UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR HUMEDAD Y TIEMPO DE SECADO DEL CACAO EN LA CHOCOLATERIA EL TABLON – CHIRINOS, 2025

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO

PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autores : Egre. Danfer Kennedy Tapia Campos

Egre. Eisner Jair Sánchez Córdova

Asesor : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon

Línea de investigación: Automatización y control industrial

JAÉN – PERÚ

2026

Tapia Campos Danfer K. Y Sánchez Córdova Eisner J.

DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR HUMEDAD Y TIEMPO DE SECADO DEL CACAO EN LA CHOCOL...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3646388358

Fecha de entrega
11 sep 2026, 12:43 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
11 sep 2026, 12:51 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME_FINAL_-_Eisner_Jair_Snchez_Cordova.pdf

Tamaño del archivo
3.2 MB

63 páginas

10.993 palabras

61.720 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Mariení Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

Scanned with CamScanner

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

2%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
1%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Texto oculto
9 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

Scanned with CamScanner

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día jueves 09 de setiembre del 2026, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Secretario : Mg. José Andrés Fernández Mera
Vocal : Mtro. Marco Luis Pérez Silva

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

( ) Trabajo de Investigación
(X) Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR HUMEDAD Y TIEMPO DE SECADO DEL CACAO EN LA CHOCOLATERÍA EL TABLÓN – CHIRINOS, 2025"**.

Presentado por los bachilleres: **Danfer Kennedy Tapia Campos** y **Eisner Jair Sánchez Córdova,** de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	(17)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.

Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Presidente Jurado Evaluador

Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario Jurado Evaluador

Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Vocal Jurado Evaluador

Scanned with CamScanner

"AÑO DE LA ESPERANZA Y EL FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA"

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, DANFER KENNEDY TAPIA CAMPOS Y EISNER JAIR SANCHEZ CORDOVA, egresados de la carrera Profesional de INGENIERIA MECÁNICA Y ELECTRICA de la Facultad de INGENIERIA MECÁNICA Y ELECTRICA de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N° 72145953 y 74288026 respectivamente.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado: DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR HUMEDAD Y TIEMPO DE SECADO DEL CACAO EN LA CHOCOLATERÍA EL TABLON – CHIRINOS, 2025.

   Asesorado por Dr Edwin Carlos Lenin Felix Poicon.
   El mismo que presento bajo la modalidad de Bachiller para optar; el Título Profesional de INGENIERO MECÁNICO Y ELECTRICISTA.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

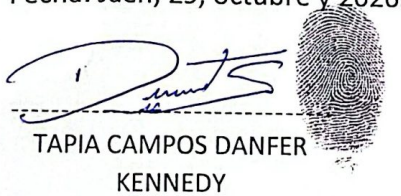
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 29, octubre y 2026.



TAPIA CAMPOS DANFER
KENNEDY



SÁNCHEZ CORDOVA
EISNER JAIR

Scanned with CamScanner

ÍNDICE

ÍNDICE ii
RESUMEN 5
ABSTRAC 6
I. INTRODUCCIÓN 7
II. MATERIAL Y MÉTODOS 16
2.1. Tipo de investigación 16
2.2. Tipo de enfoque 16
2.3. Procedimiento de recolección de datos 16
2.4. Método de la investigación 17
2.5. Diagrama de flujo 18
2.6. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos 19
III. RESULTADOS 20
3.1 Identificar con precisión los métodos tradicionales de fermentación y tiempo de secado, para establecer parámetros óptimos que mejoren la calidad del cacao en la Chocolatería El Tablón Chirinos. 20
3.1.1. Levantamiento de datos de la empresa 20
3.1.2. Determinación de los componentes principales de la máquina 22
3.1.3. Determinación del volumen útil de cacao a secar 26
3.1.4. Determinación de la ocupación real del volumen útil y de la humedad a remover del lote 28
3.2 Diseñar un sistema automatizado validando la uniformidad térmica y el flujo de aire mediante simulación CFD en ANSYS, y estableciendo el lazo de control mediante PLC, sensores y HMI para la regulación precisa del proceso. 30
3.2.1 Dimensionamiento geométrico, térmico y de flujo del sistema 30
3.3 Calcular la viabilidad económica del sistema automatizado mediante los indicadores de Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), determinando su rentabilidad en la Chocolatería El Tablón- Chirinos. 40
3.3.1. Determinación de la producción anual de cacao 40
3.3.2. Determinación del consumo anual de bidones de GLP 41

3.3.3. Evaluación del VAN 41
3.3.4. Evaluación de la TIR 42
IV. DISCUSIÓN 43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 44
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46
AGRADECIMIENTO 50
DEDICATORIA 51
ANEXOS 52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo del sistema automatizado de secado de cacao..... 18
Figura 2 Contenedor..... 23
Figura 3 Plancha circular perforada 23
Figura 4 Removedor..... 24
Figura 5 Motoreductor..... 25
Figura 6 Sistema de energía térmica 26
Figura 7 Volumen útil de cacao a secar..... 27
Figura 8 Trazados de calidad de malla..... 35
Figura 9 Análisis térmico del contenedor..... 36
Figura 10 Vista isométrica del contenedor en estudio térmico 37
Figura 11 Diagrama Ladder del circuito de mando temporizado para el accionamiento cíclico del motorreductor..... 38
Figura 12 Circuito de potencia y conexionado del motorreductor monofásico con PLC . 38
Figura 13 Esquema general de conexión del sistema de control mediante PLC S7-1200 39
Figura 14 Cultivo del cacao criollo 52
Figura 15 Cosecha y selección de frutos sanos 52
Figura 16 Extracción manual de granos de cacao 53
Figura 17 Remoción del cacao 53
Figura 18 Área de fermentación del cacao en la empresa..... 54
Figura 19 Área de secado del cacao 54
Figura 20 Evidencia de problemas en el proceso tradicional: Espera de secado del cacao para secar el próximo lote..... 55
Figura 21 Área disponible para la instalación del sistema automatizado de secado 55
Figura 22 Plano de ubicación de la chocolatería..... 56
Figura 23. Plano de montaje de la máquina 57
Figura 24. Plano de detalle de la estructura de soporte base 58
Figura 25. Plano de detalle del contenedor 59
Figura 26. Plano de detalle de la plancha circular perforada 60
Figura 27. Plano de detalle del removedor..... 61
Figura 28. Plano de ensamble de la máquina secadora de cacao 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores característicos de los VMP 20
Tabla 2 Matriz de registro de variables 21
Tabla 3 Ficha de registro parámetros de calidad 22

RESUMEN

La fermentación y el secado constituyeron etapas críticas en la poscosecha del cacao, debido a que de ellas dependieron la reducción de humedad, la conservación del grano y su calidad comercial. En la Chocolatería El Tablón – Chirinos, el secado tradicional se desarrolló con una humedad inicial de 18 % a 20 %, una humedad final requerida de 7.5 %, un tiempo promedio de 7 días, una temperatura ambiente de 24 °C y una humedad relativa de 42 %, evidenciando limitaciones de control y dependencia climática. Ante ello, el proyecto planteó el diseño de un sistema automatizado para mejorar la humedad final y reducir el tiempo de secado del cacao. El dimensionamiento determinó un volumen útil de 0.3927 m^3, una ocupación real de 31.83 % para un lote de 75 kg y una masa de agua a remover de 10.13 kg por lote. El análisis térmico estableció un área útil de transferencia de 0.7697 m^2, una energía ideal de 6.35 kWh, una energía real de 8.58 kWh/lote y una potencia de flama de 3.58 kW, empleando un bidón de GLP de 10 kg. El sistema operó con ciclos de 1 minuto encendido y 30 minutos apagado, alcanzando en 4 horas una humedad final de 7.5 %. Económicamente, presentó una producción anual de 8400 kg, consumo de 13 bidones/año, costo anual de S/ 585.00 y TIR mayor al 10 %.

Palabras clave: Secado de cacao, PLC, humedad final, transferencia de calor.

ABSTRACT

Fermentation and drying were critical stages in the post-harvest processing of cocoa, as they determined moisture reduction, bean preservation, and commercial quality. At the El Tablón – Chirinos Chocolate Factory, traditional drying was carried out with an initial moisture content of 18% to 20%, a required final moisture content of 7.5%, an average duration of 7 days, an ambient temperature of 24 °C, and a relative humidity of 42%, highlighting limitations in control and dependence on weather conditions. In response, the project proposed the design of an automated system to improve the final moisture content and reduce cocoa drying time. The sizing determined a usable volume of 0.3927 m^3, an actual occupancy of 31.83% for a 75-kg batch, and a water mass to be removed of 10.13 kg per batch. The thermal analysis established a useful heat transfer area of 0.7697 m^2, an ideal energy consumption of 6.35 kWh, an actual energy consumption of 8.58 kWh per batch, and a flame power of 3.58 kW, using a 10-kg LPG cylinder. The system operated in cycles of 1 minute on and 30 minutes off, reaching a final moisture content of 7.5% in 4 hours. Economically, it yielded an annual production of 8,400 kg, consumed 13 cylinders per year, had an annual cost of S/ 585.00, and achieved an IRR greater than 10%.

Keywords: Cocoa drying, PLC, final moisture content, heat transfer.

I. INTRODUCCIÓN

La fermentación del cacao busca generar cambios bioquímicos en los granos que determinan su color, aroma y sabor. Si este proceso no se realiza adecuadamente, los granos resultan amargos, ácidos y no desarrollan el gusto característico del chocolate. Después de la fermentación, el secado constituye una etapa fundamental, ya que permite eliminar el exceso de humedad presente en los granos de cacao. Al finalizar la fermentación, las almendras contienen entre un 50 % y 56 % de humedad, la cual debe reducirse a un rango de 7 % - 8 % para asegurar una adecuada conservación y evitar la aparición de hongos. Si la humedad es menor del 6 %, los granos se vuelven frágiles; pero si el secado es insuficiente, los granos pueden contaminarse con micotoxinas como la ocratoxina, perjudicial para la salud humana (Peñaherrera, 2021).

En Ecuador especialmente en la comunidad de Bucay, los pequeños productores de cacao enfrentan problemas durante el secado tradicional, debido a factores expuestos como la lluvia, el polvo y el tiempo de secado. Estas condiciones naturales alargan el proceso de secado y reducen la calidad del grano. La radiación solar excesiva altera las propiedades como el aroma, color y sabor del cacao, influyendo en la calidad del producto. Para contrarrestar esta situación, el proyecto INEDITA diseñó un secador híbrido bajo techo que busca mejorar la eficiencia y calidad del proceso. Sin embargo, su operatividad aún depende del control manual de equipos como ventiladores, resistencias y extractores que regulan la temperatura y la humedad dentro de la cámara de secado, lo que limita su funcionamiento continuo y uniforme (Calderón & Medina, 2021).

En el Perú, la Amazonía peruana alberga una gran diversidad genética de cacao, considerado uno de los cultivos más importantes del país. En 2017, la producción alcanzó 120 toneladas, impulsada por los buenos precios y la demanda de cacao orgánico y de origen. Para mantener su calidad, se utilizan diferentes métodos de fermentación y secado, como cajones, sacos, rumas o secadores solares de distintos materiales. Sin embargo, muchos productores, especialmente los de menor escala, desconocen los parámetros técnicos adecuados de poscosecha, lo que afecta el rendimiento y la calidad del grano, limitando su comercialización (Gutierrez et al., 2022)

En el distrito de Chirinos, los productores de cacao enfrentan dificultades para alcanzar un proceso de secado eficiente y controlado, debido a la utilización de métodos tradicionales que dependen de las condiciones climáticas, demandan gran cantidad de mano de obra y carecen de mecanismos que regulen la temperatura y la humedad durante el proceso. Esta situación provocará pérdidas en la calidad del grano, variaciones en la humedad final y un aumento en el tiempo de secado, afectando directamente la rentabilidad y competitividad de los productores locales. Ante esta problemática, se propondrá el diseño de un sistema automatizado que permitirá regular las variables de temperatura y humedad con mayor precisión, logrando optimizar el tiempo de secado y garantizar un producto con mejores condiciones de calidad. Po tanto se planteó la siguiente interrogante:

¿De qué manera el diseño de un sistema automatizado puede contribuir a mejorar la humedad final y reducir el tiempo de secado del cacao en la Chocolatería El Tablón, Chirinos durante el año 2025?

(Tevata et al., 2025) en su investigación realizado tuvo como objetivo "Analizar la influencia de parámetros controlados, como la temperatura y la velocidad del aire, en el rendimiento del secado de granos de cacao utilizando un secador con bomba de calor". Se trabajó con un kilogramo de granos fermentados con una humedad inicial de 142,42 % (base seca) y se evaluaron temperaturas de 40, 50 y 60 °C, junto con velocidades del aire de 1,5; 3,5 y 5,5 m/s en un sistema de aire cerrado, del cual el 60 % fue recirculado. El proceso se desarrolló hasta alcanzar una humedad final de 6,09 %. Los resultados demostraron que, al incrementar la temperatura y la velocidad del aire, la tasa de secado y el coeficiente de rendimiento del sistema aumentaron, aunque la extracción de humedad específica disminuyó. En cuanto a la calidad del color, se observó una reducción del brillo y del amarilleamiento, mientras que el enrojecimiento del grano se incrementó. Se determinó que las condiciones óptimas se lograron con una temperatura de 40 °C y una velocidad de 1,5 m/s, ya que permitieron obtener la mayor eficiencia en la extracción de humedad y conservar una buena calidad del cacao seco. Este antecedente contribuye al sustento técnico del diseño del sistema automatizado de fermentación, permitiendo

definir parámetros de control como temperatura, humedad y consumo energético, esenciales para garantizar la eficiencia del proceso.

(Granados & Vásquez, 2024) en su estudio plantearon como finalidad general "Desarrollar una secadora de cacao tipo tanque mediante la implementación de un sistema de recirculación de aire con control de temperatura y monitoreo de humedad". Utilizaron una metodología aplicada, con un diseño experimental que incluyó la construcción de un prototipo funcional. La muestra consistió en la implementación del dispositivo en condiciones controladas de laboratorio. Como instrumentos, emplearon un sistema de control PID para la regulación de temperatura, un sensor de humedad y la plataforma Node-RED para el monitoreo en tiempo real. Los resultados indicaron que el sistema permitió mantener una temperatura constante de 45 °C y redujo el tiempo de secado en un 30% en comparación con métodos tradicionales. Se concluyó que la secadora desarrollada mejora la eficiencia del proceso de secado del cacao, asegurando la calidad del grano y reduciendo pérdidas por sobrecalentamiento. La investigación, demuestra que la automatización y el monitoreo permiten optimizar el secado, lo cual servirá de base para aplicar un sistema similar en el secado de granos.

