



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

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
SECADORA PARA CACAO TIPO ROTATORIA  
EMPLEANDO UN SISTEMA DE SECADO  
AUTOMATIZADO**

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

**AUTORES:** Jason Ariel Naranjo Supo  
Dayanna Sofía Vera Brune  
**TUTOR:** Juan Pablo Vera Figueroa

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Juan Pablo Vera Figueroa, is located to the right of the authors' names. The signature is stylized and cursive.

Guayaquil-Ecuador  
2023

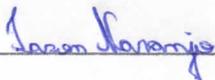
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Jason Ariel Naranjo Supo** portador de cédula de ciudadanía N° **0953332038** y **Dayanna Sofía Vera Brune** portadora de cédula de ciudadanía N° **0931035083**; 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, 11 de marzo del año 2023

Atentamente,



---

Jason Ariel Naranjo Supo  
C.I.: 095332038



---

Dayanna Sofía Vera Brune  
C.I.: 0931035083

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

Nosotros, **Jason Ariel Naranjo Supo** portador de cédula de ciudadanía N° **0953332038** y **Dayanna Sofía Vera Brune** portadora de cédula de ciudadanía N° **0931035083**; 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 MÁQUINA SECADORA PARA CACAO TIPO ROTATORIA EMPLEANDO UN SISTEMA DE SECADO AUTOMATIZADO** 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 final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 11 de marzo del año 2023

Atentamente,

Jason Ariel Naranjo Supo  
C.I.: 095332038

Dayanna Sofía Vera Brune  
C.I.: 0931035083

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Juan Pablo Vera Figueroa**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA PARA CACAO TIPO ROTATORIA EMPLEANDO UN SISTEMA DE SECADO AUTOMATIZADO**, realizado por **Jason Ariel Naranjo Supo** portador de cédula de ciudadanía N° **0953332038** y por **Dayanna Sofía Vera Brune** portador de cédula de ciudadanía N° **0931035083**, 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.



---

Ing. Juan Pablo Vera Figueroa  
C.I.: 0910678614

## DEDICATORIA

Dedico el resultado de este trabajo de titulación a toda mi familia. Especialmente, a mi madre Lucía Supo por brindarme apoyo tanto moral, como económico para alcanzar esta meta tan anhelada para mí.

A mi padre; Julio y a mis hermanos: Evelyn, Jonathan y Jairo, los cuales fueron uno de los pilares principales para mi formación académica y personal.

A mi fiel compañero, Sebas, el cual cada vez que trasnochaba en el cumplimiento de mis tareas, me acompañaba hasta terminar de realizar mis labores.

A mi compañera de tesis, la cual logró que entrará en razón cada vez que se presentaba un problema ajeno a nosotros durante la realización de este proyecto.

A los pocos compañeros de curso con los cuales pude congeniar y ayudarnos mutuamente en la realización de nuestros proyectos y a lo largo de la carrera.

A mis cinco amigos más cercanos, quienes a lo largo de mi vida fueron una fuente de aprendizaje para mi crecimiento laboral y personal.

A las personas que creyeron en mí y de una u otra manera, me ofrecieron su apoyo para poder seguir adelante.

Esta tesis se encuentra dedicada para estas personas, las cuales formaron parte de todo este largo proceso, el cual tuvo muchas complicaciones, por diversas situaciones adversas que surgieron durante el camino recorrido. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades con la cabeza en alto y sin tirar la toalla en el proceso.

Jason Naranjo

## DEDICATORIA

A Dios y a mis seres queridos, quienes han sido pilares a lo largo de mi vida estudiantil, los cuales me han apoyado a seguir, cumplir mis sueños, metas y propósitos.

Es de gran satisfacción para mí dedicarles este proyecto que con mucho esfuerzo, esmero y trabajo lo hemos cumplido.

A mis padres Luis Vera y Rosario Brune, porque ellos son mi motivación diaria con su apoyo y son mi guía en salir adelante.

A mi mamá Norma que gracias a ella me ha enseñado a ser quien soy cada día, y ha estado en cada paso que he dado durante toda mi vida.

A mis hermanos, en especial a Andrés espero ser tu ejemplo para seguir en un futuro y decirte también puedes lograr todo lo que te propones, los límites te los pones tú mismo para todo hay solución.

A mi fiel compañero Mark, que me ha acompañado en cada travesía y recibido con alegría cada que llego a casa durante 16 años.

A mi compañero de tesis que fuimos complementando poco a poco para poder lograr este proyecto, a mis compañeros que estuvieron a lo largo de este proceso, y a las personas incondicionales que a pesar de situaciones adversas me ayudaron a levantarme en cada que sentía que no podía avanzar más. A la persona que fue una gran ayuda y complemento a lo largo de la carrera, el cual me ayudó a salir adelante y fue una gran ayuda durante este trayecto y también durante la fabricación de este proyecto.

Dayanna Vera

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad, paciencia y dedicación para poder cumplir esta meta tan anhelada por mí.

Agradezco a cada uno de los miembros de mi familia: Lucía, Julio, Evelyn, Jonathan y Jairo por enseñarme a no rendirme jamás. Ustedes son los pilares de mi formación profesional y personal.

Agradezco a mi fiel compañero Sebas, por permitir despejarme cuando me sentía cansado y ofuscado por tantas situaciones que ocurrían en el día a día.

Agradezco a mi compañera de tesis, por ser una fuente de inspiración, ya que pese a todos sus problemas, nunca se rindió ni se mostro decaída. Siempre buscaba soluciones a los problemas sin importar las adversidades que se presentaban.

Agradezco a los pocos compañeros de curso con los que congenié, los cuales pese a que yo no era una persona tan abierta a los demás, siempre me incluyeron en sus actividades fuera del contexto académico.

Agradezco a mis amigos cinco amigos más cercanos, por decirme las cosas como son y no solo lo que quiera escuchar. Gracias a esto, aprendí a ser una persona neutral y honesta ante cualquier situación o autoridad.

Agradezco a cada uno de los docentes que aportaron con ideas para el diseño de este trabajo en base a su experiencia.

Hoy concluyo mis estudios de pre-grado y les agradezco a todos ustedes por estar ahí para mí durante cada una de las etapas de este proceso para culminar mi carrera universitaria.

¡Gracias por todo!

Jason Naranjo

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme esta oportunidad, haber iluminado cada uno de mis pasos dados a lo largo de mi vida estudiantil y permitirme seguir con sabiduría, paciencia y hacer realidad una de mis aspiraciones, demostrándome así que somos nosotros quienes ponemos nuestros propios límites.

Mis agradecimientos a la universidad, a cada uno de mis profesores quienes hicieron que pueda crecer cada día como profesional, agradezco su paciencia, dedicación, apoyo y amistad.

A cada uno de mis compañeros que colaboraron con sus conocimientos para que este proyecto se haga realidad, quedo agradecida por su incondicional apoyo y ayuda.

A las personas que fui conociendo a lo largo de este trayecto tanto en lo laboral como en lo estudiantil, no esta de mas agradecerles por toda la confianza brindada, gracias por haberme brindado sus conocimientos con sus experiencias.

A mis padres por su comprensión, paciencia y estímulo constante, y además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios, siempre agradeceré lo que han hecho por mí por creer y confiar en cada paso que daba, su bendición a lo largo de la vida me protege.

A mi mamá, agradezco día a día por tus consejos, paciencia y crianza, por enseñarme el camino de la vida, por el apoyo incondicional brindado, no me quedan palabras para expresar lo agradecida que me siento con Dios y mis padres que te hayan elegido para que formes una parte importante en mi crianza, sé que siempre estarás orgullosa de lo que soy ahora, también de lo que seré en un futuro y este es el resultado de tus tantos consejos y regañadas para seguir adelante.

A mi Mark, mi bebé, mi compañero de desvelos de toda mi vida, siempre acostado a un lado de donde me sentaba esperando a que culmine mis tareas para poder dormir, gracias por seguirme acompañando día a día y recibirme con toda la felicidad, felicidad que me haz brindado durante 16 añitos.

A mis amigos incondicionales, que, aunque no hablemos diariamente siempre me dan su apoyo para seguir adelante, también queda agradecer a la persona que me ayudo durante la carrera a seguir siempre adelante aconsejándome que yo podía cumplir con todo lo que me proponga, y cuando no podía era mi complemento en enseñarme el trabajo en equipo, gracias por brindarnos tus aportes y conocimientos en la fabricación de este proyecto

Dayanna Vera

## RESUMEN

En el presente proyecto se realizó el diseño y construcción de una máquina secadora para cacao tipo rotatoria empleando un sistema de secado automatizado.

Este prototipo cuenta con un bombo mallado de acero inoxidable AISI 304 que girará durante todo el proceso de secado mediante un sistema de rotación de dos ejes de una pulgada que llevarán resbalones de nylon. El material de los resbalones se eligió con el objetivo de no generar ruido por la fricción del bombo al momento de rotar sobre el eje y a su vez, el nylon soportará la temperatura de secado sin derretirse. Adicional a esto, dentro del bombo se encontrará una media luna soldada que hará que los granos tengan un movimiento continuo y se transporten de la entrada a la salida de la máquina, ya que se encontrará un motor conectado a uno de los ejes, lo que permitirá que el bombo gire y los granos sean secados de manera uniforme, ya que estos rotarán por el bombo y recibirán el calor que transmiten las resistencias térmicas lineales colocadas debajo del bombo.

Para el diseño de este prototipo, se tomó la inspiración del principio de secado que utilizan ciertas máquinas canguileras, las cuales también poseen un bombo mallado, con diferentes sistemas de rotación del producto o diseños del bombo en cuestión.

El proceso de diseño mecánico de este proyecto, se realizó empleando el software CAD/CAM Inventor 2023, el cual permitía realizar la construcción de piezas y planos para la realización de esta máquina.

El proceso de diseño eléctrico para el tablero de control, se realizó mediante el uso de la herramienta CADe\_SIMU. Para lo cual, se procedió a construir el tablero de control en base a los requerimientos preestablecidos de la máquina.

El proceso de diseño del control y automatización de la máquina se realizó en el software TIA PORTAL empleando un PLC marca Siemens de la serie S7-1200, el cual fue programado utilizando diagrama ladder. Por lo tanto, este PLC tomará las señales de entrada de los sensores colocados y tomará las decisiones para controlar la temperatura en base a la programación que se ha guardado en su memoria.

**Palabras claves:** Secadora Tipo Rotaria, Cacao, Bombo Mallado, Control, Temperatura, Resistencias térmicas lineales.

## ABSTRACT

In the present project, the design and construction of a drying machine for rotary-type cocoa were carried out using an automated drying system.

This prototype has a mesh drum of stainless steel AISI 304 which will rotate throughout the drying process using a two-axis one-inch rotation system that will carry nylon slips. The material of the slips was chosen in order not to generate noise due to the friction of the bass drum when rotating on the axis and in turn, the nylon will withstand the drying temperature without melting. In addition to this, inside the drum, there will be a welded crescent that will cause the grains to have a continuous movement, and they will be transported from the entrance to the exit of the machine since there will be a motor connected to one of the axes, which that will allow the drum to rotate and the grains to be dried evenly since these will rotate through the drum and receive the heat transmitted by the linear thermal resistances placed under the drum.

For the design of this prototype, inspiration was taken from the drying principle used by certain popcorn machines, which also have a meshed bass drum, with different systems of rotation of the product or designs of the bass drum in question.

The mechanical design process of this project was carried out using the CAD/CAM software Inventor 2023, which allowed the construction of parts and plans for the realization of this machine.

The electrical design process for the dashboard was done using CADe\_SIMU. Which, the control board was built based on the pre-established requirements of the machine.

The control and automation design process of the machine was carried out in the TIA PORTAL software using a Siemens PLC of the S7-1200 series, which was programmed using a ladder diagram. Therefore, this PLC will take the input signals from the sensors placed and will make the decision to control the temperature based on the program saved in its memory.

**Key words:** Rotary type dryer, cocoa, mesh drum, Temperature Control, Linear thermal resistances.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	16	
	<b>II.</b>	<b>PROBLEMA</b>	17
II-A.	PROBLEMÁTICA . . . . .	17	
II-B.	JUSTIFICACIÓN . . . . .	18	
	<b>III.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	19
III-A.	OBJETIVO GENERAL . . . . .	19	
III-B.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .	19	
	<b>IV.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	20
IV-A.	ANTECEDENTE . . . . .	20	
IV-B.	MÉTODO TRADICIONAL O NATURAL AL SOL . . . . .	20	
	IV-B1. MÉTODOS DE SECADO EN PISOS DE CEMENTO . . . . .	22	
	IV-B2. MÉTODO ROHAN . . . . .	22	
	IV-B3. ESTERILLAS . . . . .	22	
	IV-B4. SECADERO TIPO ELBA . . . . .	23	
	IV-B5. MARQUESINAS Y TUNELES DE SECADO . . . . .	23	
IV-C.	MÉTODOS DE SECADO ARTIFICIALES . . . . .	24	
	IV-C1. SECADORES DE CACAO TIPO CABINA . . . . .	25	
	IV-C2. SECADOR DE CACAO ROTATORIO . . . . .	25	
	IV-C3. TIPO TÚNEL . . . . .	25	
	IV-C4. SECADOR DE TAMBOR . . . . .	25	
	IV-C5. TIPO SAMOA . . . . .	25	
IV-D.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE SECADO TRADI- CIONALES . . . . .	26	
	IV-D1. VENTAJAS . . . . .	26	
	IV-D2. DESVENTAJAS . . . . .	26	
IV-E.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE SECADO ARTIFI- CIALES . . . . .	26	
	IV-E1. VENTAJAS . . . . .	26	
	IV-E2. DESVENTAJAS . . . . .	26	
IV-F.	TERMINACIÓN DEL SECADO . . . . .	27	
IV-G.	PARTES DE CONTROL DEL SISTEMA . . . . .	27	
	IV-G1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) . . . . .	27	
IV-H.	PARTES ELÉCTRICAS Y SENSORES DEL SISTEMA . . . . .	28	
	IV-H1. RESISTENCIA TÉRMICA LÍNEAL . . . . .	28	
	IV-H2. MOTORREDUCTOR . . . . .	28	
	IV-H3. VARIADORES DE FRECUENCIA . . . . .	29	
	IV-H4. CONTROLADOR DE TEMPERATURA (PIRÓMETRO) . . . . .	29	
	IV-H5. MOTOR TRIFÁSICO . . . . .	29	
IV-I.	SOFTWARE'S A UTILIZAR PARA EL DISEÑO Y CONTROL DEL SISTEMA	30	
	IV-I1. INVENTOR 2023 . . . . .	30	
	IV-I2. TIA PORTAL . . . . .	30	
	IV-I3. CADe SIMU V4.0 . . . . .	31	
	IV-I4. INVT Studio . . . . .	31	

