



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UNA SECADORA DE CACAO TIPO TANQUE
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
RECIRCULACIÓN DE AIRE CON CONTROL DE TEMPERATURA Y
MONITOREO DE HUMEDAD**

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

AUTORES: Miguel Alexander Granados Flores
Melanie Eilin Vásquez Solórzano
TUTOR: Ing. Jorge Bladimir Fariño Cedeño, Mgtr.

A handwritten signature in blue ink is located on the right side of the page. The signature is stylized and appears to be the name of the tutor, Jorge Bladimir Fariño Cedeño.

Guayaquil - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Miguel Alexander Granados Flores** con documento de identificación N° **0952504801** y **Melanie Eilin Vásquez Solórzano** con documento de identificación N° **0932437643**; 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, 22 de febrero del año 2024

Atentamente,



Miguel Alexander Granados Flores
0952504801



Melanie Eilin Vásquez Solórzano
0932437643

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

Nosotros, **Miguel Alexander Granados Flores** con documento de identificación N° **0952504801** y **Melanie Eilin Vásquez Solórzano** con documento de identificación N° **0932437643**, 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: DESARROLLO DE UNA SECADORA DE CACAO TIPO TANQUE MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RECIRCULACION DE AIRE CON CONTROL DE TEMPERATURA Y MONITOREO DE HUMEDAD**, 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, 22 de febrero del año 2024

Atentamente,



Miguel Alexander Granados Flores
0952504801



Melanie Eilin Vásquez Solórzano
0932437643

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jorge Bladimir Fariño Cedeño**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UNA SECADORA DE CACAO TIPO TANQUE MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AIRE CON CONTROL DE TEMPERATURA Y MONITOREO DE HUMEDAD**, realizado por **Miguel Alexander Granados Flores** con documento de identificación N° **0952504801** y por **Melanie Eilin Vásquez Solórzano** con documento de identificación N° **0932437643**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 22 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Jorge Bladimir Fariño Cedeño, Mgtr.
0914335484

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mis padres, por las enseñanzas sobre disciplina, responsabilidad y ética; por su amor inmenso, su cuidado y apoyo sin igual para asegurar mi bienestar en el transcurso de todos estos años de estudios universitarios.

Finalmente agradezco al resto de mi familia y amigos por su confianza absoluta que me ha impulsado a seguir adelante y a quienes siempre han cuidado de mí.

Miguel Alexander Granados Flores

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres: Catherine Solórzano y Johnny Vásquez, por su amor incondicional, su sacrificio y por ser mi inspiración constante. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por ser mi soporte en cada etapa de este camino académico.

A mi hermanos, por ser mi compañeros de aventuras, mis confidentes y por comprender las horas de estudio y trabajo que esta tesis demandó. Su apoyo y ánimo han sido un motor en este viaje.

A mis abuelos, cuyo legado de sabiduría y ejemplo de tenacidad han sido una luz guía en este proceso.

A mis profesores y tutores, por desafiarme a ser mejor, por sus consejos sabios y por haberme brindado las herramientas necesarias para este trabajo. Su dedicación ha dejado una huella imborrable en mi formación.

A todos aquellos que, de una forma u otra, contribuyeron con su apoyo, sus ideas y su tiempo para hacer posible la realización de esta tesis. Vuestras contribuciones han enriquecido este trabajo de manera inimaginable.

Melanie Eilin Vásquez Solórzano

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi eterna gratitud a mis padres, quienes han sido mi inspiración desde el primer día. Su amor incondicional, su sacrificio y su constante aliento han sido la fuerza motriz detrás de cada logro que hoy celebro. Sin su apoyo inquebrantable, este momento no sería posible.

A mis profesores y mentores, cuya sabiduría y paciencia han sido una luz en el camino de mi aprendizaje. Sus enseñanzas han ido más allá del aula, dejando una huella indeleble en mi formación tanto académica como personal.

A todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a mi formación y a la realización de este sueño, gracias. Cada conversación, cada consejo y cada gesto de apoyo han sido piezas clave en este rompecabezas llamado educación.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a los docentes y a mis compañeros ser parte importante del desarrollo del presente trabajo de investigación.

Agradezco además de manera especial a mi amigo Ney Alava por su constante apoyo y enseñanza a través de todo este proceso.

Miguel Alexander Granados Flores

Agradezco a todos los docentes que formaron parte de mi formación académica, incluso a aquellos que me impulsaban más de lo que yo sentía poder, su compromiso y amor por la enseñanza fueron una pieza esencial para la realización de este proyecto.

Agradezco a todas esas amistades que me dio la universidad que durante estos cinco años han compartido conmigo todas las experiencias que la universidad nos brindó, buenas o malas y estuvieron siempre presentes impulsándome para cumplir mis metas.

Agradezco también a mi compañero y amigo Kevin Franco el cual además de prestarnos su taller para la realización de este proyecto, estuvo ahí durante todo el proceso y nos apoyó con ideas excelentes para la mejora del prototipo.

Agradezco además de manera especial al Ing. Jorge Fariño por su guía durante la realización de este proyecto y su paciencia.

Melanie Eilin Vásquez Solórzano

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una secadora de cacao con el fin de disminuir el tiempo de secado del grano respecto a procesos naturales y facilitar este procedimiento incluso cuando las condiciones climáticas no sean favorables.

Para la implementación de este prototipo se consideró su aplicación en la industria alimenticia, por lo que los materiales empleados para los elementos que tienen contacto con el grano sean de grado alimenticio. Cuenta con un serpentín cuyo objetivo principal es la distribución uniforme del aire caliente dentro del tanque.

Por último, se implementó un control PID en el dispositivo controlador de temperatura TCN4S para garantizar que la calidad del grano no disminuya a causa del exceso de temperatura. Se implementó también un sensor de humedad el cual permite monitorear a través Node-red el porcentaje de humedad dentro del tanque para poder así detener el proceso cuando el lote llegue al nivel deseado.

Palabras claves: Secado artificial, controlador de temperatura, sensor de humedad, PLC, Node-red, grano de cacao, control PID.

ABSTRACT

The main objective of this prototype is the development of a cocoa dryer machine in order to create an alternative to natural methods and to reduce the amount of time that those methods usually take and also to permit this procedure even if the climatic conditions are not convenient.

This prototype is meant to be introduced in the food industry so the materials used for the structure that has contact with the cocoa beans are food grade. It has a copper coil whose main purpose is the uniform distribution of hot air inside the tank.

Finally, a PID control was implemented on the TCN4S temperature controller device to ensure that grain quality does not decrease due to overheating. A humidity sensor was also implemented, which allows the percentage of humidity inside the tank to be monitored through Node-red in order to stop the process when the batch reaches the desired level.

Keywords: Artificial drying machine, temperature controller, humidity sensor, PLC, Node-red, cocoa Bean, PID control.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
IV-A.	Objetivo general	4
IV-B.	Objetivos específicos	4
V.	Marco teórico referencial	5
V-A.	Métodos de secado	5
V-A1.	Método de secado al sol	6
V-A2.	Método Rohan	6
V-A3.	Método Esterillas	7
V-A4.	Secado en pisos de cemento	7
V-A5.	Método de marquesinas y túneles de secado	7
V-A6.	Secado artificial	8
V-B.	Componentes eléctricos	9
V-B1.	Motor monofásico	9
V-B2.	Estatador	10
V-B3.	Rotor	10
V-B4.	Resistencias tipo abrazaderas	11
V-B5.	Termocupla	12
V-B6.	Controlador de temperatura TCN4S	13
V-B7.	Relé de estado sólido	13
V-B8.	Sensor de humedad	13
V-B9.	PLC Delta AS218TX-A	15
V-B10.	Blower	15
VI.	Marco Metodológico	16
VI-A.	Tipo de investigación	16
VI-B.	Diseño de la investigación	16
VI-C.	Diseño del prototipo	17
VI-C1.	Diseño del serpentín	17
VI-C2.	Diseño de los tanques	17
VI-C3.	Diseño de la estructura	19
VI-C4.	Diseño del agitador	19
VI-D.	Software utilizado	20
VI-E.	Conexiones	21
VI-E1.	Conexión de un motor monofásico	21
VI-E2.	Conexión del blower	21
VI-E3.	Conexión del controlador de temperatura	22
VI-E4.	Conexión del sensor de humedad	22
VI-E5.	Conexión del PLC	23
VI-F.	Cálculos realizados	26
VI-F1.	Identificación de la carga	26
VI-F2.	Deformación y área	26
VI-G.	Selección del motor	27

VII. Análisis	29
VII-A. Tensión Von Mises	29
VII-B. Coeficiente de seguridad	29
VIII. Resultados	31
VIII-A. Monitoreo de humedad a través de Node-red	31
VIII-B. Proceso de secado del grano	35
VIII-C. Comparación de características en los granos antes y después del proceso	37
IX. Cronograma	39
X. Presupuesto	40
XI. Conclusiones	41
XII. Recomendaciones	42
Referencias	43
Anexo A: Conexiones Eléctricas	45
Anexo B: Estructura	49

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Método de secado al sol [12].	6
2.	Método Rohan [8].	6
3.	Método Esterillas [8].	7
4.	Secado en pisos de cemento [8].	7
5.	Método de marquesinas [15].	8
6.	Secado artificial [8].	8
7.	Motor monofásico [20].	9
8.	Estator [12].	10
9.	Rotor [12].	10
10.	Resistencias tipo abrazaderas [15].	11
11.	Tipo mica [15].	11
12.	Tipo cerámico [15].	12
13.	Termocupla tipo K [22].	12
14.	Controlador de temperatura TCN4S [24].	13
15.	Relé de estado sólido [26].	13
16.	Sensor de humedad [28].	14
17.	PLC Delta AS218TX-A [30].	15
18.	Blower [31].	15
19.	Serpentín de cobre, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.	17
20.	Tee de cobre, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.	17
21.	Tanque interno, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.	18
22.	Tanque externo, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.	18
23.	Estructura, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk SolidWorks, 2024.	19
24.	Agitador, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk SolidWorks, 2024.	19
25.	SolidWorks, por SolidWorks Corp.	20
26.	Conexión de un motor monofásico, por W. Gutierrez y A. García, CADESIMU.	21
27.	Conexión del blower, por W. Gutierrez y A. García, CADESIMU.	21
28.	Conexión del controlador de temperatura, por Autonics.	22
29.	Conexión del sensor de humedad, por Taidacent.	22
30.	Segmento 1: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.	23
31.	Segmento 2: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.	23
32.	Segmento 3: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.	24
33.	Segmento 4: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.	24
34.	Segmento 5: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.	25
35.	Segmento 6: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.	25
36.	Tensión de Von Mises, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk Inventor, 2024.	29
37.	Coficiente de seguridad por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk Inventor, 2024.	29
38.	Datos de análisis de tensión, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk Inventor, 2024.	30
39.	Visualización de plantilla de flujo, por M. Granados y M. Vásquez.	31
40.	Monitoreo de variables durante el inicio del proceso a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.	31
41.	Monitoreo de variables durante el proceso de secado a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.	32
42.	Visualización de gráfica del porcentaje de humedad del proceso de secado a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.	32
43.	Visualización de gráfica del porcentaje de humedad cuando alcanza el 30 % de humedad a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.	33
44.	Monitoreo de variables al finalizar el proceso de secado a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.	33

45.	Visualización de gráfica del porcentaje de humedad al finalizar el proceso a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.	34
46.	Granos de cacao, por M. Granados y M. Vásquez.	35
47.	Fermentación del grano, por M. Granados y M. Vásquez.	36
48.	Comparación del grano antes y después del proceso, por M. Granados y M. Vásquez.	37
49.	Proceso de secado, por M. Granados y M. Vásquez.	38
50.	Conexiones del tablero, por M. Granados y M. Vásquez.	45
51.	Autor trabajando en el tablero, por M. Granados y M. Vásquez.	46
52.	Autores trabajando en conexiones, por M. Granados y M. Vásquez.	47
53.	Conexiones de resistencias, por M. Granados y M. Vásquez.	48
54.	Corte en plancha de acero inoxidable de grado alimenticio, por M. Granados y M. Vásquez.	49
55.	Soldadura del serpentín de cobre al tanque de acero inoxidable, por M. Granados y M. Vásquez.	50
56.	Reparación de motor, por M. Granados Y M. Vásquez	51
57.	Blower conectado al tubo de resistencias, por M. Granados y M. Vásquez.	52
58.	Soldadura del tubo de cobre que alimenta de aire caliente al tanque, por M. Granados y M. Vásquez.	53
59.	Tanque interno con perforaciones y soporte, por M. Granados y M. Vásquez.	54
60.	Serpentín soldado al tanque interno, por M. Granados y M. Vásquez.	55
61.	Agitador en proceso de secado, por M. Granados y M. Vásquez.	56
62.	Vistas isométricas del prototipo, por M. Granados y M. Vásquez.	57

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Parámetros del sensor	14
II.	Dimensiones de granos de cacao en largo, ancho y espesor (mm).	26
III.	Densidad del grano.	26
IV.	Cronograma	39
V.	Presupuesto	40

I. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se diseñará y desarrollará una secadora de cacao tipo tanque mediante la implementación de un sistema de recirculación de aire con control de temperatura y monitoreo de humedad. Dada la necesidad de implementar un sistema de secado artificial debido a diferentes factores y con la capacidad de secar pequeños lotes en poco tiempo, se realizará la construcción de este prototipo buscando su introducción en el sector agrícola, facilitando así el proceso de secado incluso en condiciones climáticas no favorables y otros factores que imposibilitaban este proceso de forma natural [1].