(Gutierrez et al., 2022) en su estudio propusieron como finalidad general "Evaluar las tecnologías de fermentación y secado en granos de cacao tipo CCN-51 y Criollo, considerando su efecto en la calidad y el rendimiento del producto". Se aplicó una metodología experimental con diseño de bloques al azar y un arreglo factorial de tres factores: tipo de cacao, método de fermentación y método de secado, con un nivel de significancia del 5%. La muestra estuvo compuesta por granos de cacao CCN-51 y Criollo, y los instrumentos utilizados fueron fermentadores de cajón y de saco, así como secadores solares de madera y tendales de polipropileno. Los resultados indicaron que la combinación de fermentación en cajón de madera y secado en secadores solares de madera produjo los mejores resultados, alcanzando un 80 % de grado de fermentación en el cacao Criollo. Se concluyó que estas tecnologías permiten optimizar el proceso de postcosecha, asegurando uniformidad, calidad y mayor potencial comercial del cacao. La investigación identifica qué métodos combinados de fermentación y secado permiten

alcanzar mayor calidad del grano, orientando la selección de procesos en el sistema a diseñar.

(Parra et al., 2022) en su trabajo de titulación plantearon como objetivo general "Diseñar un sistema electromecánico portátil para optimizar la fermentación y secado de granos de cacao en la provincia de Los Ríos, Ecuador". Basaron su estudio en una metodología aplicada, de tipo cuantitativa y descriptiva, con un diseño experimental, evaluando a productores locales mediante encuestas como instrumento. La muestra estuvo conformada por 30 agricultores de la zona, quienes proporcionaron información sobre las deficiencias en sus procesos tradicionales. Los resultados mostraron que el 65% de los productores enfrentaba pérdidas significativas en la calidad del grano debido a fermentaciones irregulares y que el 70% reportaba demoras y contaminación en el secado. El prototipo diseñado permitió mejorar la homogeneidad de la fermentación y reducir en un 40% el tiempo de secado. Se concluyó que la implementación de este sistema electromecánico portátil representa una alternativa viable y eficiente para elevar la productividad y competitividad de los pequeños agricultores cacaoteros. El estudio demuestra que la automatización puede mejorar notablemente la eficiencia en pequeños productores, lo cual puede adaptarse a nuevas propuestas locales.

(Naranjos et al., 2021) en su investigación propusieron como objetivo general "Diseñar una secadora rotatoria de cacao con capacidad de 10 lb, que permita determinar la temperatura y el tiempo de exposición al calor necesarios para alcanzar los estándares de calidad del fruto" La investigación utilizó una metodología aplicada, centrada en el diseño y prueba del equipo, determinando los parámetros de secado adecuados. La muestra consistió en granos de cacao evaluados mediante instrumentos de medición de temperatura, tiempo y humedad. Los resultados indicaron que el tiempo de exposición recomendado de 40 a 45 minutos a temperaturas entre 70 °C y 80 °C permitió alcanzar una humedad de 6 % a 8 %, asegurando el aroma fino y la calidad del cacao. Se observó que valores fuera de estos rangos provocaban humedad excesiva o pérdida de aroma. Se concluyó que la secadora rotatoria diseñada garantiza un secado uniforme, mantiene la calidad del cacao y permite cumplir con los estándares requeridos para exportación,

optimizando así el proceso productivo. El estudio permitirá definir parámetros adecuados de temperatura y tiempo para obtener granos con la humedad y calidad requeridas.

(Ackah y Dompey, 2021) El propósito de la investigación fue “Analizar cómo influyen la duración de la fermentación y el tiempo de secado en la calidad de los granos de cacao (Theobroma cacao) durante la temporada de lluvias”. Para ello, se aplicó un diseño factorial 4×3, que combinó cuatro duraciones de fermentación (5, 6, 7 y 8 días) con tres periodos de secado (4, 5 y 6 días), obteniendo 12 tratamientos en total, dispuestos en un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Se evaluaron indicadores de calidad como el número de granos por 100 g, contenido de humedad, moho, color púrpura, pizarrón y porcentaje de pureza. Los resultados mostraron que la combinación de 8 días de fermentación y 6 días de secado permitió alcanzar un contenido de humedad de 5,6 %, inferior al límite máximo recomendado (7,5 %), además de obtener granos con menor presencia de moho (3 %) y con una adecuada proporción de coloración. En términos de rendimiento, el número de granos por 100 g aumentó conforme se prolongaron los periodos de fermentación y secado. En conclusión, el tratamiento de 8 días de fermentación con 6 días de secado al sol resultó ser el más eficiente, logrando un 98 % de pureza en los granos y evidenciando la importancia de controlar parámetros como temperatura, humedad y tiempo para garantizar una calidad superior en la poscosecha del cacao.

(Santoyo, 2025) tuvo como finalidad general “Diseñar y construir un sistema de fermentación mecánica automatizado de cacao para mejorar los estándares de calidad según la Norma Técnica Peruana NTP 208.040:2017”. La investigación fue de enfoque cuantitativo, utilizando un diseño aplicado orientado a la construcción y prueba del prototipo. La muestra consistió en 80 kg de cacao en baba, y los instrumentos fueron el fermentador mecánico construido en acero AISI 304, paletas de remoción, motorreductor de 0,75 HP, medidor de temperatura y temporizador para control automático del proceso. Los resultados indicaron que el fermentador permite alcanzar un 88 % de fermentación en el cacao, con control preciso de temperatura y reducción de la intervención manual. La máquina tiene dimensiones de 60 cm de largo, 35 cm de ancho y 45 cm de altura, con

operación automatizada. Se concluyó que el sistema mejora la eficiencia del proceso de fermentación, asegura la calidad del grano y ofrece una rentabilidad con VAN-TIR del 22 % en un año, favoreciendo la productividad y competitividad de los agricultores. El estudio evidencia que la automatización puede elevar la eficiencia y rentabilidad del proceso de fermentación, base importante para el diseño de equipos locales.

(Acuña, 2024) se planteó como finalidad general "Diseñar una máquina capaz de reducir la humedad de los granos hasta 8 % de manera uniforme". La metodología fue aplicada, realizando el diseño mecánico del tambor, sistema de aire caliente y control de temperatura con PLC. La muestra consistió en 60 kg de granos de cacao previamente fermentados, evaluados con medición de humedad y temperatura. Los resultados mostraron que con aire a 55 °C y tambor a 30 RPM se logró la humedad objetivo de 8 %. Se concluyó que la secadora optimiza el secado, asegurando uniformidad, eficiencia energética y control preciso de temperatura, cumpliendo los objetivos planteados. La investigación es útil como referencia para integrar control automático en el secado, asegurando homogeneidad y eficiencia.

(Briones, 2022) en su estudio propuso como finalidad general "Diseñar una máquina fermentadora de acero inoxidable con capacidad de 450 kg que permita realizar la remoción automática del grano y mantener sus propiedades naturales, optimizando el proceso de fermentación en empresas de cacao". Basado en una metodología aplicada, se utilizó el diseño de elementos de máquinas y referencias de diseños anteriores. La muestra consistió en granos de cacao en proceso de fermentación, y el instrumento fue el prototipo de la máquina con medición de potencia, velocidad y seguridad estructural. Los resultados indicaron que la máquina opera con un motorreductor de 2,6 kW a 15,7 RPM, un eje de 50 mm, cinco paletas de 1 cm de espesor y cámara hexagonal de 1,2 m de longitud. El análisis estático mostró factores de seguridad de 1,4 en el eje, 2,35 en las paletas y 15,5 en la estructura. El análisis financiero arrojó un TIR de 36 %. Se concluyó que el diseño asegura eficiencia en la fermentación, mantiene la calidad del grano y ofrece rentabilidad para las empresas. El estudio será útil para el diseño estructural y funcional de equipos que soporten grandes cargas y mantengan la calidad del grano durante la fermentación.

La justificación del estudio se formuló desde las dimensiones social, tecnológica, económica y ambiental.

Justificación Social

La ejecución del presente proyecto permitirá que los productores del distrito de Chirinos cuenten con un sistema automatizado para la fermentación y secado de granos de cacao. Este sistema aplicará principios de control y monitoreo de procesos para mantener condiciones adecuadas de temperatura y humedad durante toda la etapa poscosecha. En este ámbito este desarrollo favorecerá a un 70 % de las familias productoras al posibilitarles un aumento de sus ingresos, fortaleciendo su estabilidad económica y promoviendo el desarrollo sostenible de la comunidad.

Justificación Económico

El presente proyecto se justificará, con una viabilidad económica del proyecto se sustenta en el análisis del costo-beneficio frente al actual escenario de precios históricos del cacao y la necesidad de optimizar los costos operativos en la zona de Chirinos. En el mercado local de Cajamarca, esto se traduce en precios al productor que oscilan entre S/. 25.00 y S/. 35.00 por kg de cacao seco. Sin embargo, este precio máximo solo se paga por grano con defectos menores al 3% (Grado 1). Es por ello, que este sistema automatizado garantiza la obtención de cacao Grado 1 al eliminar la proliferación de hongos por humedad excesiva. Esto permite acceder a un diferencial de precio estimado de +10% a +15% respecto al cacao corriente (con defectos de secado), lo que representa un ingreso adicional directo de aproximadamente S/. 3.00 a S/. 4.00 por kg comercializado. Así mismo, sobre la reducción de costos operativos, teniendo en cuenta que, un jornal agrícola promedio en la zona (aprox. S/. 50.00/día), el costo de mano de obra para el secado manual es intensivo. La automatización reduce la intervención humana a solo carga, descarga y supervisión puntual, disminuyendo las horas-hombre dedicadas al secado en un estimado del 70%. Si la Chocolatería procesa, por ejemplo, 1 tonelada semanal, el ahorro proyectado en mano de obra operativa anual supera los S/. 12,000, monto que contribuye directamente al flujo de caja para amortizar la inversión. En la selva alta (Chirinos), las pérdidas por lluvias repentinas o falta de sol durante la cosecha principal

pueden alcanzar entre el 15% y 20% de la producción debido a la aparición de moho (Ochratoxin A) y germinación no deseada, sin embargo, al reducir el tiempo de secado de ~120 horas (solar) a aproximadamente 24-30 horas (automatizado) y eliminar la dependencia climática, se proyecta reducir la merma a menos del 2%.

Justificación Tecnológica

La justificación tecnológica del proyecto se basará en el diseño y desarrollo de un sistema automatizado sustentado en principios de ingeniería mecánica, electrónica y de control. Este enfoque técnico-científico permitirá regular con precisión las variables que intervienen en la fermentación y secado del cacao, garantizando resultados uniformes y reproducibles. El sistema integrará componentes tecnológicos adaptables a las condiciones del campo, garantizando la fermentación en un aproximado de 8 horas mientras que el secado en 6 horas adicionales con la finalidad de reducir la humedad 7%. Con ello, se promoverá la aplicación de una tecnología moderna que impulsará la eficiencia del procesamiento del cacao y contribuirá a la modernización de las prácticas agrícolas en el distrito de Chirinos.

Justificación Ambiental

El proyecto considerará el impacto ambiental del proceso de secado del cacao, ya que se buscará implementar un sistema automatizado que optimizará el uso de energía y reducirá las emisiones contaminantes generadas por los métodos tradicionales. Desde el punto de vista técnico - científico, se emplearán estrategias de control térmico y eficiencia energética que permitirán un funcionamiento sostenible del sistema. De esta forma, se contribuirá a la conservación del entorno natural, se disminuirá la huella ecológica de la producción cacaotera y se fomentarán prácticas responsables que asegurarán la disponibilidad de los recursos para las futuras generaciones.

1.1. Objetivo general

El objetivo general fue: Diseñar un sistema automatizado que permita mejorar la humedad y el tiempo de secado del cacao en la Chocolatería El Tablón, Chirinos.

1.2. Objetivos específicos

Para el cumplimiento de este propósito, los objetivos específicos consistieron en:

- Identificar con precisión los métodos tradicionales de fermentación y tiempo de secado, para establecer parámetros óptimos que mejoren la calidad del cacao en la Chocolatería El Tablón Chirinos.
- Diseñar un sistema automatizado validando la uniformidad térmica y el flujo de aire mediante simulación CFD en ANSYS, y estableciendo el lazo de control mediante PLC, sensores y HMI para la regulación precisa del proceso.
- Calcular la viabilidad económica del sistema automatizado mediante los indicadores de Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), determinando su rentabilidad en la Chocolatería El Tablón- Chirinos.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, porque se centró en la utilización de conocimientos ya existentes en ingeniería mecánica y automatización para resolver un problema concreto de los productores de cacao, con el fin de mejorar la eficiencia y la calidad del producto. De acuerdo con Ramírez et al. (2023), la investigación aplicada se enfocó en la aplicación de conocimientos y principios científicos para resolver problemas específicos en un determinado campo o industria.

2.2. Tipo de enfoque

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se trabajó con datos numéricos que permitieron sustentar el diseño del sistema automatizado para optimizar la fermentación y el secado de granos de cacao en el distrito de Chirinos. Zúñiga et al. (2023) señalaron que la investigación cuantitativa utilizó la recolección y el análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis previamente establecidas, confiando en la medición numérica y el análisis estadístico.

2.3. Procedimiento de recolección de datos

1. Se realizó la observación directa del proceso tradicional de fermentación y secado del cacao en la Chocolatería El Tablón – Chirinos, con la finalidad de identificar las condiciones reales de operación y las limitaciones del método empleado en la empresa.
2. Se efectuó el levantamiento de información técnica relacionada con la capacidad de procesamiento, tipo de secado, número de operarios, área de trabajo y secuencia operativa del proceso productivo, con el propósito de establecer la base técnica para el diseño del sistema automatizado.
3. Se registraron las variables de operación del proceso, tales como masa del lote de cacao, humedad inicial, humedad final requerida, tiempo de secado,

temperatura y condiciones de trabajo, a fin de obtener los parámetros necesarios para el dimensionamiento del sistema.

4. Se recopilaron los criterios de calidad del cacao mediante revisión de la información técnica disponible, considerando parámetros como porcentaje de fermentación, coloración del grano, presencia de impurezas, hongos y contenido máximo de humedad permitido.
5. Se aplicó el análisis documental para complementar la información recolectada en campo, revisando bibliografía, antecedentes técnicos y fundamentos de ingeniería vinculados al secado de cacao, transferencia de calor, automatización y evaluación económica.
6. Se organizaron y sistematizaron los datos recolectados mediante fichas de registro y tablas técnicas, lo que permitió consolidar la información de entrada para los cálculos de humedad a remover, requerimiento térmico, dimensionamiento geométrico y selección de componentes del sistema.
7. Se empleó la información obtenida como base del diseño para formular la propuesta del sistema automatizado, validar la uniformidad térmica y el flujo de aire mediante simulación CFD, y evaluar posteriormente la viabilidad económica del proyecto.