	<b>V. MARCO PROCEDIMENTAL</b>	32
V-A.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN . . . . .	32
V-B.	DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO . . . . .	32
V-C.	DISEÑO ELÉCTRICO, DIAGRAMA DE FUERZA, MANDO Y CONTROL . . . . .	38
V-D.	ANÁLISIS ESTÁTICO . . . . .	39
V-E.	ANÁLISIS DEL BOMBO MALLADO . . . . .	41
	V-E1. DENSIDAD DEL CACAO . . . . .	41
	V-E2. VOLUMEN QUE OCUPARÁN LOS GRANOS DENTRO DEL BOMBO MALLADO . . . . .	42
V-F.	CÁLCULOS REALIZADOS . . . . .	43
	V-F1. IDENTIFICACIÓN DE LA CARGA . . . . .	43
	V-F2. ÁREA DE CARGA . . . . .	44
	V-F3. DEFORMACIÓN DEL MATERIAL . . . . .	44
	V-F4. SELECCIÓN DEL MOTOR . . . . .	45
	V-F5. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA LINEAL . . . . .	46
	<b>VI. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>	48
	<b>VII. PRESUPUESTO</b>	50
	<b>VIII. CONCLUSIONES</b>	51
	<b>IX. RECOMENDACIONES</b>	52
	<b>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	53
	<b>Referencias</b>	53
	<b>XI. ANEXOS</b>	54
XI-A.	PLANOS DEL PROTOTIPO . . . . .	54
XI-B.	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO . . . . .	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Método de Secado en Pisos de Cemento. [Ilustración 1], por Poscosecha, s.f. . . . .	22
2.	Método de Secado en Pisos de Cemento. [Ilustración 2], por Poscosecha, s.f. . . . .	22
3.	Método Rohan. [Ilustración 3], por Reynel y Loor, 2018. . . . .	22
4.	Método de Esterillas. [Ilustración 4], por Reynel y Loor, 2018. . . . .	23
5.	Método de Secadero Tipo Elba. [Ilustración 5], por Reynel y Loor, 2018. . . . .	23
6.	Método de Marquesinas y Túneles de secado. [Ilustración 6], por Reynel y Loor, 2018. . . . .	23
7.	Secador de cabina o Bandeja. [Ilustración 7], por Peñaherrera, 2021. . . . .	25
8.	Secador Samoa. [Ilustración 8], por Peñaherrera, 2021. . . . .	25
9.	Secador de Túnel. [Ilustración 9], por Peñaherrera, 2021. . . . .	25
10.	Secador de Tambor. [Ilustración 10], por Peñaherrera, 2021. . . . .	25
11.	Secador Samoa. [Ilustración 11], por Reynel y Loor, 2018. . . . .	26
12.	Terminación del secado de los granos. [Ilustración 12], Arrunátegui, 2015. . . . .	27
13.	Terminación del Secado. [Ilustración 13], por Poscosecha, s.f. . . . .	27
14.	Controlador Lógico Programable. [Ilustración 14], por GSL Industrias, 2021. . . . .	28
15.	Resistencias Térmicas Industriales. [Ilustración 15], por Resistencias Tope, s.f. . . . .	28
16.	Motorreductor. [Ilustración 16], por SWE-EURO DRIVE, s.f. . . . .	28
17.	Variador de Frecuencia. [Ilustración 17], por Soler Paleu, 2020. . . . .	29
18.	Pirometro. [Ilustración 18], por Controlador de Temperatura, 2022. . . . .	29
19.	Motor trifásico. [Ilustración 19], por Solarpalau, 2020. . . . .	30
20.	Software para diseñar estructura. [Ilustración 20], por Inventor Autodesk, 2022. . . . .	30
21.	Software para el control del sistema. [Ilustración 21], por Tia Portal, 2022. . . . .	31
22.	Software para el diseño eléctrico. [Ilustración 22], por CADe SIMU V4.0, 2022. . . . .	31
23.	Software par diagnosticar y verificar el correcto funcionamiento del variador de frecuencia [Ilustración 23], por INVTEK, 2018. . . . .	31
24.	Enfoque cuantitativo. [Ilustración 24], por Hernandez y Baptista., 2016. . . . .	32
25.	Ensamblaje del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 25], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	33
26.	Ensamblaje del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 26], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	33
27.	Ensamblaje del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria (Parte Interna). [Ilustración 27], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	34
28.	Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 28], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	34
29.	Vista posterior del Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 29], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	35
30.	Estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 30], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	35
31.	Tapa frontal de la estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 31], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	35
32.	Tapa posterior de la estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 32], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	36
33.	Eje 1 del sistema de rotación del Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 33], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	36
34.	Eje 2 (el cual será acoplado al motor) del sistema de rotación del Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 34], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	37
35.	Rodamiento SKF UCP 208-24 que irá acoplado a los dos ejes del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 35], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	37
36.	Tolva para extracción de los granos secos del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 36], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	38

37.	Circuito de fuerza del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria [Ilustración 37], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	38
38.	Circuito de control del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria [Ilustración 38], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	39
39.	Simulación de esfuerzos [Ilustración 39], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	40
40.	Factor de seguridad que empleará el prototipo [Ilustración 40], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	41
41.	Datos obtenidos por medio de la simulación del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria [Ilustración 41], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	41
42.	Plano del bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 42], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	54
43.	Plano de la estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 43], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	55
44.	Plano del eje 1 del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 44], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	56
45.	Plano del eje 2 del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 45], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	57
46.	Plano de tapa frontal del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 46], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	58
47.	Plano de tapa posterior del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 47], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	59
48.	Plano la tolva del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 48], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	60
49.	Cotización de construcción del bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 49], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	61
50.	Bombo mallado de Acero Inoxidable AISI 304 sin media lunas soldadas. [Ilustración 50], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	62
51.	Bombo mallado de Acero Inoxidable AISI 304 con media lunas soldadas. [Ilustración 51], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	62
52.	Bombo mallado de Acero Inoxidable AISI 304. [Ilustración 52], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	62
53.	Estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 53], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	63
54.	Ejes con resbalones y resistencias eléctricas del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 54], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	63
55.	Vista interna del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 55], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	63
56.	Salida del producto del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 56], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	64
57.	Montaje del bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 57], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	64
58.	Prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 58], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	64
59.	Corte de riel din para el tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 59], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	65
60.	Montaje del tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 60], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	65
61.	Montaje del tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 61], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	65
62.	Diseño del tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 62], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	66

## ÍNDICE DE CUADROS

I.	Métodos de Secado Tradicionales o naturales al sol., por Naranjo, J. y Vera, D., 2022. . . . .	21
II.	Métodos de Secado Artificial., por Naranjo, J. y Vera, D., 2022. . . . .	24
III.	Datos obtenidos por medio del análisis estático simulado en el software Inventor 2023, por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	40
IV.	Densidades de los granos de cacao según el estado en que se encuentren., por autores, 2023. . . . .	42
V.	Calor específico del cacao obtenido mediante pruebas de campo, [21] por autores, 2019. . . . .	46
VI.	Coefficiente de intercambio K como función de la velocidad del viento y el espesor de aislamiento, [20] por autores, 2015. . . . .	47
VII.	Cronograma de actividades realizadas., por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	48
VIII.	Cronograma de actividades realizadas., por Naranjo, J. y Vera, D., 2023. . . . .	49
IX.	Presupuesto del prototipo de secadora para cacao tipo rotatoria., por Naranjo, J. y Vera, D., 2022. . . . .	50

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo que posee una larga tradición en Ecuador, el crecimiento de las industrias chocolateras ha producido interés en mejorar la calidad del producto, ya que esto determina uno de los aspectos principales para considerar comercializar el cacao en el exterior. En consecuencia, las medidas que estandarizan la calidad de este producto deben ser consideradas en las estrategias de una industria, con el fin de crear competitividad en el comercio exterior. [1]

Por esta razón, el secado del cacao es una etapa muy importante para la comercialización de este producto, ya que esta determina la calidad que posee el grano de cacao. El objetivo de esta etapa es deshidratar el grano por calentamiento, además en el secado se completa la formación del sabor y aroma a chocolate. Dado que, al finalizar el proceso de fermentación del cacao, el grano posee un 60 % de humedad en su interior y este valor debe ser reducido aproximadamente hasta el 7 %, con el fin de evitar el desarrollo de mohos que deterioran la calidad del grano. [2]

Sin embargo, otros autores proponen que la calidad final del producto no solo depende de la fermentación y del secado del cacao, pues, indican que la calidad final es resultado de un estructurado proceso que inicia desde la selección del material genético y el lugar geográfico de la finca, debido a los efectos y variaciones climáticas del lugar para poder llevar a cabo el cultivo del cacao. [3]

A pesar de lo antes mencionado, el objetivo de esta tesis es implementar un sistema de secado automatizado que permita secar una parte de la cosecha de los granos de cacao en menos tiempo del que tomaría secarlo naturalmente. Este proyecto pretende servir de apoyo a los agricultores de nuestro país, a fin de evitar pérdidas de cosechas, debido a que el proceso de secado tradicional del cacao se dificulta por los diversos cambios climáticos existentes en las regiones de Ecuador, lo cual presenta un inconveniente en el trabajo de los agricultores y evita que la producción de cacao pueda ser secada a tiempo. Sin embargo, aunque se esté utilizando un secado de cacao automatizado, se debe tener en cuenta que el valor adecuado de temperatura con el cual deben ser secados los granos es de 55°C, debido a que al exceder esta temperatura las propiedades de las enzimas que poseen los granos se pueden perder, lo cual generaría granos quebradizos y un sabor amargo. [2]

Por lo tanto, la implementación de este prototipo de secadora para cacao deberá ser diseñado en base a los puntos antes mencionados, con el fin de ayudar a los agricultores del país y realizar un secado uniforme de los granos de cacao por medio del control de temperatura.

## II. PROBLEMA

### II-A. PROBLEMÁTICA

El cacao es uno de los principales productos tradicionales de exportación en nuestro país precedido por los productos minerales, petroleros, camaroneros, bananeros, enlatados de pescado y flores naturales. En el año 2021 se exportaron alrededor de \$619 MM solo en exportaciones cacaoteras. [4]

Sin embargo, es uno de los productos más difíciles de ser procesados, debido a que, el cacao debe pasar previamente por una etapa de secado para poder eliminar el exceso de humedad en los granos y esta etapa posee un tiempo de duración máximo de 7 días en condiciones climáticas favorables y por otro lado, en condiciones climáticas adversas puede durar hasta 12 días en secarse. Esta espera adicional de tiempo afecta directamente a los ingresos económicos y recursos que tienen los agricultores, además el cacao es muy propenso a la contaminación por materias extrañas tales como polvo, piedras, hojas, etc., por lo cual deberán tener un control y cuidado adicional para que el producto final posea la calidad deseada. [2]

Adicionalmente, para el secado del cacao se deberá tener en cuenta la temperatura del secado y los rangos de humedad que deberían contener los granos de cacao. En síntesis, estos deben contener un 6-7 % de humedad para conservar sus propiedades. [5]

Para conseguir estos resultados, el secado del cacao debe realizarse lenta y uniformemente, ya que si se realiza un secado muy rápido no se completarán todos los cambios químicos necesarios. Esto sucede cuando se utilizan temperaturas de secado mayores a 65°C con una humedad muy baja, dando como resultado granos arrugados, aplastados o endurecidos. Por esta razón, se deberá utilizar una temperatura de secado aproximada de 55°C, con el objetivo de no perder la calidad del producto. [5]

## *II-B. JUSTIFICACIÓN*

En el Ecuador y en América Latina, el cacao en grano es uno de los principales productos cultivados por los agricultores y es una de las principales fuentes de ingresos económicos para los países que lo producen, ya que el cacao en grano posee una gran demanda a nivel mundial, tanto en productos de chocolatería, como en productos de belleza y aseo. Sin embargo, la oferta de este producto se ve afectada en temporadas climáticas adversas para las regiones productoras del cacao en grano.

Esto sucede, debido a que, para ser procesado, el cacao previamente debe pasar por un proceso de secado. Sin embargo, este proceso se dificulta por los diversos climas que se dan en nuestro país y en el resto de América Latina, lo cual presenta un inconveniente en el trabajo de los agricultores y evita que la producción de cacao pueda ser secada a tiempo por medio del secado tradicional, ya que este secado depende de la radiación solar.

Por lo tanto, el desarrollo de este prototipo tiene como alcance realizar el diseño y construcción de una máquina secadora para cacao tipo rotatoria. Lo cual, será realizado por medio de un secado artificial automatizado, con el objetivo de reducir el tiempo que tarda el cacao en perder el exceso de humedad. Esto permitirá que los agricultores no solo dependan del secado tradicional, ya que en las mejores condiciones climáticas el cacao tarda hasta 7 días en ser secado. De esta manera, al implementar una máquina que realice un secado automatizado, se podrá aumentar la producción generada con relación a la que se produce por medio del secado tradicional, ya que este proceso no tardará ni un día en concluirse.

### III. OBJETIVOS

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

Desarrollar el prototipo de una máquina secadora para cacao tipo rotatoria empleando un sistema de secado automatizado mediante etapas de control de temperatura y eliminación de humedad, evitando pérdidas de producto por malas condiciones climáticas y reduciendo el tiempo de secado.

#### *III-B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- Investigar los diferentes métodos de secado de cacao y los equipos existentes actualmente para la selección del método de secado artificial que será utilizado.
- Desarrollar etapa mecánica del prototipo utilizando software CAD/CAM.
- Desarrollar etapa de control con un controlador embebido en un PLC.
- Desarrollar etapa de secado mediante aplicación de un sistema de control de temperatura y eliminación de humedad.
- Validar el proceso de producción mediante el rendimiento kg/h.

## IV. MARCO TEÓRICO

### IV-A. ANTECEDENTE

Para cumplir con los estándares básicos para un secado de cacao de buena calidad, se debe tener en cuenta los requisitos que previamente fueron detallados, tales como: la temperatura de secado y la humedad que debe contener el grano cuando haya terminado la etapa de secado. Debido a esto, para determinar y establecer un diseño del prototipo de secadora de cacao, se debe considerar a estas dos variables como las principales del sistema, a fin de realizar un secado uniforme del cacao en el menor tiempo posible y evitar pérdidas en la producción de los agricultores por malas condiciones climáticas.

La etapa de secado tiene como objetivo reducir el porcentaje de humedad en los granos de cacao fermentados desde el 60 % de humedad a un valor del 6-7 %, sí se quiere asegurar buenas condiciones de conservación. [5]

Este rango de humedad se encuentra establecido, debido a que si el valor de humedad del grano es menor al 6 %, entonces se producen granos de cascara quebradiza y si el valor es superior al 8 %, entonces el grano es propenso al desarrollo de mohos y a generar acidez, adicional a esto, dificulta el almacenaje y transporte del cacao. [6]

Debido a estas razones, se debe conocer y elegir el método de secado de cacao a utilizar, ya que existen diversos métodos de secado del cacao y varias aplicaciones, aunque por lo general, diversos autores clasifican los métodos de secado de cacao en dos categorías, las cuales son: métodos tradicionales de secado (son aquellos métodos que aprovechan la radiación solar) y métodos modernos de secado (los cuales realizan un secado artificial mediante calor forzado).

### IV-B. MÉTODO TRADICIONAL O NATURAL AL SOL

Pese a que este método no consume recursos energéticos, tiene grandes desventajas, ya que el secado de los granos puede tardar hasta 7 días en óptimas condiciones climáticas. Además, requiere de mucho personal para que sea llevado de una manera correcta, ya que el secado debe realizarse en áreas de cemento o tarimas de madera, de una manera lenta y uniforme para conservar la calidad de los granos, debido a esto los granos deben ser removidos cada cierto tiempo con rastrillos de madera. Como resultado, el alcance de este método está limitado por las condiciones climáticas y el arduo trabajo de coordinación que deben poseer los agricultores con el fin de obtener granos de cacao de alta calidad. [6]

Cuadro I: Métodos de Secado Tradicionales o naturales al sol., por Naranjo, J. y Vera, D., 2022.

<b>Método de Secado</b>	<b>Proceso</b>	<b>Condiciones</b>
Métodos de secado en pisos de cemento	Los granos de cacao fermentados serán colocados en patios de cemento o ladrillos expuestos al sol con o sin techos transportables. [7]	Estos patios deben ser utilizados únicamente para secar el cacao. Por lo tanto, los granos de cacao no pueden ser secados en conjunto con otros productos de olores fuertes, tales como: el coco o pescado. [7]
Método Rohan	Los granos de cacao irán sobre bandejas Rohan, en las cuales se colocarán los granos al sol sobre largueros a una altura aproximada de 50 cm, para que la humedad del suelo no influya en el secado de los granos de cacao. Este método es utilizado por los agricultores que realizan pequeñas producciones de cacao. Sin embargo, también es un método utilizado por productores de cacao más grandes. [7]	La temperatura debe ser menor a 50°C y la madera debe estar libre de olores e impurezas que puedan absorber los granos. [5]
Esterillas	Los granos de cacao deben ser colocados en esterillas hechas de bambú, dejando espacios en los bordes, de modo que se puedan envolver y desenvolver para secar o guardar los granos. Este método es utilizado por los agricultores que realizan pequeñas producciones de cacao.	Este proceso debe llevarse a cabo sobre largueros a una altura considerable del suelo y a una temperatura menor o igual a 50°C. [5]
Secadero tipo Elba	El cacao fermentado se deberá colocar en camillas de madera corredizas mediante rieles, las cuales estarán protegidas por un techo fijo o transportable. Este método es utilizado por agricultores que poseen grandes plantaciones. [7]	La temperatura debe ser menor a 50°C y la madera debe estar libre de olores que puedan absorber los granos. [5]
Marquesinas y túneles de secado	Los granos de cacao fermentados serán colocados en superficies debajo de estructuras de madera o metal cubierta de plástico o policarbonatos que permitan el paso de la radiación solar. [7]	La superficie donde se llevará a cabo el secado de los granos estará compuesta de mesones levantados, generalmente esterillas entramados de caña o mallas plásticas con una apertura aproximada de 0.4 x 0.4 centímetros. [7]

*IV-B1. MÉTODOS DE SECADO EN PISOS DE CEMENTO:* Método tradicional en el que únicamente se secarán granos de cacao, ya que estos granos son fáciles de contaminar con olores o materias extrañas de otros productos. [7]



Figura 1: Método de Secado en Pisos de Cemento. [Ilustración 1], por Poscosecha, s.f.



Figura 2: Método de Secado en Pisos de Cemento. [Ilustración 2], por Poscosecha, s.f.

*IV-B2. MÉTODO ROHAN:* Método tradicional en el que los granos de cacao se encontrarán elevados a una altura sobre el suelo. [3]



Figura 3: Método Rohan. [Ilustración 3], por Reynel y Loor, 2018.

*IV-B3. ESTERILLAS:* Método tradicional en el que los granos de cacao se elevarán a una altura determinada mediante largueros de bambú. [7]



Figura 4: Método de Esterillas. [Ilustración 4], por Reynel y Loor, 2018.

