



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UNA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO”

Proyecto de Titulación presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros Electromecánicos.

Autores:

Guaquipana Rumiguano Marlon Jesús

López Gamboa Pablo Andrés

Tutor:

PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique

Latacunga- Ecuador

Abril 2023



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros **Guaquipana Rumiguano Marlon Jesús**, con cédula de ciudadanía No **2100780382** y **López Gamboa Pablo Andrés**, con cédula de ciudadanía No **1804869095**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: “**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UNA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO**”, siendo el PhD. Ing. Enrique Torres Tamayo, tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Guaquipana Rumiguano Marlon Jesús

C.I. 2100780382

López Gamboa Pablo Andrés

C.I. 1804869095



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UNA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO”, de los ponentes: **Guaquipana Rumiguano Marlon Jesús y López Gamboa Pablo Andrés**, de la carrera de **INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 14 de agosto de 2023

Tutor

PhD Ing. Enrique Torres Tamayo

C.C. 175712194-0



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.**; por cuanto, los postulantes: **Guaquipana Rumiguano Marlon Jesús** y **López Gamboa Pablo Andrés** con el título de Proyecto de titulación: “**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UNA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO**” he considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 14 de agosto de 2023.

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)	Lector 2	Lector 3
Ing. M. Sc, Jefferson Alberto Porras Reyes	Ing. M. Sc. Carlos Francisco Pacheco Mena	PhD. Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis
C.I. 070440044-9	C.I. 050307290-2	C.I. 1758 367 252

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios quien ha sabido guiarme por un buen camino dándome la fortaleza necesaria para seguir adelante y haberme dado la oportunidad de tener una familia maravillosa. A mi familia por su comprensión y estímulo constante para así apoyarme en cada decisión y proyecto que me proponga, también agradezco a la vida por mostrarme cada día lo honesta y hermosa que puede llegar a ser.

A la vez, agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por haberme abierto las puertas, a todos los docentes que me inculcaron y llenaron de conocimiento para poder llegar a mi anhelada meta.

Jesus

DEDICATORIA

A mis padres por haberme convertido en la persona que soy ahora, y por poner en mí toda su fe y su confianza de ver este sueño hecho realidad, y a toda mi familia que me ha apoyado a lo largo de mis estudios universitarios, a quienes les debo muchos de mis logros, incluido este. Me disciplinaron con reglas y algo de libertad, pero al final me mantuvieron motivado para lograr mis objetivos.

Jesus

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios que me ha dado conocimiento, salud y vida, permitiéndome seguir adelante en este proceso. A mi familia por su constante apoyo en las elecciones y decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, y consejos que me han dado. También a esa chica especial que ha sido una voz de apoyo en mi vida y me ha motivado a no caer.

No puedo pasar por alto a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de mi objetivo anhelado.

A la vez, agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi donde realicé mi proceso de formación, brindándome las herramientas y recursos necesarios para llevar a cabo mis estudios.

Andrés

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, por su amor incondicional, apoyo y dedicación a lo largo de mi vida. Sin su constante aliento y sacrificio, no habría sido posible lograr este gran logro académico.

Por último, dedico a mis seres querido y persona especial por su comprensión y apoyo durante los momentos de estrés y dedicación a este proyecto. Su compañía y palabras de aliento han sido una fuente de motivación constante.

Andrés

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	2
1.1.	PROBLEMA	2
1.1.1.	Situación Problemática	2
1.1.2.	Formulación del problema:.....	3
1.2.	BENEFICIARIOS:	3
1.2.1.	Directos.....	3
1.2.2.	Indirectos	3
1.3.	JUSTIFICACIÓN:.....	3
1.4.	HIPÓTESIS:	4
1.5.	OBJETIVOS:.....	4
1.5.1.	General.....	4
1.5.2.	Específico	4
1.6.	SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS...	5
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1.	ANTECEDENTES	6
2.1.1.	Estructura del sector del cacao en Ecuador	7
2.1.2.	Variedades de cacao en el Ecuador	7
2.1.3.	Cacao Nacional.....	7
2.1.4.	Cacao CCN-51.....	7
2.1.5.	Cacao Criollo.....	7
2.1.6.	Cacao Trinitario.....	7
2.1.7.	Producción de cacao	8
2.1.8.	Cultivo de cacao	8
2.1.9.	Secado del cacao.....	8
2.1.10.	Secado tradicional.....	9
2.1.11.	Secado mediante marquesinas	9
2.1.12.	Secado en tendales.....	10
2.1.13.	Secado mecánico	11
2.2.	MARCO REFERENCIAL.....	11
2.2.1.	Principio de secado.....	12
2.2.2.	Transferencia de calor	12
2.2.3.	Conducción.....	12
2.2.4.	Convección	12

2.2.5.	Radiación	13
2.2.6.	Coeficiente de transferencia de calor.....	13
2.2.7.	Ley del enfriamiento de Newton	13
2.2.8.	Métodos de secado de cacao.....	13
2.2.9.	Infrarrojo.....	14
2.2.10.	Liofilización.....	14
2.2.11.	Secado en secaderos	14
2.2.12.	Secado de contacto	14
2.2.13.	Parámetros de secado.....	15
2.2.14.	Fermentación	15
2.2.15.	Humedad.....	15
2.2.16.	Flujo de aire	15
2.2.17.	Temperatura.....	16
2.2.18.	Ventajas y desventajas de los diferentes secados	16
2.2.19.	Ciclos del secado de cacao	17
2.2.20.	Control lógico programable (PLC).....	18
2.2.21.	Módulo de entradas y salidas analógicas (E/S; A)	18
2.2.22.	Pantalla HMI Wecon	19
2.2.23.	Soplador de aire Blower Fragua	20
2.2.24.	Válvula proporcional de gas	20
2.2.25.	Modulo y chispero eléctrico	21
2.2.26.	Relé electromagnético industrial	22
2.2.27.	Fuente de corriente continua (24 V)	22
2.2.28.	Microcontrolador	23
2.2.29.	Mini Fuente 12v DC 3W Hi-link 100-240vac A 12vdc Hlk-5m12.....	24
2.2.30.	Switch D-Link DGS-1005A 5 Puerto Gigabit RJ45 – D-LINK.....	24
2.2.31.	Contactador eléctrico.....	24
2.2.32.	Breaker eléctrico.....	25
2.2.33.	Sensores de temperatura	26
2.2.34.	Paro de emergencia.....	28
2.2.35.	Luz piloto.....	28
2.2.36.	Selector Eléctrico.....	29
2.2.37.	Tipos de controladores de temperatura.....	30
3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	33
3.1.	METODOLOGÍA:	33

3.1.1.	Análisis del secado de grano	33
3.1.2.	Selección del controlador:	34
3.1.3.	Diseño de un sistema de control de temperatura para una secadora de cacao:	35
3.1.4.	Programación y configuración del PID del PLC	37
3.1.5.	Elección de la instrumentación para la regulación de temperatura:	38
3.1.6.	Humedad durante el secado de cacao:	39
3.1.7.	Cálculo de humedad del cacao	39
3.1.8.	Especificaciones técnicas del detector de humedad de cereales.....	40
3.1.9.	Diseño de una cámara de secado	41
3.1.10.	Diseño del controlador de temperatura.....	42
3.1.11.	Consumo energético:	43
3.1.12.	Dimensionamiento del cableado de la máquina para el control.	44
3.1.13.	Selección del contactor para mi motor trifásico:	47
3.1.14.	Análisis del diseño térmico para el intercambio de calor	48
3.1.15.	Flujo masico del cacao	50
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	52
4.1.1.	Contenido de humedad de fermentación de cacao	52
4.1.2.	Análisis del intercambio de calor en el cacao:	52
4.1.3.	Flujo volumétrico del soplador de aire.	53
4.1.4.	Prueba en vacío.....	55
4.1.5.	Prueba con carga.....	59
4.1.6.	Masa inicial del cacao.....	59
4.1.7.	Inicio del proceso de secado	59
4.1.8.	Humedad inicial del cacao.....	60
4.1.9.	Comparación de secado según su humedad	62
4.1.10.	Precio del Cacao en el mercado.....	63
4.1.11.	Comparación de secado según su peso.....	63
4.1.12.	Porcentaje de humedad del cacao	63
4.1.13.	Relación de la humedad y peso del cacao respecto al tiempo:	64
4.1.14.	Comportamiento de la temperatura en el secado	65
4.1.15.	Temperatura de estabilización del secado	66
4.1.16.	Consumo de gas GLP	66
4.1.17.	Consumo energético:	68
4.1.18.	Selección del cableado del tablero de control de acuerdo con la ampacidad:	69
4.2.	EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y/O ECONÓMICA.....	69