Generalmente, los métodos usados son en su mayoría naturales causando altos grados de incertidumbre con respecto al producto final debido a las variables externas que influyen en las características del grano. Cabe recalcar que el tiempo también es un beneficio importante de este prototipo ya que el tiempo de secado en procesos naturales es de 7 a 22 días dependiendo de las condiciones climáticas y exponiendo los granos a contaminantes ambientales; mientras que se estima que este prototipo logre realizar el proceso en un tiempo aproximado entre 4 a 6 horas [2].

La exposición excesiva al calor tiene un impacto negativo en el grano provocando daños irreparables y pérdidas económicas ya que se deteriora la calidad del mismo. Según estudios realizados, la temperatura ideal está entre los 40°C y 55°C no superando los 60°C ya que si esto ocurre influye en las características del grano volviéndolo frágil y su precio se devalúa en el mercado [3].

II. PROBLEMA

Uno de los fallos más perjudiciales en el procesamiento del cacao es el mal secado del grano. Éste suele poseer un nivel de humedad que va desde el 40 % al 60 % antes del proceso de secado; luego éste debe quedar con un 7 % u 8 %, esto no solo influye de forma directa en las características fundamentales como el aroma o el sabor del producto derivado; sino que también trae consigo problemas en la etapa de almacenamiento y transporte ya que un exceso de humedad en el grano puede desarrollar moho u hongos en él, dando como resultado una merma de gran parte del lote, lo cual se deriva en pérdida económica considerable [4].

Existen muchos factores en los diferentes métodos de secado natural que no se pueden controlar completamente, por ejemplo: la humedad en el grano, la temperatura, la humedad en el ambiente, entre otras. Hay países que no poseen las condiciones ideales para el secado del grano [5].

Muchas de las variables presentes en el proceso de secado del grano influyen de manera directa con el resultado final del producto por lo cual es ideal el monitoreo y control constante de las mismas, garantizando así una mejor calidad [5].

III. JUSTIFICACIÓN

Ecuador se encuentra entre los mayores productores de cacao a nivel mundial. La importancia del cacao en la economía ecuatoriana es mucho más considerable de lo que se esperaría, formando parte de aproximadamente el 1,97 % de PIB en el 2019 y siendo el cuarto exportador mundial de cacao en grano en el mismo año [6].

La producción de cacao tiene un impacto significativo en la economía del país al ser una fuente importante de empleo y generar ingresos para los agricultores y sus familias. Según estimaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería, el cultivo de cacao en Ecuador genera más de 240.000 empleos directos e indirectos [6].

El secado artificial es fundamental para la exportación de un cacao especial, al secarse artificialmente el grano se estabiliza microbiológicamente y llega al grado de humedad correcto evitando así la presencia de hongos y moho, permitiendo que mantenga su aroma y sabor intactos [4].

Un proceso de secado correcto garantiza la obtención de un producto final de mayor calidad, influyendo positivamente en el enfoque económico y aunque el secado natural es preferido actualmente por los agricultores, la necesidad de tener una opción para cuando ésta no sea viable llevó al desarrollo de secadoras artificiales; las cuales proveen beneficios en comparación con otros métodos ya que el control sobre las variables influyentes en el proceso permite mantener un estándar de calidad y evitar pérdidas [7].

El tiempo que comprende el proceso de secado natural también es considerado una desventaja ya que tiende a tardar días dependiendo de factores climáticos y puede desencadenar en la desecación del grano por la falta de control con respecto a la temperatura [8].

Los beneficios de este proyecto son varios, pero la implementación de un sistema de control PID, junto a sensores de humedad y temperatura disminuyen el tiempo de secado y permiten la utilización de casi todos los granos cosechados indiferentemente de la fecha o de factores climáticos. Esto beneficia directamente a pequeños agricultores y al personal que interviene en el proceso de secado [8].

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar una secadora de cacao tipo tanque utilizando un sistema de recirculación de aire para la aplicación de un control de temperatura y monitoreo humedad.

IV-B. Objetivos específicos

- Diseñar una secadora de cacao de tal forma que permita la instalación de un sistema de recirculación de aire de manera uniforme.
- Implementar la maquina secadora de cacao con su respectivo control de temperatura y monitoreo de humedad utilizando el diseño elaborado
- Validar el desempeño del equipo en función al producto terminado.

V. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En esta investigación se explorarán y analizarán los fundamentos teóricos del proceso de secado de cacao, incluyendo métodos naturales, tradicionalmente usados en el sector agrícola. Se brindará también toda la información necesaria sobre los componentes utilizados en este proyecto, se examinará la importancia de la implementación de un controlador de temperatura para mejorar la calidad del producto obtenido.

V-A. *Métodos de secado*

El cacao es un producto agrícola ampliamente cultivado en regiones tropicales, y su procesamiento juega un papel crucial en la calidad final del chocolate y otros productos derivados. Uno de los pasos más importantes en el procesamiento del cacao es el secado, que reduce el contenido de humedad de las semillas de cacao y desarrolla los sabores característicos del producto final. En la actualidad, existen diversos métodos de secado de cacao naturales que se utilizan en las regiones productoras, cada uno con sus propias ventajas y desventajas en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad [9].

La transferencia de calor desempeña un papel crítico en el proceso de secado del cacao, afectando directamente la eficacia y la calidad del resultado final. Un adecuado control de la transferencia de calor es esencial para asegurar que el cacao se seque de manera uniforme y eficiente, lo que a su vez influye en su sabor, aroma y características físicas.

La importancia de la transferencia de calor en el secado del cacao se puede destacar en los siguientes puntos:

- **Velocidad de secado:** Una transferencia de calor eficiente acelera el proceso de evaporación del agua presente en las semillas de cacao, lo que resulta en un secado más rápido y eficaz.
- **Calidad del producto:** Un adecuado control de la transferencia de calor ayuda a preservar las características organolépticas del cacao, como su sabor y aroma distintivos. Un secado uniforme contribuye a evitar la descomposición y la pérdida de calidad del producto final.
- **Prevención de contaminación:** Un secado inadecuado puede dar lugar a la proliferación de microorganismos y moho en el cacao, lo que afecta negativamente a su seguridad alimentaria y calidad. Un control preciso de la transferencia de calor ayuda a prevenir la contaminación y garantiza la seguridad del producto[10].

V-A1. *Método de secado al sol*: Este método se basa en el aprovechamiento del sol, el cual dependiendo de las condiciones climáticas da una temperatura favorable, la cual va a desarrollar algunos cambios no terminados en el grano durante el proceso de fermentación. Este método tiene un tiempo de 5 a 6 días según la fuente consultada ya que éste puede variar dependiendo de factores climáticos [11].



Figura 1. Método de secado al sol [12].

V-A2. *Método Rohan*: Este método suele ser práctico para pequeños productores, consiste en ubicar el grano en cajones o bandejas Rohan donde se extiende el cacao y se los pone al sol, asegurándose de que tenga una altura de 50cm del suelo para que de esta manera no afecte la humedad del suelo [13].



Figura 2. Método Rohan [8].

V-A3. *Método Esterillas*: Este método consiste en ubicar los granos en esterillas de bambú expuestas al sol y construidas de una manera que facilita tareas como envolver y recoger para secar y almacenar [13].



Figura 3. Método Esterillas [8].

V-A4. *Secado en pisos de cemento*: Este método es comúnmente usado y al finalizar el proceso el grano resultante es llamado “pepa de sol”, ya que este se seca asegurándose de que el grano no pase los 50 °C, en este método en específico se tiene mucho cuidado y se lo remueve constantemente y como resultado obtenemos una mejoría en su calidad y aroma [13].

Existe un procedimiento específico recomendado para este método, el cual consiste en:

Primer día: Se brinda muy pocas horas al sol para prevenir una desecación rápida, el espesor de las capas de cacao es fundamental van de 8 a 12 cm si no se posee mucha humedad en el ambiente y hace calor, pero si hay humedad y frío el espesor cambia de 5 a 7cm. Otro dato importante es que por la noche es necesario amontonarlo y cubrirlo porque corre el riesgo de enfriarse y adoptar un olor desagradable [8].

Segundo día: Se vuelven a extender los granos aumentando sus horas de exposición al sol, también se disminuye su espesor y se lo remueve constantemente, se repite el procedimiento de la noche para evitar el mal olor en el grano [8].

Tercer día: se vuelve a esparcir el grano solo que esta vez se lo deja secando por periodos prolongados, pueden ser de 4 a 6 días dependiendo de factores climáticos. Se recomienda retirar materias extrañas, granos inmaduros, defectuosos, pegados unos a otros, granos muy pequeños, etc. [8].



Figura 4. Secado en pisos de cemento [8].

V-A5. *Método de marquesinas y túneles de secado*: El secado mediante este método se ha popularizado. Consiste en estructuras de metal o madera con cubiertas de plástico o policarbonato que permiten el ingreso de la radiación

solar en zonas de constante lluvia. En este método es de suma importancia controlar la ventilación, la temperatura y la humedad relativa [14].



Figura 5. Método de marquesinas [15].

V-A6. *Secado artificial*: Aunque actualmente el secado natural sigue siendo considerado el favorito, hay veces en que no es una opción viable ya sea por factores climáticos u otros. Por esta razón se desarrollaron dispositivos de secado artificial [16].



Figura 6. Secado artificial [8].

Para el proceso de secado artificial del grano de cacao se suelen usar diferentes fuentes de calor se puede usar leña, carbón mineral, diésel, gas natural o electricidad [17].

Se estima que la más grande producción de cacao es proveniente de países cuyo proceso de secado es predominantemente natural, sin embargo, debido a condiciones climáticas en ciertas regiones es imposible llevar a cabo este proceso de forma natural y es inevitable recurrir al secado artificial; un ejemplo es la secadora tipo Samoa, la cual consiste en un tubo de metal en cuyo interior se pone la fuente de calor, la misma que puede ser leña, carbón vegetal, diésel, etc. Sobre el tubo y a una distancia aproximada de 1,20 metros, se coloca una cama, plancha o plataforma perforada, sobre la cual se tenderá una capa fina de granos de cacao. La parte inferior, debajo de la plataforma debe estar totalmente cerrada, constituyéndose de esta forma en una cámara de aire caliente [18].

Los beneficios de la implementación de una secadora de cacao van más allá de su confiabilidad de uso incluso en condiciones climáticas no favorables, permite también garantizar la calidad del grano al poder controlar variables

que influyen en su sabor y olor.

V-B. Componentes eléctricos

La selección correcta de los componentes eléctricos forma un papel fundamental para el desarrollo de cualquier proyecto ligado a la ingeniería, su correcta selección y combinación permite que el prototipo funcione de manera eficiente [19].

V-B1. Motor monofásico: El motor monofásico de corriente alterna funciona bajo el principio de inducción, se denomina principio de inducción a la tensión resultante del movimiento de un campo magnético respecto a un conductor eléctrico, se usa este principio por dos razones una es que elimina los inconvenientes de conmutación y a la sencillez del rotor. Cuando el rotor empieza su movimiento inducido por un campo electromagnético puede seguir trabajando con una fuente monofásica. En consecuencia, se pueden usar diversas formas de arranque [20].



Figura 7. Motor monofásico [20].

V-B2. *Estator:* Comprende la parte fija y opera como base del motor. La unidad consta de una carcasa en la que se fija una corona de placas de acero al silicio o ferro silicio, en la que todavía hay algunas muescas. Se muestran en estos zócalos, como motor trifásico se puede encontrar 3 devanados y 3 circuitos diferentes. En cada circuito hay tantas bobinas como polos tiene el motor [20].



Figura 8. Estator [12].

V-B3. *Rotor:* Es la parte rotativa de un motor, en base al principio de inducción existen dos maneras de construirlos bobinados y jaula de ardilla, llamado así porque la disposición de sus bobinas se asemeja a la de las ruedas de ejercicio en jaulas de roedores mascota, de los cuales el segundo es el más usado [20]. Como se observa en la figura 9:



Figura 9. Rotor [12].

V-B4. *Resistencias tipo abrazaderas*: Éstas son comúnmente usadas para abrazar tubos y transmitirles calor, este tipo de resistencias generalmente son usadas en sopladoras o extrusoras de plásticos, vienen en diferentes medidas y acabados, así mismo se construyen para cualquier tensión y potencia dependiendo de la necesidad [8].