*IV-B4. SECADERO TIPO ELBA:* Método tradicional en el que los granos de cacao se colocan en camillas protegidas por un techo fijo o transportable. [7]



Figura 5: Método de Secadero Tipo Elba. [Ilustración 5], por Reynel y Loor, 2018.

*IV-B5. MARQUESINAS Y TUNELES DE SECADO:* Método tradicional en el que los granos de cacao se colocan en estructuras de madera con una cubierta de plástico especial. [7]



Figura 6: Método de Marquesinas y Túneles de secado. [Ilustración 6], por Reynel y Loor, 2018.

#### IV-C. MÉTODOS DE SECADO ARTIFICIALES

Pese a que es preferible realizar el secado de los granos de cacao por medio de métodos tradicionales, los métodos de secado artificial son alternativas necesarias para secar el cacao en zonas con variaciones climáticas constantes o plantaciones medianas de cacao, debido a ello, toda la producción no podrá ser secada a tiempo. [3]

Cuadro II: Métodos de Secado Artificial., por Naranjo, J. y Vera, D., 2022.

Método de Secado	Proceso	Condiciones
Secadores de cacao tipo cabina	En este tipo de secador el aire fluye a través de las bandejas, ya que cuenta con un ventilador y una serie de resistencias eléctricas que generan aire caliente. [5]	La temperatura máxima de secado debe ser de 60°C, ya que, al exceder esa temperatura, se estará generando un secado violento, que podría generar la pérdida de calidad en los granos de cacao. [2]
Secador de cacao rotatorio	En este tipo de secador el aire caliente fluye y se dispersa a lo largo del cilindro rotatorio en forma paralela. [5]	La temperatura máxima de secado debe ser de 60°C, ya que, al exceder esa temperatura, se estará generando un secado violento, que podría generar la pérdida de calidad en los granos de cacao. [2]
Tipo Túnel	En este tipo de secador el cacao instalado en carretas es transportado por un túnel en contacto con gases calientes. [5]	La temperatura máxima de secado debe ser de 60°C, ya que, al exceder esa temperatura, se podría generar un secado violento. [2]
Secador de Tambor	Este tipo de secador posee un cilindro metálico rotatorio, el cual se calienta intrínsecamente con gas y se produce una transferencia de calor muy eficaz desde la pared de la carcasa caliente hasta el producto sólido. [5]	La temperatura máxima de secado debe ser de 60°C, ya que, al exceder esa temperatura, se podría generar un secado violento. [2]
Tipo Samoa	Este tipo de secador consiste en un tubo de metal, en donde se coloca una fuente de calor, tales como: carbón, leña, diésel o electricidad; sobre el tubo a una distancia de 1.20m se coloca una plataforma perforada donde van los granos de cacao y se cubre con un techo. [3]	Este sistema debe estar cerrado en la parte baja para que el aire seco caliente de alrededor del tubo suba y seque los granos. [3] La temperatura máxima de secado debe ser de 60°C, ya que, al exceder esa temperatura, se podría generar un secado violento. [2]

**IV-C1. SECADORES DE CACAO TIPO CABINA:** Método artificial en el cual el aire fluirá a través de las bandejas y una serie de resistencias eléctricas que permitirán que los granos de cacao sean secados uniformemente. [5]



Figura 7: Secador de cabina o Bandeja. [Ilustración 7], por Peñaherrera, 2021.

**IV-C2. SECADOR DE CACAO ROTATORIO:** Método artificial en el cual el aire se dispersará a lo largo del cilindro rotatorio para secar los granos de cacao. [5]



Figura 8: Secador Samoa. [Ilustración 8], por Peñaherrera, 2021.

**IV-C3. TIPO TÚNEL:** Método artificial en el cual se utilizarán gases calientes para realizar el secado de los granos de cacao. [5]



Figura 9: Secador de Túnel. [Ilustración 9], por Peñaherrera, 2021.

**IV-C4. SECADOR DE TAMBOR:** Método artificial en el cual se utilizará un cilindro rotatorio que secará los granos de cacao por medio de gases calientes. [5]



Figura 10: Secador de Tambor. [Ilustración 10], por Peñaherrera, 2021.

**IV-C5. TIPO SAMOA:** Método artificial en el cual los granos de cacao son secados por medio de un tubo de metal en el que se coloca una fuente de calor, tal como: carbón, leña, diesel o electricidad. [5]



Figura 11: Secador Samoa. [Ilustración 11], por Reynel y Loor, 2018.

#### *IV-D. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE SECADO TRADICIONALES*

##### *IV-D1. VENTAJAS:*

- El secado de los granos de cacao es realizado a una temperatura moderada.
- El secado de los granos se realiza de una manera uniforme.
- Se puede obtener un producto de mayor calidad, ya que una vez terminado el secado de los granos, las almendras tienen un aroma más fino y el color de los granos es más claro. [2]
- Económico en presupuesto.

##### *IV-D2. DESVENTAJAS:*

- Depende de las temperaturas y de las condiciones climáticas de la zona en que se encuentre ubicada la finca, por lo cual el secado de los granos puede ser muy lento, generando un sabor ácido en los granos de cacao. [5]
- No consume muchos recursos energéticos, pero para obtener un producto de buena calidad, se necesita de la coordinación de un gran número de personas en cada una de las etapas, desde la cosecha. Por lo tanto, se tendrá que establecer un horario para mover los granos con un rastrillo y remover las materias extrañas manualmente. [2]

#### *IV-E. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE SECADO ARTIFICIALES*

##### *IV-E1. VENTAJAS:*

- No depende del clima de la región en que se encuentra ubicada la finca.
- Los granos de cacao no se contaminan por materias u olores extraños.
- La producción de cacao puede ser mayor, debido a que el tiempo de secado no demora mucho tiempo y no existen problemas de hongos.

##### *IV-E2. DESVENTAJAS:*

- Si el secado de los granos de cacao es realizado a una temperatura muy elevada, el secado se realizará muy pronto y se puede inactivar las enzimas de los granos antes de que se realicen todos los cambios químicos necesarios. Además, se puede generar una capa superficial en los granos de cacao que se encuentre seca, pero en su interior, el grano de cacao seguirá húmedo. [2]
- Consumo energético alto.

#### IV-F. TERMINACIÓN DEL SECADO

Una vez que el cacao se encuentre completamente seco, se debe utilizar instrumentación que mida la humedad del grano, para lo cual se deberán limpiar de materias o cuerpos extraños (maderas, trozos de hoja, etc). Luego de medir la humedad, se deberán separar los granos y clasificarlos, ya que luego del secado, los granos se pueden partir si el secado se realizó durante un tiempo prolongado o a una temperatura inadecuada, por lo cual, este tipo de granos se consideran como defectuosos, ya que estos restan la calidad de la cosecha. Finalmente, se almacenarán los granos aptos, es decir, de buena calidad para la venta y distribución del mismo. [7]



Figura 12: Terminación del secado de los granos. [Ilustración 12], Arrunátegui, 2015.



Figura 13: Terminación del Secado. [Ilustración 13], por Poscosecha, s.f.

#### IV-G. PARTES DE CONTROL DEL SISTEMA

**IV-G1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC):** El dispositivo por usar para la programación será un PLC (Control Lógico Programable) que es un dispositivo muy utilizado en industrias que quieren progresar en la automatización de sus procesos. Se trata de un ordenador industrial que utiliza esta tecnología para automatizar procesos. [9]

El funcionamiento del PLC se basa en procesos regulares y continuos como:

- Autodiagnóstico: Revisión de todos los circuitos. El dispositivo mostrará una señal si hay un problema. [9]
- Lecturas y escrituras de entrada: evalúa cada entrada para diagnosticar si está activada o desactivada, escribe estos procesos en la memoria y crea una imagen. [9]
- Lectura y ejecución de programas: la computadora usa la imagen en la memoria para ejecutar programas dirigidos a ella por el usuario. [9]
- Registrar y actualizar salidas: este paso restaura todas las salidas al mismo tiempo. [9]

Existe una amplia gama de PLC en el mercado hoy en día para todas sus necesidades de automatización. Los más conocidos por su calidad y seguridad son los de las marcas Siemens y Allen Bradley.

El primero domina los mercados asiáticos y europeos, mientras que el segundo domina los EE. UU. Ambas marcas están abiertas a sus productos en comparación con otros continentes. [9]



Figura 14: Controlador Lógico Programable. [Ilustración 14], por GSL Industrias, 2021.

#### IV-H. PARTES ELÉCTRICAS Y SENSORES DEL SISTEMA

*IV-H1. RESISTENCIA TÉRMICA LÍNEAL:* La resistencia a usar será de tipo lineal, la cual soportará una temperatura de hasta 100°C.



Figura 15: Resistencias Térmicas Industriales. [Ilustración 15], por Resistencias Tope, s.f.

*IV-H2. MOTORREDUCTOR:* Un motorreductor es una unidad compacta formada por un reductor y un motor eléctrico. [11]

Por lo tanto, el reductor y sus pares de fases transmitirán la potencia del motor desde el eje de entrada al eje de salida. Debido a esto, el reductor actúa como variador de velocidad y par. [11]

En la mayoría de las aplicaciones, un engranaje reductor reduce la velocidad al mismo tiempo que transmite un par mucho más alto que el que puede proporcionar el motor eléctrico por sí solo. Así pues, el diseño del reductor de engranajes determina para que tipo de cargas es apto el motorreductor y si es adecuado para operaciones de corta o larga duración. [11]



Figura 16: Motorreductor. [Ilustración 16], por SWE-EURO DRIVE, s.f.

**IV-H3. VARIADORES DE FRECUENCIA:** Los variadores o convertidores de frecuencia son sistemas que sirven para regular la velocidad de giro de un motor AC. Estos aparatos se encuentran entre la fuente de alimentación y los motores AC, por lo tanto, regularan la frecuencia de la electricidad que recibirá el motor. Debido a esto, el variador ofrecerá al motor la electricidad necesaria. [12]



Figura 17: Variador de Frecuencia. [Ilustración 17], por Soler Paleu, 2020.

**IV-H4. CONTROLADOR DE TEMPERATURA (PIRÓMETRO):** Pirómetro es un término de ingeniería que se usa para referirse a los controles de temperatura montados en un panel. Un controlador de temperatura es un instrumento utilizado para controlar la temperatura. Tiene una entrada de un sensor de temperatura y una salida conectada a un elemento de control como un calentador o un ventilador. [13]

Junto con los sensores (termopar o RTD Pt100), los pirómetros de temperatura realizan funciones de control ON-OFF, P o incluso control PID para sistemas donde se deben mantener las variables industriales medidas con mayor frecuencia. [13]

Para regular con precisión la temperatura del proceso sin la participación constante del operador, los sistemas de control de temperatura se basan en un controlador que acepta un sensor de temperatura como entrada. Compara la temperatura real con la temperatura de control deseada o el punto de ajuste y proporciona una salida al elemento de control. El controlador de temperatura es solo una parte del sistema de control y se debe analizar todo el sistema para seleccionar un controlador adecuado. [14]



Figura 18: Pírometro. [Ilustración 18], por Controlador de Temperatura, 2022.

**IV-H5. MOTOR TRIFÁSICO:** El motor trifásico es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas y se alimenta de energía eléctrica trifásica.

Partes de un motor trifásico:

- Estator: parte fija que opera como la base del motor. Posee una carcasa en la que se fijan una corona de chapas de hierro al silicio o acero al silicio, en las que están presentes unas aberturas. En estas aberturas se encuentran 3 bobinas y 3 circuitos diferentes. [16]
- Rotor: parte móvil dentro del estator. Un núcleo magnético ranurado de acero al silicio se encuentra en el interior del eje, además en sus chapas se colocan unas barras de cobre que sirven como conductores de energía generando un sistema conocido como “jaula de ardilla”. [15]

- **Carcasa:** parte exterior del motor trifásico que generalmente son fabricadas en aluminio o hierro colado. Están diseñadas para albergar huecos que contienen componentes específicas en su interior. El eje del rotor descansa sobre unos cojinetes. Además, para evitar distorsiones en el giro, como: ruido, vibraciones; los escudos deben estar bien ajustados. [15]

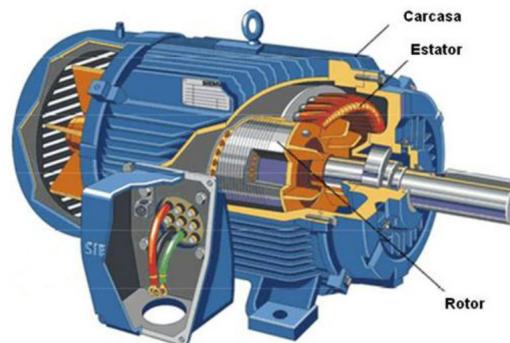


Figura 19: Motor trifásico. [Ilustración 19], por Solarpalau, 2020.

#### *IV-I. SOFTWARE'S A UTILIZAR PARA EL DISEÑO Y CONTROL DEL SISTEMA*

*IV-II. INVENTOR 2023:* El programa que se utilizará para diseñar las piezas de este proyecto será Autodesk Inventor Professional 2023. Este programa proporciona herramientas de diseño mecánico en 3D, documentación y simulación de productos. Gracias a las herramientas CAD/CAM que este programa posee, se seleccionó este software para el diseño y simulaciones de las piezas de este proyecto.



Figura 20: Software para diseñar estructura. [Ilustración 20], por Inventor Autodesk, 2022.

*IV-I2. TIA PORTAL:* El programa que se utilizará para el control del sistema planteado es TIA PORTAL, el cual permite configurar de forma intuitiva los procesos de producción, ya que unifica las tareas de control, accionamiento de actuadores mediante diferentes lenguajes de programación y monitoreo del funcionamiento del sistema.

Este software incorpora opciones como SIMATIC STep 7 para la programación y diagnóstico de los controladores SIMATIC, WinCC para la visualización y control del proceso mediante pantallas HMI y Startdrive que sirve para la configuración e integración de accionamientos SINAMICS G.

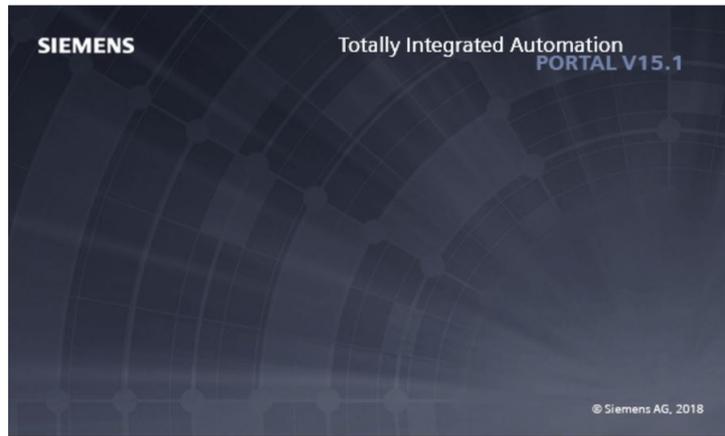


Figura 21: Software para el control del sistema. [Ilustración 21], por Tia Portal, 2022.

*IV-13. CADe SIMU V4.0:* El CADe SIMU es un software electrotécnico que permite crear diagramas de eléctricos, permitiendo realizar la simulación de los mismos. Este software se encuentra enfocado principalmente en el diseño de diagramas eléctricos, ladder y neumática. Debido a estas características, se eligió este programa para llevar a cabo el diseño de los diagramas de fuerza y control que empleará este prototipo.

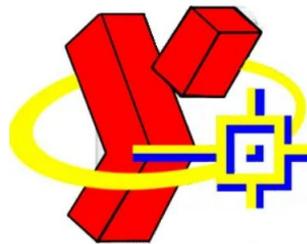


Figura 22: Software para el diseño eléctrico. [Ilustración 22], por CADe SIMU V4.0, 2022.

*IV-14. INVT Studio:* El INVT Studio es un software de comunicaciones para Windows entre la computadora y los convertidores de frecuencia INVT. Este software será utilizado para programar el variador en base a los requerimientos preestablecidos para el desarrollo de este proyecto.

Además, este software permitirá:

- La edición de parámetros del variador.
- Cargar y descargar parámetros, importando y exportando ficheros de parámetros.
- Comunicación Serie y Ethernet.
- Monitorizar múltiples convertidores con un solo PC simultáneamente.
- Diagnosticos de fallos y su causa.
- Soporte online.



Figura 23: Software par diagnosticar y verificar el correcto funcionamiento del variador de frecuencia [Ilustración 23], por INVTEK, 2018.

## V. MARCO PROCEDIMENTAL

En este capítulo se suministrarán datos de cómo se realizará el diseño y el sistema de la máquina secadora para cacao tipo rotatoria empleando un sistema de secado automatizado. Por lo tanto, se desarrollará un prototipo de bajo consumo de energía que también pueda proporcionar un bajo costo y secado rápido. Además, que cumpla con los requisitos de operación y un rango de temperatura de secado aproximado de 50°C - 60°C, el cual es óptimo para la deshidratación de los granos de cacao sin perder la calidad del producto.