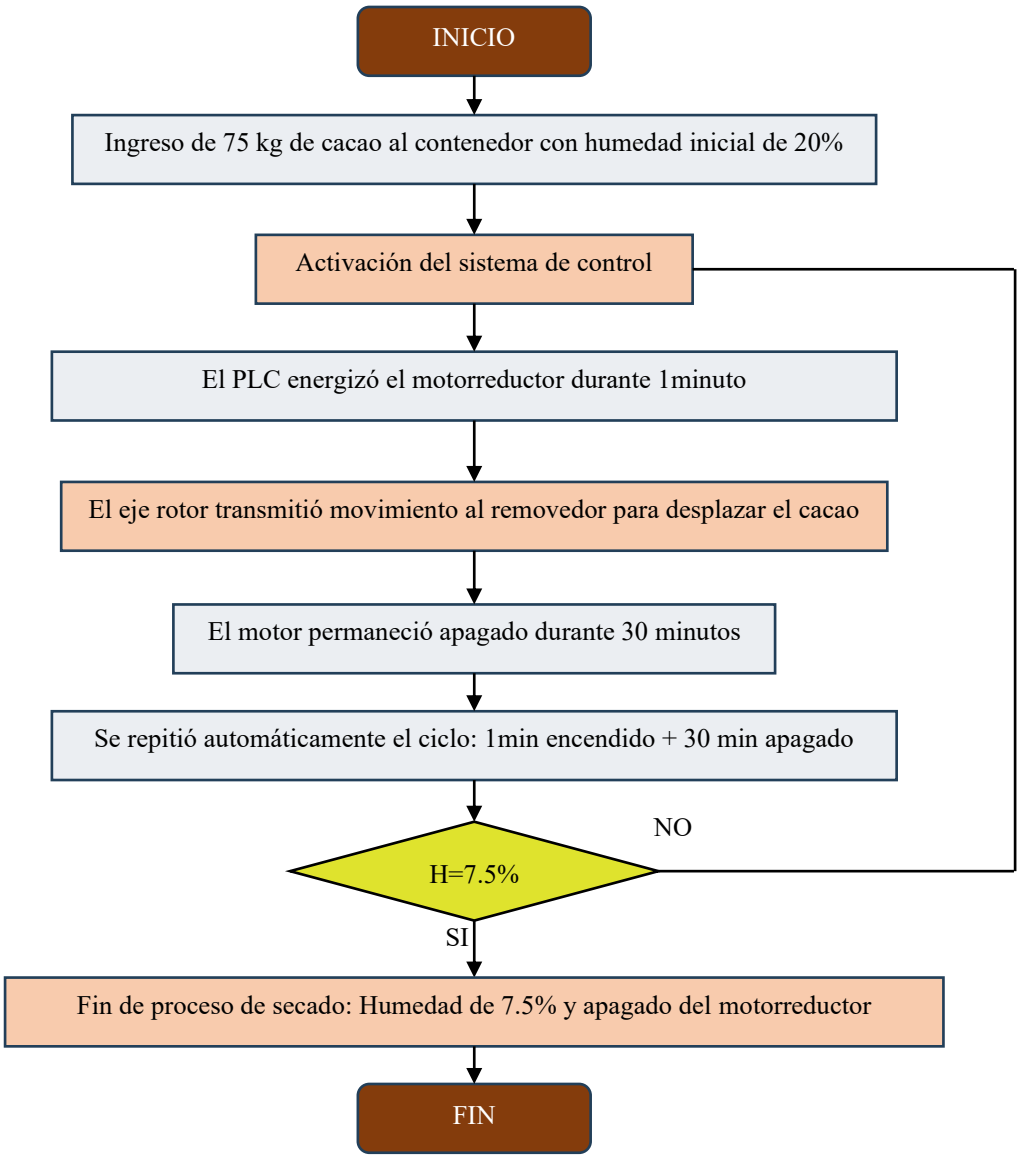
2.4. Método de la investigación

El método empleado en esta investigación fue el deductivo, debido a que se partió de principios generales, fundamentos de ingeniería y normas técnicas relacionadas con los procesos de fermentación y secado de cacao, para posteriormente aplicarlos al diseño específico de un sistema electromecánico portátil orientado a optimizar dichos procesos en el distrito de Chirinos. En este sentido, Hernández Sampieri et al. (2014) señalaron que el método deductivo consistió en partir de teorías o leyes generales para aplicarlas al análisis y explicación de casos particulares.

2.5. Diagrama de flujo

Figura 1

Diagrama de flujo del sistema automatizado de secado de cacao



Nota. Elaboración propia

2.6. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Técnicas

a) Observación directa

Se utilizó para registrar las condiciones actuales de fermentación y secado, así como para verificar la eficiencia del prototipo en comparación con los métodos tradicionales.

b) Análisis documental

Para organizar y sistematizar la información recolectada, se empleó las fichas de registro: Se utilizaron para sistematizar la información obtenida durante la observación directa y el análisis documental.

III. RESULTADOS

3.1. Identificar con precisión los métodos tradicionales de fermentación y tiempo de secado, para establecer parámetros óptimos que mejoren la calidad del cacao en la Chocolatería El Tablón Chirinos.

Se identificó que el proceso tradicional del cacao en la Chocolatería El Tablón comprendió las etapas de cosecha selectiva, selección de frutos sanos, extracción manual de granos de cacao, fermentación, remoción, secado, medición de humedad, selección final (Anexos, figura 14 - 20).

3.1.1. Levantamiento de datos de la empresa

La tabla 1, presentó las características generales del proceso productivo de la empresa relacionadas con el secado del cacao. Se consignó la producción promedio por lote, la frecuencia con la que se realizó el secado, el tipo de secado empleado, el área destinada a esta operación y el número de operarios involucrados. Esta información permitió conocer las condiciones actuales de trabajo en la empresa y establecer una base referencial para el planteamiento del sistema de secado.

Tabla 1

Valores característicos de los VMP

Parámetro	Valor	Unidad
Producción promedio por lote	7kg × planta al año Área de produccion: 1 hectarea, que contiene 1200 plantas	-
Frecuencia de secado	☐ Diario ☒ Semanal ☐ Eventual	-
Tipo de secado actual	☒ Solar ☐ Artesanal ☐ Mixto	-
Área destinada al secado	7 × 9	m²
Número de operarios	8	personas

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 2, se reunió las variables técnicas necesarias para evaluar el proceso de secado del cacao. Se incluyeron parámetros como la masa inicial, humedad inicial, humedad final, tiempo de secado, temperatura ambiente, humedad relativa y masa final del cacao seco, así como los instrumentos utilizados para su medición. El registro de estas variables permitió cuantificar el comportamiento del proceso y disponer de datos objetivos para el análisis del secado y el diseño del sistema propuesto.

Tabla 2

Matriz de registro de variables

N°	Variable	Símbolo	Valor	Unidad	Instrumento
1	Masa inicial de cacao	m_0	70	kg	Balanza
2	Humedad inicial	H_i	18 -20	%	Higrómetro
3	Humedad final	Hf	7.5	%	Higrómetro
4	Tiempo de secado	t	7	días	Cronómetro
5	Temperatura ambiente	T	24	°C	Termómetro
6	Humedad relativa ambiente	HR	42	%	Higrómetro
7	Masa final secede	mf	-	kg	Balanza

Fuente. Elaboración propia

La tabla 3, estableció los criterios de calidad requeridos para clasificar el cacao como grado 1. Se incluyeron parámetros físicos y organolépticos como color, calibre, porcentaje de fermento, granos violáceos, pizarrosos, impurezas, presencia de hongo, humedad y olor.

Tabla 3

Ficha de registro parámetros de calidad

N.°	Parámetro	Cacao de calidad grado 1
1	Color	Marrón uniforme
2	Calibre	Máx. 100 granos / 100 g
3	Fermento	Mínimo 80 %
4	Violáceos	Máximo 15 %
5	Pizarrosos	Máximo 5 %
6	Impurezas	Máximo 5 %
7	Hongo	0%
8	Humedad	Máximo 7.5 %
9	Olor a chocolate, libre de olores extraños	—

Fuente. Elaboración propia, tomado de datos de la empresa CHOCOLATERIA EL TABLON – CHIRINOS.

3.1.2. Determinación de los componentes principales de la máquina

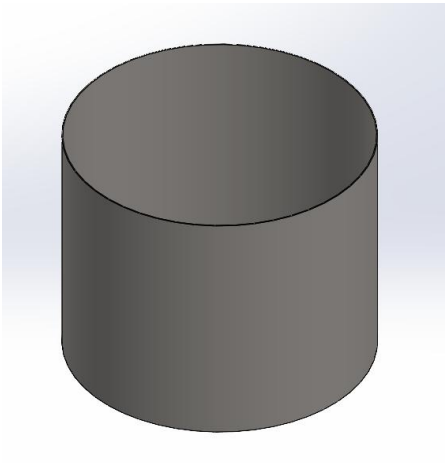
A partir de la tabla 2, se tomó como referencia una carga de trabajo de 75 kg de cacao húmedo, procesada en un contenedor cilíndrico fabricado en AISI 304, con 1000 mm de diámetro y 800 mm de altura. El equipo estuvo compuesto por estructura de soporte base, eje rotor, contenedor, plancha circular perforada, removedor, motoreductor, quemador, dos hornillas, caja de control, válvula de paso GLP, manguera de unión y balón de gas de 10 kg.

- **Contenedor**

  El contenedor alojará el cacao durante el proceso de secado. Material en acero inoxidable AISI 304, con diámetro exterior de 1000.00 mm, espesor de 3mm y altura de 800.00 mm.

Figura 2

Contenedor



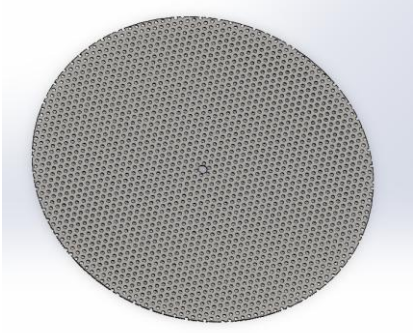
Fuente. Elaboración propia

- **Plancha circular perforada**

  Superficie perforada adecuada para sostener el cacao y favorecer la circulación del flujo térmico a través del lecho de secado. La pieza correspondió a una plancha circular perforada fabricada en acero inoxidable AISI 304, diseñada como elemento de soporte y paso de aire/calor dentro del sistema de secado. Presentó una geometría circular con radio de 495.00 mm, equivalente a un diámetro de 990.00 mm, y un espesor de 3.00 mm.

Figura 3

Plancha circular perforada



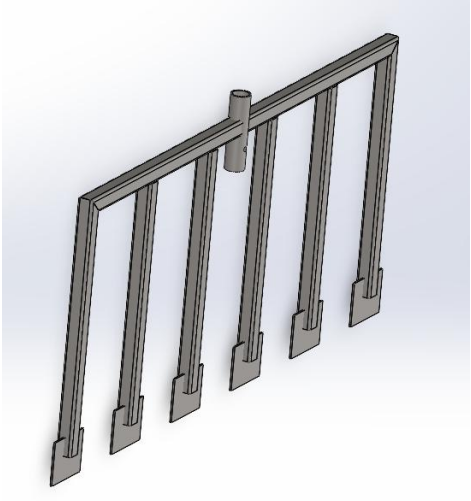
Fuente. Elaboración propia

- **Removedor**

El removedor se diseñó como un elemento mecánico en acero inoxidable AISI 304, con longitud total de 925 mm, altura de 412 mm y espesor de 3.00mm (paletas). Su configuración incluyó un alojamiento central de Ø31.40 mm para su acoplamiento al eje de giro. En el diseño, esta pieza se consideró para favorecer la redistribución del cacao dentro del contenedor, con la finalidad de lograr una exposición homogénea al calor y contribuir al secado uniforme del producto.

Figura 4

Removedor



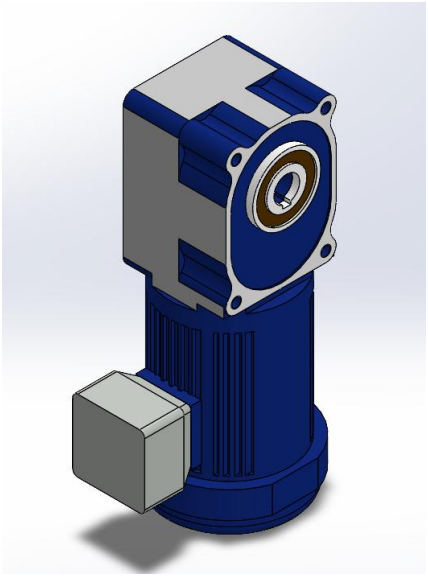
Fuente. Elaboración propia

- **Motorreductor**

El motorreductor se consideró en el diseño como el elemento encargado de transmitir el movimiento al eje de giro del sistema. Su selección respondió, de manera general, a la necesidad de disponer de un accionamiento con baja velocidad de salida y mayor torque, condiciones requeridas para producir una rotación controlada del mecanismo removedor.

Figura 5

Motoreductor



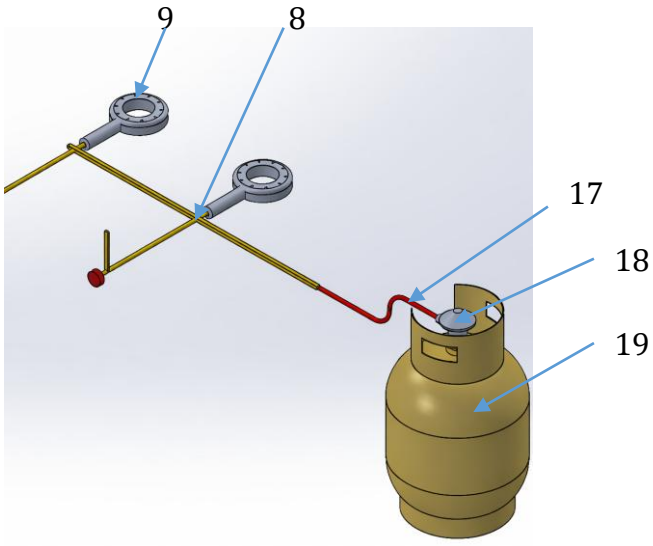
Fuente. Elaboración propia

- **Sistema de energía térmica**

El sistema conformado por el quemador (8), la hornilla (9), la manguera de unión (17) y la válvula de paso de GLP (18) se consideró en el diseño como el conjunto de suministro y regulación de energía térmica del equipo. De manera general, su incorporación permitió plantear una fuente de calor controlada y continua para el proceso de secado, asegurando la conducción del GLP desde el cilindro (19) hacia la hornilla y la generación de calor en la cámara inferior. En el diseño, este sistema se seleccionó por su simplicidad constructiva, facilidad de integración y capacidad de proporcionar calentamiento uniforme al interior del secador.

