis. [Ilustración 51], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

Estas fueron las características de los materiales usados en la maqueta.

XII-B1. RESTRICCIONES: Piezas fijas.

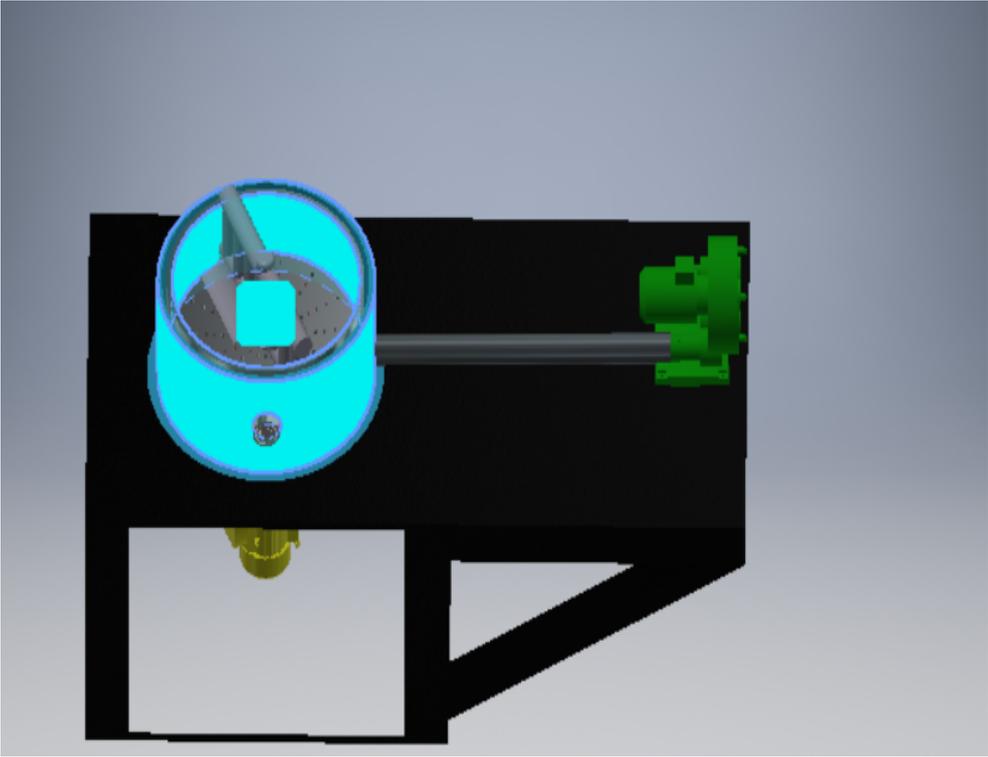


Figura 52. Materiales de análisis. [Ilustración 53], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

### ☐ Contactos (Bloqueado)

Nombre	Nombre(s) de pieza
Bloqueado:1	RECIPIENTE DE MATERIAL_3:1 Filtro de Aire Caliente:1
Bloqueado:2	RECIPIENTE DE MATERIAL_3:1 suministro de aire caliente:1
Bloqueado:3	RECIPIENTE DE MATERIAL_3:1 BASE:1
Bloqueado:4	RECIPIENTE DE MATERIAL_3:1 Extractor:2
Bloqueado:5	Doble Fondo:1 EJE FINAL-01:1
Bloqueado:6	RECIPIENTE DE MATERIAL_3:1 EJE FINAL-01:1
Bloqueado:7	Doble Fondo:1 EJE FINAL-01:1
Bloqueado:8	Filtro de Aire Caliente:1 Doble Fondo:1

Figura 53. Materiales de análisis. [Ilustración 53], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.

En estas ilustraciones podemos observar los bloqueados que establecio el analisis.

☐ **Resumen de resultados**

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	618655000 mm <sup>3</sup>	
Masa	4803,24 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	0,00471865 MPa
Primera tensión principal	-0,00112274 MPa	0,0063419 MPa
Tercera tensión principal	-0,00334349 MPa	0,00186324 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0000181205 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0,00297349 MPa	0,00477249 MPa
Tensión XY	-0,00195976 MPa	0,00197931 MPa
Tensión XZ	-0,00170601 MPa	0,00170121 MPa
Tensión YY	-0,00303048 MPa	0,00512425 MPa
Tensión YZ	-0,0019778 MPa	0,00216987 MPa
Tensión ZZ	-0,00308653 MPa	0,00335776 MPa
Desplazamiento X	-0,00000232881 mm	0,00000233371 mm
Desplazamiento Y	-0,00000232942 mm	0,00000232351 mm
Desplazamiento Z	-0,000000727075 mm	0,0000181199 mm
Deformación equivalente	0 su	0,000000021635 su
Primera deformación principal	-0,00000000865581 su	0,0000000261952 su
Tercera deformación principal	-0,0000000140072 su	0,000000000894884 su
Deformación XX	-0,0000000134605 su	0,0000000213261 su
Deformación XY	-0,0000000120411 su	0,0000000121612 su
Deformación XZ	-0,000000010482 su	0,0000000104525 su
Deformación YY	-0,000000013655 su	0,0000000219792 su
Deformación YZ	-0,000000012152 su	0,0000000133321 su
Deformación ZZ	-0,0000000139865 su	0,00000000920993 su
Presión de contacto	0 MPa	0,00685895 MPa
Presión de contacto X	-0,00563294 MPa	0,00477953 MPa
Presión de contacto Y	-0,00529455 MPa	0,00523129 MPa
Presión de contacto Z	-0,00271923 MPa	0,0010471 MPa

Figura 54. Materiales de análisis. [Ilustración 54], por W. Gutiérrez y A. García, Inventor Autodesk, 2021.