El diseño de este prototipo se encuentra centralizado y orientado a los pequeños agricultores, ya que será fácil de transportar y utilizar. A su vez, el objetivo principal del proyecto será deshidratar los granos de cacao y obtener un porcentaje de humedad aproximado del 7%.

### V-A. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el diseño de la investigación de este trabajo de titulación, se estará utilizando un enfoque cuantitativo, ya que este es un método de procesos secuenciales en el cual no se podrá saltar pasos para la realización de la siguiente fase. Además, en este enfoque se debe probar una hipótesis en base a la medición de las variables preestablecidas y el análisis de los datos obtenidos en las pruebas de campo para poder establecer un comportamiento adecuado del funcionamiento de este prototipo.

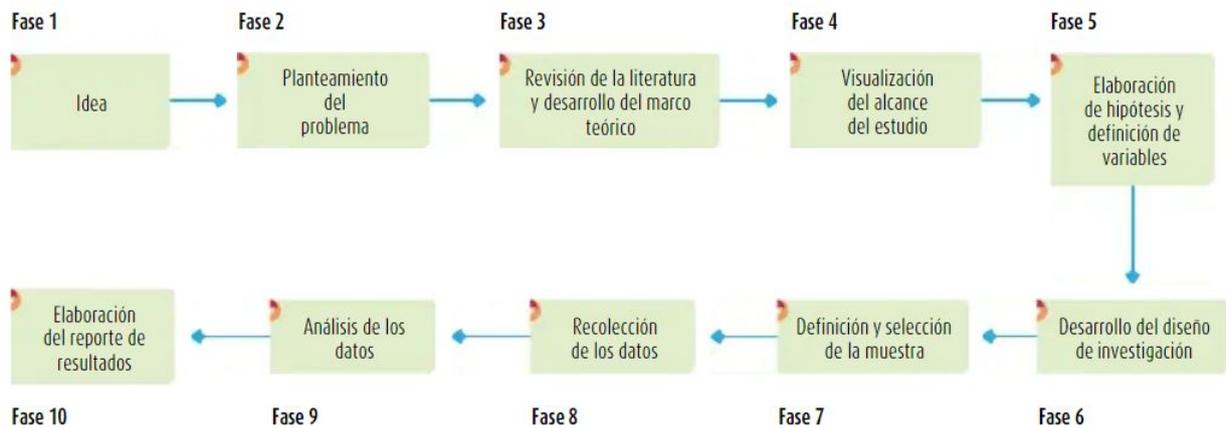


Figura 24: Enfoque cuantitativo. [Ilustración 24], por Hernandez y Baptista., 2016.

Para el diseño de este prototipo de máquina secadora de cacao, se realizará un bosquejo en base a la tecnología de las máquinas para hacer canguil, ya que estas cuentan con un bombo mallado giratorio, el cual al rotar recibirá el calor que transmiten las resistencias. Esto permitirá que los granos se sequen de manera uniforme, evitando que solo se deshidrate la capa superficial de los granos.

Las variables para analizar serán: la elección de los materiales y la temperatura de secado que es parte fundamental para obtener un producto final de calidad. Por lo tanto, la temperatura se medirá pirómetro que se encontrará configurado para funcionar adecuadamente dentro de la programación del sistema. Sin embargo, según las investigaciones de diversos autores la temperatura máxima de secado en una secadora de cacao deberá ser de 55°C.

### V-B. DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO

El prototipo contará con un bombo interno, el cual va a tener un movimiento constante dependiendo de la temperatura, lo cual será controlado con un variador de frecuencia para poder cumplir con la distribución del calor en los granos mientras se lleva a cabo el proceso de secado.

Dependiendo de la humedad del ambiente y la temperatura que las resistencias térmicas están transmitiendo al bombo, se asignará una velocidad al motor con el variador de frecuencia, para poder distribuir de manera uniforme todo el calor que se generará por medio de las resistencias. Adicional a ello, el bombo tendrá un mallado de 2 mm, el cual servirá para que el cacao no caiga dentro de la estructura y cause daños internos.

La temperatura será controlada por medio de un pirómetro y una termocupla. Este control registrará los valores deseados, es por ello que, la termocupla deberá encontrarse cerca de las resistencias térmicas. Debido a que el bombo se encontrará rotando a una velocidad constante, los granos de cacao podrán cecarse de manera uniforme. Por lo tanto, se tiene previsto que el cacao deberá mantenerse en el bombo por un tiempo determinado, para calcular el valor en Kg/h que se obtendrá durante todo el proceso.

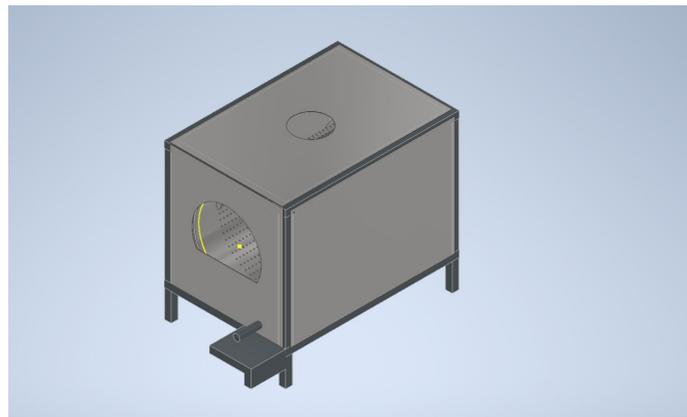


Figura 25: Ensamblaje del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 25], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

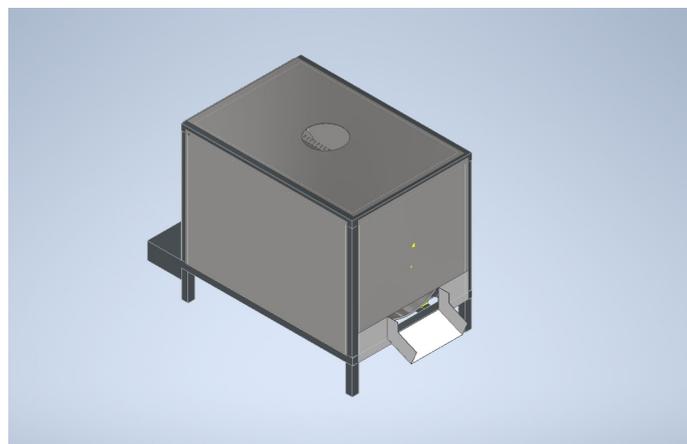


Figura 26: Ensamblaje del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 26], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

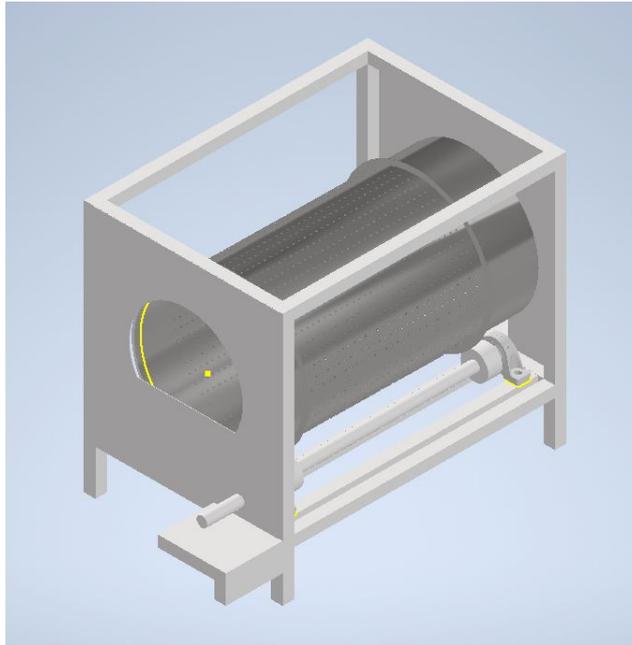


Figura 27: Ensamblaje del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria (Parte Interna). [Ilustración 27], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

A continuación, se visualizará el diseño del bombo mallado (Ilustración 28), el cual será construido en acero inoxidable, ya que dentro del bombo será la parte donde se irán colocando los granos de cacao para el proceso de secado.

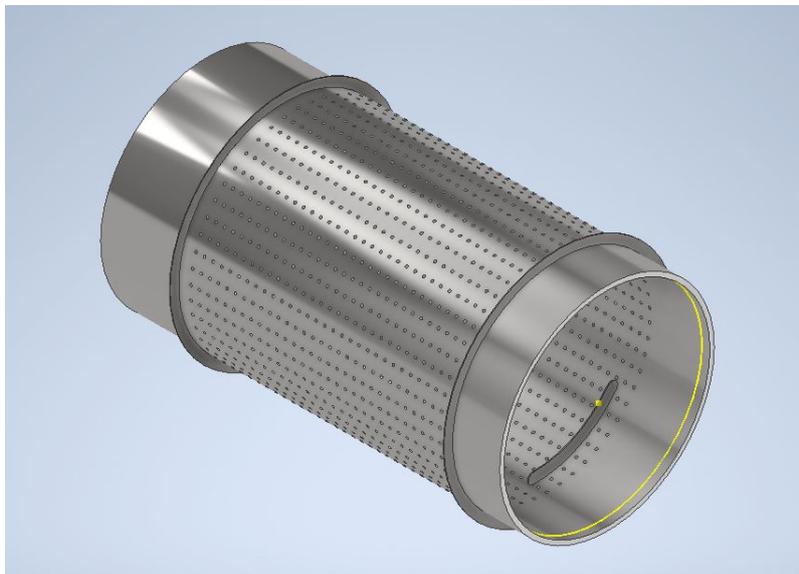


Figura 28: Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 28], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

En la siguiente representación (Ilustración 29) se podrá observar el patrón que tendrá el mallado, el cual será de 2 mm con el fin de que mientras el bombo y los granos giren, estos no caigan dentro de la estructura interna de la máquina.

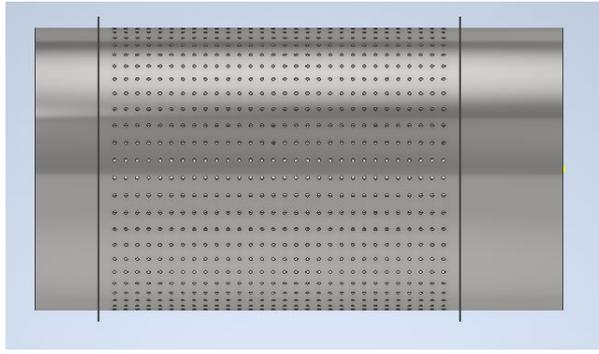


Figura 29: Vista posterior del Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 29], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

Para la estructura del prototipo se utilizará la siguiente configuración (Ilustración 30), en la cual se visualizará la base para el motor y los soportes del peso de la máquina. A su vez, para esta estructura se colocarán paredes o tapas que ocultarán la estructura interna de la máquina y posteriormente para efecto de visualización, solo se mostrarán dos de ellas.

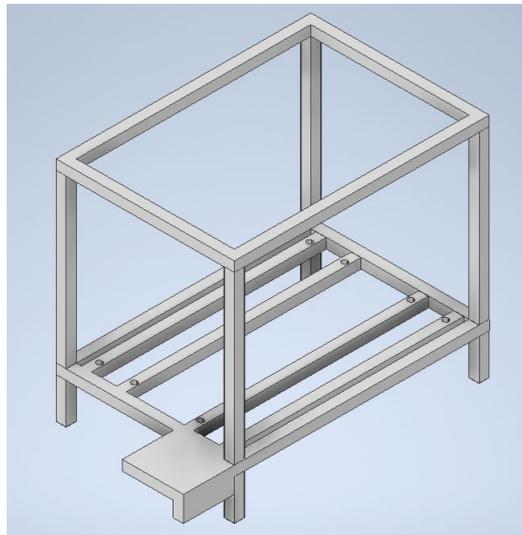


Figura 30: Estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 30], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

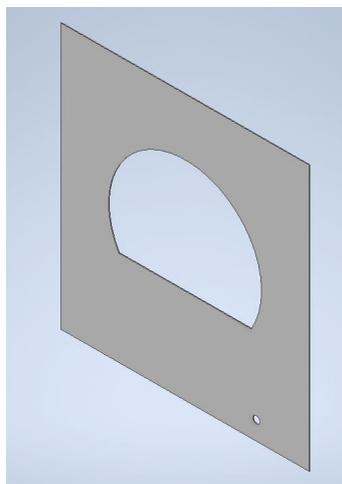


Figura 31: Tapa frontal de la estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 31], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

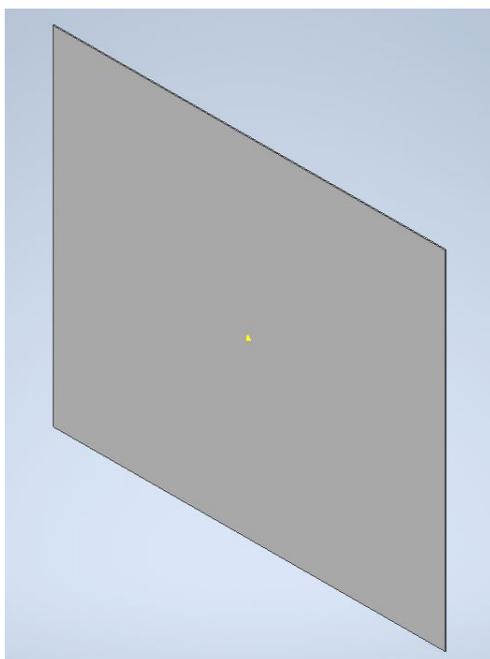


Figura 32: Tapa posterior de la estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 32], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

Ahora, se adjuntará el diseño de uno de los dos ejes (Ilustración 33), que permitirán que el bombo gire a una velocidad constante. Para lo cual se utilizarán ruedas o resbalones fabricadas en nylon y no en metal con el objetivo de que el bombo de acero no genere ruido debido a la fricción ejercida por el roce constante de los dos aceros.

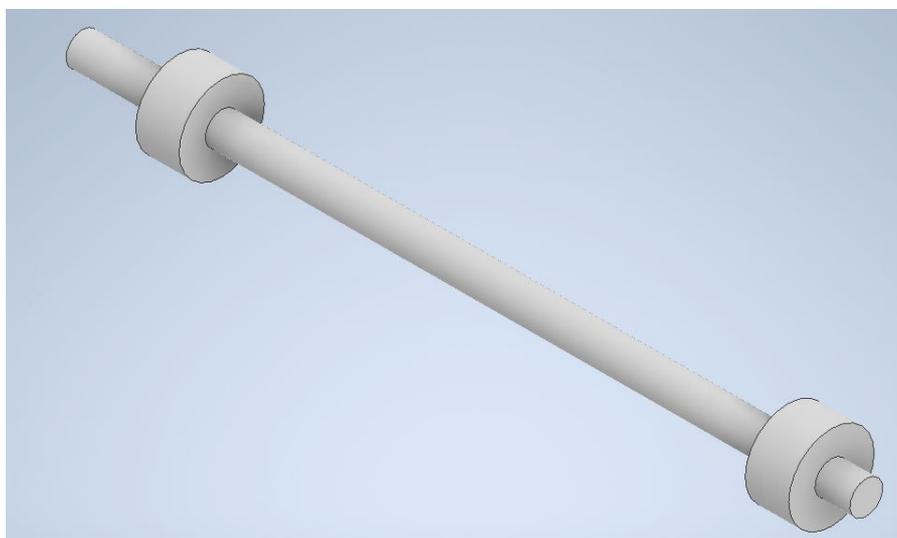


Figura 33: Eje 1 del sistema de rotación del Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 33], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

Para terminar con el sistema de ejes, se adjuntará el diseño del segundo eje (Ilustración 34) el cual será el eje que irá acoplado al motor trifásico y que esto permitirá que el bombo gire a una velocidad constante dado la configuración diseñada para su sistema de rotación.



Figura 34: Eje 2 (el cual será acoplado al motor) del sistema de rotación del Bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 34], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

Sin embargo, estos dos ejes no podrán rotar por sí mismos sin sus rodamientos respectivos, es por ello, que se agregará un rodamiento rígido de bolas con soporte de pie, el cual permitirá que estos roten mediante el motor trifásico. Para ello, se utilizará un rodamiento "SKF UCP 208-24" (Ilustración 35) el cual se encuentra diseñado para trabajar con una rotación constante y alternada.