Figura 6

Sistema de energía térmica



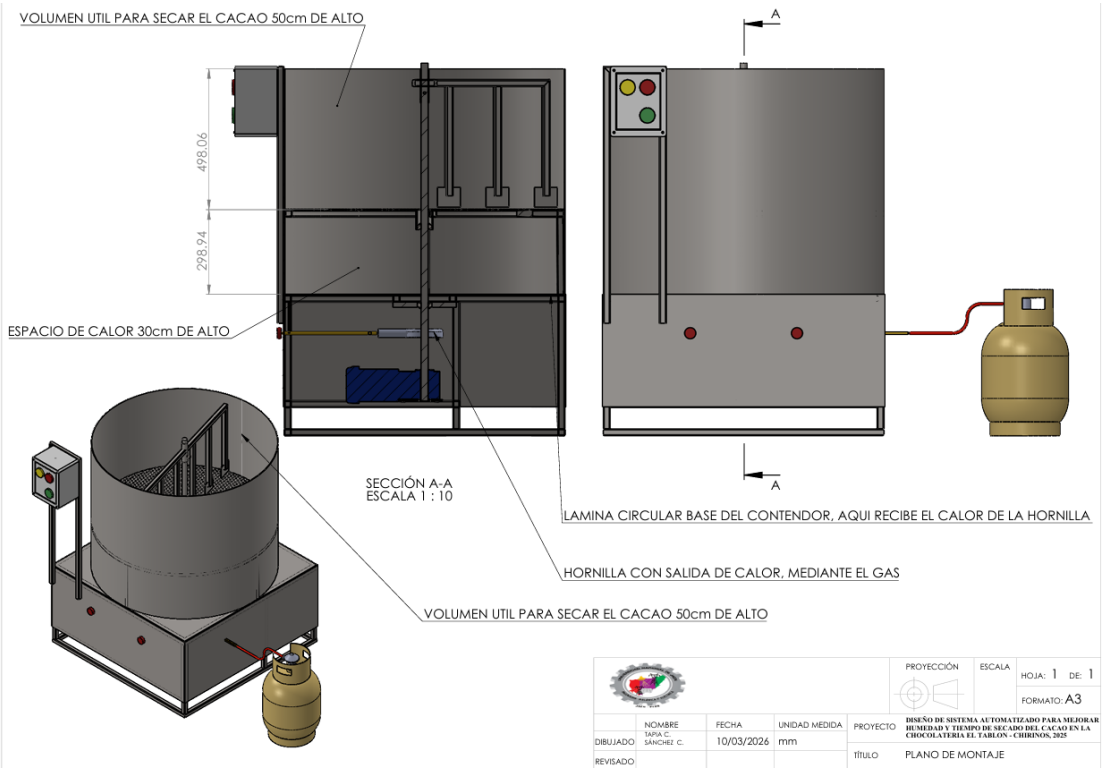
Fuente. Elaboración propia

3.1.3. Determinación del volumen útil de cacao a secar

En la figura 6, la máquina presentó dos zonas funcionales claramente definidas: una zona superior correspondiente al volumen útil para secar el cacao de 50 cm de alto, y una zona inferior correspondiente al espacio de calor de 30 cm de alto, donde se ubicó la hornilla que suministró la energía térmica al sistema. Asimismo, en la sección A-A se indicó una distancia de 498.06 mm desde el borde superior del contenedor hasta la lámina circular base, valor coherente con la altura útil nominal de secado, y una distancia de 298.94 mm para el espacio de calor.

Figura 7

Volumen útil de cacao a secar



Fuente. Elaboración propia

Con base en ello, el volumen útil geométrico del cacao a secar se calculó mediante la ecuación del volumen de un cilindro:

$$V_u = \pi r^2 h$$

Valores asumidos, que se muestran en los planos de fabricación,

V_u: volumen útil de secado (m^3)

$r = 0.50$:radio interno del contenedor (m)

$h = 0.50$: altura útil del cacao (m)

Luego se obtuvo:

$$V_u = 0.3927\ m^3$$

Por tanto, el volumen útil total de la cámara de secado fue de 0.3927 m³, equivalente a 392.7 L. Este valor representó el volumen geométrico disponible para alojar el cacao durante el secado, constituyendo el parámetro correcto para el dimensionamiento del sistema. En términos funcionales, esta configuración permitió separar físicamente la cámara de calentamiento de la cámara de secado, favoreciendo el ascenso del calor desde la zona inferior hacia el volumen útil de cacao.

3.1.4. Determinación de la ocupación real del volumen útil y de la humedad a remover del lote

Definido el volumen útil de secado, se procedió a estimar la ocupación real del cacao dentro del contenedor. Para ello, se consideró la masa de trabajo de 75 kg de cacao húmedo y una densidad aparente de 600 kg/m³, valor adoptado como aproximación técnica de diseño, considerando que la FAO reporta una densidad aparente de 635 kg/m³ para cacao en granos secos. En ese sentido, el valor empleado se consideró representativo para el cálculo preliminar del volumen ocupado por el cacao dentro del contenedor (FAO, s. f.).

El volumen real ocupado por el cacao se calculó como:

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

Donde:

V_c: volumen ocupado por el cacao (m^3)

m: masa del cacao (kg)

ρ: densidad aparente del cacao (kg/ m^3)

Reemplazando:

$$V_c = \frac{75}{600} = 0.125\ m^3$$

Luego, el porcentaje de ocupación del volumen útil se obtuvo mediante:

$$\%O = \frac{V_c}{V_u} \times 100$$

$$\%O = \frac{0.125}{0.3927} \times 100 = 31.83\ \%$$

Esto significó que una carga de 75 kg ocupó aproximadamente el 31.83 % del volumen útil total de secado.

A continuación, la altura real del lecho de cacao para esta carga se calculó mediante:

$$h_c = \frac{V_c}{\pi r^2}$$

$$h_c = \frac{0.125}{\pi(0.50)^2}$$

$$h_c = 0.1592\ m$$

Por tanto, la altura real de la cama de cacao fue de 0.159 m, es decir, aproximadamente 15.9 cm. Este resultado indicó que, aunque el contenedor fue diseñado con una altura útil de 50 cm, el lote de 75 kg trabajó con una altura efectiva de producto cercana a 16 cm, condición favorable para la transferencia de calor, la circulación del aire caliente y la acción del removedor interno.

Para el análisis de secado, tomando como base la Tabla 2, en la cual se consignó una humedad inicial de 20 % y una humedad final de 7.5 %. Con ello, la masa seca del cacao se calculó mediante:

$$m_s = m_0(1 - W_i)$$

m_s: masa seca del cacao (kg)

m_0: masa inicial del cacao (kg)

W_i: humedad inicial en base húmeda

Reemplazando:

$$m_s = 75(1 - 0.20)$$

$$m_s = 60.00\ kg$$

Posteriormente, la humedad en base seca se determinó con la expresión:

$$X = \frac{W}{1 - W}$$

Para la condición inicial:

$$X_i = \frac{0.20}{1 - 0.20} = 0.25$$

Para la condición final:

$$X_f = \frac{0.075}{1 - 0.075} = 0.0811$$

Finalmente, la masa de agua a evaporar se obtuvo mediante:

$$m_{ev} = m_s(X_i - X_f)$$

Reemplazando valores:

$$m_{ev} = 60(0.25 - 0.0811)$$

$$m_{ev} = 10.13kg$$

Por lo tanto, para reducir la humedad del lote de cacao desde 20 % hasta 7.5 %, fue necesario remover aproximadamente 10.13 kg de agua por lote.

3.2. Diseñar un sistema automatizado validando la uniformidad térmica y el flujo de aire mediante simulación CFD en ANSYS, y estableciendo el lazo de control mediante PLC, sensores y HMI para la regulación precisa del proceso.

3.2.1 Dimensionamiento geométrico, térmico y de flujo del sistema

El sistema automatizado fue diseñado con un contenedor cilíndrico de AISI 304, una plancha circular perforada de AISI 304 y un removedor interno también de AISI 304, accionado por un motoreductor. El plano de montaje mostró que la fuente térmica estuvo compuesta por hornillas, un quemador, una válvula de paso de GLP, una manguera de unión y un balón de gas de 10 kg. El plano en corte indicó además que la máquina dispone de un volumen útil de secado de 50 cm de alto y un espacio de calor de 30 cm de alto bajo la base del contenedor, donde actúa la hornilla.

- **Determinación de la geometría útil de transferencia térmica**

Se verificó el área de transferencia térmica de la plancha perforada, ya que por ella asciende el calor hacia el cacao. El área geométrica se calculó con:

$$A_t = \pi r^2$$

Con $r = 0.495\ m$

$$A_t = \pi(0.495)^2 = 0.7697\ m^2$$

Por tanto, el área útil de transferencia térmica fue de 0.7697 m², valor adoptado para la aplicación del flujo de calor en la simulación.

- **Determinación de la energía ideal requerida para la evaporación**

Para un lote de 75 kg de cacao, con humedad inicial de 20 % y humedad final de 7.5 %, se consideró una masa de agua a evaporar de 10.13 kg, obtenida en el desarrollo del Objetivo 3.1. La energía ideal de evaporación se calculó con la expresión:

$$Q_{ideal} = m_{ev} \times h_{fg}$$

Donde:

$m_{ev} = 10.13\ kg$

$h_{fg} = 2256\ kj = kg$

Reemplazando datos se obtuvo:

$$Q_{ideal} = 22859.28\ kJ$$

En kW:

$$Q_{ideal} = \frac{22859.28\ kJ}{3600} = 6.35\ kWh$$

En consecuencia, la energía térmica ideal requerida para evaporar la humedad del lote fue de 6.35 kWh.

- **Determinación de la energía térmica real del proceso**

Con la finalidad de incorporar las pérdidas globales del sistema, se consideró un rango de pérdidas de 30 % a 40 %. Por ello, la energía térmica real requerida se calculó de la siguiente manera:

$$Q_{real,min} = 6.35(1.30) = 8.26\ kWh$$

$$Q_{real,max} = 6.35(1.40) = 8.89\ kWh$$

Por tanto, la energía térmica requerida por lote se estableció en el rango de 8.26 a 8.89 kWh, adoptándose como valor medio de diseño 8.58 kWh.

- **Verificación de la capacidad energética del balón de GLP**

Se evaluó la capacidad del sistema térmico considerando un balón de GLP de 10 kg, un poder calorífico inferior de 12.8 kWh/kg y una eficiencia global de 60 %. La energía útil disponible se calculó mediante:

$$E_{util} = m_{GLP} \times PCI \times \eta$$
$$E_{util} = 10 \times 12.8 \times 0.60$$
$$E_{util} = 76.8\ kWh$$

Este resultado indicó que el balón de 10 kg puede suministrar 76.8 kWh útiles, valor superior a la demanda energética por lote.

- **Cálculo del número teórico de lotes por balón de GLP**

El número de lotes que podrían secarse con un solo balón se estimó mediante:

$$n = \frac{E_{util}}{Q_{real}}$$

Para la condición de mayor demanda:

$$n = \frac{76.8}{8.89} = 8.64$$

Para la condición de menor demanda:

$$n = \frac{76.8}{8.26} = 9.30$$

En consecuencia, un balón de 10 kg de GLP puede abastecer aproximadamente entre 8 y 9 lotes de 75 kg de cacao.

- **Cálculo del tiempo de secado del lote**

El tiempo de secado se calculó a partir de la relación entre energía requerida y potencia útil del sistema, adoptando una potencia útil de 2.07 a 2.22 kW. Se utilizó la expresión:

$$t = \frac{Q}{P}$$

Para la condición inferior:

$$t = \frac{8.26}{2.07} = 3.99\ h$$

Para la condición superior:

$$t = \frac{8.89}{2.22} = 4.00\ h$$

Por tanto, se estableció un tiempo de secado de diseño de 4 h/lote, valor adoptado de manera conservadora para absorber variaciones en la distribución del calor y en el flujo de aire.

- **Cálculo de la potencia total de flama requerida**

Dado que la energía media requerida por lote fue de 8.58 kWh y el tiempo de secado adoptado fue de 4 h, la potencia útil requerida se calculó como:

$$P_{útil} = \frac{Q}{t}$$

$$P_{útil} = \frac{8.58}{4} = 2.145$$

Considerando una eficiencia global del sistema de 60 %, la potencia total que debe producir la flama se determinó mediante:

$$P_{flama} = \frac{P_{útil}}{\eta}$$

$$P_{flama} = \frac{2.145}{0.60} = 3.575\ kW$$

En consecuencia, la flama total del sistema debió producir aproximadamente 3.58 kW.

- **Cálculo de la cantidad de hornillas requeridas**

Considerando que el sistema funciona de manera tradicional, similar a una cocina a gas, y tomando como referencia una hornilla doméstica media de 2.0 kW, la cantidad necesaria se calculó mediante:

$$N = \frac{P_{flama}}{P_{hornilla}}$$

$$N = \frac{3.58}{2.0} = 1.79$$

Técnicamente, este resultado se redondeó a 2 hornillas, debido a que una sola hornilla no cubriría de manera suficiente la potencia térmica requerida. Por tanto, se estableció que el sistema debía operar con dos hornillas, las cuales además favorecen una mejor distribución del calor bajo el contenedor.

- **Simulación de transferencia de calor por convección**

Se adoptó un coeficiente de convección de $h = 10\ W/m^2 \cdot K$ como valor base de diseño, debido a que el análisis consideró únicamente las pérdidas térmicas del contenedor hacia el ambiente, sin incorporar ventilación mecánica externa ni flujo forzado alrededor de la superficie del secador. En estas condiciones, el mecanismo predominante corresponde a convección natural en aire, cuyo rango típico se ubica aproximadamente entre 5 y 10 W/m²·K, por lo que el valor seleccionado representa una condición práctica, conservadora y técnicamente aceptable para estimar la disipación de calor del equipo. Asimismo, se consideró una temperatura ambiente de 24 °C (297 K), tomada de la Tabla 2, como condición de referencia para la simulación térmica.

Para definir la condición de frontera térmica en la simulación, la potencia útil media se transformó en flujo de calor superficial sobre la plancha circular del contenedor. Se utilizó la expresión:

$$q'' = \frac{P}{A}$$

Conociendo los valores:

$P = 2.15\ kW = 2150\ W$

$A = 0.7697\ m^2$

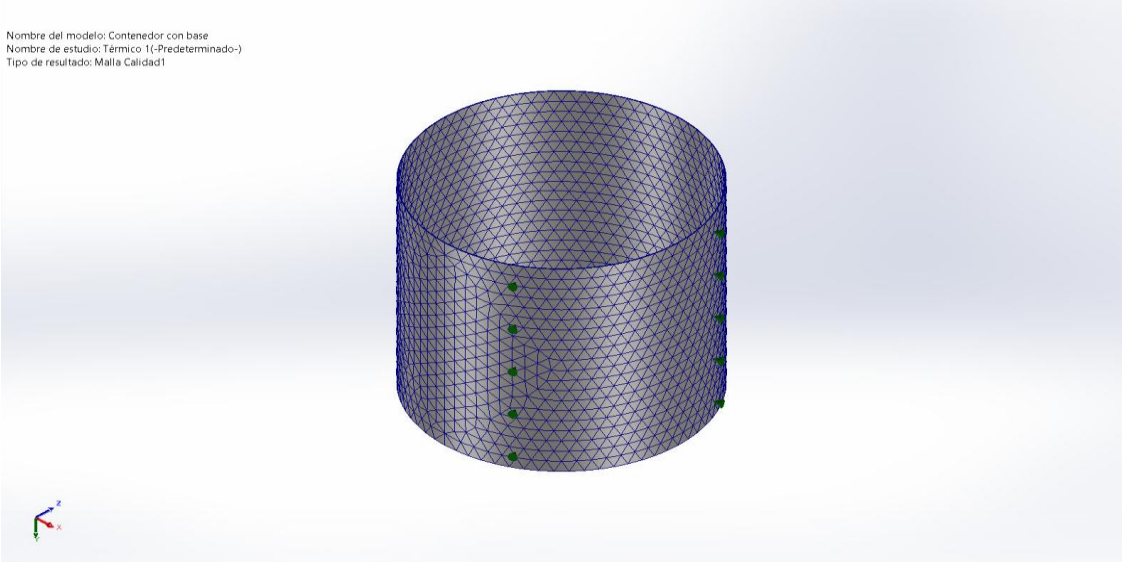
Se obtuvo:

$$q'' = \frac{2150}{0.7697} = 2793.3\ W/m^2$$

Por consiguiente, el flujo de calor adoptado para la simulación fue de 2793.3 W/m², aplicado sobre la superficie de transferencia térmica.