Figura 10. Resistencias tipo abrazaderas [15].

Existen dos tipos:

- Resistencias de tipo mica: Son la opción más económica, pueden llegar hasta una temperatura de 482°C el grosor de la mica se selecciona con la intención de mantener un equilibrio entre las propiedades dieléctricas y la transmisión de energía desde la resistencia hacia el proceso.



Figura 11. Tipo mica [15].

- Resistencias de tipo cerámico: Son las ideales al momento de trabajar con altas temperaturas preferencialmente en un rango de 250°C a 700°C, estas tienen una capacidad de transmitir calor superior a la de las resistencias de

mica en su núcleo posee bobinados hechos de resistencias los cuales están recubiertos de secciones cerámicas.



Figura 12. Tipo cerámico [15].

V-B5. Termocupla: La termocupla es una herramienta usada para la medición de temperatura, usada comúnmente en entornos científicos, de ingeniería o industriales. Su capacidad de realizar una medición certera en ambientes extremos y su tamaño son algunas de las características por las cuales en la actualidad sigue considerándose una de las herramientas favoritas para realizar mediciones de temperatura. Su funcionamiento esta basado en la termoeléctrica; al cambiar la temperatura en la unión caliente en relación con la fría se crea una variación en el voltaje [21].



Figura 13. Termocupla tipo K [22].

V-B6. *Controlador de temperatura TCN4S*: Básicamente es un controlador de temperatura PID que cuenta con funciones esenciales y un rendimiento mejorado, logrando así un óptimo control de temperatura con un algoritmo de control PID y muestreo de alta velocidad de 100 ms. En particular, la salida SSRP y la salida de relé son compatibles para un control económico y eficaz [23].

Se puede observar el controlador en la figura 14:



Figura 14. Controlador de temperatura TCN4S [24].

V-B7. *Relé de estado sólido*: Consiste en un dispositivo interruptor electrónico encargado de controlar el flujo de electricidad entre dos puntos. Los SSR ponen en funcionamiento los dispositivos electrónicos o eléctricos mediante una señal de control. Es importante que este dispositivo sea compatible con el controlador de temperatura seleccionado para el proyecto [25].



Figura 15. Relé de estado sólido [26].

V-B8. *Sensor de humedad*: Es un dispositivo que permite medir y monitorear el porcentaje de humedad relativo en el entorno en el cual sean insertados, estos funcionan absorbiendo moléculas de agua del aire húmedo el cual

entra en contacto con un material sensible a la humedad provocando así cambios en la resistencia eléctrica del material. En este proyecto se usó un Taidacent SHT30 por su alta precisión y facilidad de monitoreo en tiempo real [27].



Figura 16. Sensor de humedad [28].

Tabla I
PARÁMETROS DEL SENSOR

PARAMETROS	
Rango de medición de temperatura	-30C° ~ 80C°
Exactitud de la medición de temperatura	±0.5°C @25°C
Rango de medición de humedad	0~100%RH
Exactitud de la medición de humedad	±3%RH @25°C
Interfaz de comunicación	RS485
Velocidad de transmisión predeterminada	9600 8 n 1
Poder	DC6~24V 1A
Temperatura de funcionamiento	-40C° ~ 80°C
Humedad de funcionamiento	5%RH ~ 90%RH

V-B9. *PLC Delta AS218TX-A*: Fue diseñado para procesos automatizados, es un controlador con una amplia gama de usos y un alto rendimiento. Este dispositivo se encarga de la conexión entre actuadores y sensores, recibiendo así información sobre como esta trabajando el equipo y tomando decisiones automáticas, ejerciendo de esta manera control sobre el equipo [29].



Figura 17. PLC Delta AS218TX-A [30].

V-B10. *Blower*: Un soplador de aire centrífugo consiste en el ingreso de aire desde una apertura en su centro y mientras el impulsador va girando impulsa el aire hasta la salida utilizando fuerza centrífuga. Su método de arranque consiste en un ventilador con alabes en forma de espiral dentro del estator [8].



Figura 18. Blower [31].

VI. MARCO METODOLÓGICO

Un marco metodológico forma parte fundamental de una investigación, siendo clave en la explicación de los diferentes métodos, instrumentos, técnicas y estrategias que se llevaron a cabo para el diseño y desarrollo del prototipo. Según Balestrini el marco metodológico de una investigación se define como “La instancia referida a los métodos, las diversas reglas, registros, técnicas y protocolos con los cuales una teoría y su método calcula las magnitudes de lo real” [32].

VI-A. Tipo de investigación

Teniendo en cuenta la problemática planteada anteriormente y los objetivos definidos en este proyecto se puede catalogar esta investigación como una de tipo experimental, la cual consistiría básicamente en someter a este objeto de estudio bajo determinadas condiciones y estímulos para poder analizar las reacciones que produce la variable dependiente como es la temperatura.

VI-B. Diseño de la investigación

Considerando que el objetivo principal de esta investigación es el desarrollo de una secadora de cacao tipo tanque mediante la implementación de un sistema experimental de recirculación de aire con control de temperatura y monitoreo de humedad; se deben tomar en cuenta ciertos parámetros. Considerando que dará servicio en la industria alimenticia y que tiene contacto directo con el producto; se eligió Acero inoxidable 304 de grado alimenticio por sus propiedades como su buena procesabilidad, su resistencia a la corrosión y al calor. Otro de los parámetros a considerar es la variable dependiente temperatura, la cual como ya se explicó en la problemática forma parte fundamental del proceso de secado ya que si sobrepasa los 50C° el grano se vuelve frágil y pierde propiedades importantes. Para el control de esta variable se implementó una termocupla tipo K y un controlador de temperatura TCN4S el cual, con una configuración adecuada garantiza el límite de temperatura especificado. Teniendo en cuenta también que la humedad afecta de forma directa a la calidad del grano, se integró un sensor de humedad para monitorear y definir el paro del proceso al llegar a la humedad deseada [17].

VI-C. Diseño del prototipo

VI-C1. Diseño del serpentín: En este trabajo se han estudiado diferentes alternativas de secado de cacao artificial finalmente escogiendo la distribución de aire a través de un tubo rodeado de resistencias conectado a un blower, la correcta circulación del aire se consiguió a través del diseño de un serpentín que rodea el tanque interno con 8 boquillas ubicadas estratégicamente en el tanque entregando de manera uniforme el aire caliente, permitiendo así la distribución de calor dentro del tambor de una manera más eficaz y rápida. Para la conexión del serpentín al blower, considerando que ambos poseen un diámetro diferente, se diseñó un tubo que se ampliaba desde el diámetro de la boquilla del serpentín de 5/8 pulgadas hasta la salida del blower que es de 4 pulgadas. Se buscó de esta manera evitar una brusca disminución del área transversal, ya que esto afectaría al flujo de aire a través de la tubería creando así espacios donde la presión del aire aumentaría por el choque del mismo con las paredes de éste.



Figura 19. Serpentín de cobre, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.

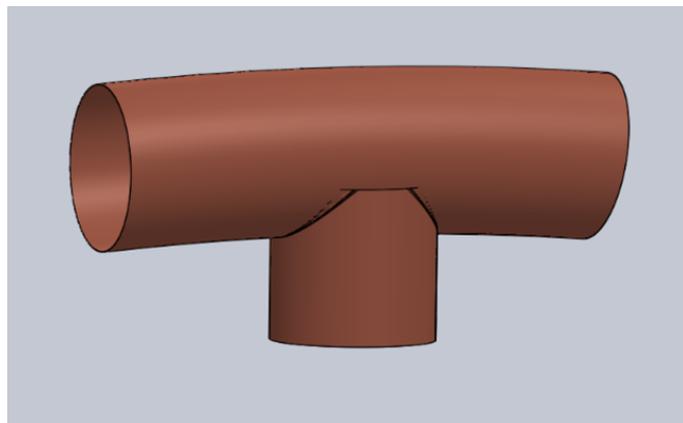


Figura 20. Tee de cobre, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.

VI-C2. Diseño de los tanques: Se realizó el diseño de los tanques considerando la seguridad del operador, por lo cual el prototipo cuenta con dos tambores; uno interno que sería el designado para la transmisión de calor mediante la inyección de aire caliente a través de perforaciones conectadas y soldadas de forma directa al serpentín y uno externo para evitar que el operador entre en contacto con altas temperaturas. Para el tanque interno se eligió el acero inoxidable 304 de grado alimenticio por sus excelentes propiedades anticorrosivas, ya que al estar dirigido a la industria alimenticia, debe regirse a la normativa técnica sanitaria para alimentos procesados. Para el tanque externo se utilizó hierro negro principalmente por sus propiedades de dureza y alta capacidad de carga, pero

también por su excelente relación precio-calidad ya el costo del proyecto se hubiera elevado considerablemente si su estructura completa hubiese sido construida totalmente de acero inoxidable. Ambas estructuras cuentan con una perforación inferior para la entrada del eje del agitador.

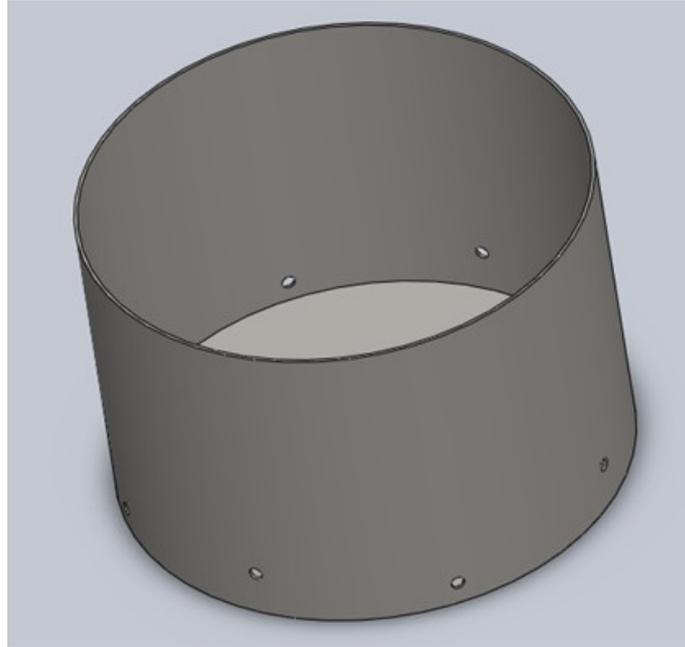


Figura 21. Tanque interno, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.

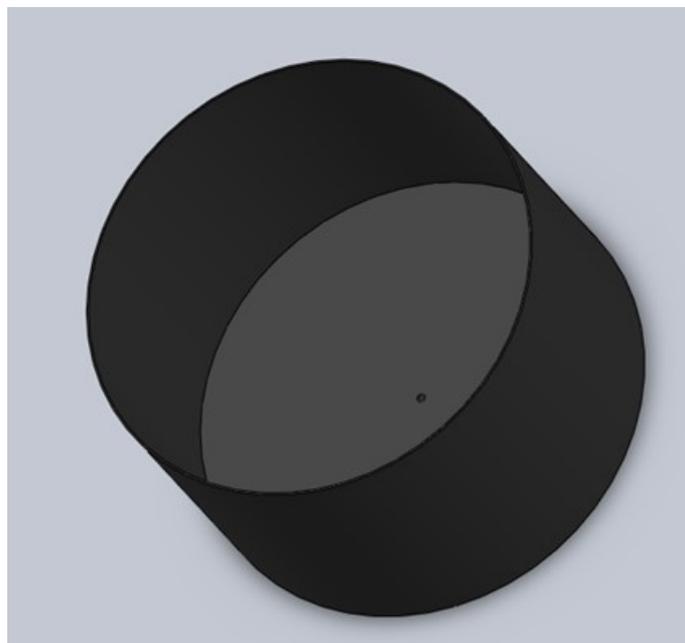


Figura 22. Tanque externo, por M. Granados y M. Vásquez, SolidWorks, 2024.

VI-C3. *Diseño de la estructura:* El diseño de la estructura se realizó considerando la carga a la que estaría expuesta, el material usado es hierro negro ya que posee una alta capacidad de carga, también se consideró una estructura de soporte inferior para el motor y una perforación central para la ubicación de las chumaceras y el eje rotatorio, en la sección de “Cálculos realizados” se puede ver la carga que soportara la estructura.