4.2.1.	Evaluación técnica.....	69
4.2.2.	Evaluación Social	69
4.2.3.	Evaluación Socioeconómica:.....	70
4.2.4.	Análisis económico de la secadora de cacao	70
4.2.5.	Evaluación económica.....	75
5.	CONCLUSIONES DEL PROYECTO	77
5.1.	CONCLUSIONES.....	77
5.2.	RECOMENDACIONES	78
6.	BIBLIOGRAFÍA	79
	ANEXO.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA (CAUSA-EFECTO).....	2
FIGURA 2.1 <i>SECADO TRADICIONAL DEL CACAO</i> [9].....	9
FIGURA 2.2 <i>SECADO MEDIANTE MARQUESINAS</i>	10
FIGURA 2.3 <i>SECADO EN TENDALES</i>	10
FIGURA 2.4 <i>SECADO DE CACAO MEDIANTE MAQUINAS</i>	11
FIGURA 2.5 <i>TRANSFERENCIA DE CALOR</i>	12
FIGURA 2.6 ESTRUCTURA INTERNA DE UN PLC.....	18
FIGURA 2.7 FIGURA 2.10 MÓDULO DE ENTRADA SALIDA ANALÓGICA. SIMATIC S7-1200 [19]	19
FIGURA 2.8 PANTALLA HMI WECON.....	19
FIGURA 2.9. <i>BLOWER DE 3 PULGADAS</i> [21].....	20
FIGURA 2.10. <i>VÁLVULA PROPORCIONAL DE GAS</i> [23].....	21
FIGURA 2.11. <i>MODULO Y CHISPERO ELÉCTRICO DOMESTICO</i>	21
FIGURA 2.12. <i>RELÉ ELECTROMAGNÉTICO</i>	22
FIGURA 2.13. <i>FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE C.C.</i>	23
FIGURA 2.14. <i>MICROCONTROLADOR</i>	23
FIGURA 2.15 <i>MINI FUENTE DE C.C.</i>	24
FIGURA 2.16 <i>SWITCH DE ETHERNET</i>	24
FIGURA 2.17 <i>CONTACTOR ELÉCTRICO</i>	25
FIGURA 2.18 <i>BREAKER ELÉCTRICO TRIFÁSICO</i>	25
FIGURA 2.19 <i>TERMOPAR</i>	26
FIGURA 2.20 <i>TERMORRESISTENCIAS RTD DE VOLTAJE</i>	26
FIGURA 2.21 <i>TERMISTORES</i>	27
FIGURA 2.22 <i>PIRÓMETROS ÓPTICOS O SIN CONTACTO</i>	27
FIGURA 2.23 <i>CONTROLADORES DE TEMPERATURA</i>	28
FIGURA 2.24 <i>PARO DE EMERGENCIA</i>	28
FIGURA 2.25 <i>LUCES PILOTOS</i>	29
FIGURA 2.26 <i>SELECTOR ELÉCTRICO</i>	29
FIGURA 2.27 <i>CONTROL ON/OFF DE TEMPERATURA</i> [35].....	30
FIGURA 2.28 <i>CONTROLADOR DE TEMPERATURA PROPORCIONAL</i> [37].....	31
FIGURA 2.29 <i>DIAGRAMA DE UN SISTEMA PID</i> [39].....	32
FIGURA 2.30 <i>CONTROLADOR FUZZY</i> [41].....	32
FIGURA 3.1 ESTRUCTURA DE UNA SECADORA CILÍNDRICA DE CACAO.....	33
FIGURA 3.2 BLOQUE DE FUNCIÓN COMO INSTANCIA INDIVIDUAL, CONTROL PID.....	36

FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES PIDT1 CON ANTI-WINDUP	37
FIGURA 3.4 BLOQUE PID_COMPACT PARA CONTROLAR LA TEMPERATURA.....	38
FIGURA 3.5 CURVAS DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.....	39
FIGURA 3.6 PLACA DE MOTOR REDUCTOR DE MEZCLADORA	46
FIGURA 3.7 BALANCE DEL FLUJO MASICO DE LA ENTRA Y DE LA SALIDA.....	50
FIGURA 4.1 RELACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPO A 60 °C	55
FIGURA 4.2 APERTURA DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL A 60 °C	56
FIGURA 4.3 RELACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPO A 65 °C	57
FIGURA 4.4 APERTURA DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL A 65 °C	57
FIGURA 4.5 RELACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPO A 70 °C	58
FIGURA 4.6 APERTURA DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL A 70 °C	58
FIGURA 4.7 MASA INICIAL DEL CACAO	59
FIGURA 4.8 INICIO DEL PROCESO DEL SECADO	60
FIGURA 4.9 HUMEDAD INICIAL DE LOS GRANOS DE CACAO.....	60
FIGURA 4.10 RELACIÓN DE TEMPERATURA Y TIEMPO EN EL PROCESO DE SECADO.....	61
FIGURA 4.11 APERTURA DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL CON CARGA 70 °C	61
FIGURA 4.12 HUMEDAD FINAL DEL CACAO SECO.....	62
FIGURA 4.13 PORCENTAJE DE HUMEDAD DURANTE EL TIEMPO DE SECADO.....	64
FIGURA 4.14 RELACIÓN DE HUMEDAD Y PESO RESPECTO A HORAS DE SECADO.....	65
FIGURA 4.15 RECOPIACIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA 1, TEMPERATURA 2 Y TOTAL	65
FIGURA 4.16 COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA DE ESTABILIZACIÓN EN LA SECADORA CILÍNDRICA	66
FIGURA 4.17 REDUCCIÓN DE LA MASA DEL GAS RESPECTO AL TIEMPO	67

ÍNDICE DE TABLAS:

TABLA 1.1. TAREAS PARA CUMPLIR	5
TABLA 2.1 TIPOS DE CONVECCIÓN	13
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL SECADO DE CACAO	16
TABLA 2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJA DE LOS DIFERENTES SECADOS.....	17
TABLA 2.4 ETAPAS PARA EL SECADO DE CACAO MEDIANTE EL CONTROL DE TEMPERATURA	17
TABLA 3.1 DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN SECADOR DE CACAO CONTROLADO POR PID	35
TABLA 3.2 PROCESO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL PID	36
TABLA 3.3 CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA DE LA MAQUINA	38
TABLA 3.4 VALORES FÍSICOS DE LOS CULTIVADOS DE CACAO [42]	40
TABLA 3.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DETECTOR DE HUMEDAD DE CEREALES [43].....	40
TABLA 3.6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MEDIDOR DE HUMEDAD [44]	41
TABLA 3.7 AMPACIDAD DE LOS ELEMENTOS DE LOS ELEMENTOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL	47
TABLA 4.1 RELACIÓN DE PORCENTAJE DEL SOPLADOR POR EL FLUJO VOLUMÉTRICO Y TIA PORTAL	55
TABLA 4.2 HUMEDAD DEL CACAO SEGÚN SU ESTADO	62
TABLA 4.3 PRECIO DEL CACAO SEGÚN CONDICIONES DE ESTADO.....	63
TABLA 4.4. COMPARACIÓN DEL SECADO	63
TABLA 4.5 PORCENTAJE DE HUMEDAD DURANTE EL TIEMPO DE SECADO	64
TABLA 4.6 RELACIÓN DE HUMEDAD Y PESO RESPECTO A HORAS DE SECADO	64
TABLA 4.7 CARACTERÍSTICAS DEL GAS GLP DE ACUERDO CON SU PESO EN VACÍO	67
TABLA 4.8 CARACTERÍSTICAS DEL GAS GLP DE ACUERDO CON SU PESO CON CARGA	67
TABLA 4.9 TIEMPO DE SECADO DE CACAO MENSUAL	68
TABLA 4.10 CONSUMO DE ENERGÍA DE CADA COMPONENTE DE LA SECADORA CILÍNDRICA	68
TABLA 4.11 USO DE CABLEADO DE ACUERDO CON SU AMPACIDAD	69
TABLA 4.12 PRECIO DE VENTA DEL CACAO EN DIFERENTES CONDICIONES	71
TABLA 4.13 CANTIDAD MENSUAL DE SECADO DEL PRODUCTO.....	71
TABLA 4.14 MASA PERDIDA EN EL SECADO DE CACAO.....	71
TABLA 4.15 PRECIO DEL CACAO SECO, MEDIANTE EL USO DE LA SECADORA.....	72
TABLA 4.16 CONSUMO ENERGÉTICO EN DÓLARES.....	72
TABLA 4.17 GANANCIA DIARIA NETA EN EL SECADO	73

TABLA 4.18 GANANCIAS MENSUALES EN EL SECADO	73
TABLA 4.19 BENEFICIOS DE LA SECADORA CILÍNDRICA CON CONTROL DE TEMPERATURA	74
TABLA 4.20 PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA SECADORA CILÍNDRICA.....	75
TABLA 4.21 COSTOS DE TRANSPORTE Y VARIOS	76
TABLA 4.22 COSTO DE MATERIALES Y OTROS	76
TABLA 4.23 COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	76

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TEMA: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UNA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO”

Autores:

Guaquipana Rumiguano Marlon Jesus
López Gamboa Pablo Andrés

Tutor:

PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique

RESUMEN

La inexistencia de un control de temperatura adecuada mediante la regulación del flujo de aire y gas en la secadora experimental cilíndrica afecta desde un uso ineficiente de la energía, inconsistencia del secado y degradación de la calidad del producto.

El proceso de secado del cacao es un paso importante en su funcionamiento, ya que ayuda a reducir la humedad que se encuentra del 40 y 60 % a una humedad del entre el 7 y 8 %. Para que el proceso de secado sea exitoso, es fundamental mantener una temperatura ideal de 65 a 70 °C.

Se realiza un sistema de control de temperatura mediante un PLC con un control PID, que está diseñado para medir y ajustar automáticamente la temperatura, determinando si es necesario aumentar o disminuir la temperatura según las necesidades del proceso de secado del cacao. El sistema incluye sensores de temperatura colocados estratégicamente dentro de la cámara de la secadora, que miden continuamente la temperatura del flujo de calor de aire, donde estos sensores RTD PT-100 envían señales a un controlador lógico programable (PLC S7-1200), que procesa la información y realiza los ajustes necesarios. Además de regular la temperatura, el sistema de control incluye notificaciones para alertar mediante el uso de una pantalla HMI donde se puede visualizar las desviaciones significativas o peligrosas en la temperatura, asegurando así la seguridad del proceso y evitando daños en el producto a secar.

Mediante la utilización del sistema de control de temperatura de secado, se obtiene de forma experimental los siguientes parámetros: masa inicial de cacao es 45,36 kg, con un contenido de humedad del 60%, la temperatura de trabajo del secado es de 70 °C, el caudal de suministro de GLP es de 2 kg/h y el caudal volumétrico de aire es de $127 \frac{ft^3}{h}$, finalizando el proceso de secado se obtiene una masa final de cacao del 34,63 kg con un contenido de humedad del 7.1%.

Palabras Clave:

Secado de cacao- Control lógico programable -Temperatura de secado- Contenido de Humedad.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

SUBJECT: "DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR AN EXPERIMENTAL CYLINDRICAL COCOA DRYER".

Authors: Guaquipana Rumiguano Marlon Jesus
López Gamboa Pablo Andrés

ABSTRACT

The lack of proper temperature control by regulating the flow of air and gas in the experimental cylindrical dryer affects from inefficient use of energy, inconsistency of drying and degradation of product quality. The drying process of cocoa is an important step in its operation, as it helps to reduce the moisture content from 40 to 60% to between 7 and 8%. For the drying process to be successful, it is essential to maintain an ideal temperature of 65 to 70 °C. A temperature control system is implemented using a PLC with a PID control, which is designed to automatically measure and adjust the temperature, determining whether it is necessary to increase or decrease the temperature according to the needs of the cocoa drying process. The system includes temperature sensors strategically placed inside the dryer chamber, which continuously measure the temperature of the air heat flow, where these PT-100 RTD sensors send signals to a programmable logic controller (PLC S7-1200), which processes the information and makes the necessary adjustments. In addition to regulating the temperature, the control system includes notifications to alert through the use of an HMI display where significant or dangerous deviations in temperature can be visualized, thus ensuring the safety of the process and avoiding damage to the product to be dried. By using the drying temperature control system, the following parameters are obtained experimentally: initial mass of cocoa is 45.36 kg, with a moisture content of 60%, the drying working temperature is 70 °C, the LPG supply flow rate is 2 kg/h and the volumetric air flow rate is 127 [ft] ³/h, finishing the drying process, a final cocoa mass of 34.63 kg with a moisture content of 7.1% is obtained.