Figura 8

Trazados de calidad de malla

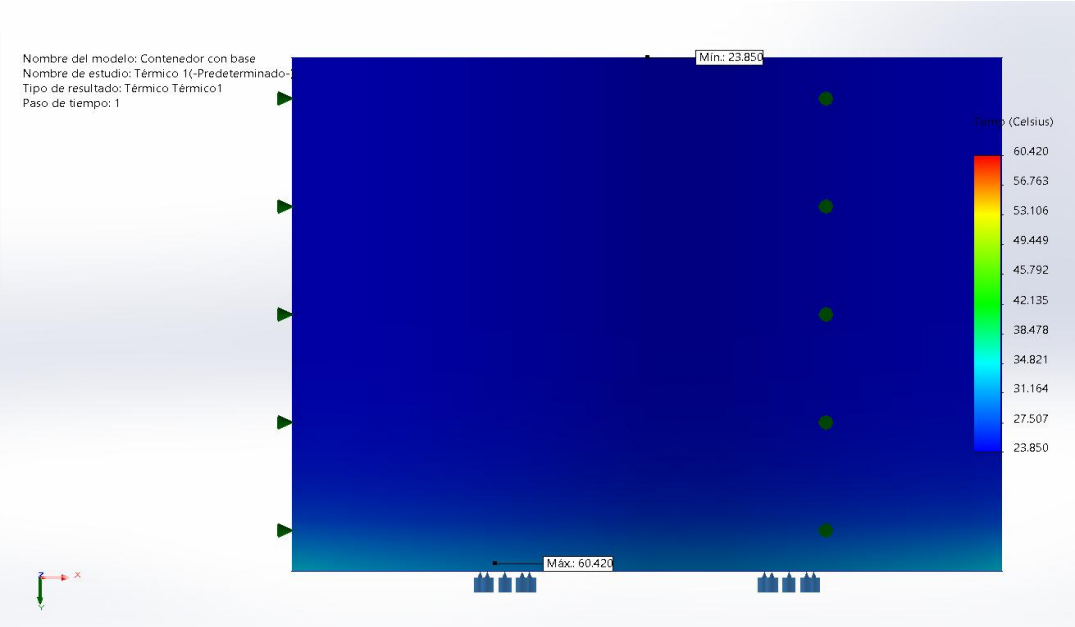


Fuente. Elaboración propia

El trazado de calidad de malla permitió evaluar la discretización geométrica del modelo térmico del contenedor. La simulación se ejecutó con una malla sólida de 10 878 elementos y 21 957 nodos, con elementos cuadráticos de alto orden y tamaño de elemento de 46.1478 mm. Aunque no se identificaron elementos distorsionados, la malla presentó un cociente máximo de aspecto de 19.458 y un 74.1 % de elementos con relación de aspecto mayor que 10, lo que indicó una calidad aceptable para una evaluación preliminar, pero con posibilidad de mejora en zonas de mayor gradiente térmico.

Figura 9

Análisis térmico del contenedor

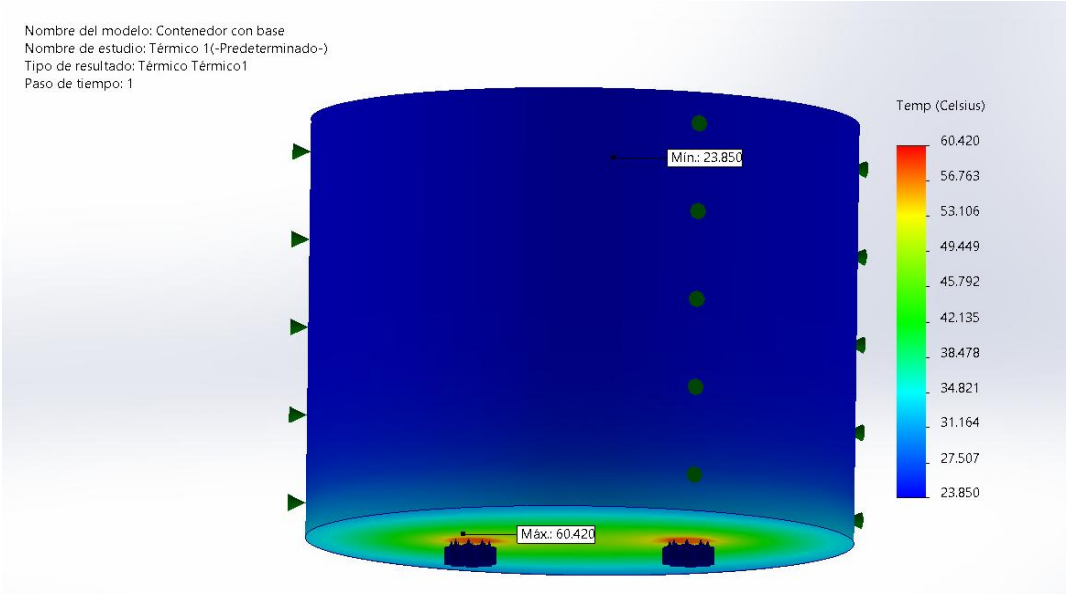


Fuente. Elaboración propia

El estudio térmico en estado estable (figura 9), desarrollado con material AISI 304, mostró una temperatura mínima de 23.850 °C y una temperatura máxima de 60.420 °C. Para la simulación se aplicó una condición de convección de 10 W/m²·K hacia el ambiente y un flujo de calor de 2793 W/m² en la base del contenedor, lo que permitió representar el ingreso de energía térmica y las pérdidas de calor al entorno. La distribución térmica evidenció una mayor concentración de calor en la zona inferior del contenedor y una disminución progresiva hacia las paredes laterales, comportamiento coherente con la aplicación de la carga térmica en la base. En consecuencia, el resultado se consideró físicamente razonable y cercano al comportamiento real del sistema, aunque aún susceptible de mejora mediante refinamiento de malla.

Figura 10

Vista isométrica del contenedor en estudio térmico



Fuente. Elaboración propia

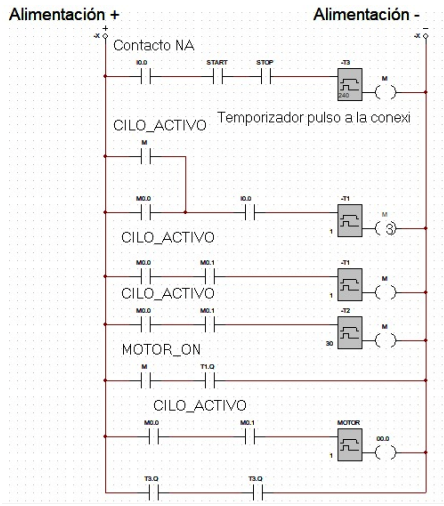
La figura 10, muestra el resultado del estudio térmico del contenedor con base, donde se observa la distribución de temperatura generada por la aplicación del flujo de calor en dos zonas localizadas de la base, correspondientes a la posición de las dos hornillas del sistema. En la parte inferior del contenedor se aprecia una mayor concentración térmica alrededor de cada hornilla, evidenciando que ambas emiten energía calorífica hacia la base metálica y generan un calentamiento ascendente sobre la estructura.

- **Planteamiento del sistema de control automatizado**

En la figura 11, se muestra la lógica de programación implementada en el PLC para ejecutar la secuencia automática de arranque, temporización, parada y repetición del ciclo.

Figura 11

Diagrama Ladder del circuito de mando temporizado para el accionamiento cíclico del motorreductor

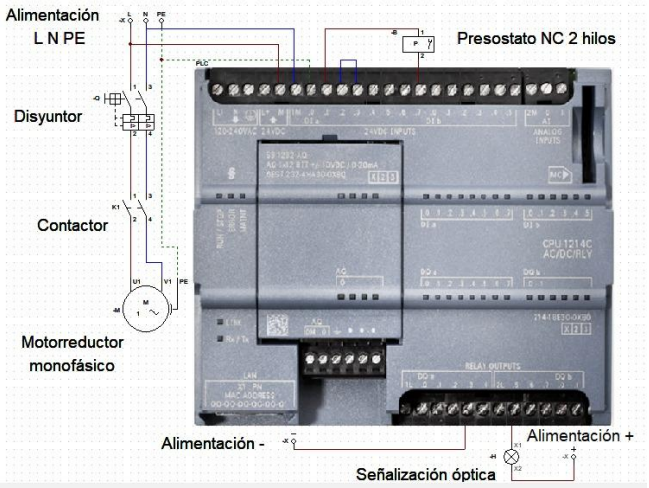


Fuente. Elaboración propia

La figura 12, muestra el conexionado entre la red de alimentación, disyuntor, contactor, motorreductor, entradas del PLC y elementos auxiliares del sistema.

Figura 12

Circuito de potencia y conexionado del motorreductor monofásico con PLC

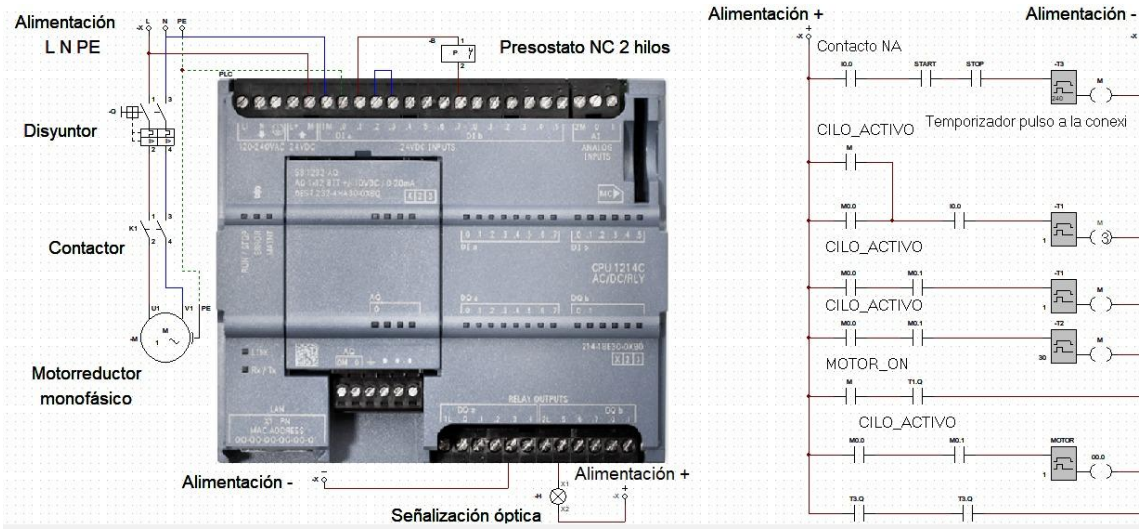


Fuente. Elaboración propia

En la figura 13, se presenta la integración completa del sistema eléctrico y de control, incluyendo la alimentación, protección, PLC, presostato, contactor, señalización óptica y motorreductor monofásico.

Figura 13

Esquema general de conexión del sistema de control mediante PLC S7-1200



Fuente. Elaboración propia

El esquema de control fue diseñado para accionar de manera automática e intermitente el motorreductor monofásico del sistema removedor de cacao. La alimentación del sistema ingresó mediante una red L – N - PE protegida por un disyuntor, mientras que el PLC Siemens S7-1200 ejecutó la lógica de mando y controló el contactor encargado de energizar o desenergizar el motor. Asimismo, el presostato NC de dos hilos actuó como elemento de supervisión y habilitación del proceso, y la señalización óptica permitió visualizar el estado operativo del sistema.

Cuando el ciclo fue activado, el PLC energizó el motorreductor durante 1 minuto, permitiendo que el eje rotor transmitiera movimiento al removedor para desplazar las pepas de cacao dentro del contenedor. Luego, el motor permaneció apagado durante 30 minutos,

estableciendo un periodo de reposo antes de reiniciar automáticamente la secuencia. Este ciclo de 1 minuto encendido y 30 minutos apagado se repitió 4 veces, ya que dicho intervalo resultó suficiente para el secado del lote. De esta manera, el sistema aseguró un movimiento periódico del cacao, favoreciendo la uniformidad térmica y la reducción homogénea de humedad durante el proceso.

3.3. Calcular la viabilidad económica del sistema automatizado mediante los indicadores de Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), determinando su rentabilidad en la Chocolatería El Tablón- Chirinos.

3.3.1. Determinación de la producción anual de cacao

De acuerdo con la Tabla 1, la producción fue de 7 kg/planta·año y el área de producción correspondió a 1 ha, con un total de 1200 plantas. Por tanto, la producción anual se determinó mediante:

$$Q_a = 7 \times 1200$$

$$Q_a = 8400\ kg/\text{año}$$

En consecuencia, la chocolatería presentó una producción estimada de 8400 kg de cacao seco por año.

Considerando que el sistema automatizado fue diseñado para operar con lotes de 75 kg, el número de lotes anuales se calculó como:

$$N_L = \frac{Q_a}{75}$$

$$N_L = \frac{8400}{75} = 112\ \ lotes/\text{año}$$

3.3.2. Determinación del consumo anual de bidones de GLP

Del desarrollo térmico previo se obtuvo que un balón de 10 kg de GLP puede abastecer aproximadamente entre 8.64 y 9.30 lotes, por lo que el consumo anual de bidones se estimó mediante:

Caso de mayor demanda energética:

$$N_{BG} = \frac{112}{8.64} = 12.96$$

Caso de menor demanda energética:

$$N_{BG} = \frac{112}{9.30} = 12.04$$

En consecuencia, el sistema requeriría entre 12.04 y 12.96 bidones/año, adoptándose como valor de diseño 13 bidones de GLP por año.

Si el precio unitario del bidón de 10 kg fue de S/ 45, entonces el costo anual se calculó como:

$$C_{GLP} = 13 \times 45$$

$$C_{GLP} = 585\ soles/año$$

Por tanto, el costo anual de GLP del sistema automatizado fue de S/ 585.00.

3.3.3. Evaluación del VAN

Se adoptó: Horizonte: 5 años, Tasa de descuento: 10 %, Inversión inicial referencial: S/ 12,000

La ecuación del VAN fue:

$$VAN = -I_0 + FNA\left(\frac{1-(1+i)^{-n}}{i}\right)$$

$$VAN = -12000 + FNA(3.7908)$$

Para que el proyecto sea viable:

$$VAN > 0$$

Entonces, el flujo neto mínimo requerido fue:

$$FNA_{min} = \frac{12000}{3.7908} = 3165.57\ soles/año$$

Este valor equivale a:

$$\frac{3165.57}{8400} = 0.377\ soles/kg$$

$$\frac{3165.57}{112} = 28.26\ soles/lote$$

Por tanto, el sistema debe generar al menos S/ 3165.57/año, equivalente a S/ 0.38/kg o S/ 28.26/lote, para ser viable.