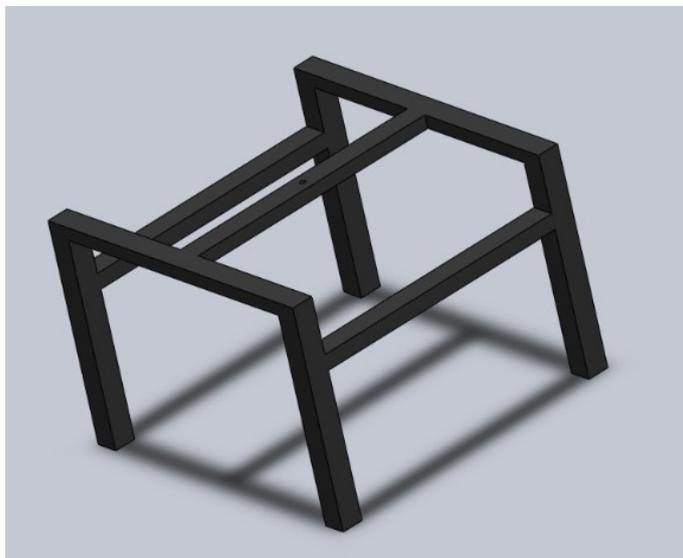


Figura 23. Estructura, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk SolidWorks, 2024.

VI-C4. *Diseño del agitador:* Para la rotación del grano se diseñó un aspa de acero inoxidable 304 de grado alimenticio y se implementó un sistema de poleas para reducir las revoluciones por minuto del motor, en la sección de “Cálculos realizados” se agregarán los cálculos pertinentes del mismo.

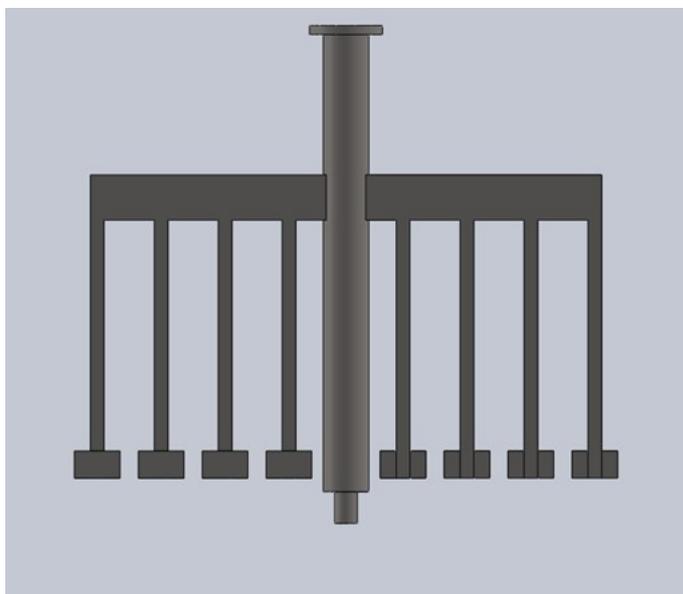


Figura 24. Agitador, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk SolidWorks, 2024.

VI-D. Software utilizado

Se realizó el diseño y ensamblaje del prototipo utilizando el programa de SolidWorks de Mathworks, este software de diseño mecánico y simulación brindó todas las herramientas necesarias para llevar a cabo el modelado en 3D del prototipo y las distintas Se puede visualizar la portada de este en la ilustración 25.

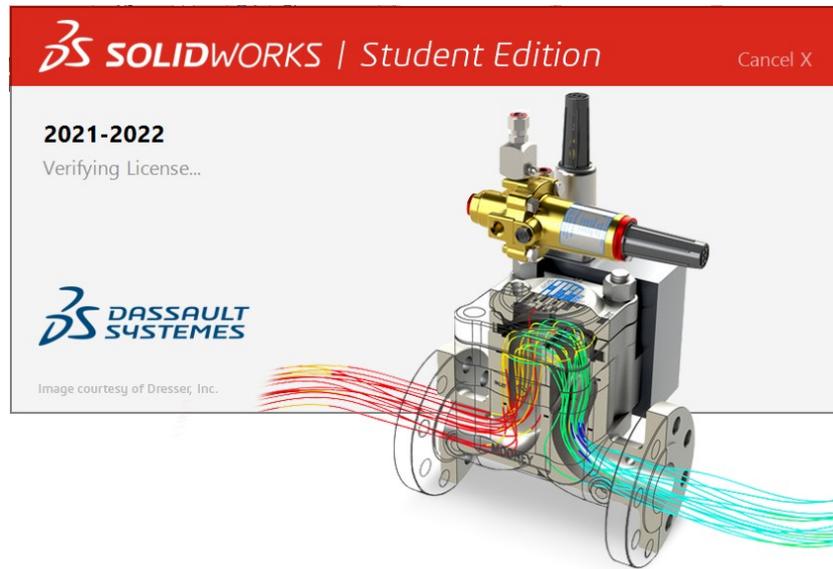


Figura 25. SolidWorks, por SolidWorks Corp.

VI-E. Conexiones

VI-E1. *Conexión de un motor monofásico:* El motor seleccionado para el agitador fue uno monofásico de 1/4Hp con tres contactores, permitiendo así el cambio de sentido del giro del motor para evitar estancamientos del grano.

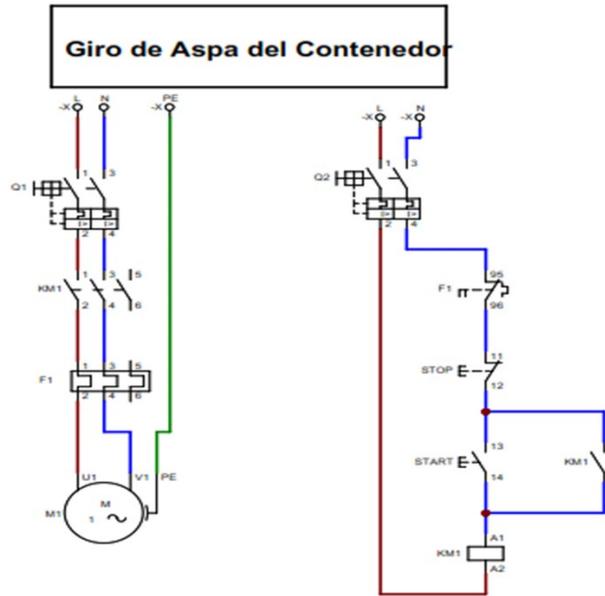


Figura 26. Conexión de un motor monofásico, por W. Gutierrez y A. García, CADESIMU.

VI-E2. *Conexión del blower:* Conexión del suministro de aire.

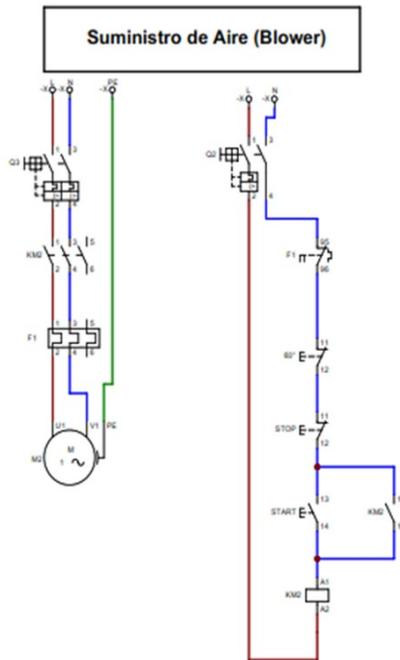


Figura 27. Conexión del blower, por W. Gutierrez y A. García, CADESIMU.

VI-E3. *Conexión del controlador de temperatura:* Conexión del controlador de temperatura TCN4S obtenido por Autonics.

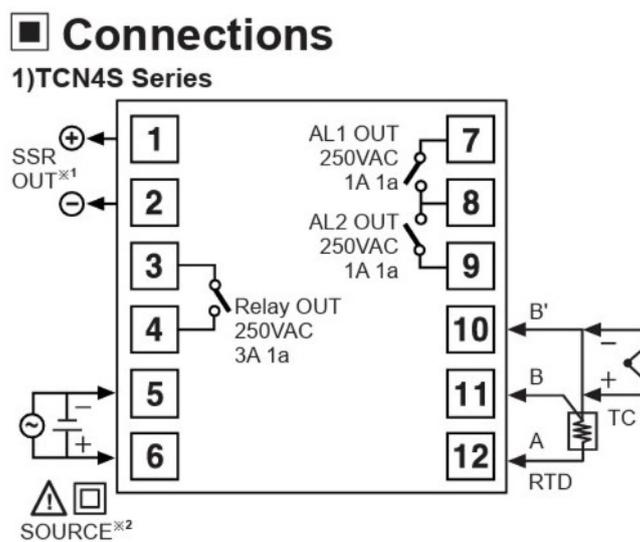


Figura 28. Conexión del controlador de temperatura, por Autonics.

VI-E4. *Conexión del sensor de humedad:* Conexión de los cables del sensor de humedad obtenidas por el proveedor.

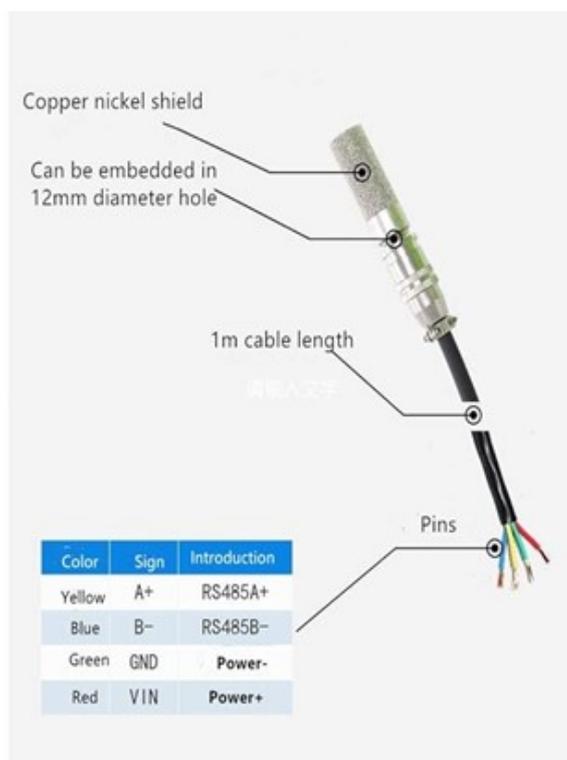


Figura 29. Conexión del sensor de humedad, por Taidacent.

VI-E5. *Conexión del PLC:* A través del software ISP soft se realizó la programación para el PLC.

Parámetros iniciales:

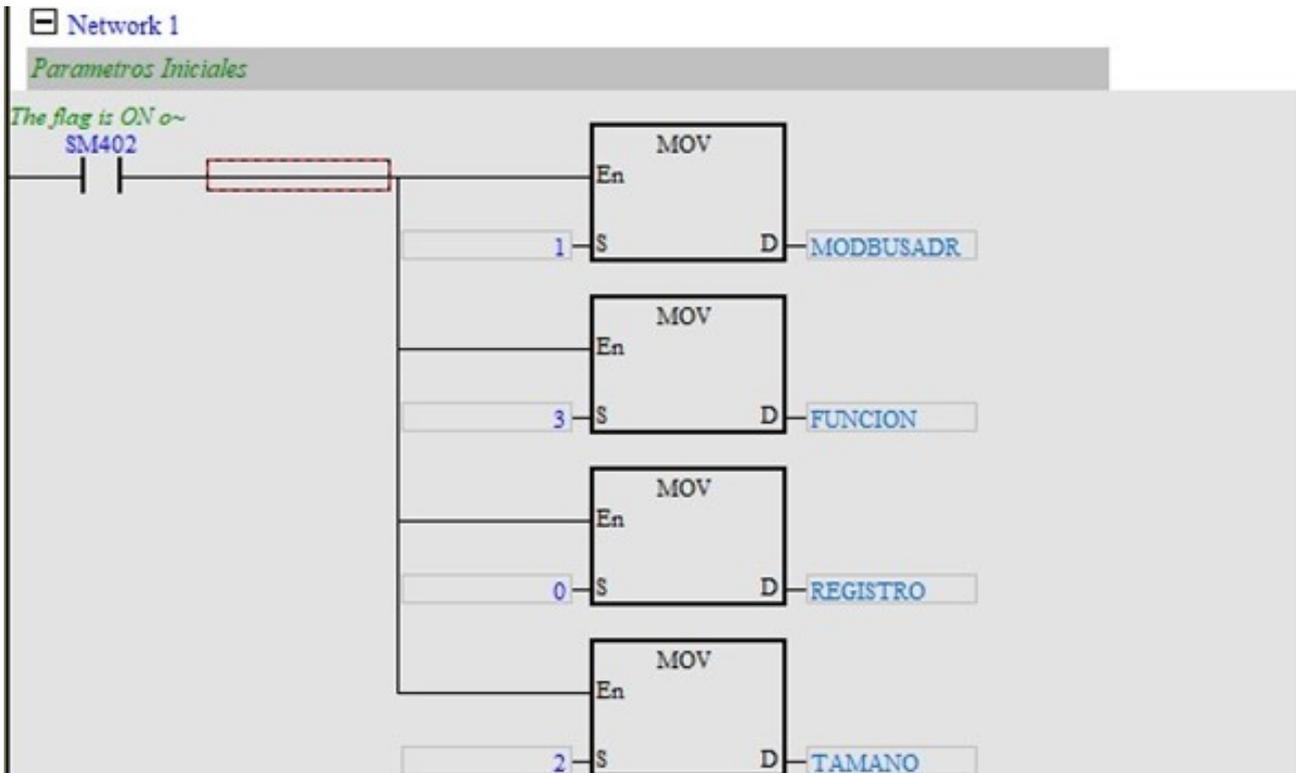


Figura 30. Segmento 1: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.