KEYWORDS: Cocoa drying- Programmable logic control -Drying temperature- Moisture content.

INFORMACIÓN GENERAL:

Título:

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UNA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO”.

Fecha de inicio:

Abril 2023

Fecha de finalización:

Agosto 2023

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi campus la Matriz, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia:

Ingeniería en Electromecánica.

Proyecto de la investigación vinculado:

Equipo de trabajo:

- Guaquipana Rumiguano Marlon Jesús
- López Gamboa Pablo Andrés
- PhD. Torres Tamayo Enrique

Área de conocimiento:

07 ingeniería, Industria y Construcción/0714 Electricidad y Energía/ 072 Industria y producción.

línea de investigación:

Procesos Industriales.

Sub línea de investigación:

Automatización, control y protección de sistemas electromecánicos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

1.1.1. Situación Problemática

Según proyectos anteriores realizados en la Universidad Técnica de Cotopaxi, se ha desarrollado e implementado varios prototipos de secadores artificiales de cacao, por ejemplo: secadora de cacao cilíndrica, secadoras rectangulares con método de combustión por medio del uso de quemadores de gas y soplador centrífugo de aire, y una secadora híbrida mediante colectores solares, llevándoles a una forma no uniforme del secado, en una secadora de cacao por falta de un control de temperatura podría ser que la temperatura de secado sea demasiado alta o inconstante, lo que podría resultar en la descomposición del cacao y la pérdida de calidad del producto final.

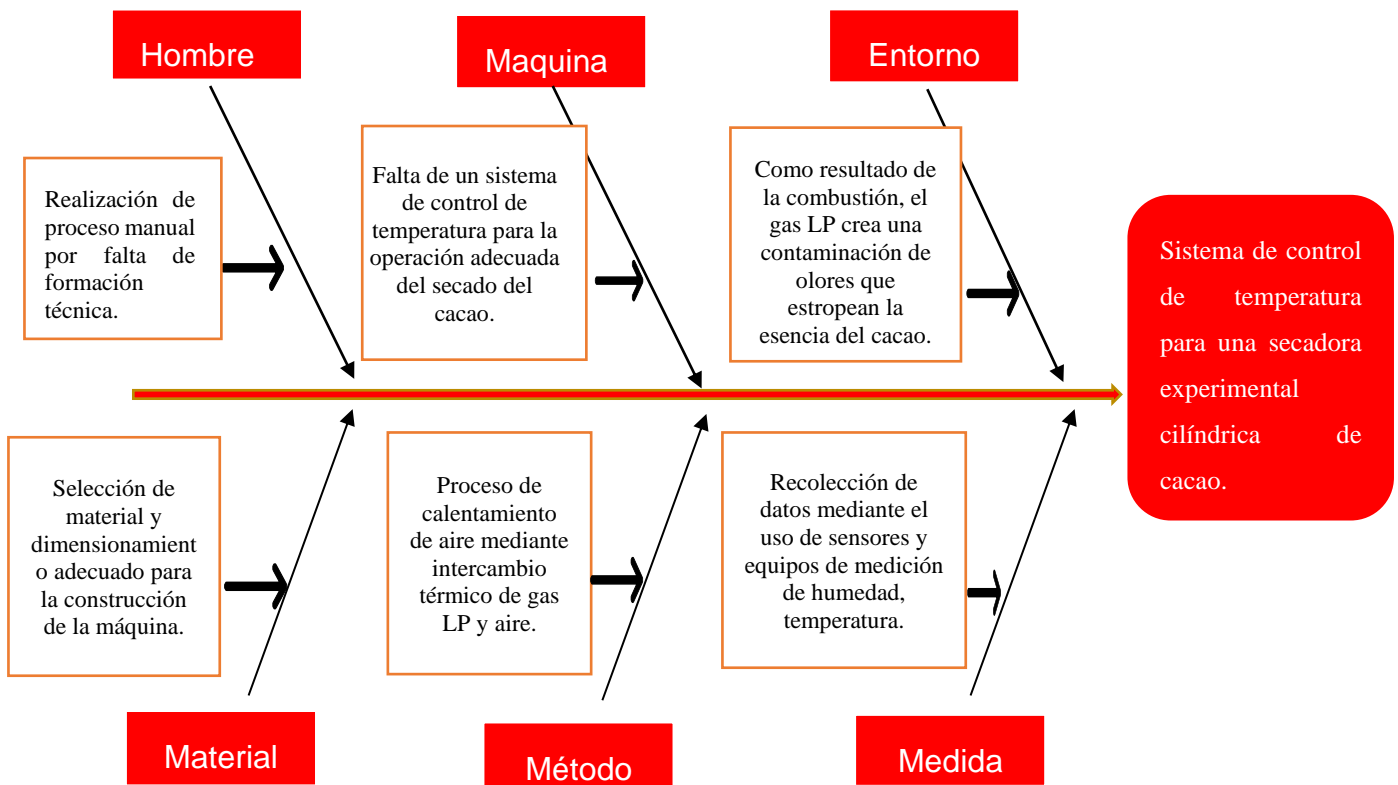


Figura 1.1 Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

1.1.2. Formulación del problema:

La inexistencia de un control de temperatura adecuada mediante la regulación del flujo de aire y gas en la secadora experimental cilíndrica afecta desde un uso ineficiente de la energía, inconsistencia del secado y degradación de la calidad del producto.

1.2. BENEFICIARIOS:

Este proyecto es de gran beneficio para los medianos y pequeños productores de cacao, permitiendo la reducción del secado de cacao y ayudando a conservar las propiedades nutricionales, sin tener pérdidas económicas y ergonómicas del mismo.

1.2.1. Directos

Los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

1.2.2. Indirectos

Medianos y pequeños productores de cacao.

1.3. JUSTIFICACIÓN:

La realización del proyecto de control de temperatura es de gran aporte para las secadoras artificiales de cacao que funcionan mediante el uso de energía térmica, ayudando a mantener una temperatura adecuada durante el secado, porque si se exponen a altas temperaturas prolongadas, puede reducir la cantidad los nutrientes en el producto final. Un control adecuado de la temperatura durante el secado garantiza que se conserven la mayoría de los nutrientes, y prevención de daños enzimáticos.

Al controlar la temperatura de la secadora cilíndrica de cacao ofrece una mayor confiabilidad y control a la hora del secado a diferencia del secado tradicional (sol) o de las secadoras artificiales que exponen al producto a altas temperaturas, siendo el control de temperatura vital para preservar la calidad del producto, prevenir daños al grano, mejorar la eficiencia del proceso y cumplir con los estándares y regulaciones establecidos. Esto contribuye a obtener cacao de alta calidad, competitivo en el mercado y que cumple con las expectativas de los consumidores.

1.4. HIPÓTESIS:

Con el sistema de control de temperatura permitirá una optimización automática de los parámetros de secado, como la humedad, temperatura, flujo de aire y gas, permitiendo la reducción de tiempo y costos, contribuyendo a una mayor eficiencia energética y reduciendo pérdidas, donde garantice un mejor rendimiento y rentabilidad de producción, conservando la calidad y sabor del producto.

1.5. OBJETIVOS:

1.5.1. General

Implementar un sistema de control de temperatura para una secadora experimental cilíndrica de cacao, mediante el uso de un controlador lógico programable (PLC), con la regulación del flujo de aire y gas para lograr una temperatura ideal en el proceso del secado del producto.

1.5.2. Específico

- Investigar documentación sobre los diferentes métodos de control de temperatura relacionados con el proceso de secado del cacao los cuales servirán de base para el desarrollo del presente proyecto.
- Diseñar un sistema de control de temperatura que permita ajustes precisos y rápidos en caso de desviaciones, estableciendo los rangos de temperatura adecuados para el proceso de secado, definiendo parámetros de temperatura, presión y flujo de calor.
- Realizar estudios experimentales de acuerdo con las condiciones actuales de la temperatura con relación del tiempo, con registros detallados de lectura y ajustes realizados en el control de temperatura, garantizando el cumplimiento del proyecto.

1.6. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1.1. Tareas para cumplir

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultado de las actividades	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Investigar documentación sobre los diferentes métodos de control de temperatura relacionados con el proceso de secado del cacao los cuales servirán de base para el desarrollo del presente proyecto.	Se investiga los diferentes procesos de regulación y variables que involucran a nuestro sistema de control de temperatura en la secadora cilíndrica.	Describe los diferentes tipos y condiciones en el momento del secado, así como las diferentes características y técnicas de las secadoras industrial.	Basado en un enfoque documental, mediante la utilización de artículos, libros y trabajos de investigación relacionados con el tema.
Diseñar un sistema de control de temperatura que permita ajustes precisos y rápidos en caso de desviaciones, estableciendo los rangos de temperatura adecuados para el proceso de secado, definiendo parámetros de temperatura, presión y flujo de calor.	El control se ajusta automáticamente a la salida de calor del secador para mantener la temperatura dentro de los rangos deseados, impidiendo el daño que esto podría ocasionar a los granos.	El sistema de automatización es un método ampliamente utilizado en la industria para controlar la temperatura de manera precisa y eficiente	Se ha utilizado dos termocuplas PT-100 como indicadores de temperatura. Además, se utiliza el software TÍA PORTAL para la calibración respecto a la temperatura promedio.
Realizar estudios experimentales de acuerdo con las condiciones actuales de la temperatura con relación del tiempo, garantizando el cumplimiento del proyecto, con la utilización de un control de temperatura con componentes electrónicos.	Se analiza el comportamiento de los componentes electrónicos y eléctricos, para un funcionamiento óptimo en nuestro sistema de control de temperatura.	Obtención de los datos correspondientes del secado para el proceso de comunicación y correcto en sistemas de control de temperatura integrado.	La recopilación de datos en la secadora de cilíndrica sobre el rendimiento mediante el uso del software LabVIEW, indicadores y sensores ayudará a identificar los cambios en el proceso de secado.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

El cacao se remonta a siglos atrás, con evidencia de su uso por civilizaciones mesoamericanas como los olmecas, mayas y aztecas. En algunas de las culturas que se desarrolló hace más de 3000 años, se encontraron imágenes de cacao en tinajas y esculturas. Se cree que los olmecas fueron los primeros en cultivar cacao y usarlo como alimento.