3.3.4. Evaluación del TIR

Se parte del flujo del proyecto

Inversión inicial:$I_0 = 12000$

Flujo neto anual uniforme: $FVA = 4000$

Horizonte: $n = 5\ años$

La TIR es la tasa r que hace: $VAN = 0$, luego se obtuvo:

$$-12000 + \frac{4000}{(1+r)^1} + \frac{4000}{(1+r)^2} + \frac{4000}{(1+r)^3} + \frac{4000}{(1+r)^4} + \frac{4000}{(1+r)^5} = 0$$

Factorizando:

$$12000 = 4000\left[\frac{1-(1+r)^{-5}}{r}\right]$$

$$3 = \frac{1-(1+r)^{-5}}{r}$$

Ahora se prueba el valor de $r = 0.1986$, el cual cumple la ecuación, entonces se obtuvo que: $TIR = 19.86\%$, esto significó que $19.86\% > 10\%$, la rentabilidad del proyecto es mayor que la tasa mínima exigida o tasa de descuento, por lo que el proyecto resulta económicamente viable.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la identificación de los métodos tradicionales de fermentación y secado permitieron establecer que, en la Chocolatería El Tablón, el proceso se desarrolló con una humedad inicial de 18 % a 20 %, una humedad final requerida de 7.5 %, una temperatura ambiente promedio de 24 °C, una humedad relativa de 42 % y un tiempo de secado de 7 días. Asimismo, se determinó que para un lote de 75 kg el sistema requería un volumen útil de 0.3927 m^3, una ocupación real de 31.83 %, una altura útil del lecho de 0.159 m y la remoción de 10.13 kg de agua por lote. Estos resultados se relacionaron con el antecedente de Gutierrez et al. (2022), quienes señalaron que la selección adecuada de las tecnologías de fermentación y secado permitió optimizar la postcosecha y alcanzar hasta 80 % de fermentación en cacao criollo, mejorando la uniformidad y la calidad del producto.

El diseño del sistema automatizado permitió establecer condiciones térmicas y operativas adecuadas para el secado de 75 kg de cacao, determinándose una energía ideal de evaporación de 6.35 kWh, una energía real de diseño de 8.58 kWh/lote, una potencia de flama de 3.58 kW y un flujo de calor de 2793.3 W/m^2. La simulación CFD mostró temperaturas entre 23.850 °C y 60.420 °C, mientras que el sistema de control operó con una lógica de 1 minuto encendido y 30 minutos apagado, repetida 4 veces, hasta completar un tiempo de secado de 4 horas y alcanzar una humedad final de 7.5 %. Estos resultados guardaron relación con el estudio de Granados y Vásquez (2024), quienes desarrollaron una secadora con recirculación de aire, control de temperatura y monitoreo de humedad, logrando mantener 45 °C constantes y reducir el tiempo de secado en 30 % respecto al método tradicional.

La evaluación económica del sistema automatizado mostró resultados favorables, al estimarse una producción anual de 8400 kg de cacao seco, un consumo de 13 bidones de GLP de 10 kg por año y un costo anual de combustible de S/ 585.00. Con una inversión inicial referencial de S/ 12,000, una tasa de descuento de 10 % y un horizonte de evaluación de 5 años, se determinó un flujo neto mínimo requerido de S/ 3165.57/año, equivalente a S/ 0.38/kg o S/ 28.26/lote, además de una TIR mayor al 10 %, lo cual confirmó la rentabilidad del proyecto. Estos resultados se relacionaron con el antecedente de Santoyo (2025), quien

diseñó un sistema automatizado de fermentación mecánica de cacao y reportó una rentabilidad de 22 % mediante el análisis VAN-TIR en un año.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se identificó que el proceso tradicional de secado del cacao en la Chocolatería El Tablón presentó una humedad inicial de 18–20 %, una humedad final requerida de 7.5 % y un tiempo promedio de secado de 7 días, bajo condiciones ambientales de 24 °C y 42 % de humedad relativa. El sistema fue dimensionado para procesar 75 kg por lote, con un volumen útil de 0.3927 m^3, una ocupación de 31.83 % y una remoción de 10.13 kg de agua por lote.

El sistema automatizado diseñado permitió alcanzar una humedad final de 7.5 % en 4 horas para un lote de 75 kg de cacao, con una energía térmica de 8.58 kWh/lote, una potencia de flama de 3.58 kW y un flujo de calor de 2793.3 W/m^2. La simulación CFD registró temperaturas entre 23.850 °C y 60.420 °C, mientras que el control mediante PLC operó con ciclos de 1 minuto de encendido y 30 minutos de apagado.

La evaluación económica determinó una producción anual de 8400 kg de cacao, un consumo de 13 bidones de GLP por año, un costo energético anual de S/ 585.00, una inversión referencial de S/ 12,000 y una TIR superior al 10 %, evidenciando la viabilidad económica del sistema.

Recomendaciones

Se recomienda que, en futuras etapas de validación experimental, se amplíe el registro de variables del proceso tradicional, incorporando mediciones continuas de temperatura interna del grano, humedad del aire dentro del secador y masa final seca del lote, con la finalidad de contar con una línea base más robusta para la comparación con el sistema automatizado.

Se recomienda construir y validar experimentalmente el prototipo diseñado, verificando en operación real los valores de temperatura, tiempo de secado y humedad final alcanzados, así como optimizar la simulación térmica mediante refinamiento de malla

en las zonas de mayor gradiente de temperatura, a fin de mejorar la precisión del modelo CFD y del comportamiento térmico del equipo.

Se recomienda complementar la evaluación financiera con costos reales de fabricación, instalación, mantenimiento y operación del prototipo, así como con escenarios de sensibilidad respecto al precio del GLP, variación de la producción anual y precio de venta del cacao seco, para consolidar con mayor precisión la rentabilidad del sistema en condiciones reales de mercado.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ackah, E., y Dompey, E. (2021). *Effects of fermentation and drying durations on the quality of cocoa (Theobroma cacao L.) beans during the rainy season in the Juaboso District of the Western-North Region, Ghana*. *Bulletin of the National Research Centre, 45*(1), 175. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00634-7

Acuña, A. Y. (2024). *Diseño de una secadora automática para granos de cacao con capacidad para 60 Kg*. http://hdl.handle.net/20.500.12404/29259

Arnau, J. (1995). Metodología de la investigación en psicología. En M. T. Anguera, J. Arnau, M. Ato, R. Martínez, J. Pascual, y G. Vallejo (Eds.), *Métodos de investigación en Psicología* (Cap. 1). Síntesis.

Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de proyectos* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education. https://books.google.com/books/about/Evaluaci%C3%B3n_de_proyectos_7a_ed.html?id=QfxQDAAAQBAJ

Briones, E. F. (2022). *Diseño de una máquina fermentadora de cacao con 450 kg de capacidad para generar una remoción uniforme del grano, ubicada en Jaén*. http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/5165

Calderón, K., y Medina, J. (2021). *Automatización de un prototipo secador de cacao con energía solar, en la comunidad de Bucay* [Titulación]. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Córdoba Padilla, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos*. Ecoe Ediciones. https://books.google.com/books/about/Formulacion_y_Evaluacion_de_Proyectos.html?id=6y6a-1nJQZcC

Granados, M. G., y Vásquez, M. E. (2024). *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* [bachelorThesis]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27994

Gutierrez, R., Gonzales, G., y Chávez, M. (2022). *Evaluación de la aplicación de tecnologías de fermentación y secado de cacao (Theobroma cacao L.) tipo CCN-51 y Criollo*. *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas, 1*(1), e156-e156. https://doi.org/10.55873/racba.v1i1.156

Guzmán, L., Castro, M., Cruz, G., y Arbulú, A. (2020). Diseño de un fermentador cilíndrico automatizado para la fermentación de cacao criollo piurano. *Revista de Innovación y Trasferencia Productiva, 1*(2), e002-e002. https://doi.org/10.54353/ritp.v1i2.e002

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008

Miranda Miranda, J. J. (2005). *Gestión de proyectos: Identificación, formulación, evaluación financiera, económica, social, ambiental*. MM Editores. https://books.google.com/books/about/Gesti%C3%B3n_de_proyectos.html?id=zPB-QgAACAAJ

Naranjos, E. M., Moyano, J. R., Zamora, Y. J., y Balseca, O. F. (2021). Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao con movimiento rotatorio. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 6*(5), 864-878.

Orozco Jaramillo, J. J. (2017). *Evaluación financiera de proyectos*. Ecoe Ediciones. https://www.ecoeediciones.com/product/evaluacion-financiera-de-proyectos-3ra-edicion/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). *La ingeniería en el desarrollo: Anexos (cont.) - Bibliografía*. FAO. https://www.fao.org/4/x5041s/x5041S09.htm

Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Sampling techniques on a population study. *International Journal of Morphology, 35*(1), 227-232. https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037

Parra, J. P., Sarmiento, K. S., y Prieto, A. (2022). *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* [Thesis, ESPOL. FIEC]. http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57085

Peñaherrera, N. (2021). *Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao* [Titulación, Universidad Central del Ecuador]. https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ef032188-f289-4512-a530-c188755b5d44/content

Ramírez, A. A. V., Orellana, L. M. G., Tapia, R. C., Teves, R. V., y Tisoc, J. H. (2023). Métodos de investigación científica. En *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. https://doi.org/10.35622/inudi.b.094

Santoyo, R. E. (2025). *Diseño y construcción de un sistema de fermentación mecánica automatizada de cacao para mejorar los estándares de calidad del cacao de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 208.040:2017*. *Repositorio Institucional - UTP*. http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/12042

Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., y Sapag Puelma, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education. https://books.google.com/books/about/Preparaci%C3%B3n_y_evaluaci%C3%B3n_de_proyectos.html?id=8SiLoAEACAAJ

SEW-EURODRIVE GmbH y Co KG. (s. f.). *Anexo a las instrucciones de funcionamiento: Motores de CA DRN.., DRU.., EDRN...* SEW-EURODRIVE. https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/30589541.pdf

SEW-EURODRIVE GmbH y Co KG. (s. f.). *Manual: Reductores y motorreductores*. SEW-EURODRIVE. https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11358904.pdf

SEW-EURODRIVE GmbH y Co KG. (s. f.). *Reductores de las series R.., F.., K.., S.., SPIROPLAN® W...* SEW-EURODRIVE. https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/31988695.pdf

Siemens AG. (2014). *SIMATIC S7-1200 Easy Book* (A5E02486778-AG). Siemens AG. https://support.industry.siemens.com/cs/document/39710145/simatic-s7-1200-easy-book

Siemens AG. (2017). *Controlador programable S7-1200: Manual de sistema*. Siemens AG. https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109741593/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

Siemens AG. (2022). *SIRIUS 3RT contactors/contactor assemblies: Equipment manual*. Siemens AG. https://support.industry.siemens.com/cs/document/60306557/equipment-manual-sirius-3rt-contactors-contactor-assemblies

Tevata, A., Chakkraphan, T., Khadwilard, A., Visedmanee, J., & Chunkaew, P. (2025). Studying control parameters effects on performance of drying cocoa bean with heat pump dryer. *Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal, 18*(1), 99-113. https://doi.org/10.63271/rmuttorj.v18i1.264551

Zúñiga, P. I. V., Cedeño, R. J. C., y Palacios, I. A. M. (2023). Metodología de la investigación científica: Guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7*(4), 9723-9762.https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

AGRADECIMIENTO

Danfer Kennedy Tapia Campos

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y confianza durante toda mi formación profesional y en el desarrollo de la presente investigación. Su esfuerzo, sacrificio y aliento constante fueron fundamentales para superar las dificultades presentadas en este camino académico. A ellos les debo gran parte de este logro, por haber sido mi principal motivación para culminar satisfactoriamente esta etapa.

Eisner Jair Sánchez Córdova

Expreso mi sincero agradecimiento a mi familia, por acompañarme con amor, paciencia y respaldo permanente a lo largo de mi formación universitaria y durante la elaboración de esta investigación. Su apoyo moral, confianza y palabras de aliento me permitieron mantenerme firme en el cumplimiento de esta meta académica. A ellos les reconozco su valiosa presencia en cada esfuerzo realizado para alcanzar este importante objetivo profesional.

Asesor

Asimismo, expresamos nuestro especial agradecimiento al Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon, asesor de la presente investigación, por su orientación académica, disposición permanente y valiosos aportes durante el desarrollo del informe final de tesis. Sus observaciones, recomendaciones y conocimientos contribuyeron significativamente al fortalecimiento del trabajo, permitiendo encaminar adecuadamente cada una de las etapas de la investigación.

DEDICATORIA

Danfer Kennedy Tapia Campos

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi familia, por ser el motor de mi vida y el soporte fundamental en cada etapa de mi formación personal y profesional. A ellos, por su amor, sacrificio, confianza y apoyo incondicional, que me impulsaron a seguir adelante y no rendirme ante las dificultades. Este logro es también suyo, por acompañarme siempre con esperanza y fortaleza.

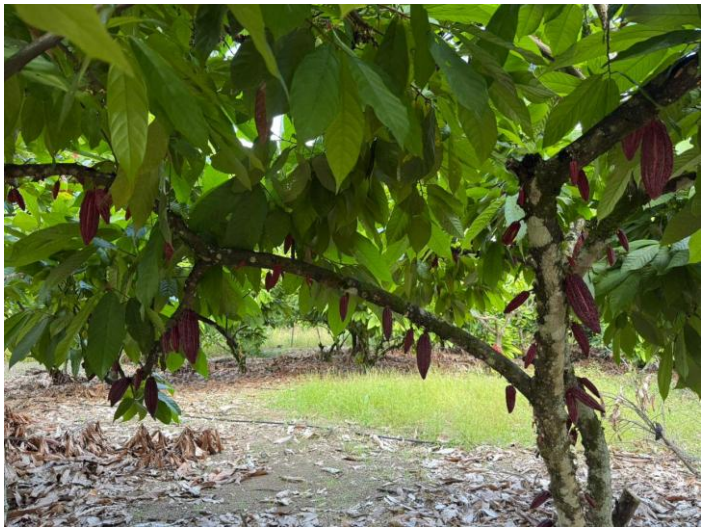
Eisner Jair Sánchez Córdova

Dedico la culminación de este trabajo a mi familia, por su apoyo permanente, comprensión y aliento brindado durante todo este proceso académico. Su esfuerzo, cariño y confianza en mí fueron esenciales para alcanzar esta meta profesional. A ellos les dedico este logro, como muestra de gratitud por haber estado presentes en cada paso de este camino.