Solicitud de datos al puerto:

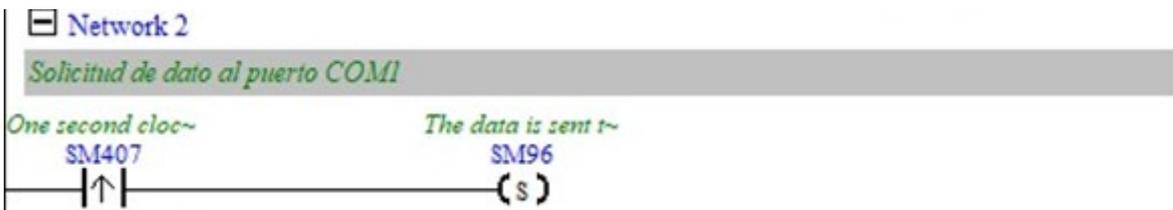


Figura 31. Segmento 2: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.

Solicitud de dirección de temperatura y humedad:

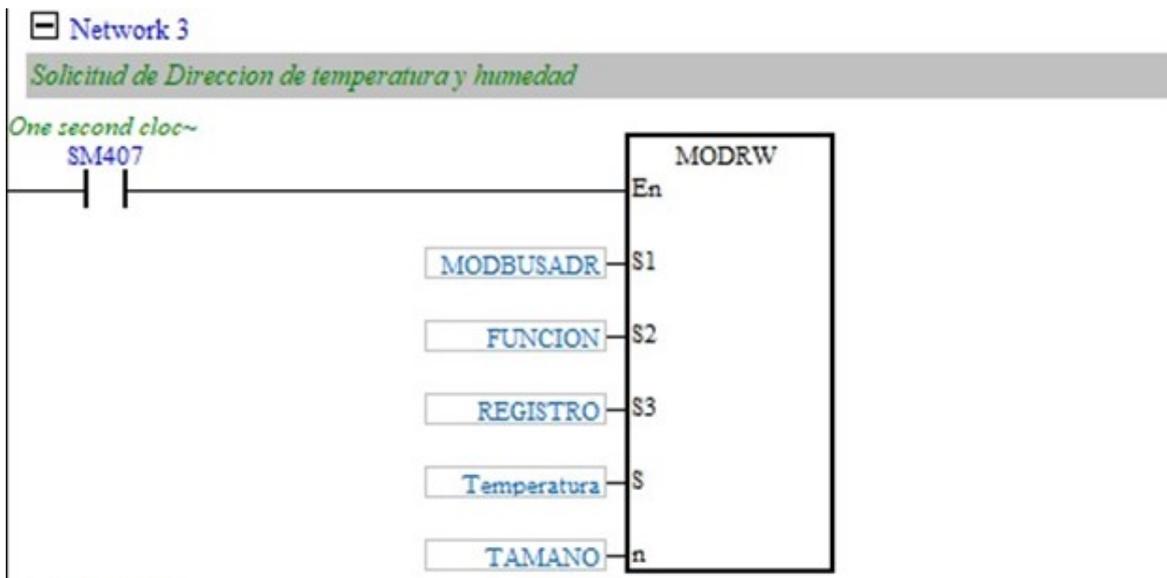


Figura 32. Segmento 3: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.

En caso de que sea correcta la recepción se activa un registro:

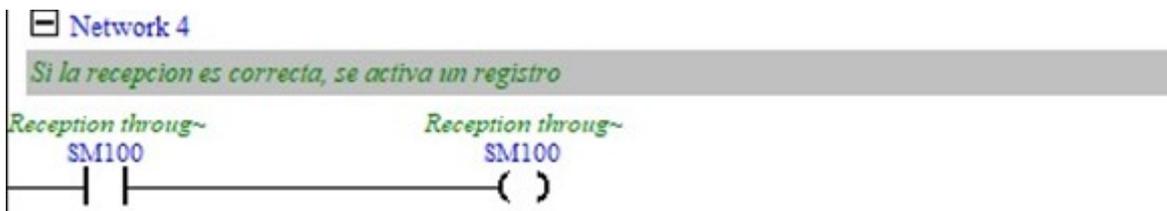


Figura 33. Segmento 4: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vásquez.

Caso contrario se genera una alarma:

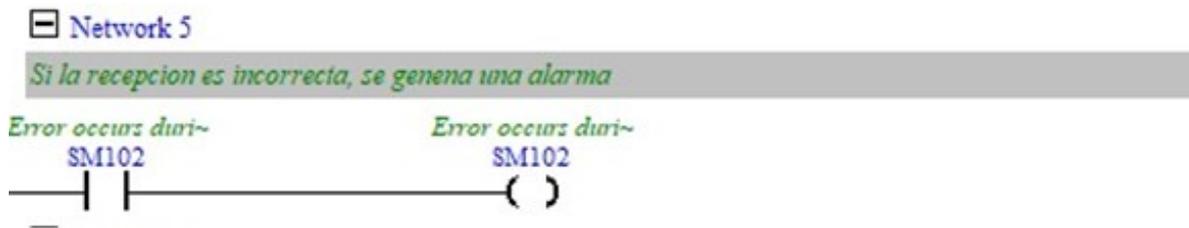


Figura 34. Segmento 5: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vázquez.

Convertidor de datos:

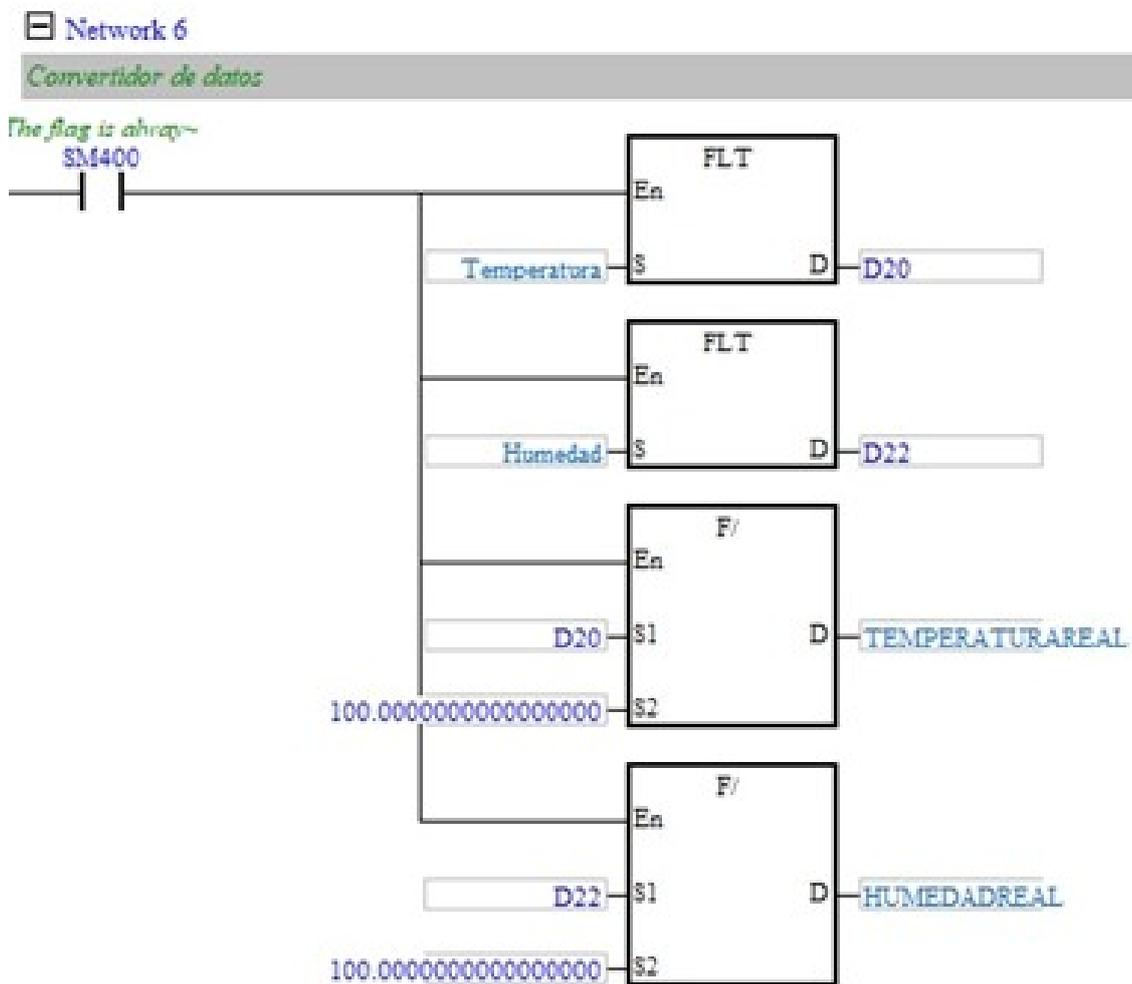


Figura 35. Segmento 6: Conexión del PLC, por M. Granados y M. Vázquez.

VI-F. Cálculos realizados

VI-F1. *Identificación de la carga:* El peso seleccionado para el secado por lote del prototipo fue de 7kg. La fórmula aplicada para determinar la fuerza aplicada en Newtons en el sistema es la siguiente:

$$fuerza = masa * gravedad \quad (1)$$

$$F = 7kg * 9,81m/s^2 = 68,67N \quad (2)$$

VI-F2. *Deformación y área:* Para poder determinar la dimensión del actuador se aplicará la siguiente fórmula:

$$Área\ de\ carga = \frac{Masa\ a\ secar}{densidad * (1 - E) * (h)} \quad (3)$$

Según el artículo científico de las propiedades químicas de cultivares de cacao en Ecuador y Perú, La altura del cacao radica en unos 0.02m, esta será la variable que usaremos como h en la fórmula del área de la carga[33].

Tabla II
DIMENSIONES DE GRANOS DE CACAO EN LARGO, ANCHO Y ESPESOR (MM).

Cultivares de cacao	Variables		
	Largo (mm)*	Ancho (mm)*	Espesor (mm)*
Nacional Ecuador	21.96 ± 0.13 ^c	12.32 ± 0.17 ^b	8.19 ± 0.09 ^a
CCN 51 Ecuador	22.45 ± 0.32 ^{bc}	12.79 ± 0.16 ^b	8.24 ± 0.36 ^a
CCN 51 Perú	24.97 ± 0.40 ^a	13.80 ± 0.89 ^a	9.78 ± 0.94 ^a
ICS 6 Perú	23.39 ± 1.24 ^b	12.82 ± 0.34 ^b	9.32 ± 1.38 ^a

Tabla III
DENSIDAD DEL GRANO.

Densidad aparente	
Productos Agrícolas Sólidos	Densidad $\frac{kg}{m^3}$
CACAO (granos frescos)	900
CACAO (granos fermentados)	775
CACAO (granos secos)	635

$$E = \frac{Volúmenes\ del\ grano}{Volúmen\ del\ recipiente} \quad (4)$$

$$E = \frac{175kg/m^2}{600kg/m^2} = 0,291m^2 \quad (5)$$

Por consiguiente:

$$Área\ de\ carga = \frac{7kg}{(775kg/m^2) * (1 - 0,3) * (0,02)} = 0,645m^2 \quad (6)$$

VI-G. Selección del motor

Especificaciones:

- Carga=7Kg.
- H= 0.15m.
- Ø= 0.55m.
- r= 0.275m
- Velocidad de subida= 2m/s.

El eje del motor será acoplado a una polea 3" con transmisión de banda hacia una polea de 6" acoplada al eje del motor.

Velocidad angular:

$$V = W * r \quad (7)$$

$$w = \frac{V}{r} \quad (8)$$

$$w = \frac{2 \frac{m}{s}}{0,275m} \quad (9)$$

$$w = 7,27 \frac{rad}{s} \quad (10)$$

Potencia mecánica:

$$P = T * w \quad (11)$$

$$T = F * r \quad (12)$$

$$T = 58,86N * 0,275m \quad (13)$$

$$T = 68,67N * 0,275m \quad (14)$$

$$T = 18,88Nm \quad (15)$$

Entonces:

$$P = 18,88Nm * 7,27 \frac{rad}{s} \quad (16)$$

$$P = 137,28Watts \quad (17)$$

Transformación de watts a caballos de fuerza:

$$Hp = \frac{Watts}{746} \quad (18)$$

$$Hp = \frac{137,28Watts}{746} \quad (19)$$

$$P = 0,18Hp \quad (20)$$

Se necesita un motor de por lo menos 0.18Hp o mayor según los calculos realizados anteriormente.