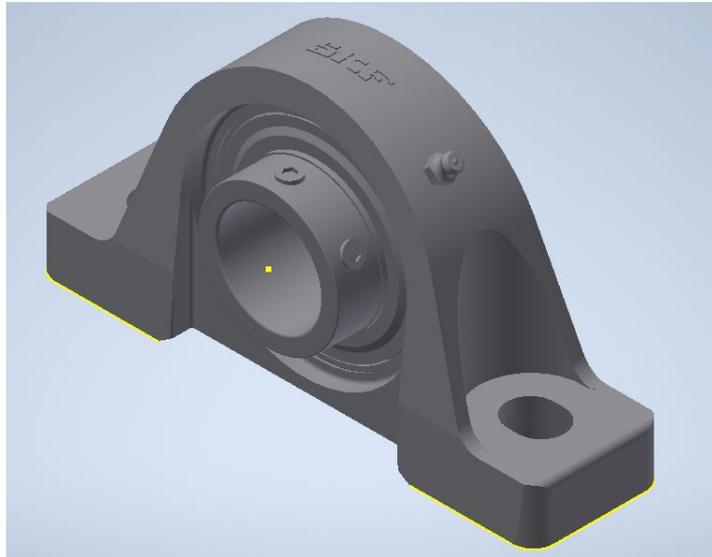


Figura 35: Rodamiento SKF UCP 208-24 que irá acoplado a los dos ejes del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 35], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

Finalmente, se colocará una tolva en la parte posterior de la máquina para poder extraer los granos de cacao secos (Ilustración 36).

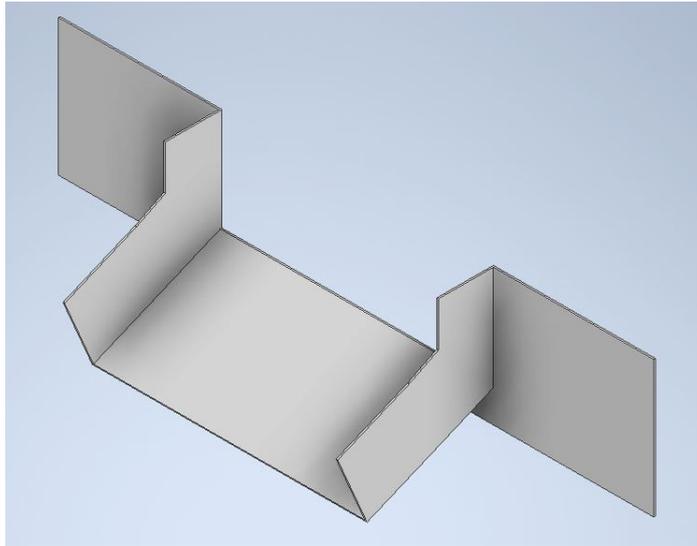


Figura 36: Tolva para extracción de los granos secos del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 36], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

### V-C. DISEÑO ELÉCTRICO, DIAGRAMA DE FUERZA, MANDO Y CONTROL

El prototipo contará con el siguiente diagrama de control en el cual se utilizará un PLC Siemens S7-1200 como controlador del sistema.

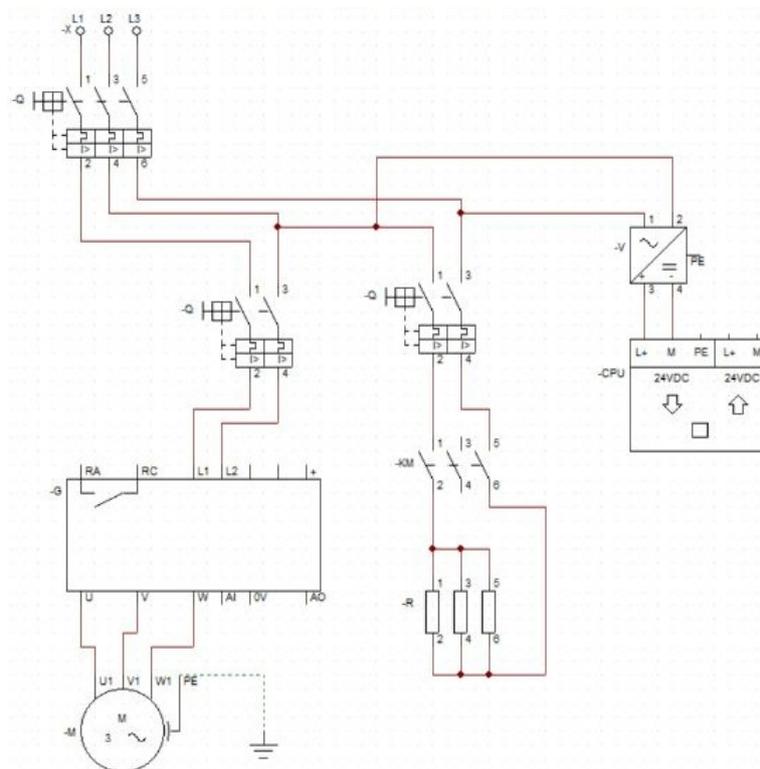


Figura 37: Circuito de fuerza del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria [Ilustración 37], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

El prototipo contará con el siguiente diagrama de fuerza en el cual se incluire el arranque del motor trifásico y el diagrama de conexión de las 3 resistencias térmicas.

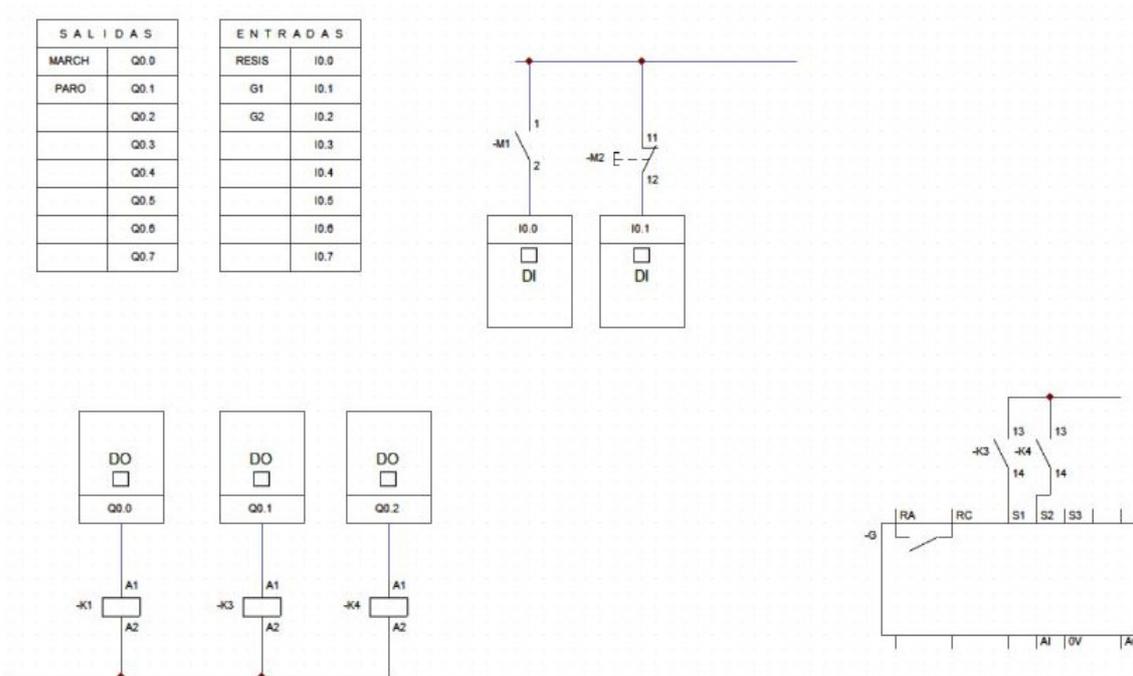


Figura 38: Circuito de control del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria [Ilustración 38], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

La máquina empezará a funcionar una vez que se activen los dos interruptores termomagnéticos y se presione el pulsador START mediante el pulsador de marcha del diagrama de control. Esto permitirá que la corriente pase a través del circuito y active el proceso planteado en la programación, empezando así el proceso de secado.

#### V-D. ANÁLISIS ESTÁTICO

El análisis estático se llevará a cabo por medio de las simulaciones que ofrece el software Inventor 2023, por medio del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro III: Datos obtenidos por medio del análisis estático simulado en el software Inventor 2023, por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

**Resumen de resultados**

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	14084200 mm <sup>3</sup>	
Masa	248,403 lbmasa	
Tensión de Von Mises	0,00000000691338 MPa	0,000230323 MPa
Primera tensión principal	-0,0000450601 MPa	0,000136075 MPa
Tercera tensión principal	-0,000130215 MPa	0,0000392458 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,000000018964 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0,0000134894 MPa	0,0000138124 MPa
Tensión XY	-0,0000941096 MPa	0,0000882498 MPa
Tensión XZ	-0,0000879895 MPa	0,0000938546 MPa
Tensión YY	-0,0000782463 MPa	0,0000809003 MPa
Tensión YZ	-0,0000632351 MPa	0,0000624741 MPa
Tensión ZZ	-0,0000737547 MPa	0,0000808311 MPa
Desplazamiento X	-0,00000000380294 mm	0,00000000228976 mm
Desplazamiento Y	-0,0000000189212 mm	0,0000000189019 mm
Desplazamiento Z	-0,0000000188634 mm	0,0000000188374 mm
Deformación equivalente	0,000000000000307137 su	0,00000000101582 su
Primera deformación principal	-0,00000000000652413 su	0,000000000887576 su
Tercera deformación principal	-0,000000000871798 su	0,00000000000637855 su
Deformación XX	-0,000000000578627 su	0,00000000057753 su
Deformación XY	-0,000000000622571 su	0,000000000583807 su
Deformación XZ	-0,000000000582084 su	0,000000000620884 su
Deformación YY	-0,00000000051282 su	0,000000000522532 su
Deformación YZ	-0,000000000418325 su	0,00000000041329 su
Deformación ZZ	-0,000000000500571 su	0,000000000520865 su

Con el análisis obtenemos:

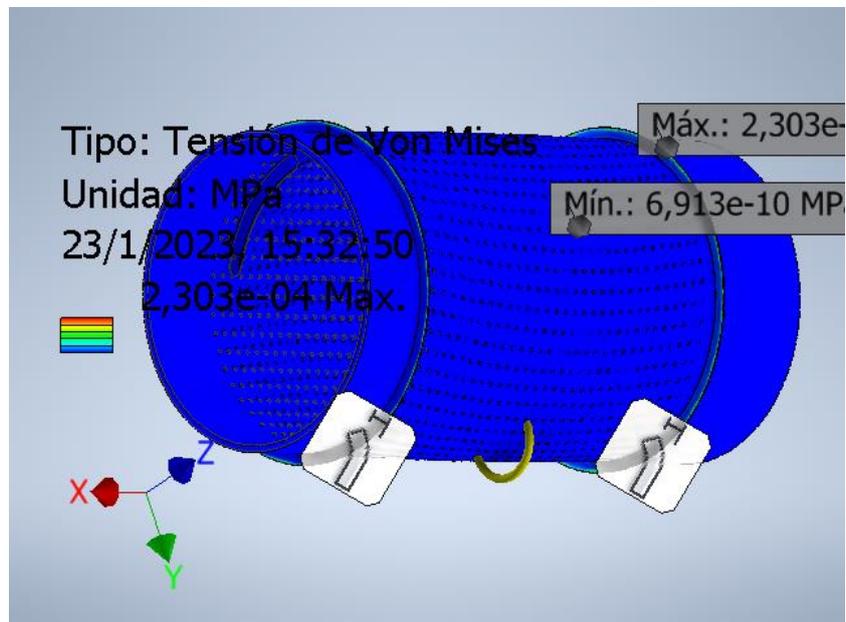


Figura 39: Simulación de esfuerzos [Ilustración 39], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

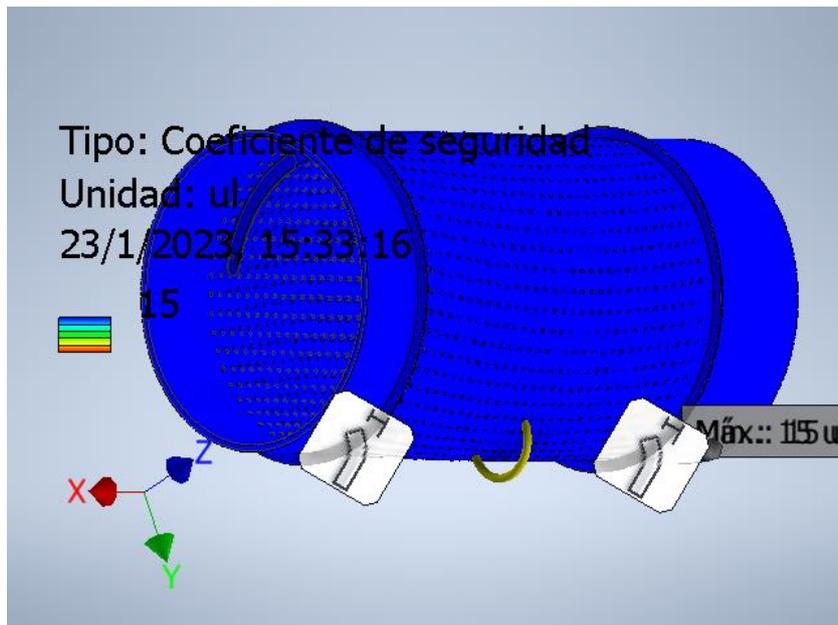


Figura 40: Factor de seguridad que empleará el prototipo [Ilustración 40], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

Por medio de esta simulación, se obtuvo un factor de seguridad que se escogió para la implementación de este prototipo.

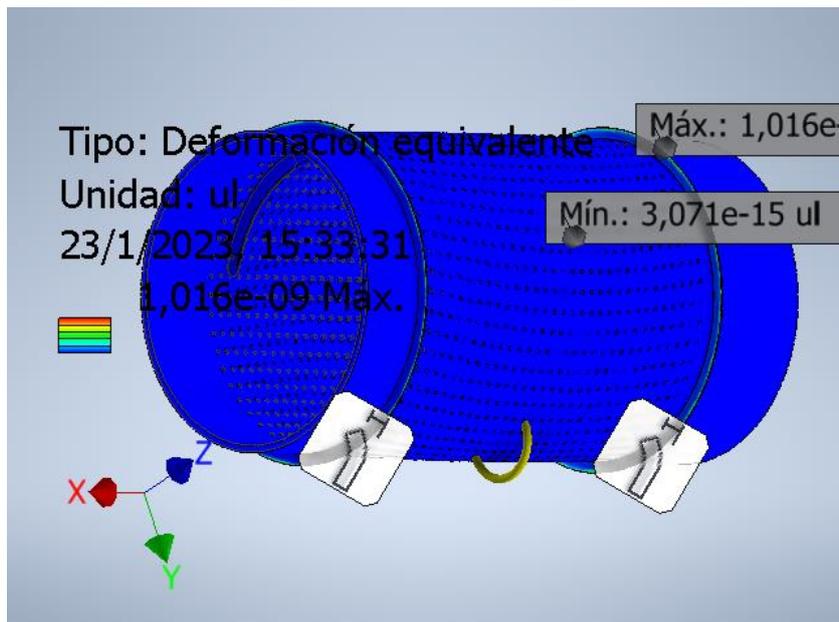


Figura 41: Datos obtenidos por medio de la simulación del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria [Ilustración 41], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

## V-E. ANÁLISIS DEL BOMBO MALLADO

V-E1. DENSIDAD DEL CACAO: La densidad del cacao varía según el estado del cacao.

Cuadro IV: Densidades de los granos de cacao según el estado en que se encuentren., por autores, 2023.

Estado del grano	Densidad en $\frac{kg}{m^3}$
Cacao fresco	900
Cacao grano fermentado	775
Cacao grano seco	635

### Cacao fresco

$$\rho = 900 \frac{kg}{m^3} \text{ [18]}$$

Entonces, llevamos este valor a  $\frac{kg}{cm^3}$  y esto será igual a:

$$\rho = 0,0009 \frac{kg}{cm^3}$$

### Cacao grano fermentado

$$\rho = 775 \frac{kg}{m^3} \text{ [19]}$$

Entonces, llevamos este valor a  $\frac{kg}{cm^3}$  y esto será igual a:

$$\rho = 0,000775 \frac{kg}{cm^3}$$

*V-E2. VOLUMEN QUE OCUPARÁN LOS GRANOS DENTRO DEL BOMBO MALLADO:* Dado los valores de las densidades antes mostradas en relación al estado en el que se encuentran los granos, mediante la carga definida a secar, se podrá obtener el volumen que estos ocuparán dentro del bombo.