ANEXOS

Figura 14

Cultivo del cacao criollo



Fuente. Elaboración propia

Figura 15

Cosecha y selección de frutos sanos



Fuente. Elaboración propia

Figura 16

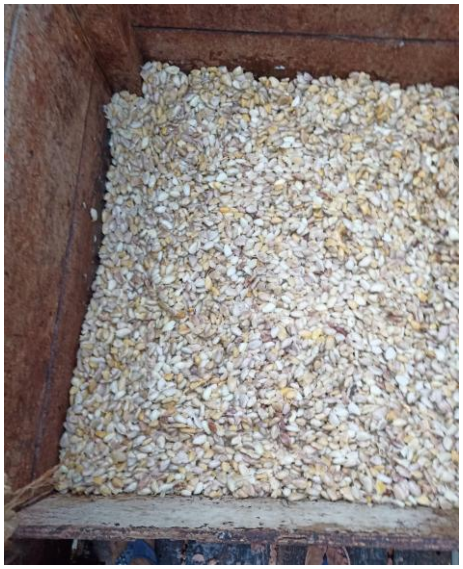
Extracción manual de granos de cacao



Fuente. Elaboración propia

Figura 17

Remoción del cacao



Fuente. Elaboración propia

Figura 18

Área de fermentación del cacao en la empresa



Fuente. Elaboración propia

Figura 19

Área de secado del cacao





Fuente. Elaboración propia

Figura 20

Evidencia de problemas en el proceso tradicional: Espera de secado del cacao para secar el próximo lote



Fuente. Elaboración propia

Figura 21

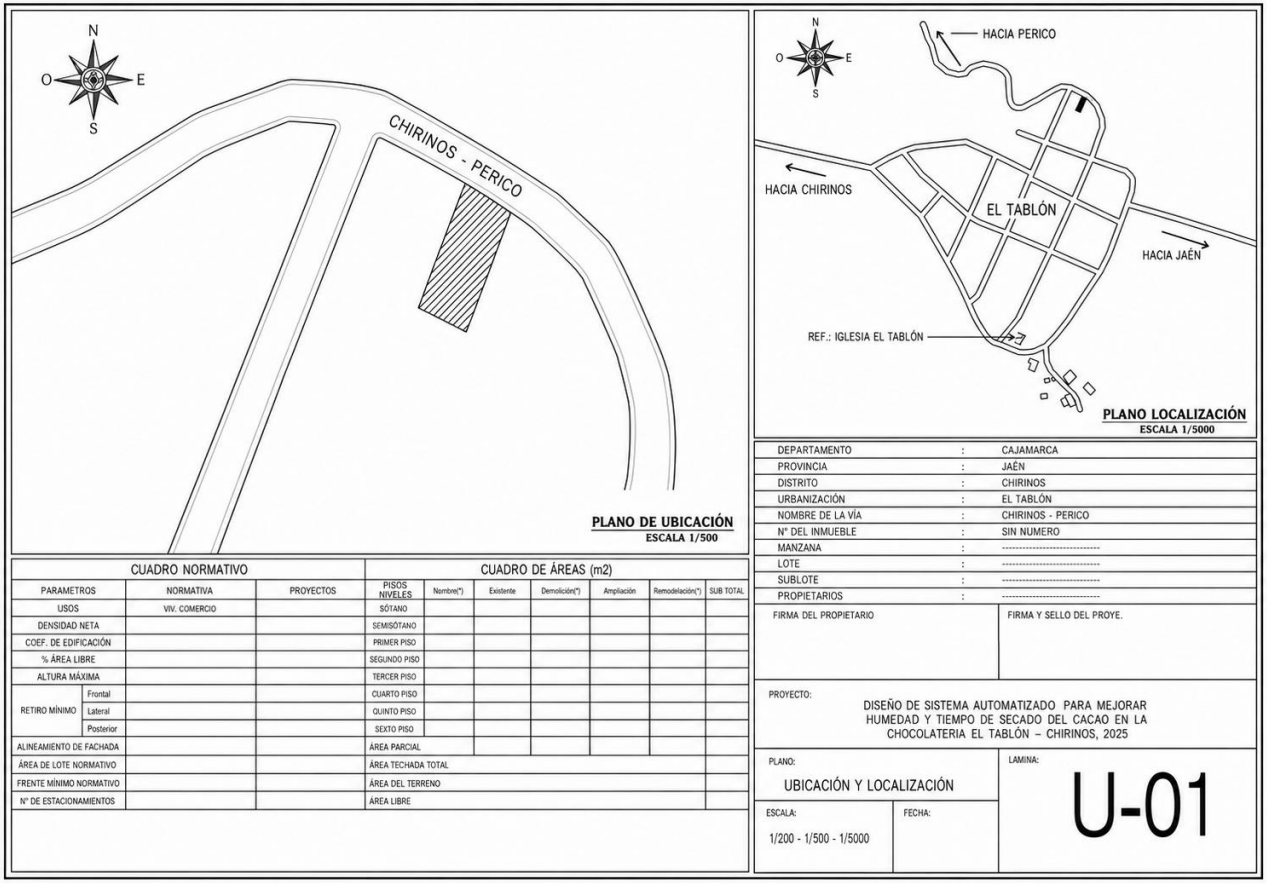
Área disponible para la instalación del sistema automatizado de secado



Fuente. Elaboración propia

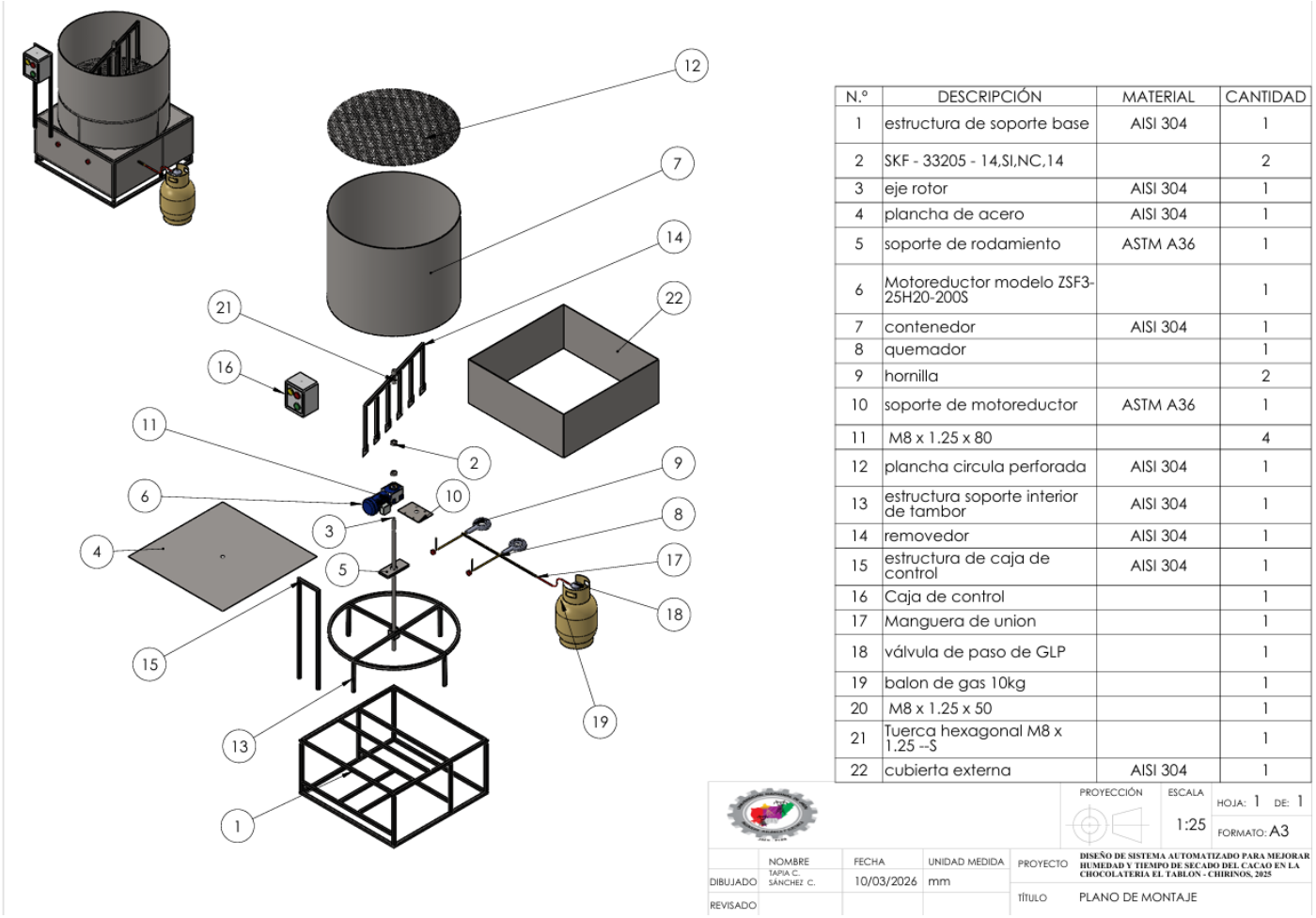
Figura 22

Plano de ubicación de la chocolatería



Fuente. Elaboración propia

Figura 23. *Plano de montaje de la máquina*



N.°	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	estructura de soporte base	AISI 304	1
2	SKF - 33205 - 14,SI,NC,14		2
3	eje rotor	AISI 304	1
4	plancha de acero	AISI 304	1
5	soporte de rodamiento	ASTM A36	1
6	Motoreductor modelo ZSF3-25H20-200S		1
7	contenedor	AISI 304	1
8	quemador		1
9	hornilla		2
10	soporte de motoreductor	ASTM A36	1
11	M8 x 1.25 x 80		4
12	plancha circula perforada	AISI 304	1
13	estructura soporte interior de tambor	AISI 304	1
14	removedor	AISI 304	1
15	estructura de caja de control	AISI 304	1
16	Caja de control		1
17	Manguera de union		1
18	válvula de paso de GLP		1
19	balon de gas 10kg		1
20	M8 x 1.25 x 50		1
21	Tuerca hexagonal M8 x 1.25 --S		1
22	cubierta externa	AISI 304	1

PROYECCIÓN | ESCALA 1:25 | HOJA: 1 DE: 1 | FORMATO: A3

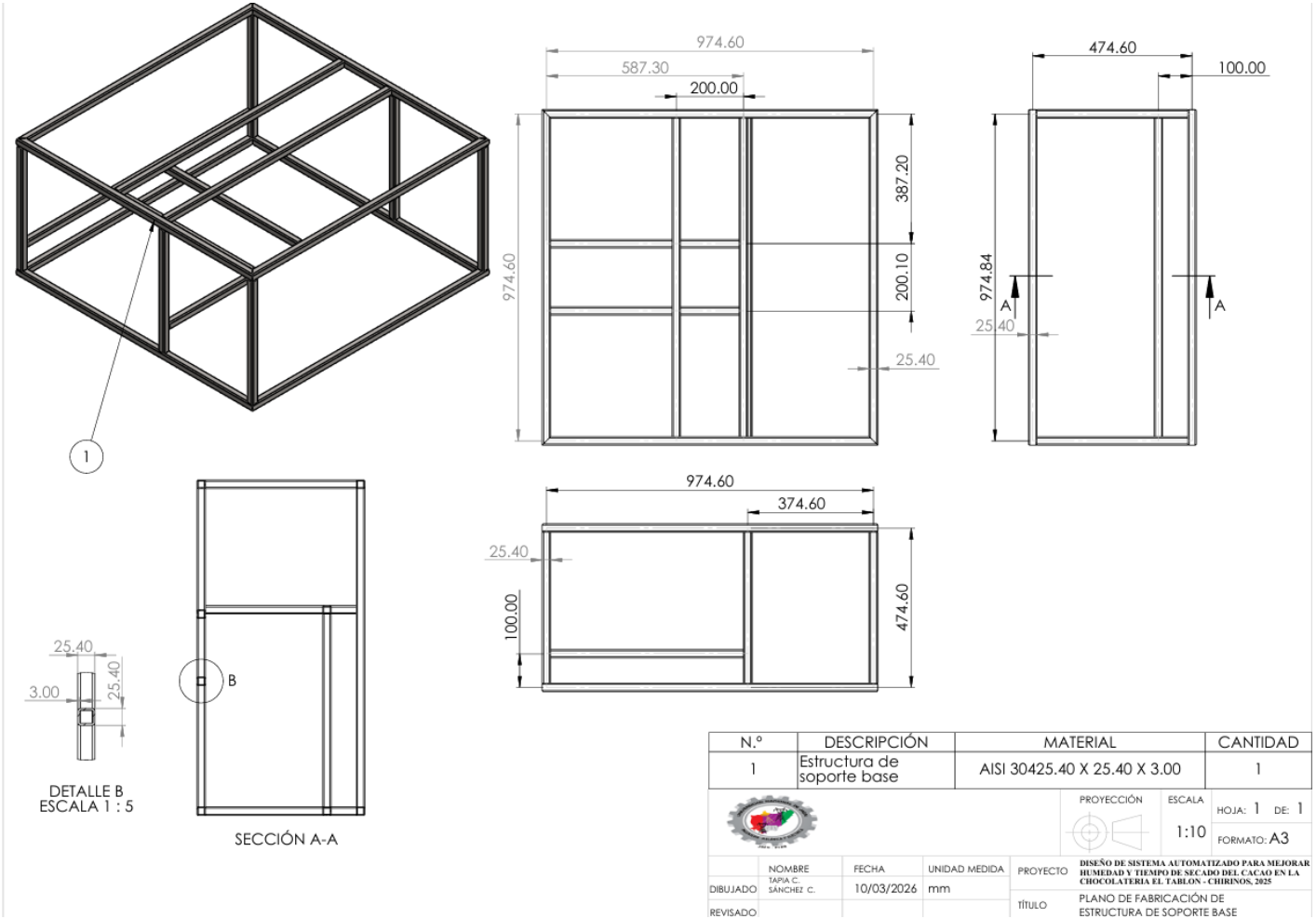
	NOMBRE	FECHA	UNIDAD MEDIDA
DIBUJADO	TAPIA C. SÁNCHEZ C.	10/03/2026	mm
REVISADO			

PROYECTO: DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR HUMEDAD Y TIEMPO DE SECADO DEL CACAO EN LA CHOCOLATERIA EL TABLON - CHIRINOS, 2025