Por lo que seleccionamos uno de 1/4Hp.

VII. ANÁLISIS

Se realizó un análisis de tensión a través del software Inventor de Autodesk.

VII-A. Tensión Von Mises

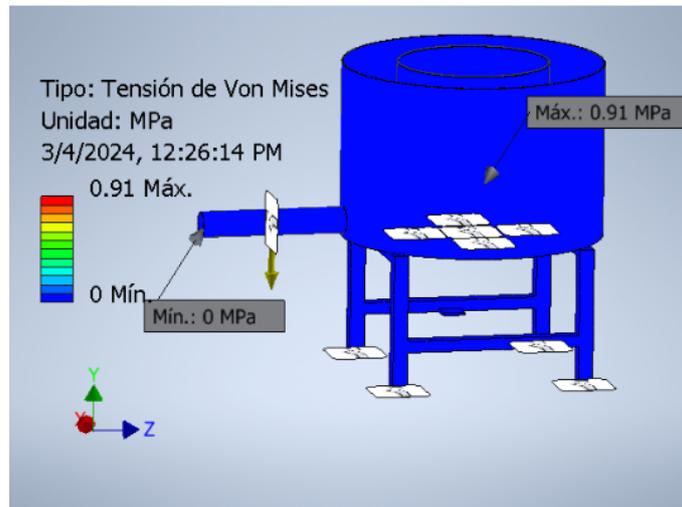


Figura 36. Tensión de Von Mises, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk Inventor, 2024.

VII-B. Coeficiente de seguridad

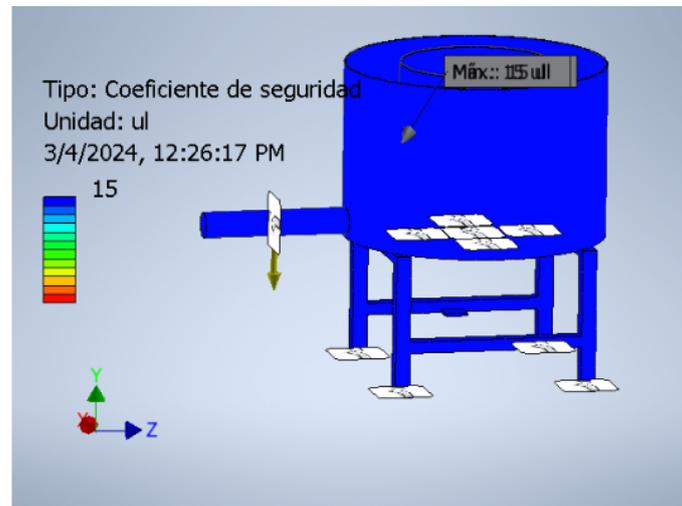


Figura 37. Coeficiente de seguridad por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk Inventor, 2024.

Resumen de los resultados:

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	25736200 mm ³	
Masa	187.53 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	0.909955 MPa
Primera tensión principal	-0.636179 MPa	1.06024 MPa
Tercera tensión principal	-1.22027 MPa	0.499668 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.011813 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-1.17551 MPa	1.02692 MPa
Tensión XY	-0.186735 MPa	0.140963 MPa
Tensión XZ	-0.237798 MPa	0.226341 MPa
Tensión YY	-0.728287 MPa	0.5335 MPa
Tensión YZ	-0.151538 MPa	0.144287 MPa
Tensión ZZ	-1.13701 MPa	1.05318 MPa
Desplazamiento X	-0.000166026 mm	0.000190368 mm
Desplazamiento Y	-0.011813 mm	0.00000206078 mm
Desplazamiento Z	-0.000156174 mm	0.000164908 mm
Deformación equivalente	0 su	0.00000432144 su
Primera deformación principal	-0.00000328901 su	0.0000041007 su
Tercera deformación principal	-0.00000448437 su	0.00000222854 su
Deformación XX	-0.00000444176 su	0.00000390578 su
Deformación XY	-0.0000012578 su	0.000000949489 su
Deformación XZ	-0.00000160175 su	0.00000152458 su
Deformación YY	-0.00000315409 su	0.00000281376 su
Deformación YZ	-0.00000102072 su	0.000000971878 su
Deformación ZZ	-0.00000440526 su	0.00000407028 su
Presión de contacto	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto X	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto Y	0 MPa	0 MPa
Presión de contacto Z	0 MPa	0 MPa

Figura 38. Datos de análisis de tensión, por M. Granados y M. Vásquez, Autodesk Inventor, 2024.

VIII. RESULTADOS

VIII-A. Monitoreo de humedad a través de Node-red

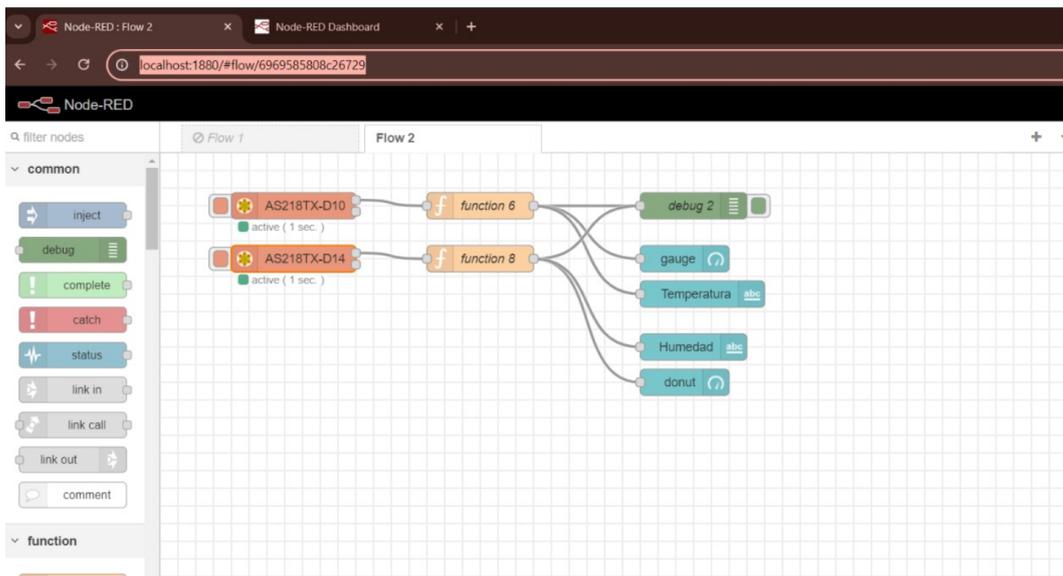


Figura 39. Visualización de plantilla de flujo, por M. Granados y M. Vásquez.

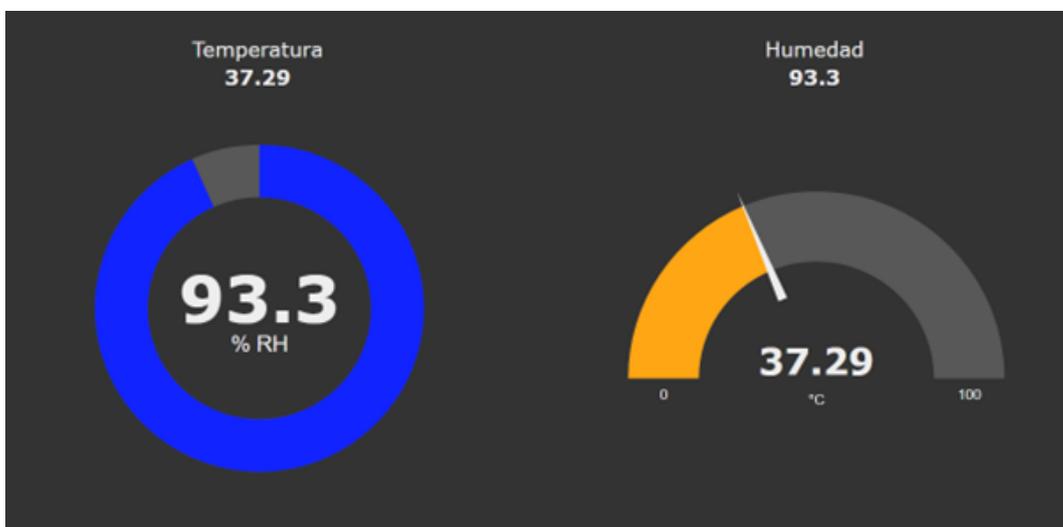


Figura 40. Monitoreo de variables durante el inicio del proceso a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.

Los valores de la figura 40 son correspondientes a un monitoreo en tiempo real de los cambios que sufren estas variables, los datos corresponden al inicio del proceso de secado.

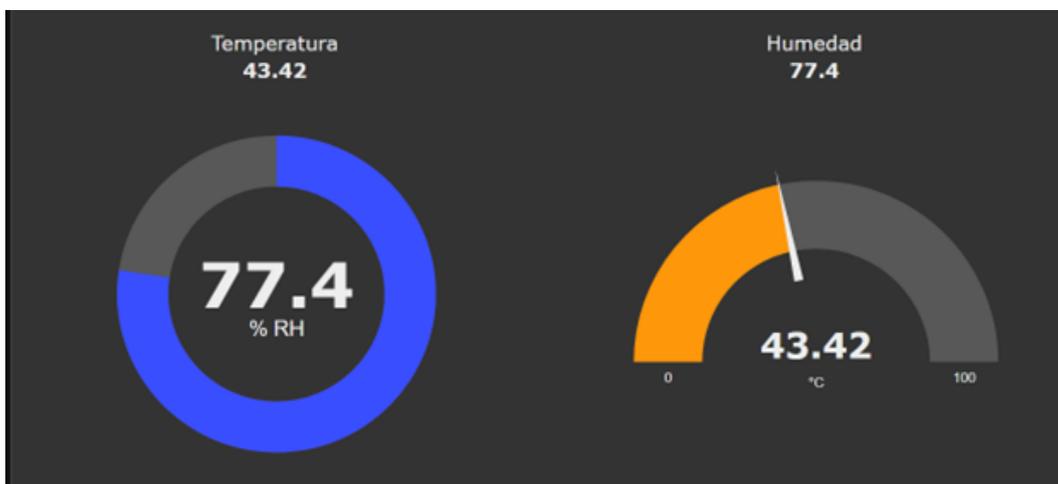


Figura 41. Monitoreo de variables durante el proceso de secado a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.

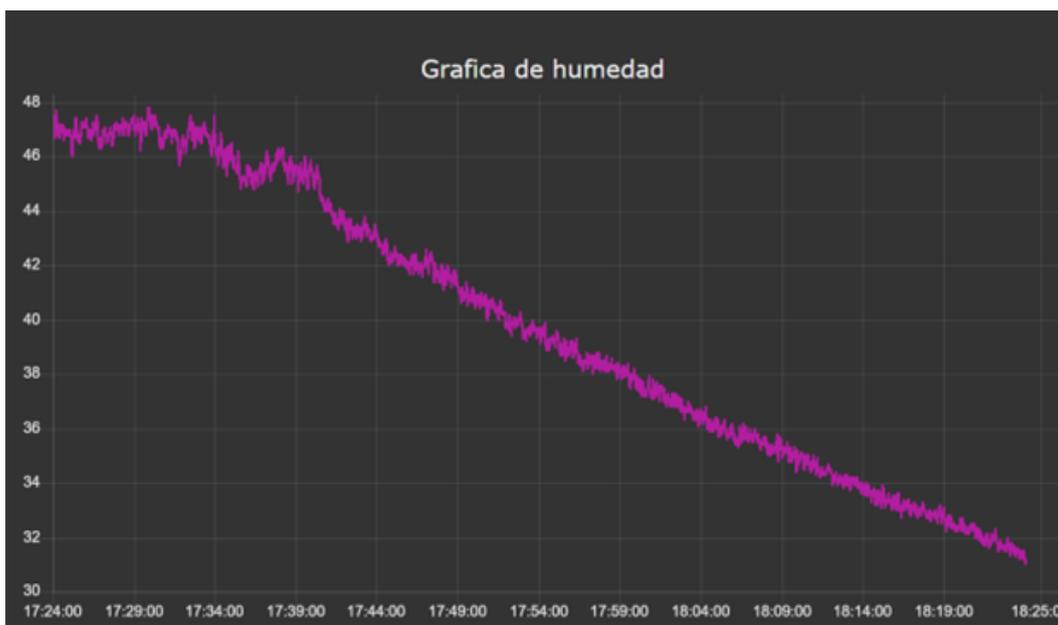


Figura 42. Visualización de gráfica del porcentaje de humedad del proceso de secado a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez. Como se visualiza en la figura 42 existe un decremento veloz en la humedad dentro del tanque.