### Cacao fresco

- Densidad:  $0,0009 \frac{kg}{cm^3}$
- Altura:  $93cm$

Entonces, por medio del dato de la densidad el volumen de los granos de cacao en  $cm^3$  será igual a:

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{5Kg}{0,0009 \frac{kg}{cm^3}}$$

$$v = 5555,56cm^3$$

Ahora, utilizando la ecuación del volumen de un cilindro, se procederá a colocar los valores del diámetro y radio que estos ocuparán.

$$v = \pi * x^2 * h$$

$$\frac{5555,56cm^3}{93cm * \pi} = *x^2$$

$$19,01cm^2 = x^2$$

$$x = 4,36cm$$

Donde x representa el radio. Entonces:

$$r = 4,36cm$$

$$d = 8,72cm$$

### Cacao grano fermentado

- Densidad:  $0,000775 \frac{kg}{cm^3}$
- Altura:  $93cm$

Entonces, por medio del dato de la densidad el volumen de los granos de cacao en  $cm^3$  será igual a:

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{5Kg}{0,000775 \frac{kg}{cm^3}}$$

$$v = 6451,61cm^3$$

Ahora, utilizando la ecuación del volumen de un cilindro, se procederá a colocar los valores del diámetro y radio que estos ocuparán.

$$v = \pi * x^2 * h$$

$$\frac{6451,61cm^3}{93cm * \pi} = *x^2$$

$$22,08cm^2 = x^2$$

$$x = 4,70cm$$

Donde x representa el radio. Entonces:

$$r = 4,70cm$$

$$d = 9,4cm$$

### V-F. CÁLCULOS REALIZADOS

V-F1. IDENTIFICACIÓN DE LA CARGA: Para ello se debe determinar la fuerza que se ejercerá sobre la estructura. Por lo tanto, ya que la masa de cacao para secar fue establecida en 5kg, se tendrá que:

$$F = m * g$$

$$F = 5Kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 49,05N$$

Sin embargo, también se deberá considerar el peso del bombo mallado de acero inoxidable AISI 304. Por lo tanto, la carga total ejercida sobre la estructura es de:

$$F = m * g$$

$$F = (5Kg + 11,25Kg) * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 159,41N$$

V-F2. **ÁREA DE CARGA:** Para dimensionar adecuadamente el actuador del prototipo de máquina secadora de cacao, se utilizará:

**Área de carga de los granos de cacao sobre el bombo mallado**

$$Areadecarga = \frac{m}{\rho*(1-E)*h_{grano}}$$

Según Gilces, H. & Sanmartín, F., la variable (E), la cual representa el espacio de vacíos es de aproximadamente 0.42. [18]

”La variable E se la calculó en base al espacio de vacíos que se lo detectó, al llenar un recipiente de un volumen dado lleno de granos de cacao con agua; la cantidad de agua que se pudo introducir entre los granos y el recipiente resulta ser el espacio de vacíos.”[18]

$$E = \frac{Vol_{vacios}}{Vol_{recipiente}}$$

$$E = \frac{220cm^3}{525cm^3} = 0,42$$

Mientras que, según diversos autores, la altura de los granos de cacao es de aproximadamente 0.003m.

Por lo tanto, se podrá calcular el área de carga que ejercen los 5kg de granos de cacao sobre el bombo mallado.

$$Areadecarga = \frac{5kg}{775 \frac{kg}{m^3} * (1-0,42) * 0,03m}$$

$$Areadecarga = 0,3703m^2$$

Este dato, ayudará a encontrar la deformación del material. Esto se realizará para determinar si se trata de una deformación plástica o una deformación elástica.

V-F3. **DEFORMACIÓN DEL MATERIAL:** Cálculo para determinar la deformación del material según la carga ejercida por los granos de cacao.

$$Deformacion = \frac{Fuerza}{Areadecarga}$$

$$Deformacion = \frac{49,05N}{0,3703m^2}$$

$$Deformacion = 132,46Pa$$

Dado que el módulo elástico de los materiales utilizados para este prototipo es superior al valor de deformación obtenido por la carga ejercida de los granos de cacao, se tratará de una deformación elástica. Por lo tanto, el material no sufrirá una deformación permanente.

V-F4. *SELECCIÓN DEL MOTOR*: Para ello, se tienen los siguientes datos:

- Masa de cacao: 5Kg.
- Masa del bombo: 11,25Kg.
- Revoluciones por minuto del motor: 14000 RPM.
- Diametro del eje: 1 pulgada o 0.0254m.

Entonces, para calcular la velocidad angular se utilizará la siguiente fórmula, donde N son las revoluciones por minuto del motor:

$$N = \omega * \frac{rev}{2\pi*rad} * \frac{60s}{1min}$$
$$1400 \frac{rev}{min} = \omega * \frac{rev}{2\pi*rad} * \frac{60s}{1min}$$
$$\omega = 146,61 \frac{rad}{s}$$

La velocidad de subida será:

$$V = \omega * r$$
$$V = 146,61 \frac{rad}{s^2} * \frac{0,0254}{2}$$
$$V = 1,86 \frac{m}{s}$$

Luego, se calculará la potencia mecánica utilizando la siguiente fórmula  $P = T * \omega$ , donde:

$$T = F * r$$
$$T = 159,25N * \frac{0,0254m}{2}$$
$$T = 2,025Nm$$
$$P = T * \omega$$
$$P = 2,025Nm * 146,61 \frac{rad}{s^2}$$
$$P = 297W \text{ o } P = 0,4hp$$

Finalmente, se obtendrá la potencia eléctrica del motor mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Potencia_{mecanica}}{Eficiencia}$$

Para ello, se considerará una eficiencia de la máquina del 60-85 %.

**Caso 1 (60 %)**

$$P = \frac{Potenciamecanica}{Eficiencia}$$
$$P = \frac{0,4hp}{0,60}$$
$$P = 0,67hp$$

**Caso 2 (85 %)**

$$P = \frac{\text{Potenciamecanica}}{\text{Eficiencia}}$$

$$P = \frac{0,4hp}{0,85}$$

$$P = 0,47hp$$

Con el análisis y los cálculos establecidos para la selección del motor. Se determinó que el motor a utilizar será de 1 hp.

*V-F5. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA LINEAL:* Para poder calcular el valor en watts de las resistencias calefactoras, se utilizarán las siguientes fórmulas [20]:

### Potencia requerida para calentar los granos de cacao

$$P_{ch} = \frac{m \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) \cdot 1,2}{860 \cdot T}$$

Donde:

- $P_{ch}$  = Potencia de calentamiento ( $kW$ ).
- $m$  = Peso del grano ( $5kg$ ).
- $C_p$  = Calor específico de los granos de cacao  $\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$
- $t_1$  = Temperatura inicial ( $20^\circ C$ ).
- $t_2$  = Temperatura requerida ( $0^\circ C$ ).
- $T$  = Tiempo de calentamiento ( $1h$ ).
- $Fp$  = Coeficiente de seguridad ( $1,2$ )

El calor específico del grano se obtuvo del estudio de campo realizado por diversos autores. [21]

Cuadro V: Calor específico del cacao obtenido mediante pruebas de campo, [21] por autores, 2019.

Propiedad	Experimental	Teórico	Fuente
Calor específico ( $\frac{J}{kg \cdot K}$ )	1087,5243	1373,2704	(Guerrero, 2006)
Conductividad térmica ( $\frac{W}{m \cdot K}$ )	0,2251	4,3% 8,3% 11,9%	0,2453 0,2716 0,2817 (Borrero & Hernandez, 2006)

Entonces:

$$P_{ch} = \frac{5kg \cdot 0,2597 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (60 - 0)^\circ C \cdot 1,2}{860 \cdot 1h}$$

$$P_{ch} = 0,11kW$$

### Área superficial de intercambio en el bombo

$$S = (\pi \cdot \frac{d^2}{4}) + (\pi \cdot d \cdot h)$$

Donde:

- $d$  = Diámetro del bombo ( $0,5m$ ).
- $h$  = Altura del bombo ( $0,93m$ ).

Entonces:

$$S = (\pi * \frac{(0,5m)^2}{4}) + (\pi * 0,5m * 0,93m)$$

$$S = 1,66m^2$$

### Potencia requerida para compensar las pérdidas térmicas

$$P_{th} = \frac{S*(t_2-t_a)*K*1,2}{860}$$

Donde:

- $P_{th}$  = Pérdidas térmicas (kW).
- $S$  = Área superficial de intercambio en el tanque : (1,66m<sup>2</sup>).
- $t_a$  = Temperatura ambiente (25,6°C).
- $K$  = Coeficiente de intercambio ( $\frac{kcal}{h} * m^2 * ^\circ C$ ).

Para la selección del coeficiente K, se utilizará la siguiente tabla, la cual indica que el valor adecuado será de ( $9\frac{kcal}{h} * m^2 * ^\circ C$ ). Debido a que, no se posee un aislante térmico instalado en el diseño de la máquina.

Cuadro VI: Coeficiente de intercambio K como función de la velocidad del viento y el espesor de aislamiento, [20] por autores, 2015.

Localización del tanque	Espesor de aislamiento (mm)			
	Sin	25	50	100
Tanque en interior	9	1,7	1	0,55
Tanque en exterior - Viento ≤ 10 km/h	12	2,1	1,1	0,59
Tanque en exterior - Viento ≤ 45 km/h	30	2,3	1,2	0,61
Tanque en exterior - Viento ≤ 90 km/h	49	2,4	1,3	0,62

Entonces:

$$P_{th} = \frac{1,66m^2*(60-25,6)^\circ * 9\frac{kcal}{h} m^2 * ^\circ C * 1,2}{860}$$

$$P_{th} = 0,72kW$$

### Potencia de las resistencias térmicas a instalar

Para ello, se sumarán las dos potencias antes calculadas.

$$P_{RT} = P_{ch} + P_{th}$$

$$P_{RT} = 0,83kW$$

Por lo tanto, en base a los cálculos se utilizarán 3 resistencias térmicas lineales de 300 W, conectadas en paralelo para poder cumplir con la potencia necesaria para calentar los granos a la temperatura deseada.





## VII. PRESUPUESTO

En la siguiente ilustración se observará el costo de real de inversión para la realización de este prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria.

Cuadro IX: Presupuesto del prototipo de secadora para cacao tipo rotatoria., por Naranjo, J. y Vera, D., 2022.

PRESUPUESTO		DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MÁQUINA SECADORA PARA CACAO TIPO ROTATORIA EMPLEANDO UN SISTEMA DE SECADO AUTOMATIZADO		
ITEM	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TAPA BORNERA DOS PISOS JHUKK3	10	\$0,280	\$3,136
2	BORNERA RIEL 12AWG(4MM2) 32A GRIS, DOS PISOS	10	\$1,880	\$21,056
3	BREAKER DE RIEL CGC 2P 20A 400V 6KA	1	\$0,000	\$7,392
4	BORNERA RIEL TIERRA 14AWG(2.5MM2)	2	\$1,880	\$4,211
5	BORNERA RIEL 14AWG(2.5MM2) 24A GRIS	10	\$0,400	\$4,480
6	LUZ PILOTO 22MM LED ROJO 220V	1	\$1,980	\$2,218
7	LUZ PILOTO 22MM LED VERDE 220V	1	\$1,980	\$2,218
8	TABLERO METÁLICO 40X3020CM	1	\$60,000	\$67,200
9	MACHINADORA TERM PUNTERA AUTOAJUSTABLE	1	\$24,180	\$27,082
10	TERMINAL PUNTERA SIMPLE 16 AWG ROJO	1	\$2,040	\$2,285
11	TERMINAL PUNTERA SIMPLE 14 AWG AZUL	1	\$2,760	\$3,091
12	PULSADOR HONGO 22MM METALICO ROJO CON RETENCION	1	\$2,900	\$3,248
13	PULSADOR DOBLE 22MM PLÁSTICO SIN LUZ T/5	1	\$8,020	\$8,982
14	TERMOCUPLA K TORNILLO	1	\$5,630	\$6,306
15	CONTACTOR CGC 3P 12A(4HP/240V AC) BOBINA 220V AC	2	\$9,240	\$20,698
16	BLOQUE AUXILIAR PARA GUARDAMOTOR GV2 Y GV3	2	\$7,100	\$15,904
17	BREAKER DE RIEL CGC 3P 40A 400V 6KA	1	\$11,000	\$12,320
18	RIEL DIN 35MM ACERO PERFORADO 5MM (1MT) TROP	1	\$2,420	\$2,710
19	CANAleta RANURADA GRIS ANCHO 25MM X ALTO 2	1	\$4,660	\$5,219
20	GUARDAMOTOR CGC 3P 220V 2.5-4A	2	\$24,300	\$54,432
21	VARIADOR MONOFASICO 1HP 220V GD10-OR7G-52-B INVT	1	\$158,000	\$158,000
22	CABLE CU TFT FLEXIBLE #16 AMG (METRO)	10	\$0,300	\$3,000
23	CABLE CU THHN FLEXIBLE #14 AMG (METRO)	10	\$0,400	\$4,000
24	BREAKER P/RIEL 3X10A 10KA NXB-63H CHINT	1	\$14,450	\$14,450
25	CONSTRUCCIÓN DEL BOMBO MALLADO EN ACERO INOXIDABLE AISI304	1	\$1,200,000	\$1,200,000
26	MOTOR 220V 1HP	1	\$300,000	\$300,000
27	MOTOR REDUCTOR	1	\$200,000	\$200,000
28	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA Y SISTEMA DE ROTACIÓN	1	\$450,000	\$450,000
29	SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA CWT-CTH-EX04-D	2	\$40,000	\$80,000
30	CLAVIJA MACHO HEMBRA LEGRAND 32A-6h 380-415v	1	\$55,000	\$55,000
31	RESISTENCIAS ELECTRICAS	3	\$65,000	\$195,000
32	PLC 57-1200 CPU 24C DC/DC/DC	1	\$857,000	\$857,000
33	FUENTE SITOP MODULAR ENTRADA 120/230-500 V AC; SALIDA 24 VDC 5A	1	\$376,000	\$376,000
34	CABLE PARA COMUNICACIÓN PROFIBUS (METRO)	5	\$4,46	\$22,310
35	MÓDULO DE COMUNICACIÓN RS485 MARCA SIEMENS	1	\$233,86	\$233,856
36	SACO DE MAZORCAS DE CACAO	1	\$60,000	\$60,000
37	OTROS VARIOS	1	\$175,000	\$175,000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$4.657,804</b>

Sin embargo, los ítem's 32 y 33 fueron otorgados por la Universidad Politécnica Salesiana. Por lo tanto, el valor total gastado para el desarrollo de este proyecto de titulación fue de **\$3.424,804**.

## VIII. CONCLUSIONES

Mediante el estudio que se llevo a cabo para el desarrollo de este prototipo, se pudo evidenciar que los pequeños agricultores suelen vender sus productos en la etapa de fermentación o directamente el cacao en baba. Por lo tanto, teniendo en cuenta este tipo de prácticas por parte de los pequeños agricultores y las temporadas climáticas desfavorables en nuestro país, se desarrolló este prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria, la cual ayudará a evitar que los pequeños agricultores vendan sus productos húmedos, ya que esto les va a generar pérdidas económicas a largo plazo y a su vez, también se evitará la pérdida de cosechas y/o producciones de cacao en temporadas climáticas desfavorables.

El diseño de este prototipo tiene como característica principal un bombo mallado con medias lunas, en el cual se colocarán los granos de cacao que van a ser secados. Una vez que la máquina sea puesta en marcha, el bombo rotará con el producto durante todo el proceso de secado. Además, para la construcción de este bombo se consideró las normas sanitarias y estándares de calidad para los productos alimenticios. Por lo tanto, el bombo fue construido en acero inoxidable AISI 304, ya que será la parte que tendrá contacto directo con el producto.

Mediante las pruebas de funcionamiento llevadas a cabo, se evidencio que el prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria alcanzaba su temperatura máxima de secado 5 minutos después de ser puesta en marcha. A su vez, se comprobó el funcionamiento de la chimenea que posee el prototipo, ya que el vapor restante se escapa constantemente por medio de ella.

El proceso de secado para los granos de cacao tarda aproximadamente 1h en concretarse. Sin embargo, los granos de cacao que van a ser secados, inicialmente deberán poseer un 60 % de humedad en su interior para realizar el proceso de secado de una manera adecuada.

El costo total de la máquina es de \$4.657,804 incluyendo los costos directos e indirectos. Por lo tanto, esto se podría considerar una inversión para los pequeños agricultores, ya que al momento de analizar los beneficios que este proyecto posee, las ganancias para ellos se verán reflejadas en poco tiempo y garantizarán un producto que posea los estándares de calidad adecuados.

## IX. RECOMENDACIONES

Mediante las pruebas realizadas del funcionamiento de este prototipo, se visualizó que las medias lunas soldadas en el interior del bombo mallado, deberán ser más altas y más estrechas, para que pueda transportar el producto de una manera más uniforme. Sin embargo, con la altura actual que estas medias lunas poseen, el transporte del producto es eficiente.

Para un futuro, sí la demanda de producto que tendrá el agricultor aumenta, se recomienda cambiar el motor trifásico que posee esta máquina por uno de mayor potencia. Esto ayudará a que se pueda colocar más granos de cacao en su interior, debido a que el bombo se encuentra dimensionado para albergar una mayor cantidad de granos de cacao a largo plazo, ya que inicialmente los cálculos se encuentran dimensionados para 5kg de cacao, dando como resultado la selección de un motor de 1 hp.