Posteriormente, los mayas continuaron cultivando y consumiendo cacao, considerándolo un alimento sagrado. De ella hacían una bebida amarga llamada "xocóatl" y la mezclaban con especias y miel. Posteriormente, los aztecas adoptaron el cacao y lo incorporaron a su cultura de formas aún más significativas. Consideraban el cacao un regalo de los dioses y lo usaban en ceremonias y celebraciones religiosas. Los aztecas también usaban el cacao como moneda y como bebida energética para guerreros y nobles [1].

El cacao ha sufrido importantes evoluciones a lo largo de la historia, pasando de ser un alimento sagrado y ritual en las culturas antiguas a convertirse en un producto de consumo mundial. Además, se ha investigado científicamente y se ha encontrado que tiene varios beneficios para la salud, especialmente porque es rico en antioxidantes y minerales como el magnesio.

Los aztecas, posteriormente, adoptaron el cacao y lo incorporaron a su cultura de una manera aún más significativa. Consideraban que el cacao era un regalo de los dioses y lo utilizaban en rituales religiosos y festividades. Los aztecas también utilizaban el cacao como moneda y como bebida energética para guerreros y nobles.

Fue durante la colonización de América por parte de los españoles que el cacao se llevó a Europa. Aunque al principio no fue muy popular, su consumo se fue extendiendo y se empezaron a añadir ingredientes como azúcar y leche para hacerlo más agradable al paladar.

En el siglo XVIII, el cultivo de cacao se expandió a otras regiones tropicales, como África y Asia, debido a su alta demanda. Actualmente, los principales productores de cacao son Costa de Marfil, Ghana e Indonesia.

En conclusión, la historia del cacao es una fusión de culturas, tradiciones y oficios que se ha desarrollado a lo largo de los siglos hasta convertirse en una de las bebidas más deseadas y valioso del mundo [2].

2.1.1. Estructura del sector del cacao en Ecuador

En esta sección se detalla la historia del cacao en Ecuador, así como la ubicación geográfica de su producción, principalmente en las regiones de Manabí, Los Ríos y Guayas.; el desarrollo de sus exportaciones y la estructura del sector cacaotero en el país [3].

2.1.2. Variedades de cacao en el Ecuador

Ecuador es conocido por producir una amplia variedad de cacao de una alta calidad. A continuación, se mencionan algunas de las variedades de cacao más destacadas en el Ecuador. Estas son solo algunas de las variedades de cacao que se encuentran en Ecuador. La diversidad de microclimas y regiones en el país permite la producción de diferentes tipos de cacao, lo que contribuye a la reputación de Ecuador como uno de los principales productores de cacao de calidad en el mundo [4].

2.1.3. Cacao Nacional

También conocido como Arriba, es la variedad de cacao más famosa de Ecuador. Es apreciado por su aroma floral y delicado sabor. Se encuentra principalmente en las regiones costeras [4].

2.1.4. Cacao CCN-51

Esta variedad es fruto de un cruce entre diferentes variedades de cacao y es conocido por su alta productividad y resistencia a plagas y enfermedades. Aunque no tiene el mismo prestigio que el cacao Nacional, es ampliamente utilizado en la industria chocolatera de Ecuador [5].

2.1.5. Cacao Criollo

Esta variedad es reconocida por su sabor suave y cremoso. Sin embargo, la producción de cacao Criollo en Ecuador es limitada, ya que es más susceptible a enfermedades y presenta menor resistencia. [6]

2.1.6. Cacao Trinitario

Esta variedad es un híbrido entre el cacao Criollo y el cacao Forastero. Combina las mejores cualidades de ambos, con un sabor más intenso que el Criollo y una mayor resistencia que el Nacional [6].

2.1.7. Producción de cacao

Ecuador es uno de los principales productores y exportadores de cacao del mundo, por lo que su producción de cacao es crucial. Se cree que Ecuador produce alrededor del 60% del cacao fino y de aroma del mundo [6].

En Ecuador, se cultiva principalmente el cacao en las zonas de la Costa y la Amazonía, donde el clima y el suelo son favorables para su cultivo. En Ecuador, Guayas, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas, El Oro, Napo y Morona Santiago son algunas de las principales regiones productoras de cacao. Ecuador cultiva principalmente cacao fino de aroma, conocido por su sabor y aroma distintivos. En la industria del chocolate [7].

2.1.8. Cultivo de cacao

El cultivo de cacao es uno de los principales rubros agrícolas de Ecuador. El país es reconocido a nivel mundial por producir cacao de alta calidad, especialmente el cacao fino de aroma, que es muy apreciado en la industria chocolatera.

El cultivo de cacao en Ecuador sigue prácticas agroecológicas y sostenibles, promoviendo la conservación del medio ambiente y la biodiversidad. Además, existen proyectos de certificación orgánica y comercio justo que buscan mejorar las condiciones de vida de los agricultores y garantizar la calidad del cacao producido.

Esta actividad es de gran importancia económica y social para el país. La calidad de su cacao, junto con la implementación de prácticas sostenibles, ha ayudado a posicionar a Ecuador como uno de los principales productores de cacao a nivel mundial [8].

2.1.9. Secado del cacao

El secado del cacao es el proceso fundamental para la producción y posterior conversión de las semillas de cacao en chocolate u otros productos derivados. El propósito es reducir la humedad del cacao y estabilizar su contenido de agua, prevenir la aparición de moho y garantizar su conservación a largo plazo.

Sin embargo, en algunas zonas donde las condiciones climáticas no son favorables o existe la necesidad de procesar grandes volúmenes de cacao, se utiliza el secado mecánico. Este proceso consiste en el uso de máquinas secadoras que proporcionan calor y aire en condiciones

controladas para acelerar la evaporación del agua. El tiempo de secado mecánico es mucho más rápido, generalmente de 6 a 12 horas.

Cabe mencionar que el secado correcto del cacao es fundamental para un producto final de buena calidad. Si no se seca lo suficiente, el cacao puede adquirir un sabor extraño y ser más propenso a hongos y moho. Por otro lado, el secado excesivo puede afectar negativamente las propiedades del cacao, como el sabor y el aroma [9].

2.1.10. Secado tradicional

consiste en extender los granos de cacao en una superficie plana y exponerlos directamente a la luz solar durante varios días. Es el método más utilizado en las zonas tropicales y requiere de buenas condiciones climáticas, como sol y viento, además de una buena removida de los granos de cacao todo esto para evitar la fermentación excesiva y la formación de moho.



Figura 2.1 *Secado tradicional del cacao* [9]

2.1.11. Secado mediante marquesinas

Este secado consiste en regar los granos de cacao dentro de una estructura cubierta de un plástico color blanco o transparente totalmente cerrada para así contener un alto grado de temperatura en el mismo, este es el segundo método más utilizado por los agricultores para el secado del cacao.

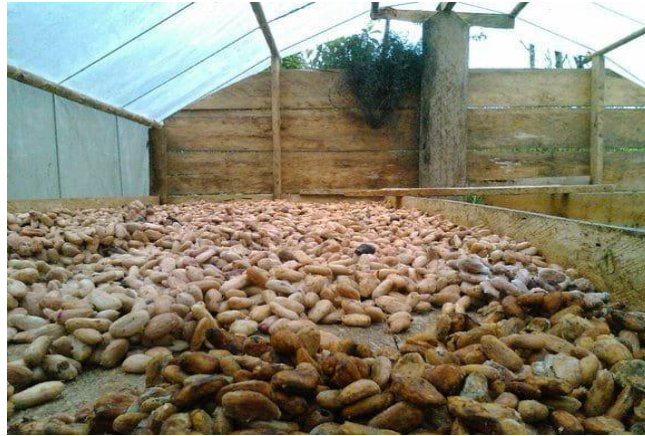


Figura 2.2 *secado mediante marquesinas*

2.1.12. Secado en tendales

El secado de cacao en tendal es un método tradicional utilizado en muchas regiones productoras de cacao en todo el mundo. El proceso de secado en tendal implica extender los granos de cacao sobre el suelo o plataformas elevadas llamadas tendales, donde son expuestos al sol durante varios días. El primer paso para secar el cacao en tendal es seleccionar y limpiar los granos. Los granos deben estar maduros y libres de suciedad, piedras u otros materiales extraños. También se deben eliminar los granos dañados o no maduros.

Una vez que los granos están listos, se extienden sobre el suelo o los tendales en una capa delgada y uniforme. Es importante asegurarse de que los granos estén bien distribuidos y no se amontonen, para permitir una buena circulación de aire y un secado uniforme.



Figura 2.3 *Secado en tendales*

2.1.13. Secado mecánico

Se utilizan máquinas o equipos especiales que controlan la temperatura y la humedad para secar los granos de cacao de manera más rápida y eficiente. Este método es común en áreas donde el clima no permite un secado adecuado al sol, se utiliza calor artificial para acelerar el proceso de secado. Este método puede ser utilizado en combinación con otros métodos, como el secado al sol, para asegurar un secado uniforme y controlado de los granos de cacao.



Figura 2.4 *Secado de cacao mediante maquinas*

2.2. MARCO REFERENCIAL

Una secadora de cacao es una máquina utilizada en el procesamiento de cacao para secar granos de cacao fermentados. Estas máquinas se utilizan para eliminar la humedad de los granos de cacao y reducir su contenido de humedad a un nivel óptimo para el almacenamiento y uso posterior en la producción de productos de chocolate y otros derivados del cacao. Los secadores de cacao suelen ser cilíndricos y están equipados con sistemas de calefacción y ventilación para generar el calor necesario y garantizar una distribución uniforme del aire caliente dentro de la máquina.