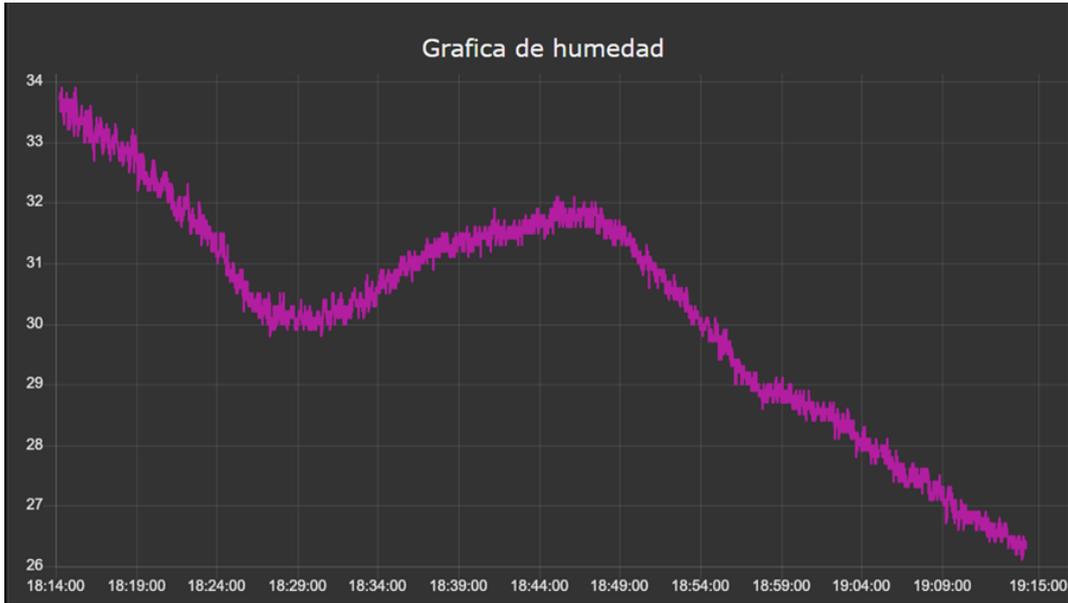


Figura 43. Visualización de gráfica del porcentaje de humedad cuando alcanza el 30 % de humedad a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.

Durante este período se abrió el tanque para revisar los granos de cacao y esto provocó un pico en el gráfico ya que al abrir el tanque éste perdió humedad significativamente, como se puede visualizar en la figura 42



Figura 44. Monitoreo de variables al finalizar el proceso de secado a través de Node-red, por M. Granados y M. Vásquez.

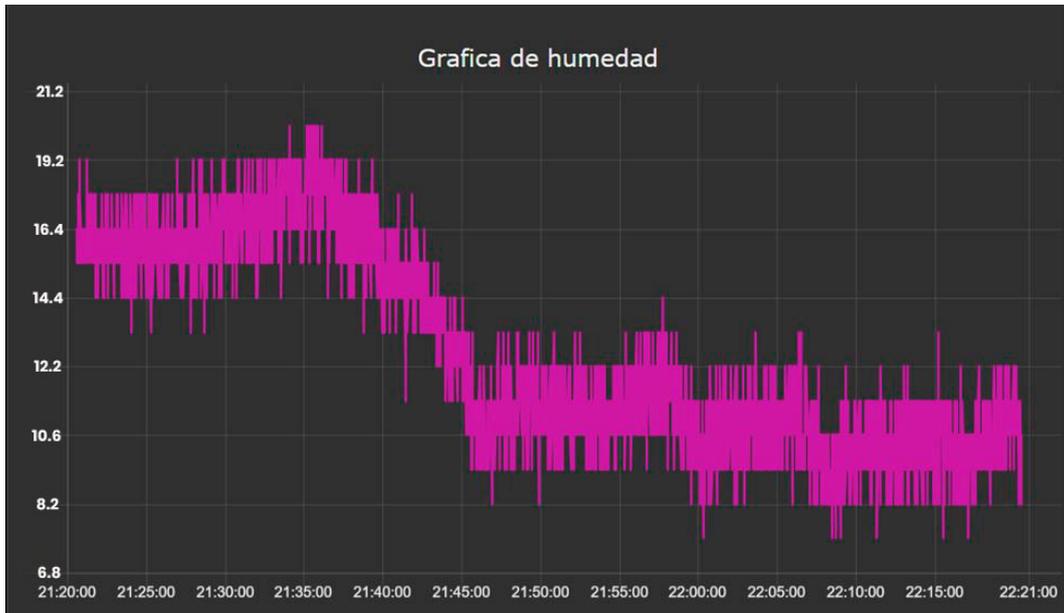


Figura 45. Visualización de gráfica del porcentaje de humedad al finalizar el proceso a través de Node-red, por M. Granados y M. Vázquez.

Al ver que la temperatura oscilaba dentro de los parámetros establecidos, se dió por finalizado el proceso de secado exitosamente.

VIII-B. *Proceso de secado del grano*



Figura 46. Granos de cacao, por M. Granados y M. Vásquez.

Se consiguieron granos frescos para poder llevar a cabo las pruebas necesarias y comprobar la funcionalidad del prototipo. Se realizaron tres pruebas en total, concluyendo que el proceso de fermentación influye mucho en el proceso de secado.



Figura 47. Fermentación del grano, por M. Granados y M. Vásquez.

Para la prueba del primer lote se llevó a cabo la fermentación del grano de forma casera. El proceso de secado se dificultó gracias a la mala fermentación de éste, ya que no debe tener baba durante el proceso de secado, sin embargo el prototipo consiguió disminuir la humedad a un 10 % sin quemar el grano del proceso.

VIII-C. Comparación de características en los granos antes y después del proceso

Los cambios del grano se empiezan a ver desde que inicia el proceso, existen cambios en su aroma, color y sabor, además de cambios en su peso por la pérdida de humedad.



Figura 48. Comparación del grano antes y después del proceso, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 49. Proceso de secado, por M. Granados y M. Vázquez.

X. PRESUPUESTO

Tabla V
PRESUPUESTO

Item	Material	QT	P.U.	P.T.
1	Plancha de acero inoxidable de grado alimenticio	1	\$ 120.00	\$ 120.00
2	Plancha de hierro negro	1	\$ 50.00	\$ 50.00
3	Perfil hierro negro 6mts	1	\$ 20.00	\$ 20.00
4	PLC AS218 TX-A	1	\$ 375.00	\$ 375.00
5	Fuente de alimentación	1	\$ 65.00	\$ 65.00
6	Blower Rong Long 0.5Hp 4"	1	\$ 182.00	\$ 182.00
7	Controlador TCN4S	1	\$ 52.00	\$ 52.00
8	Sensor de humedad Taidacent SHT30	1	\$ 33.00	\$ 33.00
9	Termocupla tipo K	1	\$ 6.00	\$ 6.00
10	Banda	1	\$ 22.00	\$ 22.00
11	Polea 3"	1	\$ 10.00	\$ 10.00
12	Polea 6"	1	\$ 15.00	\$ 15.00
13	Motor 1/4Hp	1	\$ 125.00	\$ 125.00
14	Tablero Monoblock	1	\$ 49.00	\$ 49.00
15	Resistencias tipo abrazaderas	4	\$ 20.00	\$ 80.00
16	Cable #14	7	\$ 1.00	\$ 7.00
17	Cable #16	7	\$ 1.00	\$ 7.00
18	Cable #18	7	\$ 1.00	\$ 7.00
19	Contactador 9Amp	2	\$ 16.00	\$ 32.00
20	Relé de estado solido	1	\$ 30.00	\$ 30.00
21	Pulsador on/off	1	\$ 5.00	\$ 5.00
22	Pulsador paro de emergencia	1	\$ 16.00	\$ 16.00
23	Base para el relé	4	\$ 2.00	\$ 8.00
24	Cable térmico	8	\$ 2.50	\$ 20.00
25	Tubería de cobre 5/8"	1	\$ 40.00	\$ 40.00
26	Tee de cobre 5/8"	8	\$ 2.00	\$ 16.00
27	Codo de cobre 5/8"	5	\$ 2.00	\$ 10.00
28	Térmico 22,5-4Amp	1	\$ 9.00	\$ 9.00
29	Herramientas	1	\$ 300.00	\$ 300.00
30	Mano de obra y otros gastos	1	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
Total				\$ 2,711.00

XI. CONCLUSIONES

A través de los estudios realizados se pudo concluir que es necesario monitorear la humedad para evitar la proliferación de moho u otras bacterias en el período de almacenamiento generando así una considerable pérdida económica, además de la pérdida de la calidad del grano por alteraciones en su sabor y aroma. También el control de temperatura evita que el grano se vuelva frágil o que se queme durante el proceso.

El controlador seleccionado para este proyecto fue de fácil uso y adaptación por lo cual es idóneo para este tipo de prototipos donde es necesario el control de temperatura a través de lazo cerrado. El sensor de humedad por otro lado fue de difícil instalación debido a su forma, pero permitió el monitoreo en tiempo real lo cual fue de gran ayuda para alcanzar los objetivos de este proyecto.

En las pruebas realizadas se verificó la eficacia del diseño del serpentín de cobre adaptado con codos y tees para la distribución uniforme del aire, recalcando que parte fundamental es considerar el flujo del aire a través de éste, para evitar contratiempos en el desempeño del equipo.

El presupuesto demuestra que es una inversión factible que puede ser aplicada por los pequeños y medianos productores de cacao, elevando así la calidad de su grano y garantizando los estándares de éste.

XII. RECOMENDACIONES

Dentro de las pruebas realizadas se concluye que la fermentación influye de manera directa con el proceso de secado, por lo cual se recomienda llevar a cabo un período de fermentación correcto, siguiendo el método que sea de su preferencia, ya que así se evitará dañar el grano en el proceso de secado. Se recomienda también aislar el tanque interno con fibra de vidrio en forma de chaqueta evitando así la pérdida de calor y aumentando la seguridad del operador.

El estudio de materiales también forma parte fundamental dentro de este estudio ya que al tratarse de un prototipo designado para la industria alimenticia fue necesario realizar un estudio previo, eligiendo así los mas aptos para esta máquina.

El uso de mecanismos adecuados para el ajuste del eje forma parte fundamental de este estudio ya que las vibraciones o el desbalance del mismo podrían causar estancamiento del grano en el tanque. En este estudio se optó por una reducción de las RPM entregadas por el motor a través de un sistema de poleas, centrando el eje con ayuda de chumaceras en la parte superior e inferior del mismo, pero cualquier otro sistema que garantice la estabilidad es funcional de igual manera.

Se recomienda también investigar la viabilidad de otros métodos artificiales de secado del grano realizando una comparación entre éstos y decidiendo cual posee una mayor cantidad de beneficios en relación con costo y calidad.

También se recomienda el uso de un moto-reductor de mayor potencia capaz de soportar cargas más pesadas con el fin de incrementar la capacidad de secado del prototipo.