Seleccionar y dimensionar adecuadamente los materiales a utilizar para cualquiera de las etapas de diseño. Esto evitará realizar gastos innecesarios a lo largo del desarrollo de un prototipo.

Visualizar los pros y contra que tienen cada uno de los caminos para realizar la programación del PLC, ya que cada uno de estos, poseen ventajas y desventajas que repercutirán en la facilidad para controlar el proceso.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### REFERENCIAS

- [1] INIAP, UTEQ., ACDI VOCA., ANECACAO., APROCAFA., PRONORTE. *TALLER REGIONAL ANDINO DE APLICACIÓN TECNOLÓGICA EN EL CULTIVO DE CACAO (2006 : Quevedo - Ecuador)*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://repiica.iica.int/docs/B0255e/B0255e.pdf>
- [2] Arrunátegui, R. (2015). *Fundamentos del secado de Cacao*. <https://cacaofcaug.files.wordpress.com/2015/08/fundamentos-del-secado-del-cacao.pdf>
- [3] Reyne, V. & Loor, O. (2018). Tipos de secado de Theobroma Cacao L. y su efecto en la calidad organoléptica en Esmeraldas, Ecuador. *ALPHA*, 2 (4), 31–49. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v2i4.36>
- [4] Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (2021). *Boletín de Cifras - Comercio Exterior, Diciembre de 2021*. Gobierno de la República del Ecuador. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/12/VFBoletinComercioExteriorDiciembre2021-final.pdf>
- [5] Peñaherrera, N. (2021). *Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao*, [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador.] <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24717/1/UCE-FCQ-CQA-PE%20C3%20%2091AHERRERA%20NANCY.pdf>
- [6] Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T. & Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas latinoamericanas*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>
- [7] POSCOSECHA CACAO. *MÉTODOS DE SECADO DE CACAO*. <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html>
- [8] POSCOSECHA CACAO. *EL SECADO NATURAL DEL CACAO Y SU INFLUENCIA PARA LOGRAR UN BUEN SABOR Y AROMA DEL CHOCOLATE*. <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html>
- [9] GSL Industrias. (2021) *¿QUÉ ES UN PLC Y CÓMO FUNCIONA?*, <https://industriagsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>
- [10] Suarez, C., Moreira, M. & Vera, J. (1993). *Origen del cacao, botánica y clasificación del cacao en manual del cultivo de cacao*, Estación experimental Tropical Pichilingue DEL INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1621/1/Manual%20N%20%20B0%2025.pdf>
- [11] SEW-EURO DRIVE. *Motorreductor*, <https://www.sew-eurodrive.es/productos/motorreductores/getriebemotoren.html>
- [12] Soler Paleu. (2020). *¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia?*, <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>
- [13] WordPress. (2019). *Pirómetros de Temperatura*, <https://ceiv.com.mx/pirometros-de-temperatura/>
- [14] Omega. (2020). *Controladores de temperatura*, <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>
- [15] Soler Paleu. (2020). *¿Qué es un motor trifásico? Características, tipologías y aplicaciones*, <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/motor-trifasico/>
- [16] Mora, J., *Máquinas Eléctricas*, McGraw-Hill, España, 2003.
- [17] F. Hernandez y Baptista., *Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias*, [Tesis de Maestría, McGraw Hill Education,] México, oct. de 2014.
- [18] Gilces, H. & Sanmartín, F., *ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE PROCESO DE SECADO DE CACAO Y DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA UNIDAD SECADORA TIPO PLATAFORMA*, [Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO UNIDAD,] Ecuador, Milagro, jun. de 2013.
- [19] Parra, P., *Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente*, [Tesis Doctoral, Universidad de Piura,] Perú, Piura, dic. de 2017.
- [20] Parra, P., *Cálculo de la potencia requerida para calentar un volumen de líquido*, <https://www.vulcanic.com/es/calentar-volumen-de-liquido/>
- [21] Ortiz, D. Rodríguez, J. Martínez, J., P. & Herrera, C., *IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE CACAO A PEQUEÑA ESCALA PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO Y CONSERVAR LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS EN EL CONSEJO COMUNITARIO LAS VARAS TUMACO (NARIÑO)*, [Universidad Mariana,] Colombia, San Juan de Pasto, sept. de 2019.

## XI. ANEXOS

### XI-A. PLANOS DEL PROTOTIPO

En las siguientes ilustraciones se podrá observar los planos y medidas que utilizará cada parte del prototipo de una máquina secadora para cacao tipo rotatoria.

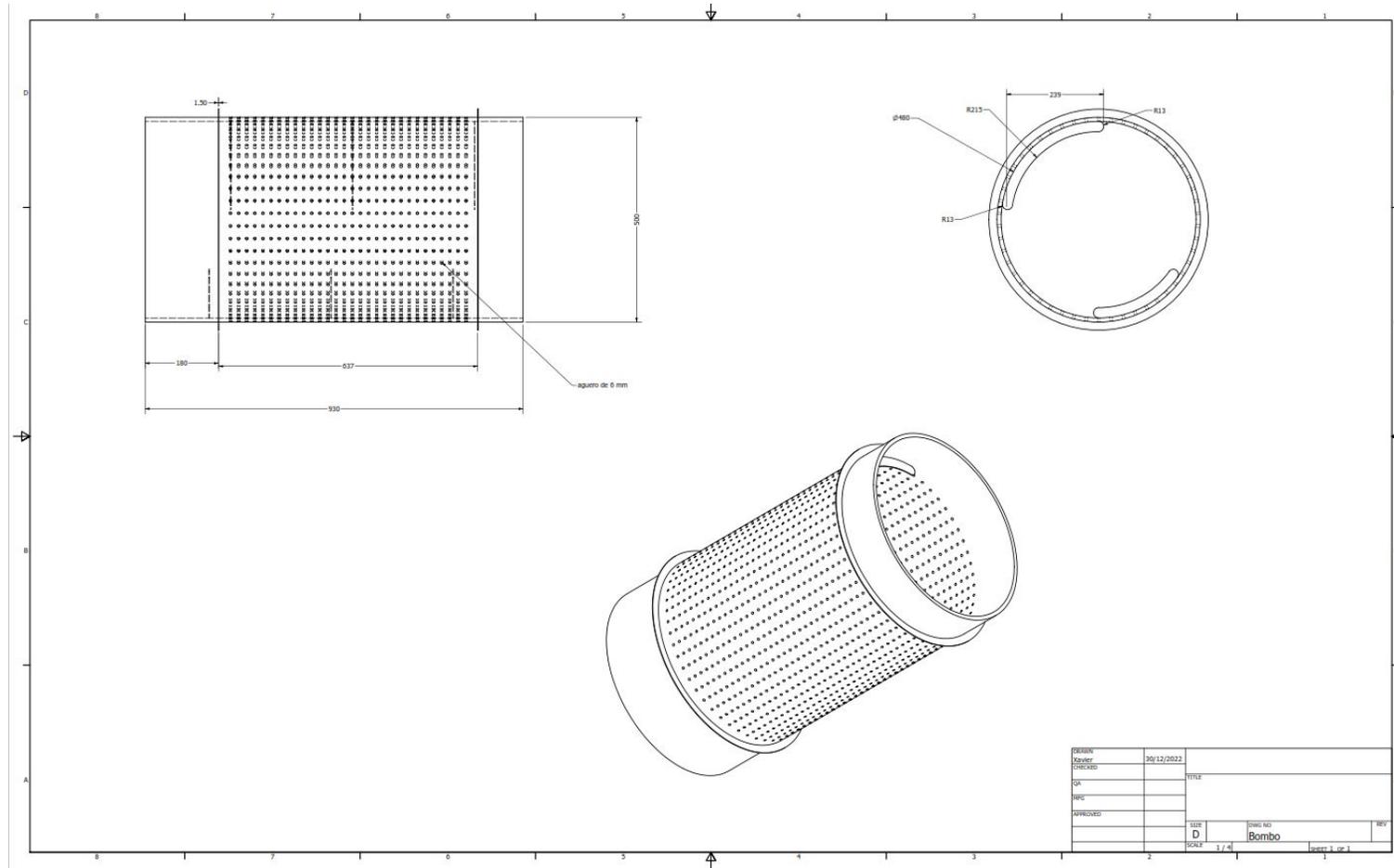


Figura 42: Plano del bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 42], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

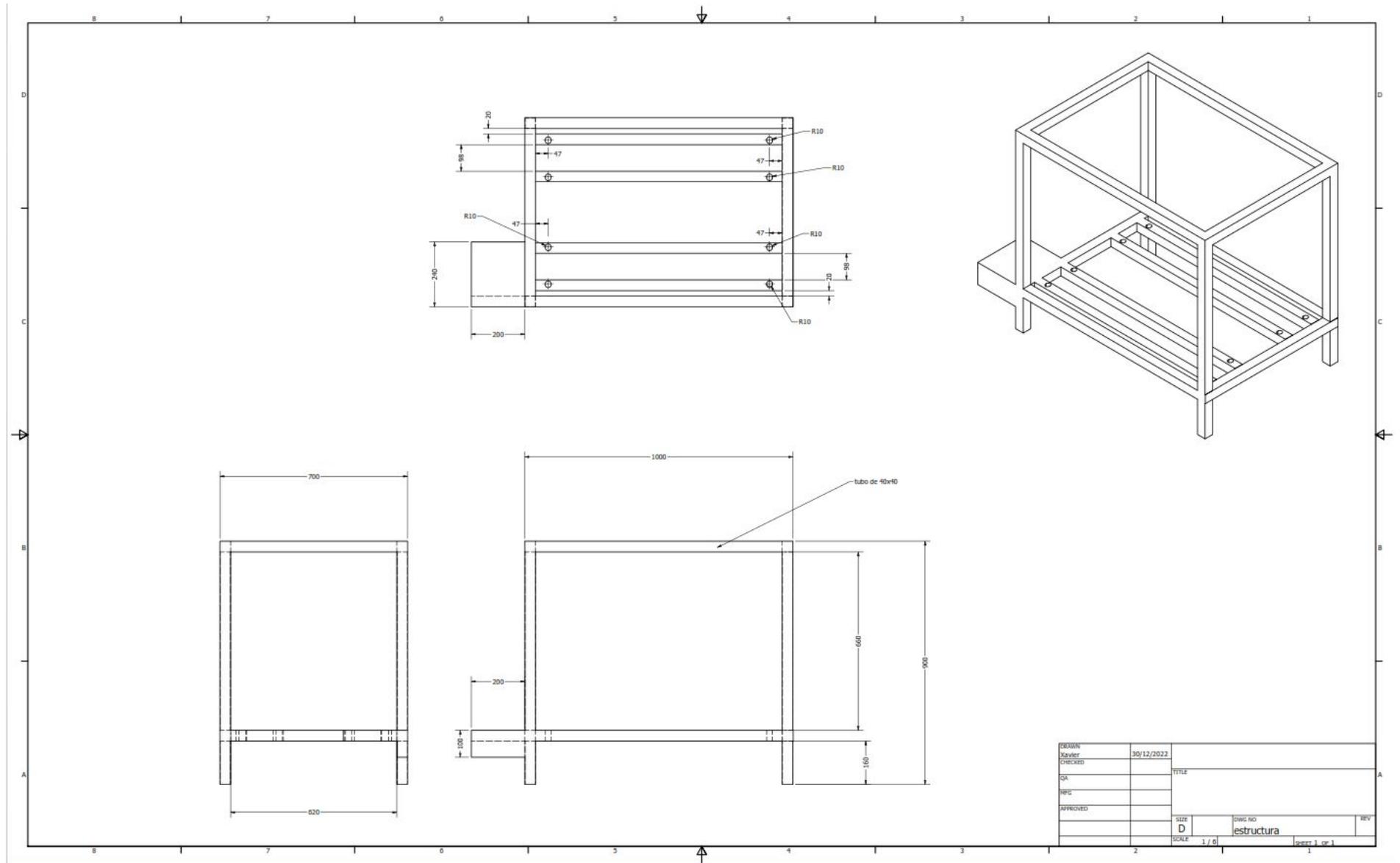


Figura 43: Plano de la estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 43], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

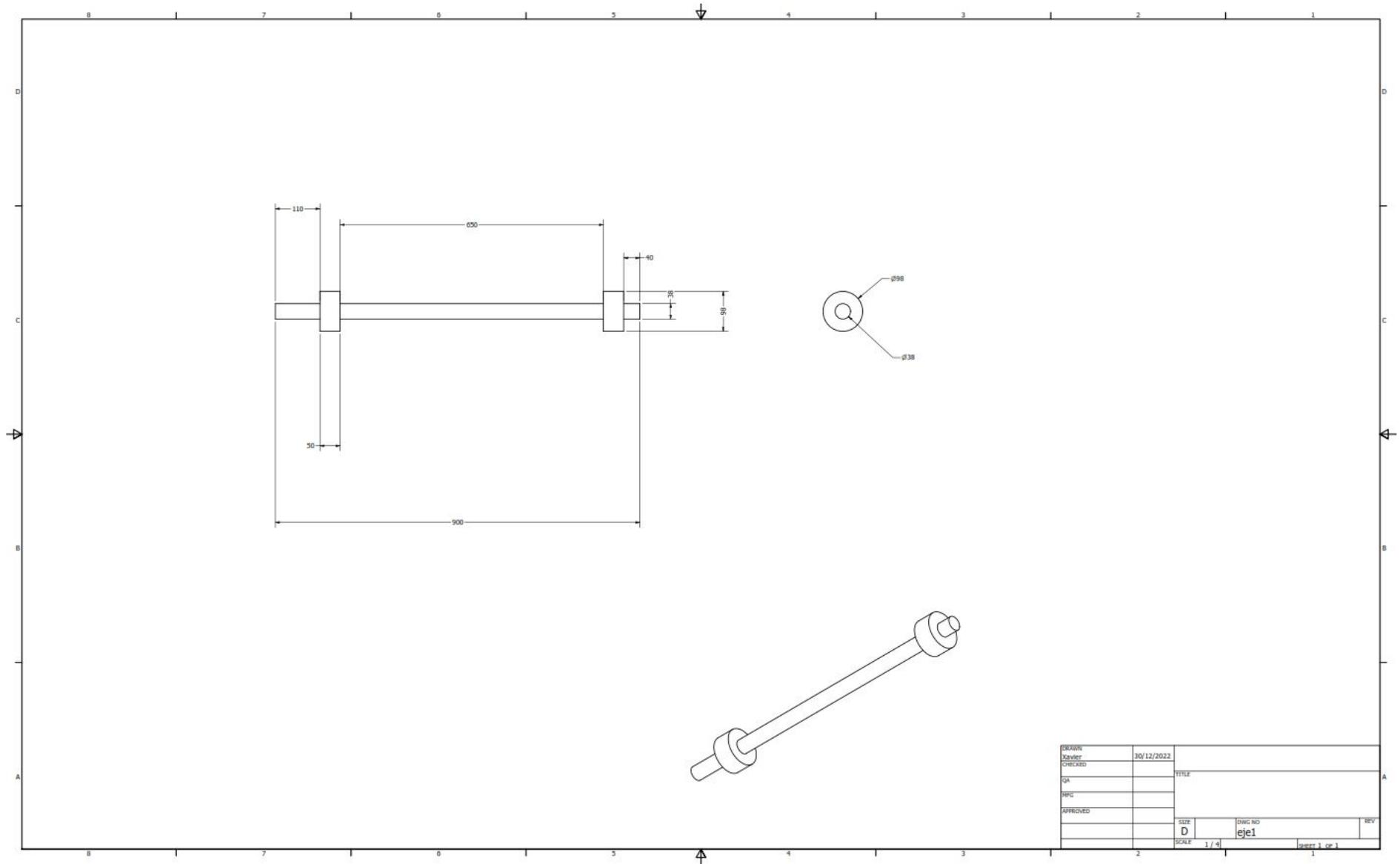


Figura 44: Plano del eje 1 del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 44], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