Los granos de cacao se colocan en bandejas o canastas en una secadora a través de la cual circula aire caliente para evaporar la humedad. Según el tamaño y el tipo de secadora, el proceso de secado puede durar horas. Un secado adecuado del cacao es fundamental para obtener un producto final de calidad.

Demasiada humedad en los granos de café puede causar moho, deterioro y pérdida de aroma y sabor. Por lo tanto, los secadores de cacao juegan un papel crucial en el procesamiento del cacao, asegurando que los granos de cacao estén secos y en condiciones óptimas para su posterior procesamiento y almacenamiento [10].

2.2.1. Principio de secado

El principio de secado del cacao es el proceso mediante el cual se extrae la cantidad adecuada de humedad presente en los granos de cacao para su posterior procesamiento. El secado es una etapa crítica en la producción de cacao, ya que un secado inadecuado puede afectar negativamente la calidad y el sabor del cacao.

2.2.2. Transferencia de calor

Para que pueda existir la transferencia de calor en el cacao, este debe producirse principalmente a través de tres mecanismos: conducción, convección y radiación.

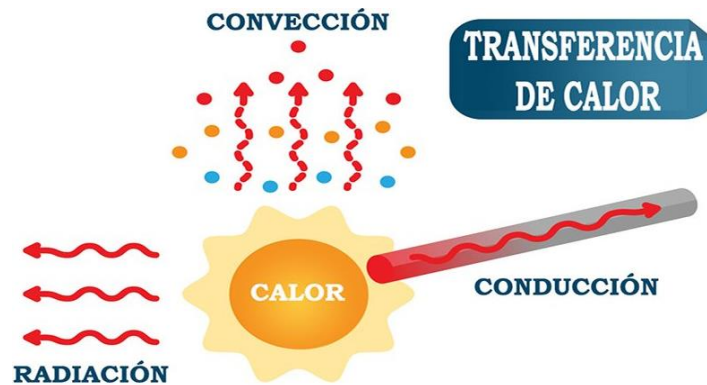


Figura 2.5 *Transferencia de calor*

2.2.3. Conducción

La conducción es la transferencia de calor a través de la materia sólida, típicamente por contacto directo. En el caso del cacao, cuando se coloca sobre una superficie caliente, el calor se transmite desde la superficie hacia el cacao. Esto puede llevar a que el cacao se derrita si la temperatura es lo suficientemente alta.

2.2.4. Convección

La convección es la transferencia de calor a través de un fluido. En el caso del cacao líquido, por ejemplo, el chocolate caliente, el calor se transmite desde la fuente de calor al cacao mediante contacto directo con el fluido caliente. La convección también puede ocurrir en cacao en polvo, cuando se mezcla con un líquido caliente, como la leche caliente para hacer chocolate caliente. En este caso, el calor se transfiere a través del líquido caliente, calentando el cacao en polvo.

2.2.5. Radiación

La radiación es la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas. En el caso del cacao, este mecanismo es menos relevante, ya que el cacao no emite ni absorbe grandes cantidades de radiación. Sin embargo, si se expone a radiación solar directa, el cacao puede calentarse debido a la absorción de radiación solar.

2.2.6. Coeficiente de transferencia de calor

Dentro de la transferencia de calor el coeficiente de convección es un parámetro importante, se determinó experimentalmente que este valor depende de ciertas variables, pero es Los valores típicos para algunos fluidos se muestran en la siguiente tabla [11].

Tabla 2.1 *Tipos de convección*

Tipo de convección	H w/m² °C
Convección libre de gases	2 – 25
Convección libre de líquidos	10 – 1000
Convección forzada de gases	25 – 250
Convección forzada de líquidos	50 – 20000
Ebullición y condensación	250-100000

2.2.7. Ley del enfriamiento de Newton

El fenómeno de la convección se rige por la siguiente ecuación:

$$Q_{conv} = hA_s (T_s - T_{\infty})$$

Donde:

h : Es el coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² (°C)].

A_s : Área superficial a través de la cual tiene lugar la convección. (m²)

T_s : Temperatura de la superficie. (°C)

T_{∞} : Temperatura del fluido alejado de la superficie (°C)

2.2.8. Métodos de secado de cacao

Hay varios métodos de secado de cacao utilizados en la industria alimentaria. Algunos de los métodos más comunes son:

2.2.9. Infrarrojo

Se utiliza una fuente de calor infrarroja para secar el cacao. Este método puede ser más rápido que otros métodos de secado y puede ayudar a preservar el sabor y las cualidades organolépticas del cacao.

2.2.10. Liofilización

Este método implica la congelación del cacao y la eliminación del agua mediante sublimación, es decir, pasar directamente de estado sólido a gas sin pasar por el estado líquido. La liofilización puede ayudar a preservar el sabor y las cualidades nutricionales del cacao, pero suele ser más costosa y requiere equipos especiales.

2.2.11. Secado en secaderos

Se utilizan secaderos especiales para secar el cacao de forma controlada. Estos secaderos pueden ser de diferentes tipos, como secaderos de tambor o secaderos de lecho fluidizado. En estos secaderos, se controla la temperatura, la humedad y la circulación de aire para acelerar el proceso de secado y obtener un producto de alta calidad.

2.2.12. Secado de contacto

El secado de contacto es un método de secado utilizado en la industria del cacao para reducir la humedad de los granos de cacao después de la fermentación. Este proceso es crucial para garantizar la calidad del cacao y obtener un producto final de excelencia.

El secado de contacto del cacao es un proceso en el que los granos se colocan directamente sobre una superficie (como una plataforma de secado o una malla) para permitir que el aire caliente circule a través de ellos y elimine la humedad. Por lo general, se utilizan diferentes tipos de secadores, como secadores solares, secadores mecánicos o secadores eléctricos, para llevar a cabo este proceso.

Es importante tener en cuenta que el método de secado utilizado puede afectar la calidad y características del cacao final, como el sabor, el aroma y la textura. Por lo tanto, es importante elegir el método de secado adecuado según las necesidades y requisitos de producción [12].

2.2.13. Parámetros de secado

El cacao es uno de los principales productos agrícolas de mayor ingreso económico en el Ecuador. También necesita pasar por un proceso de secado antes de su procesamiento. Después del proceso de fermentación, la humedad del cacao es del 55% [13].

2.2.14. Fermentación

La fermentación es un proceso en el que las almendras deben aislarse para conservar el calor y que el aire pueda pasar entre las almendras. Esta acción es una combinación de temperatura y equilibrio. El proceso de fermentación consiste en matar el germen de almendras durante la fermentación. La temperatura puede alcanzar hasta 50 °C [13].

2.2.15. Humedad

En el proceso de convertir el material que es el cacao en un producto final, el primer paso es secarlo ambiental o artificialmente antes de convertirlo en el producto deseado. La industria requiere cacao con un contenido de humedad de alrededor de 6 a 7% [14].

2.2.16. Flujo de aire

El flujo de aire utilizado para el secado del cacao depende del tipo de secador utilizado, ya sea natural o artificial.

En el secado natural, el flujo de aire se basa en la circulación del aire ambiente a través del cacao extendido al sol. Para optimizar este proceso, es importante que el aire circule de manera constante y uniforme. Se recomienda que el cacao se coloque en capas delgadas para permitir una mejor exposición al aire y se gire de vez en cuando para asegurar un secado uniforme. El flujo de aire en este caso depende de la velocidad y dirección del viento, por lo que no se puede controlar completamente.

En el secado artificial, se utiliza un secador diseñado específicamente para este propósito. El flujo de aire en este caso es controlado a través de ventiladores y conductos. El aire caliente es insuflado en el secador y circula sobre el cacao a través de conductos. La velocidad y temperatura del aire pueden ajustarse dependiendo de la humedad y la calidad del cacao. Se busca lograr un equilibrio entre la velocidad del flujo de aire y la temperatura, de manera que

el cacao se seque de manera efectiva sin afectar su calidad. En general, se recomienda un flujo de aire de 1 a 2 metros por segundo para asegurar un secado uniforme [15].

2.2.17. Temperatura

Resulta que la etapa de secado del cacao es un proceso muy importante que afecta la calidad del cacao. Obtener una buena calidad del producto. Según la siguiente tabla indica las propiedades esenciales del cacao en el proceso de secado. Alcanzar entre ellos, de 6 a 8 cm de espesor (40 kg granos húmedos por metro cuadrado de superficie seca) y frecuencia de rotación 10 veces al día, el secado natural dura 10 días. Grano en la puesta del sol se apilan para que no suba la humedad. Durante el procesamiento artificial la temperatura máxima es de 70 °C [16].

Tabla 2.2 *Características del secado de cacao*

Características	Descripción
Temperatura	70 °C
Humedad Final	6 a 8 %
Espesor del tendido	6 a 8 cm
Frecuencia de volteo	10 vueltas

2.2.18. Ventajas y desventajas de los diferentes secados

Lo que se desea explorar al hacer un análisis comparativo es comprender la contribución de los dos secadores de cacao. Como sugiere la literatura, considere las ventajas y desventajas de cada uno para que pueda tener una idea clara de qué tipo de secadora ayudará a maximizar el secado y qué sistema mantendrá su calidad.

Diferentes industrias pueden usar diferentes métodos de secado. El proceso de secado depende de materiales y condiciones específicos, por lo que no es posible establecer una temperatura específica para cada situación. Aquí hay algunas ventajas y contras de los diferentes métodos de secado:

Tabla 2.3. Ventajas y desventaja de los diferentes secados

VARIABLES	SECADO TRADICIONAL	SECADO POR MAQUINA
bajos costes de instalación		X
Exposición a contaminantes (olor, polvo, insectos, etc.)		X
largo tiempo de secado		X
dependiendo del clima de la región		X
uso de combustibles fósiles	X	
altos costos de instalación	X	
Control de factores, humedad temperatura, viento, etc.	X	
Mejor calidad de secado	X	
Dependiente del clima	X	
Producción controlada	X	
Secado extremo	X	
Deshidratación empobrecida		X
Mayor rentabilidad	X	

2.2.19. Ciclos del secado de cacao

El proceso de secado es esencial para garantizar la calidad del producto. El objetivo principal es reducir la humedad del cacao evitando deterioro y daño del cacao.