REFERENCIAS

- [1] L. D. Albán Rocha y H. R. Montesdeoca Balarezo, «Implementación de una secadora cilíndrica a gas para el secado de cacao,» B.S. thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2023.
- [2] F. Dzelagha, N. Ngwabie y D. Nde Bup, «A Review of Cocoa Drying Technologies and the Effect on Bean Quality Parameters,» *International Journal of Food Science*, vol. 2020, págs. 1-11, dic. de 2020. DOI: 10.1155/2020/8830127.
- [3] A. C. Castrillo Fuentes y O. I. Pinto Rojas, «Diseño de controlador pid para prototipo de máquina de secado de café y/o cacao para la empresa Penagos Hermanos,» 2019.
- [4] A. F. Barbecho Guailas y J. C. Loja Juca, «Desarrollo de un prototipo de máquina híbrida de secado de granos de cacao con sistema de control automático de temperatura,» B.S. thesis, 2019.
- [5] J. C. V. Ferreira, M. F. C. Higuera y J. A. V. Barrera, «Uso del Modelo de Holt-Winters como estrategia para la predicción de condiciones ambientales durante el proceso de almacenamiento del Cacao,» *Revista EIA*, vol. 19, n.º 38, pág. 17, 2022.
- [6] K. S. A. Córdova, J. Q. Campoverde, S. B. Unda, V. J. G. Montealegre y H. C. Romero, «Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014–2019,» *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, vol. 6, n.º 3, págs. 2430-2444, 2021.
- [7] C. L. Cacuango Colcha, «Diseño de una máquina secadora de semilla de cacao para agricultores artesanales,» B.S. thesis, 2023.
- [8] A. N. García Ruiz y W. A. Gutiérrez Paucar, «Diseño y construcción de una Secadora de Cacao tipo tanque empleando una cámara de acondicionamiento para la inyección de aire caliente,» B.S. thesis, 2022.
- [9] L. Y. Maldonado Mateus et al., «Características funcionales y de calidad en granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) producido en el Norte de Santander, Colombia,» 2023.
- [10] C. L. Cacuango Colcha, «Diseño de una máquina secadora de semilla de cacao para agricultores artesanales,» B.S. thesis, 2023.
- [11] R. J. Espin Vera, «Manejo post cosecha del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en la finca Meza ubicada en el recinto Pueblo Nuevo, cantón Babahoyo,» B.S. thesis, BABAHOYO; UTB, 2019, 2019.
- [12] J. H. R. Fernández, *Motores eléctricos para la industria*, 2018.
- [13] J. P. Parra Flores, K. S. Sarmiento Barahona, A. Prieto León et al., «Diseño de la automatización de un secador de granos de cacao de la empresa “Proyecto de secado de cacao y maíz Carlos Jara y familia” para mejorar la eficiencia y seguridad en la obtención del grano seco,» Tesis doct., ESPOL. FIEC, 2022.
- [14] J. B. Carguachi Caizatoa, «Análisis de la cinética del secado de cacao en función de la temperatura.,» Tesis de mtría., Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2023.
- [15] J. M. Naya, *Resistencias de Abrazadera*, <https://juliomartineznaya.com/resistencias-de-abrazadera/>, 7/3/2024, 2024.
- [16] N. S. España Acero, «Evaluación de métodos de secado de dos variedades de cacao sobre la actividad antioxidante y atributos sensoriales en pasta,» B.S. thesis, 2023.
- [17] J. A. Naranjo Supo y D. S. Vera Brune, «Diseño y construcción de una máquina secadora para cacao tipo rotatoria empleando un sistema de secado automatizado,» B.S. thesis, 2023.
- [18] V. H. Reynel Chila y O. A. Loor Castro, «Tipos de secado de eobroma Cacao L. y su efecto en la calidad organoléptica en Esmeraldas, Ecuador Types of drying of eobroma Cacao L. And its effect on organoleptic quality in Esmeraldas, Ecuador Tipos de secagem de eobroma Cacao L. E seu efeito na,»
- [19] T. L. Floyd, R. N. Salas, L. M. O. González y G. P. López, *Principios de circuitos eléctricos*. Pearson Educación, 2007.
- [20] G. Boschi, G. A. Molina, L. A. Carrazán y M. Deleu, «Simulación del comportamiento de motores monofásicos de inducción,» *Ciencia y tecnología*, págs. 85-102, 2019.
- [21] W. C. Cardoza Alvarado y A. G. Inoñán Sandoval, «Diseño de un sistema de control computacional de una secadora de cacao,» 2020.
- [22] CamsMark, *Termocupla Tipo K*, <https://camsmark.com/producto/codigo-74-12-termocupla-tipo-k/>, 7/3/2024, 2024.

- [23] B. E. Vásquez Remache, «Modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de germinación de quinua para consumo,» B.S. thesis, Universidad del Azuay, 2022.
- [24] AutonicsPeru, *Control de Temperatura Manual TCN4S-24R*, <https://www.autonicsperu.com/producto/control-de-temperatura-manual-tcn4s-24r/>, 7/3/2024, 2024.
- [25] N. Hernández Medina, S. M. Novoa Preciado et al., «Ingeniería conceptual y diseño de banco de prácticas con PLC Siemens S7 1200 y motor trifásico con carga variable,» 2021.
- [26] Autonics, *Modelo A5850000311*, <https://www.autonics.com/model/A5850000311>, 7/3/2024, 2024.
- [27] A. Liebana Carrascosa, «Diseño y desarrollo de un sensor de humedad de bajo coste a diferentes profundidades para agricultura de precisión,» Tesis doct., Universitat Politècnica de València, 2019.
- [28] Robu.in, *SHT10 Soil Temperature and Humidity Sensor Module*, <https://robu.in/product/sht10-soil-temperature-and-humidity-sensor-module/>, 7/3/2024, 2024.
- [29] J Muralidharan, S Saran, G Tamilkavi, S Thivakar y M Vivin, «An automatic fluid filling mechanism using delta PLC,» en *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, vol. 1937, 2021, pág. 012 004.
- [30] Delta Electronics, *CLP de Médio Porte Série AS*, <https://delta-electronics.com.br/produtos/clp-de-medio-porte-serie-as/>, 7/3/2024, 2024.
- [31] IndiaMART, *Aluminium Industrial Air Blower*, <https://m.indiamart.com/proddetail/aluminium-industrial-air-blower-18401273048.html>, 7/3/2024, 2024.
- [32] V. M. N. Rojas, *Metodología de la Investigación: diseño, ejecución e informe*. Ediciones de la U, 2021.
- [33] J Andrade Almeida, J Rivera García, G. Chire Fajardo y M. Ureña Peralta, «Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao Theobroma cacao L. de Ecuador y Perú,» *Enfoque UTE*, vol. 10, n.º 4, págs. 1-12, 2019.

ANEXO A
CONEXIONES ELÉCTRICAS



Figura 50. Conexiones del tablero, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 51. Autor trabajando en el tablero, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 52. Autores trabajando en conexiones, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 53. Conexiones de resistencias, por M. Granados y M. Vásquez.

ANEXO B
ESTRUCTURA



Figura 54. Corte en plancha de acero inoxidable de grado alimenticio, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 55. Soldadura del serpentín de cobre al tanque de acero inoxidable, por M. Granados y M. Vázquez.



Figura 56. Reparación de motor, por M. Granados Y M. Vásquez



Figura 57. Blower conectado al tubo de resistencias, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 58. Soldadura del tubo de cobre que alimenta de aire caliente al tanque, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 59. Tanque interno con perforaciones y soporte, por M. Granados y M. Vásquez.

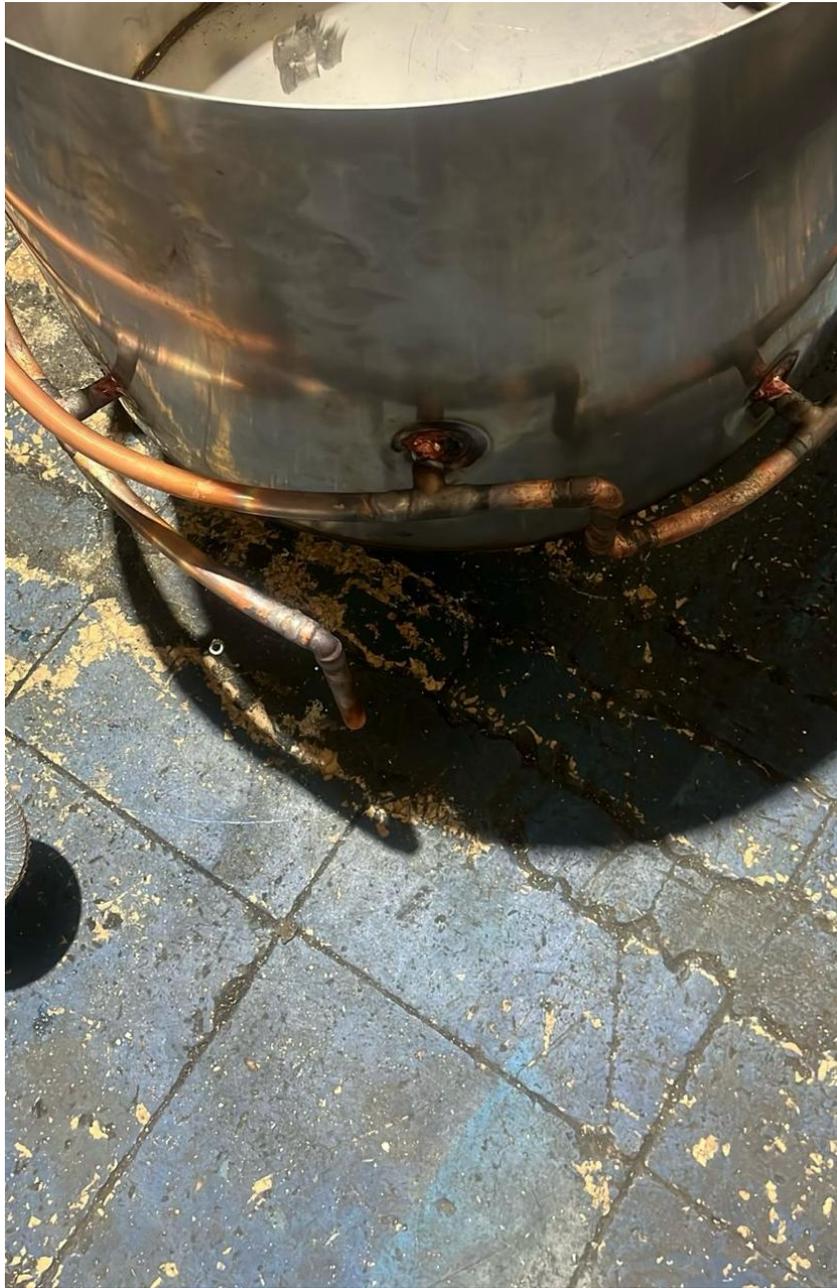


Figura 60. Serpentín soldado al tanque interno, por M. Granados y M. Vásquez.



Figura 61. Agitador en proceso de secado, por M. Granados y M. Vásquez.

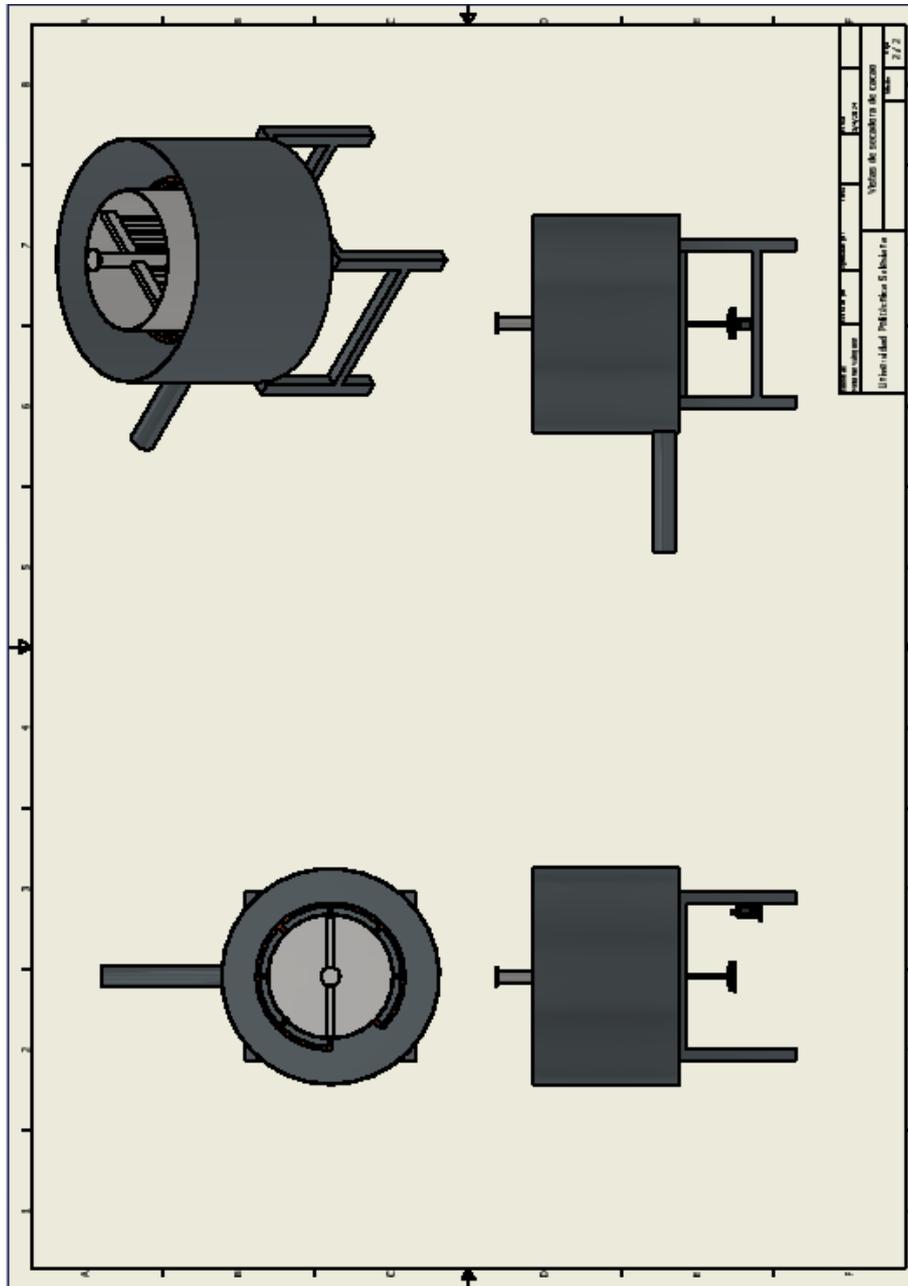


Figura 62. Vistas isométricas del prototipo, por M. Granados y M. Vásquez.