TÍTULO: PLANO DE MONTAJE

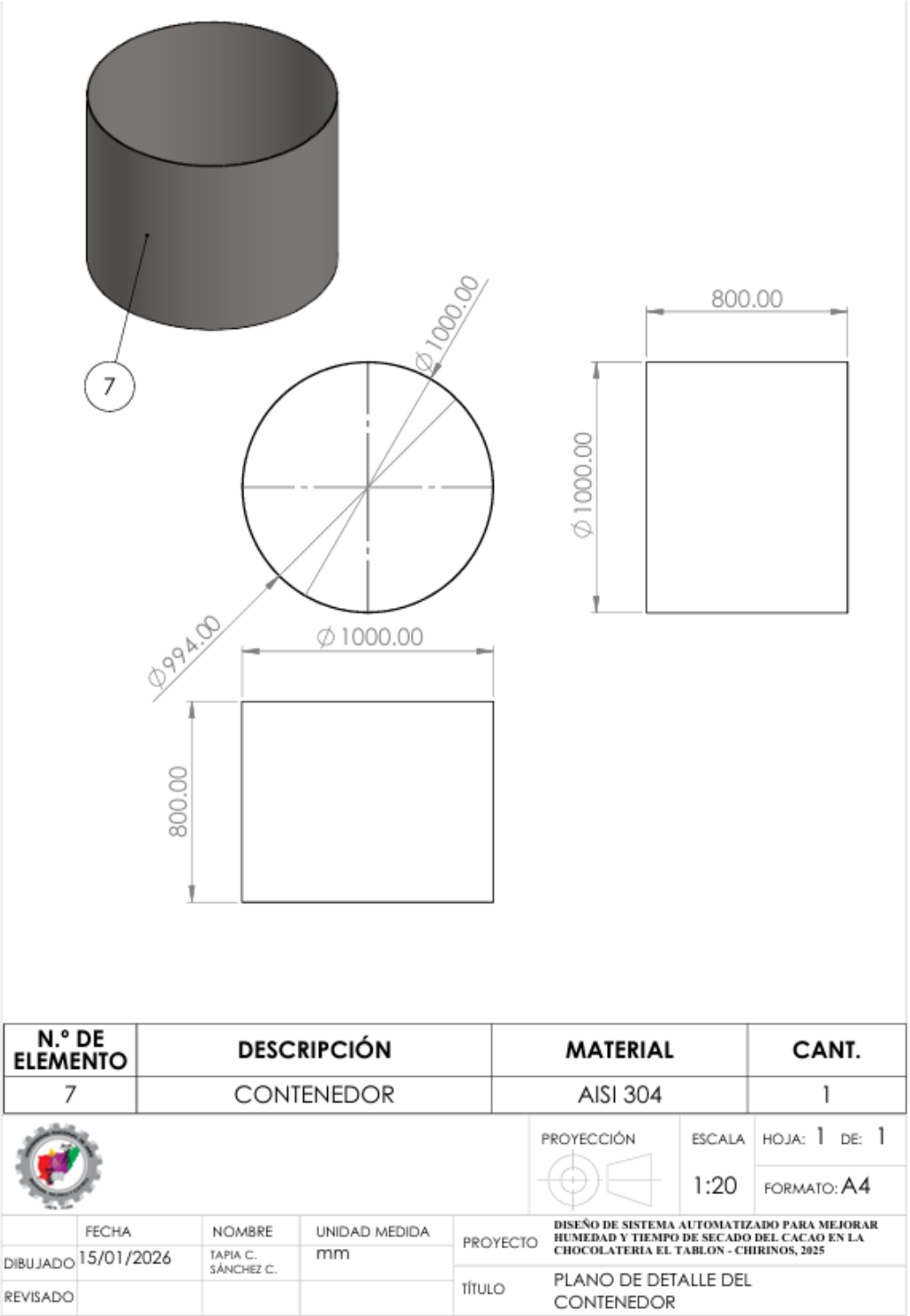
Fuente. Elaboración propia

Figura 24. *Plano de detalle de la estructura de soporte base*



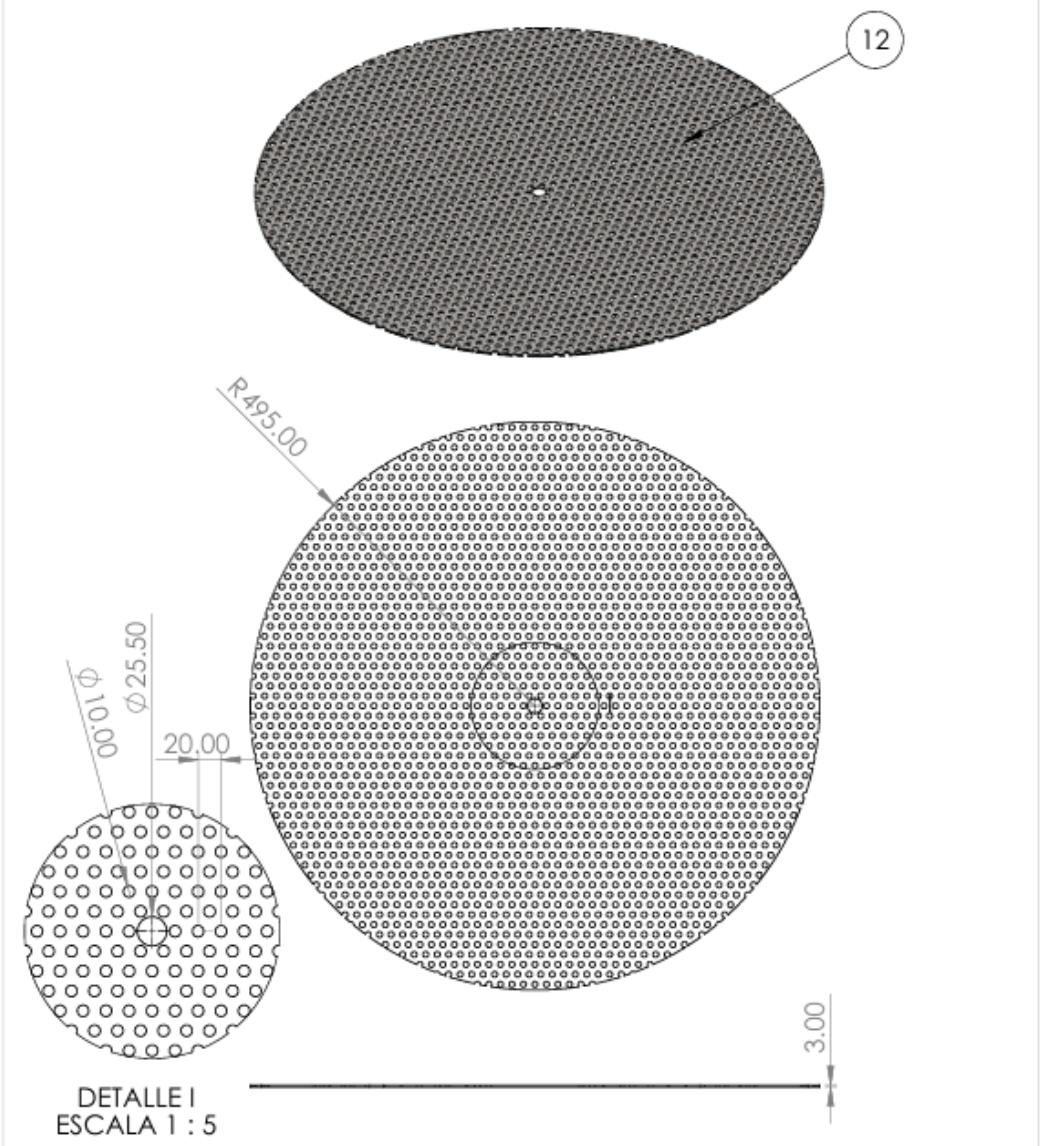
Fuente. Elaboración propia

Figura 25. *Plano de detalle del contenedor*



Fuente. Elaboración propia

Figura 26. *Plano de detalle de la plancha circular perforada*



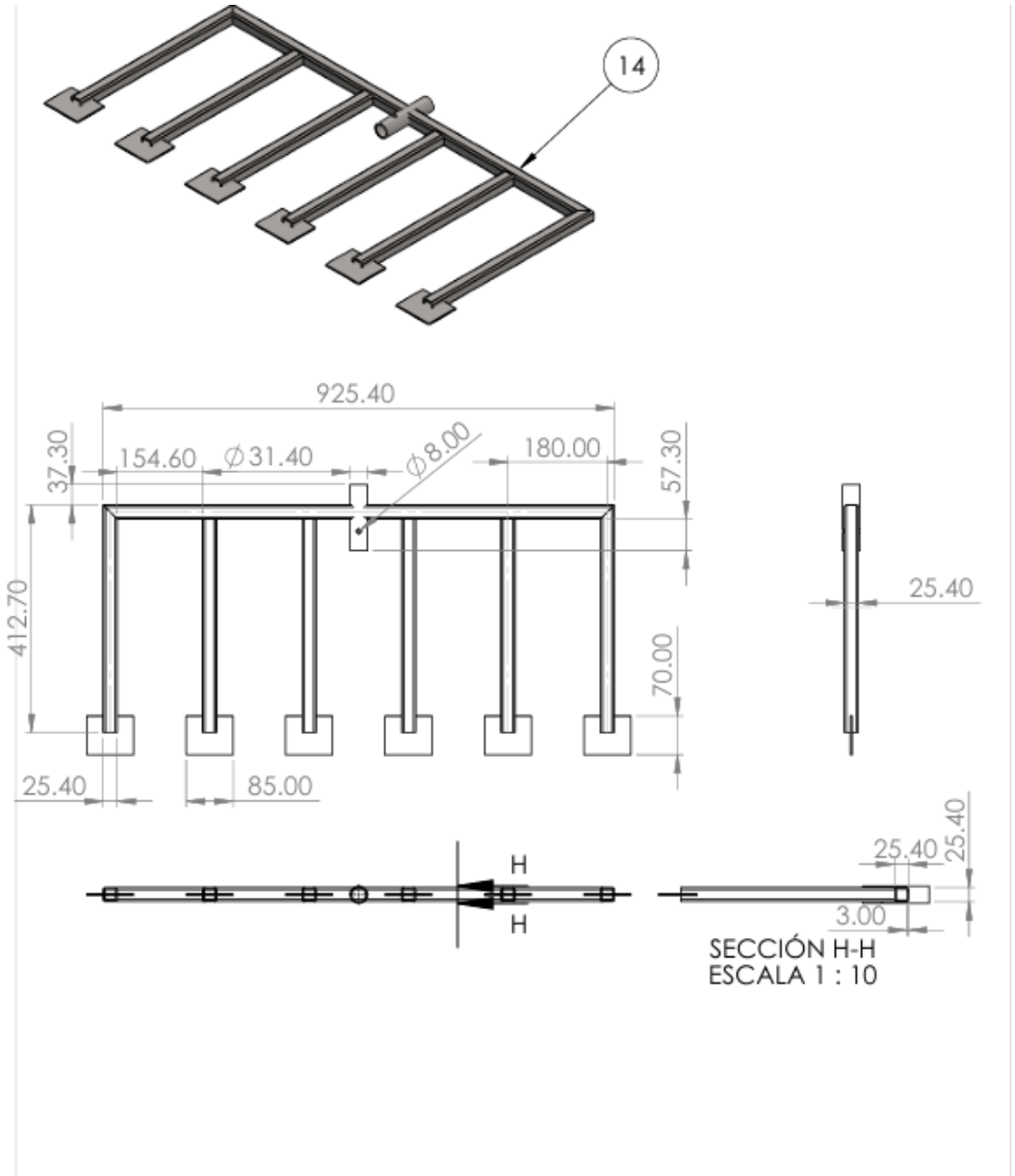
N.° DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.
12	PLANCHA CIRCULAR PERFORADA	AISI 304	1

PROYECCIÓN | ESCALA 1:10 | HOJA: 1 DE: 1 | FORMATO: A4

	FECHA	NOMBRE	UNIDAD MEDIDA	PROYECTO	DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR HUMEDAD Y TIEMPO DE SECADO DEL CACAO EN LA CHOCOLATERIA EL TABLON - CHIRINOS, 2025
DIBUJADO	15/01/2026	TAPIA C. SÁNCHEZ C.	mm		
REVISADO				TÍTULO	PLANO DE DETALLE DE LA PLANCHA CIRCULAR PERFORADA

Fuente. Elaboración propia

Figura 27. *Plano de detalle del removedor*



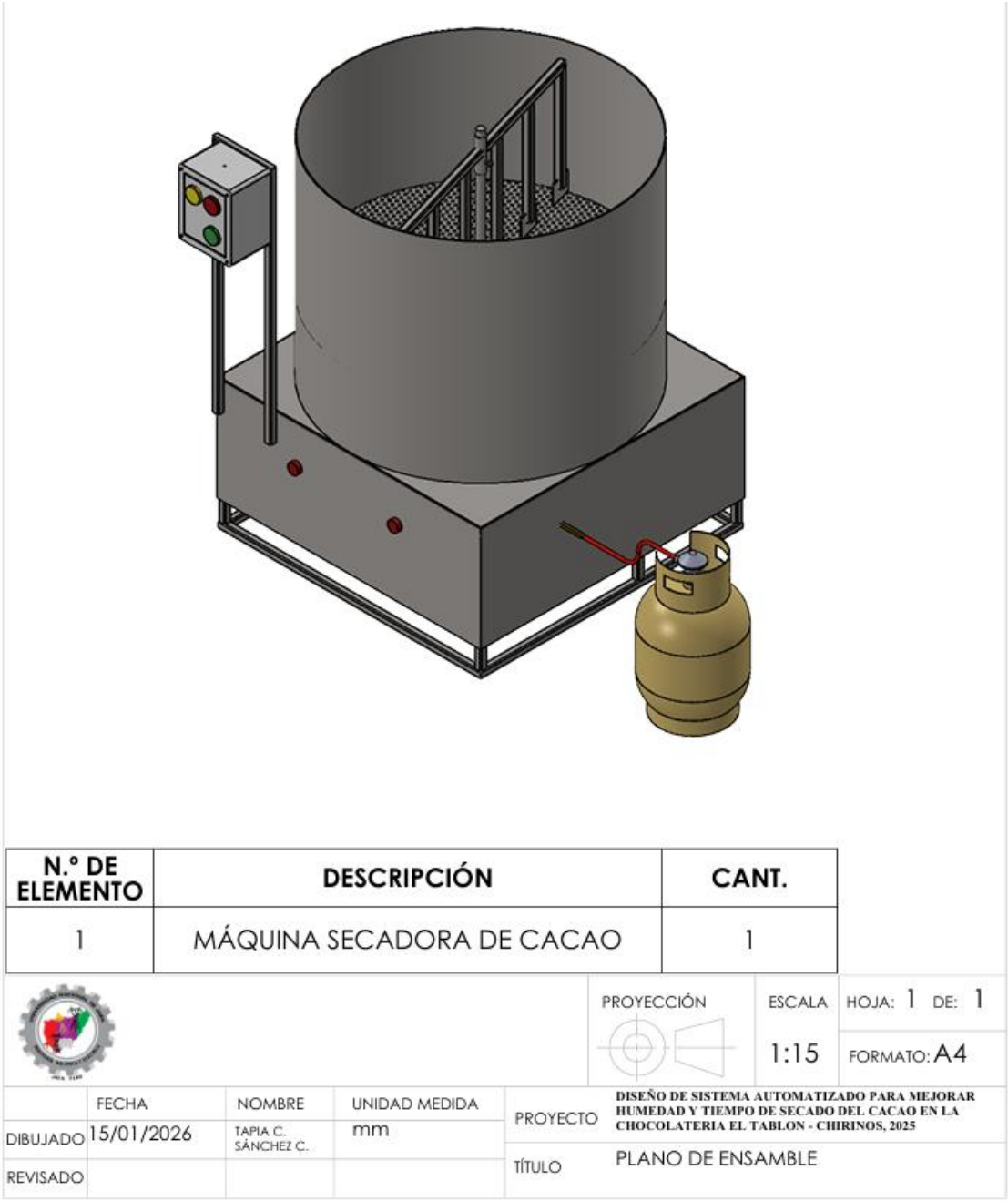
N.° DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.
14	REMOVEDOR	AISI 304	1

PROYECCIÓN	ESCALA 1:10	HOJA: 1 DE: 1	FORMATO: A4

	FECHA	NOMBRE	UNIDAD MEDIDA		
DIBUJADO	15/01/2026	TAPIA C. SÁNCHEZ C.	mm	PROYECTO	DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR HUMEDAD Y TIEMPO DE SECADO DEL CACAO EN LA CHOCOLATERIA EL TABLON - CHIRINOS, 2025
REVISADO				TÍTULO	PLANO DE DETALLE DEL REMOVEDOR

Fuente. Elaboración propia

Figura 28. *Plano de ensamble de la máquina secadora de cacao*



Fuente. Elaboración propia