Tabla 2.4 Etapas para el secado de cacao mediante el control de temperatura

Etapas de secado	Detalle
Pre-Secado	Durante esta etapa es importante controlar la temperatura para evitar un calentamiento excesivo de los granos, manteniendo en un rango de temperatura de 35 a 40 °C.
Secado	En esta etapa se aplica calor a los granos de temperatura para acelerar el proceso de secado. Generalmente debe mantenerse la temperatura del secador entre los 60 y 80 °C, llegando a la humedad deseada del 7 %.
Enfriamiento	Una vez llegada a la humedad del 7% se recomienda, refrigerar el cacao con mediante una corriente de aire frio reduciendo rápidamente su humedad y evitar q se continúe secando.

Según la tabla 2.4 el control de temperatura durante el proceso de secado consta de una etapa de Pre-Secado, secado y enfriamiento. Durante cada etapa es esencial mantener la temperatura adecuada para garantizar la calidad del producto.

2.2.20. Control lógico programable (PLC)

Es un dispositivo electrónico diseñado para controlar y automatizar procesos industriales y de maquinaria. El PLC utiliza una lógica programable para controlar el funcionamiento de un sistema, tomando decisiones basadas en la entrada de datos y las instrucciones programables.

El PLC consiste en una unidad central de procesamiento (CPU), que ejecuta el programa lógico y varios módulos de entradas y salidas, requiere recibir las señales de entrada y envía las señales de salida, puede recibir señales de sensores como interruptores, transductores o cámaras y controlar dispositivos de salida como motores, válvulas o luces.

Consta de 2 partes principales:

2.2.20.1. Hardware

Es la parte física y tangible de un dispositivo en la se colocan varios bloques que permiten un controlador o autómatas que funcione correctamente.

2.2.20.2. Software

Es la parte invisible, los diversos programas que se cargan en el bloque de memoria e instrucciones que encontramos en la ROM del sistema. [17]

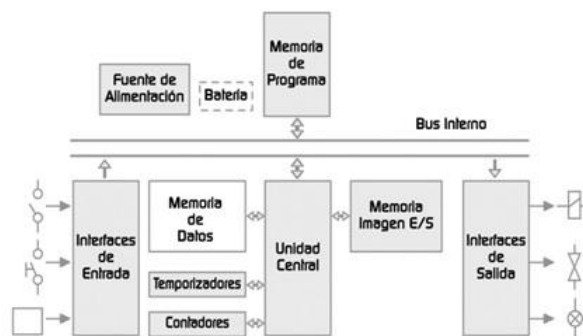


Figura 2.6 estructura interna de un PLC

2.2.21. Módulo de entradas y salidas analógicas (E/S; A)

El módulo de entradas y salidas analógicas es un dispositivo que permite la conexión de sensores y actuadores analógicos a un sistema de control o monitoreo. Proporciona la conversión de señales eléctricas analógicas en señales digitales que pueden ser procesadas por un microcontrolador o un PLC.

Las entradas analógicas pueden ser usadas para medir y monitorear variables físicas como temperatura, presión, nivel de líquidos, etc. Estas entradas miden la cantidad de voltaje aplicado o generado por el sensor y lo convierten en un valor digital que puede ser utilizado por el sistema de control.

Las salidas analógicas, por otro lado, pueden ser usadas para controlar dispositivos como motores, válvulas, calentadores, etc. Estas salidas generan un voltaje proporcional a una señal digital de control, lo que permite controlar la variable física medida o monitoreada. [18]

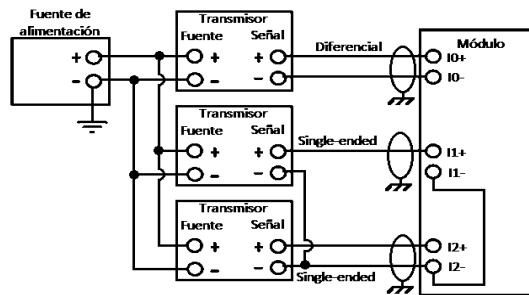


Figura 2.7 Figura 2.10 Módulo de entrada salida analógica. SIMATIC S7-1200 [19]

2.2.22. Pantalla HMI Wecon

La pantalla HMI Wecon ofrece una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar para controlar y supervisar equipos y procesos industriales. Está diseñada para ser utilizada en entornos industriales exigentes y cuenta con características y funcionalidades avanzadas, como comunicación multi-puerto, capacidad de almacenar datos históricos y capacidad de acceso remoto.

La pantalla HMI Wecon se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones industriales, como maquinaria de envasado, sistemas de control de acceso, sistemas de control de calidad y más. Proporciona una forma eficiente y confiable de interactuar con los productos y procesos industriales [20].



Figura 2.8 Pantalla HMI Wecon

2.2.23. Soplador de aire Blower Fragua

El blower de aire, también conocido como soplador de aire, es un dispositivo que genera una corriente de aire fuerte y constante. Se utiliza comúnmente en diversas aplicaciones. Existen diferentes tipos de blower de aire, incluyendo los manuales, que se pueden operar mediante una corriente de aire generada con una perilla o presionando un gatillo; y los eléctricos, que suelen ser más potentes y funcionan conectados a una fuente de energía eléctrica.

Es importante tener en cuenta que el uso de un blower de aire requiere precaución, ya que la corriente de aire generada puede ser fuerte y causar daño o lesiones si se dirige directamente a personas u objetos sensibles. También es recomendable leer las instrucciones de uso y seguridad proporcionadas por el fabricante antes de utilizar el dispositivo [21].



Figura 2.9. *Blower de 3 pulgadas* [21].

2.2.24. Válvula proporcional de gas

La válvula proporcional de gas funciona enviando una señal eléctrica al solenoide de la válvula, lo que permite que la cantidad de gas que fluye a través de ella sea controlada de forma proporcional a la señal enviada. Esto permite un control preciso de la cantidad de gas suministrada y, por lo tanto, del rendimiento del sistema.

Las válvulas proporcionales de gas son ampliamente utilizadas en la industria para controlar la velocidad y la presión del gas en aplicaciones tales como en hornos industriales, sistemas de combustión y sistemas de calentamiento, permitiendo controlar de forma precisa la cantidad de gas que fluye a través de un sistema mediante el uso de una señal eléctrica. Esto es útil en aplicaciones donde se requiere un control preciso del flujo de gas [22].



Figura 2.10. *Válvula proporcional de gas [23]*

2.2.25. Modulo y chispero eléctrico

El chispero eléctrico consiste en un circuito electrónico que se activa cuando se acciona un interruptor. Cuando se activa, se genera una alta tensión eléctrica en un circuito cerrado que se descarga a través de dos electrodos. Esta descarga genera una chispa eléctrica de alta energía entre los electrodos, la chispa generada por el chispero eléctrico es lo suficientemente caliente para inflamar el gas o cualquier material inflamable presente en el dispositivo al que está conectado.

Además, la chispa es de corta duración, lo que reduce el riesgo de accidentes o incendios, el chispero eléctrico es un dispositivo seguro y eficiente para encender fuego en diferentes aplicaciones. Su diseño compacto y su facilidad de uso lo hacen popular tanto en el hogar como en entornos industriales. Además, no requiere el uso de combustibles o productos químicos adicionales, lo que lo hace una opción respetuosa con el medio ambiente y económica a largo plazo [24].



Figura 2.11. *Modulo y chispero eléctrico domestico*

2.2.26. Relé electromagnético industrial

Un relé electromecánico industrial es un dispositivo utilizado en sistemas de control industrial para la conmutación de señales eléctricas de baja potencia. Consiste en bobinas, contactos móviles y contactos fijos. Cuando se aplica una corriente a la bobina, se genera un campo magnético que hace que los contactos móviles se muevan y se conecten o desconecten de los contactos fijos, permitiendo la conmutación de la señal. La ventaja de los relés electromecánicos industriales es su capacidad para conmutar señales de baja potencia de manera confiable y segura.

Son ampliamente utilizados en sistemas de control de procesos industriales, sistemas de automatización y sistemas de protección de equipos eléctricos. También son comúnmente utilizados en aplicaciones de control de motores, donde pueden controlar el encendido y apagado de motores eléctricos de alta potencia. Algunas características importantes por considerar al seleccionar un relé electromecánico industrial incluyen la capacidad de conmutación, el tiempo de respuesta, el número de contactos, la tensión y la corriente nominales. También es necesario considerar las condiciones ambientales en las que se utilizará el relé, como la temperatura, la humedad y la presencia de vibraciones o impactos [25].

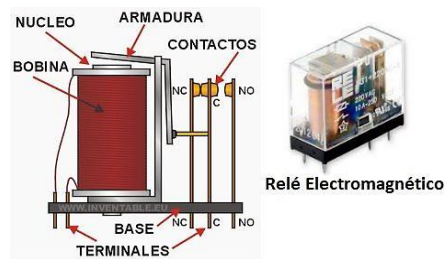


Figura 2.12. Relé Electromagnético

2.2.27. Fuente de corriente continua (24 V)

Una fuente de alimentación de 24 voltios es un dispositivo o sistema que proporciona una corriente eléctrica continua de 24 voltios. Estas fuentes de alimentación son conmutables y ajustables y se utilizan en una variedad de aplicaciones, como la alimentación de dispositivos electrónicos, la carga de baterías, la alimentación de sistemas de iluminación y más. Las fuentes de alimentación de 24 voltios pueden tener diferentes características, como corriente de salida máxima, protección contra sobrecarga y sobretensión, y diferentes tipos de conexiones y terminales. Algunas fuentes de 24 voltios también pueden tener características adicionales, como regulación de voltaje o control remoto [26].

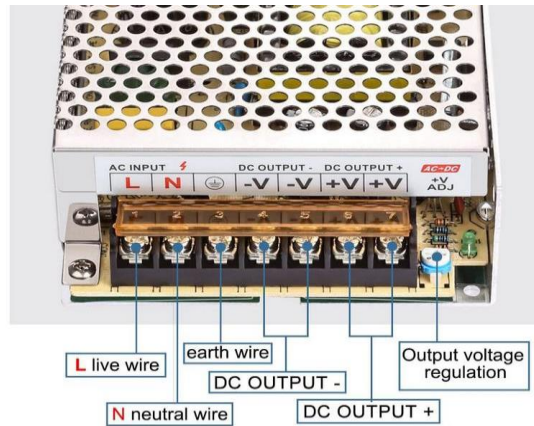


Figura 2.13. Fuente de alimentación de C.C.