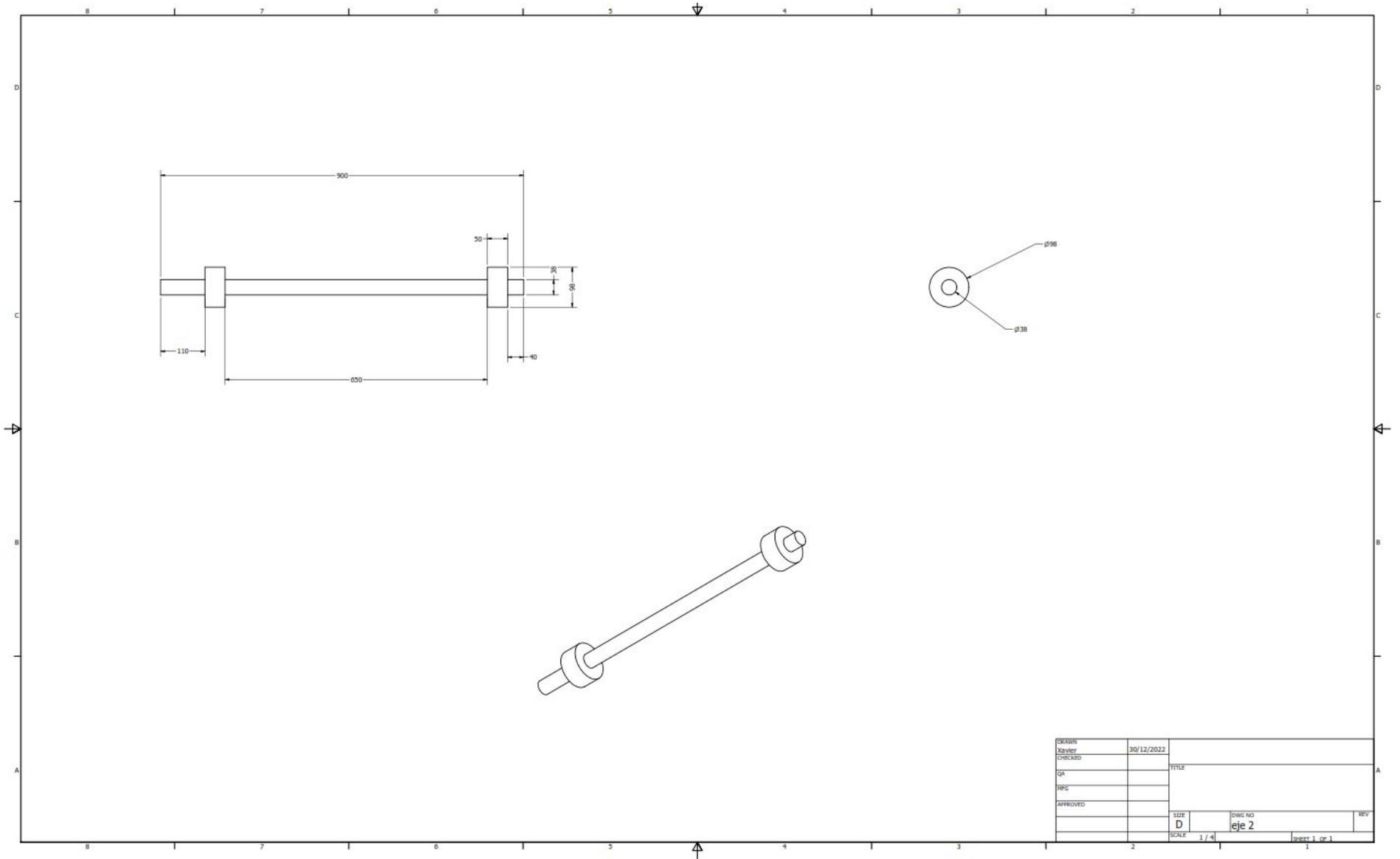


Figura 45: Plano del eje 2 del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 45], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

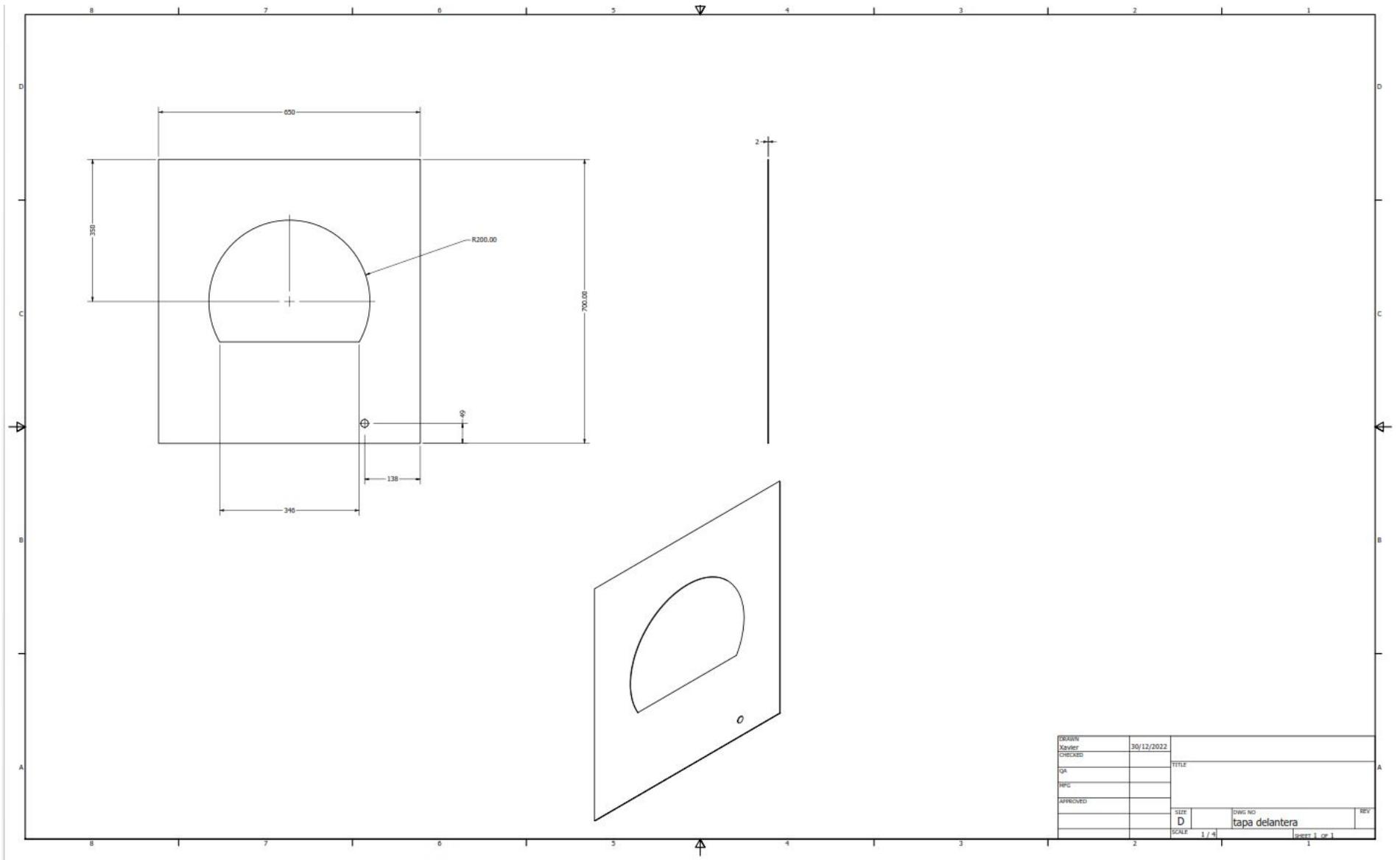


Figura 46: Plano de tapa frontal del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 46], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

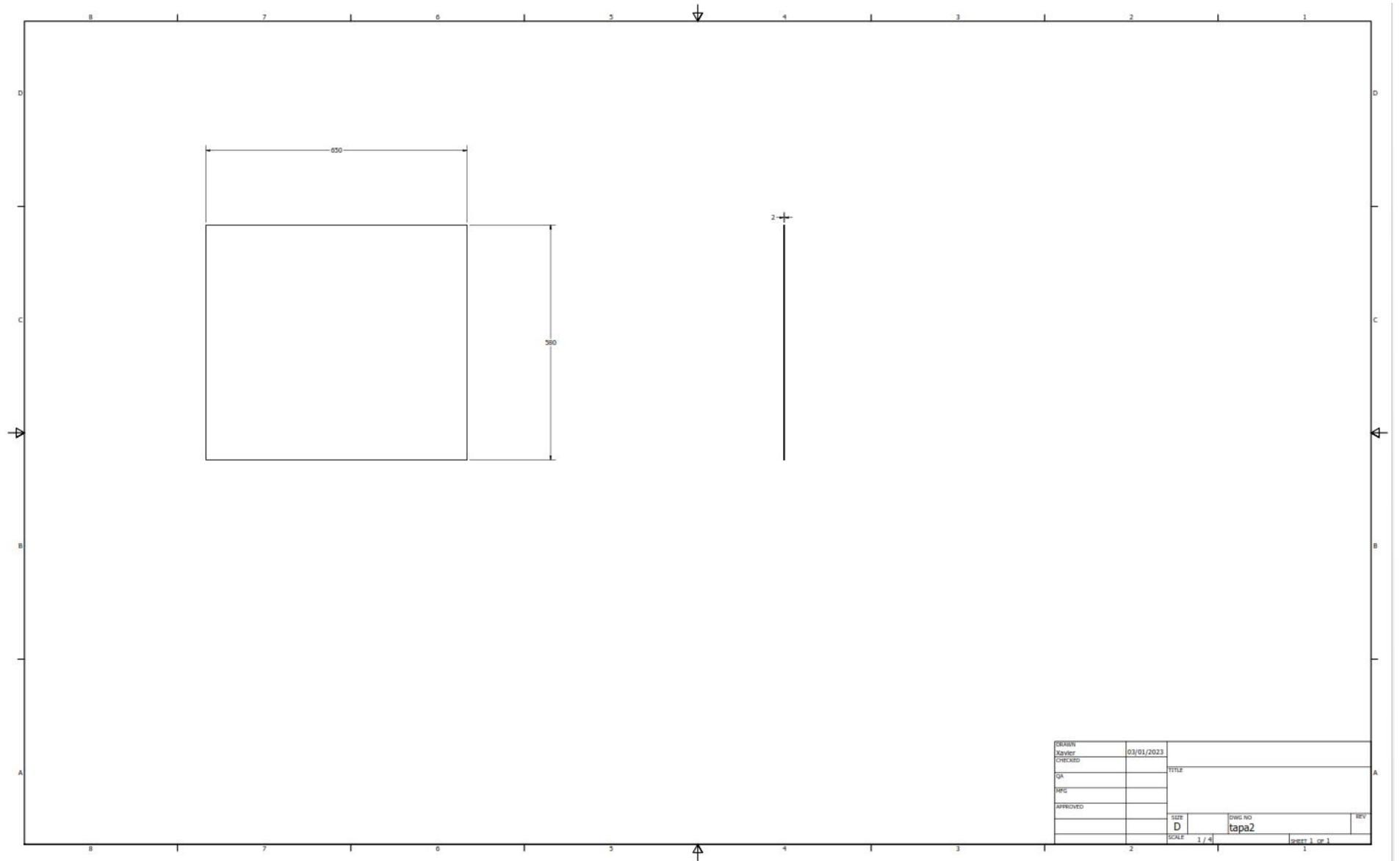


Figura 47: Plano de tapa posterior del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 47], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

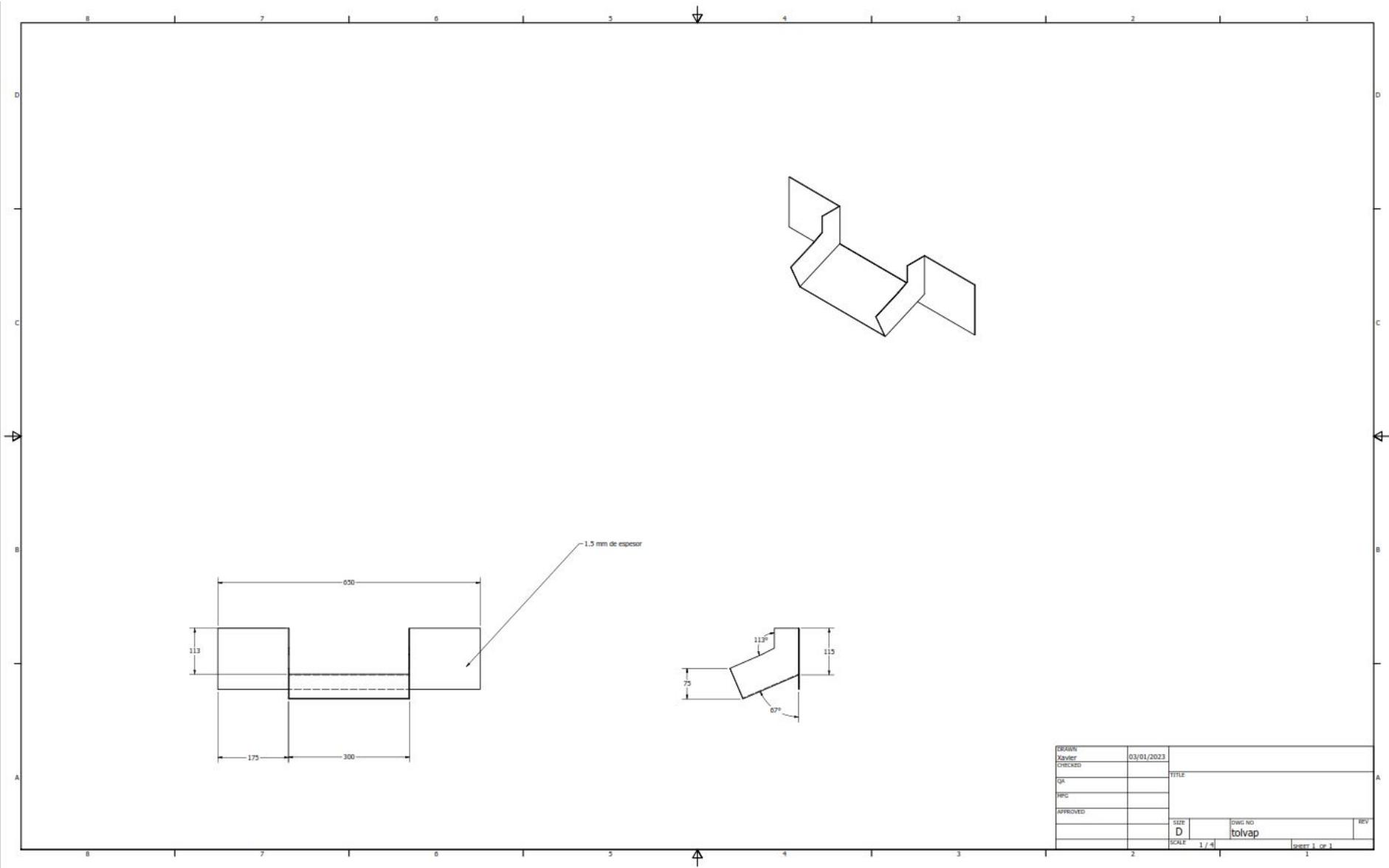


Figura 48: Plano la tolva del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 48], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	<b>MONTAJES Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>								
2	Direccion: BEATA MERCECES MOLINA GUAYAQUIL ECUADOR								
3									
4	<b>CARLOS ISRAEL TENEMAZA LARA</b>				<b>RUC: 0603861675001</b>				
5									
6	<b>BOMBO DE ACERO INOXIDABLE</b>								
7									
8	CLIENTE:	ING. DAYANNA VERA							
9	TRABAJO:	CONSTRUCCION DE BOMBO							
10	Solicitado por:	ING. DAYANNA VERA							
11	Fecha:	20/01/2023							
12									
13	DESCRIPCION								
14		DIAMETRO	Unid	Cant	P. Unit			P. Total	
15	CONSTRUCCION DE BOMBO DE ACERO INOXIDABLE		GLO	1	1,200.00			1,200.00	
16	DE ACUEDO A LOS PLANOS ESTABLECIDOS								
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38	NO incluye Iva								
39	Material en acero inoxidable 304 de acuerdo a los diametros Y								
40	medidas indicados								
41	Dias de entrega programado								

PRECIO DE INSTALACION	1,200.00
PRECIO DE MATERIALES	
<b>TOTAL SIN IVA</b>	<b>1,200.00</b>

Figura 49: Cotización de construcción del bombo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 49], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

## XI-B. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO



Figura 50: Bombo mallado de Acero Inoxidable AISI 304 sin media lunas soldadas. [Ilustración 50], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 51: Bombo mallado de Acero Inoxidable AISI 304 con media lunas soldadas. [Ilustración 51], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 52: Bombo mallado de Acero Inoxidable AISI 304. [Ilustración 52], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 53: Estructura del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 53], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 54: Ejes con resbalones y resistencias eléctricas del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 54], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.

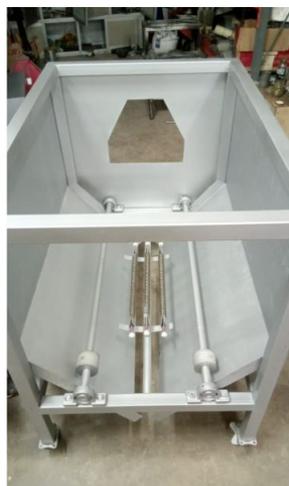


Figura 55: Vista interna del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 55], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 56: Salida del producto del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 56], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 57: Montaje del bomo mallado del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 57], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 58: Prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 58], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 59: Corte de riel din para el tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 59], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 60: Montaje del tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 60], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 61: Montaje del tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 61], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.



Figura 62: Diseño del tablero eléctrico del prototipo de máquina secadora para cacao tipo rotatoria. [Ilustración 62], por Naranjo, J. y Vera, D., 2023.