2.2.28. Microcontrolador

El microcontrolador más común utilizado en dispositivos Arduino es ATmega328P. Este microcontrolador es un chip de 8 bits con una velocidad de reloj de 16 MHz, con memoria flash para almacenamiento de programas, RAM para datos temporales y EEPROM para almacenamiento permanente. Los microcontroladores Arduino se programan utilizando el lenguaje de programación Arduino, que se basa en el lenguaje de programación C++. Los programas se escriben en el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino y se descargan al microcontrolador a través de un cable USB.

Una vez que el programa se carga en el microcontrolador, se ejecutan instrucciones paso a paso para controlar varios componentes conectados. Los componentes pueden incluir sensores, actuadores, monitores y otros componentes electrónicos que se comunican con el microcontrolador a través de pines de entrada/salida digital y analógica [27].

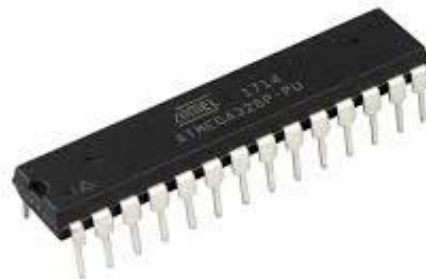


Figura 2.14. Microcontrolador

2.2.29. Mini Fuente 12v DC 3W Hi-link 100-240vac A 12vdc Hlk-5m12

La mini fuente de alimentación HLK-5M12 es una fuente de alimentación de voltaje de entrada de CA de 100-240 V, voltaje de salida de CC de 12 V. La potencia de salida es de 3 W, adecuada para aplicaciones de baja potencia que requieren 12 V CC. Esta es una opción popular para proyectos de electrónica y tiene muchos usos [28].



Figura 2.15 Mini fuente de C.C.

2.2.30. Switch D-Link DGS-1005A 5 Puerto Gigabit RJ45 – D-LINK

Los adaptadores de red Ethernet generalmente se conectan a dispositivos a través de puertos USB o PCIe, según el tipo de dispositivo que esté utilizando. Una vez conectado, el adaptador se encarga de convertir las señales de datos del dispositivo en señales compatibles con el protocolo Ethernet, lo que le permite comunicarse con otros dispositivos de la red. Los adaptadores de red Ethernet se usan ampliamente en dispositivos que no tienen un puerto Ethernet incorporado o que requieren una conexión más rápida y estable que una conexión inalámbrica. Son especialmente útiles para equipos de escritorio, servidores y otros dispositivos que requieren conectividad de red confiable y de alto rendimiento [29].



Figura 2.16 switch de Ethernet

2.2.31. Contactor eléctrico

Los contactores eléctricos son conocidos por su calidad, confiabilidad y alto rendimiento. Están diseñados para su uso en una variedad de aplicaciones industriales, comerciales y residenciales para controlar y proteger circuitos eléctricos. Estos contactores son muy populares en la industria eléctrica debido a su precio competitivo, facilidad de instalación y amplia selección.

Alguna de las empresas dedicadas a la fabricación de contactores ofrece una amplia gama de productos y soluciones para satisfacer las necesidades de los clientes en diversas industrias y aplicaciones [30].



Figura 2.17 *contactor eléctrico*

2.2.32. Breaker eléctrico

Los Breaker o interruptores eléctricos se encuentran comúnmente en casas y edificios para controlar las luces y otros productos eléctricos. También se incluye en pequeños productos eléctricos como electrodomésticos. Hay diferentes tipos de interruptores eléctricos, como interruptores de palanca, interruptores de botón, interruptores basculantes, interruptores de sensor, etc. Algunos interruptores se pueden operar manualmente, mientras que otros se pueden controlar de forma remota o automática. Para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de su equipo eléctrico, es importante contar con interruptores eléctricos de la calidad adecuada. También se deben seguir las instrucciones del fabricante al instalar y usar el interruptor. campos y aplicaciones [31].



Figura 2.18 *Breaker Eléctrico trifásico*

2.2.33. Sensores de temperatura

La elección de la instrumentación para controlar la temperatura de una secadora de cacao dependerá de varios factores, como el presupuesto disponible, la precisión requerida y la disponibilidad de ciertos equipos. Aquí hay algunas opciones comunes de instrumentación para controlar la temperatura de una secadora de cacao.

2.2.33.1. Termopares

Los termopares son sensores de temperatura simples, duraderos y económicos. Son fáciles de instalar y se pueden utilizar en una amplia gama de temperaturas. Sin embargo, la precisión de los termopares puede ser menor en comparación con otros sensores.

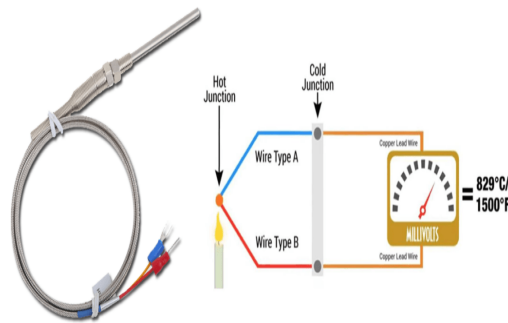


Figura 2.19 Termopar

2.2.33.2. Termorresistencias RTD

Las termorresistencias de platino RTD son dispositivos sensibles y precisos que proporcionan mediciones de temperatura altamente confiables. Son adecuados para aplicaciones que requieren una precisión y estabilidad significativas.



Figura 2.20 Termorresistencias RTD de voltaje

2.2.33.3. *Termistores*

Los termistores son sensores de temperatura muy sensibles que utilizan la resistencia del material sensible a cambios de temperatura. Son económicos y adecuados para aplicaciones en las que se requiere una alta sensibilidad.



Figura 2.21 *Termistores*

2.2.33.4. *Pirómetros ópticos o sin contacto*

Estos dispositivos miden la temperatura de forma remota mediante la detección de la radiación infrarroja emitida por el objeto. Son ideales cuando la medición sin contacto es necesaria o cuando las temperaturas son extremadamente altas.



Figura 2.22 *Pirómetros ópticos o sin contacto*

2.2.33.5. *Controladores de temperatura*

Los controladores de temperatura permiten controlar activamente la temperatura de la secadora ajustando los parámetros de entrada (por ejemplo, establecer un valor de temperatura objetivo y ajustar la potencia de calentamiento). Estos controladores pueden combinarse con sensores de temperatura para garantizar una regulación precisa [32].



Figura 2.23 Controladores de temperatura

Es importante evaluar cuidadosamente las necesidades específicas de la aplicación y consultar con expertos en instrumentación para seleccionar los sensores y controladores más adecuados para el control de temperatura de una secadora de cacao.

2.2.34. Paro de emergencia

Este botón suele ser rojo y se coloca en un lugar destacado y de fácil acceso (generalmente cerca del área de trabajo). Cuando se presiona, la alimentación se apaga o el dispositivo que controla el dispositivo se apaga y el dispositivo deja de funcionar inmediatamente. Un botón de parada de emergencia es una medida de seguridad muy importante ya que permite detener rápidamente la máquina en caso de accidente, embotellamiento, falla del equipo u otra emergencia que pueda poner en peligro la vida o el cuerpo del trabajador.

Es importante que los nodos sean fácilmente identificables y accesibles, y que su uso esté debidamente marcado y especificado en los protocolos de seguridad. Además, es importante comprobar periódicamente que el botón de parada de emergencia funciona correctamente y con eficacia.



Figura 2.24 Paro de emergencia

2.2.35. Luz piloto

Una luz piloto es una pequeña luz que indica el estado o la actividad de su dispositivo. Normalmente se utiliza en electrodomésticos, paneles de control o dispositivos electrónicos para indicar si están encendidos, apagados o en funcionamiento. Esta luz suele ser roja o verde,

pero puede tener otros colores según el dispositivo y sus capacidades específicas. En general, una luz piloto es una forma rápida y fácil de ver si su dispositivo funciona sin tener que verificar otras estadísticas detalladas.



Figura 2.25 *luces pilotos*

2.2.36. Selector Eléctrico

Se utiliza para seleccionar una opción o función particular dentro de un circuito. Se pueden usar de forma manual o automática y se utilizan en una variedad de aplicaciones, como interruptores de luz, paneles de control eléctrico y sistemas de distribución eléctrica. Un selector de potencia tiene múltiples contactos eléctricos que se pueden mover para hacer diferentes conexiones en un circuito. Dependiendo de la posición del selector, se establece una conexión específica entre diferentes terminales.

Un ejemplo común de un selector de energía es un interruptor de encendido/apagado que le permite seleccionar diferentes opciones moviendo una palanca hacia arriba o hacia abajo. También hay un selector giratorio que gira el dial en sentido horario o antihorario para seleccionar diferentes opciones. Los selectores de potencia son útiles en circuitos complejos donde es necesario seleccionar diferentes configuraciones o funciones. Además, proporciona una forma segura y conveniente de crear y modificar conexiones eléctricas según sea necesario [33].

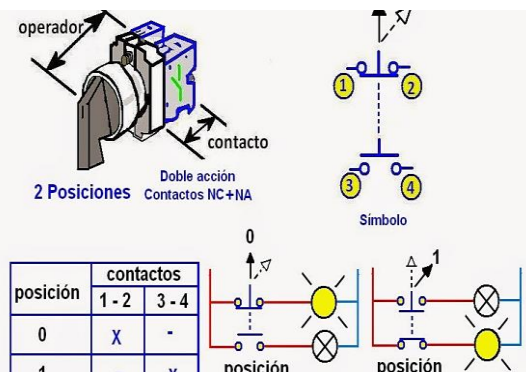


Figura 2.26 *Selector Eléctrico*

2.2.37. Tipos de controladores de temperatura

Existen varios tipos de controladores los cuales se han ido actualizando y sofisticando con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología de hoy en día, mismos que han realizado su funcionamiento correcto en su implementación.

2.2.37.1. Controlador de temperatura ON/OFF

Un controlador de temperatura de encendido/apagado es un dispositivo utilizado para mantener la temperatura de un sistema dentro de un rango predeterminado. El principio de funcionamiento de este regulador es simple, cuando la temperatura alcanza un cierto límite, enciende o apaga el equipo de calefacción o refrigeración.

Si la temperatura sube por encima del valor establecido, el controlador activa la unidad de refrigeración para reducir la temperatura. Cuando la temperatura vuelve al valor establecido, el controlador apaga la unidad de refrigeración. Este tipo de controlador es muy común en electrodomésticos como refrigeradores, acondicionadores de aire y calentadores de agua que necesitan mantener una temperatura dentro de un cierto rango [34].

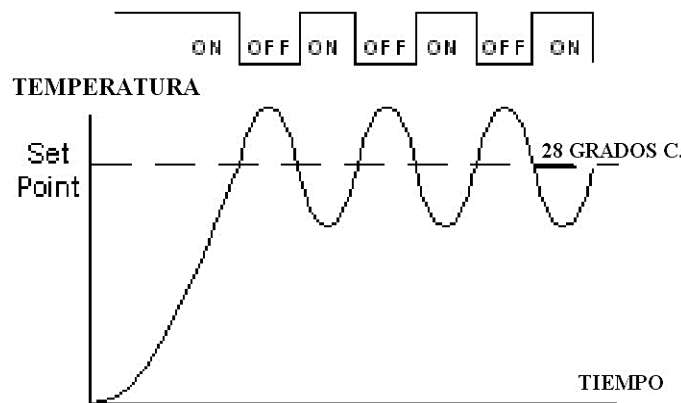


Figura 2.27 control ON/OFF de temperatura [35].

2.2.37.2. Controlador de temperatura proporcional

Un controlador de temperatura proporcional es un dispositivo utilizado para mantener una temperatura constante en un sistema o proceso. Su función principal es controlar el efecto de los dispositivos de calefacción o refrigeración según la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura real. El regulador proporcional regula la potencia de la centralita, teniendo en cuenta la relación entre la desviación de la temperatura actual y la temperatura deseada. En general, cuanto mayor sea la desviación, mayor será el efecto, y viceversa [36].



Figura 2.28 controlador de temperatura proporcional [37].

Al utilizar un controlador de temperatura proporcional es que proporciona un control más preciso y rápido que el controlador de temperatura ON-OFF, que solo enciende o apaga el dispositivo de control según la diferencia de temperatura. Sin embargo, el control proporcional puede generar oscilaciones alrededor de la temperatura deseada si no se ajusta correctamente.

2.2.37.3. Controlador de temperatura PID

Un controlador de temperatura PID (proporcional, integral y derivado) es un dispositivo utilizado para mantener una temperatura constante en un sistema. Este controlador PID opera en base a la diferencia entre la temperatura medida y el valor de temperatura establecido deseado. Utiliza tres componentes para realizar sus funciones.

Proporcional (P): El componente proporcional responde directamente a la diferencia entre la temperatura medida y el valor deseado de temperatura. Cuanto mayor sea la diferencia, mayor será la acción correctiva aplicada. Sin embargo, este componente solo tiene en cuenta el estado actual de la temperatura y no tiene en cuenta la historia pasada o futura.

Integral (I): El componente integral tiene en cuenta la historia pasada de la diferencia de temperatura. A medida que aumenta la diferencia a lo largo del tiempo, el componente integral acumula una corrección que aumenta con el tiempo. Esto ayuda a compensar errores persistentes en el sistema.

Derivativo (D): El componente derivativo tiene en cuenta la tendencia futura de la diferencia de temperatura. Ayuda a anticipar cambios en la temperatura y reducir la acción correctiva si se prevé un cambio rápido [38].

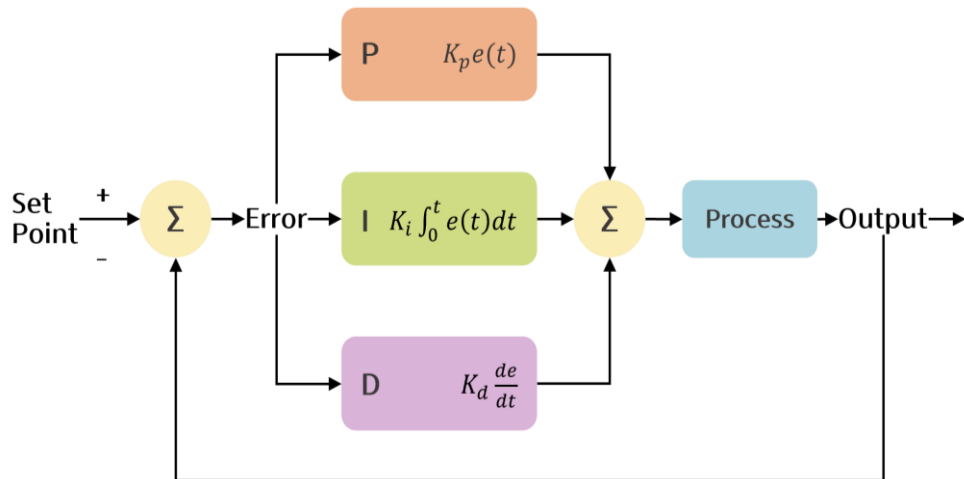


Figura 2.29 diagrama de un sistema PID [39].

El controlador de temperatura PID es una herramienta efectiva para mantener una temperatura constante en un sistema, utilizando una combinación de acción proporcional, integral y derivativa para minimizar la diferencia entre la temperatura medida y el valor deseado.

2.2.37.1. Controlador de programación

Este tipo de controlador permite establecer y cambiar automáticamente perfiles de temperatura en función de una secuencia de tiempo predefinida. Es útil en aplicaciones donde se requieren cambios de temperatura programados, como en procesos de cocción, fermentación o enfriamiento.

2.2.37.2. Controlador de lógica difusa

Este tipo de controlador utiliza la lógica difusa para ajustar automáticamente los parámetros del controlador en función de las condiciones de error de temperatura. El controlador de lógica difusa es capaz de adaptarse a condiciones cambiantes y es adecuado para sistemas con comportamiento no lineal [40].

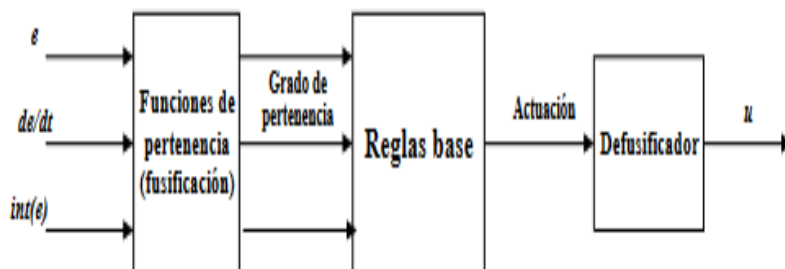


Figura 2.30 Controlador Fuzzy [41]

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. METODOLOGÍA:

Tabla 3.1. Variable dependiente e independiente

Variable independiente	Variable dependiente
Tiempo del secado (h)	Control de temperatura de secado,
Consumo de GLP, flujo de llama.	(ajuste de la temperatura)
Masa húmeda de cacao (kg)	Masa del contenido del producto seco (kg)
Contenido de humedad inicial (%)	Humedad final del contenido seco (%)

3.1.1. Análisis del secado de grano

A través de métodos bibliográficos identificaremos el secado actual de los granos de cacao, analizando el comportamiento de elementos, para la selección de sensores que brinden el mejor control de temperatura.

El secador de granos es un dispositivo utilizado en la industria agrícola para eliminar la humedad de los granos y así preservar su calidad y prolongar su vida útil. El funcionamiento del secador de granos se basa en el principio de la evaporación y la circulación de aire caliente.

El sistema de secado propiamente dicho consiste en un generador de calor, generalmente alimentado por gas o electricidad, que produce una corriente de aire caliente. Este aire caliente se introduce en el secador a través de una serie de ductos o tuberías y circula a través de los granos.



Figura 3.1 estructura de una secadora cilíndrica de cacao

El modelo muestra la estructura mecánica correspondiente de una secadora cilíndrica de cacao para que opere automáticamente. El frente del prototipo tiene un agujero con un diámetro de 100 [cm]. Esta parte se utiliza para expulsar el aire dentro de la cámara de secado. Si es necesario, se colocan extractores en el área para reducir la temperatura y la humedad durante el proceso de secado. En la parte exterior hay una tubería de acero inoxidable 403, de 3" de diámetro, a través de cual fluye el aire impulsado por un ventilador y la llama controlada por una electroválvula proporcional de gas GLP, se utiliza este combustible por su economía y eficiencia. Entre el cuerpo de la caja y la cámara existe una resistencia de calentamiento en el sistema.

3.1.2. Selección del controlador:

Para la selección del controlador para nuestro sistema de regulación de temperatura se consideró mantener la confiabilidad y robustez del prototipo de control y proporcionar un sistema robusto que realizara un proceso de secado de granos de cacao preciso a un costo limitado.

Alternativa 1. Como primera alternativa, consideramos un controlador lógico programable (PLC) de Siemens. El controlador tiene un grado de protección IP 67, lo que hace que el sistema sea muy duradero y fiable. También tiene entradas y salidas analógicas y digitales que permiten una fácil configuración y conexión de varios sensores, eliminando la necesidad de módulos de hardware adicionales en muchas aplicaciones. Además, el PLC S7-1200 1212C es más económico que otros productos del mismo fabricante que a menudo se usan en industrias más grandes, como la serie S7-1200 1214C, que tiene múltiples entradas analógicas en una versión compacta.

Alternativa 2. Otra opción es una placa de microcontrolador Arduino. Se evaluará la cantidad de sensores a instalar, el tipo de entrada y salida utilizada, el costo y la confiabilidad. Todas las variables que intervienen en este sistema se pueden controlar, pero no se puede garantizar la fiabilidad ni la durabilidad requerida, y por limitaciones de diseño, para su utilización es necesario diseñar una tarjeta que proporcione más durabilidad a medio plazo, pero que no sea robusta.

Para la selección del controlador para un sistema de control de temperatura depende de varios factores, como el tipo de sistema de aire acondicionado requerido, el rango de temperatura de operación, la precisión requerida, la estabilidad del sistema y el presupuesto disponible. También es de importancia tener en cuenta las especificaciones técnicas del sistema de

regulación de temperatura y compararlas con las características de cada controlador para seleccionar el más adecuado.

En general, el S7-1200 es una solución de PLC versátil y rentable para proyectos de automatización, como la fabricación, la automatización de máquinas y la gestión de la energía.

3.1.3. Diseño de un sistema de control de temperatura para una secadora de cacao:

Tabla 3.1 *Diseño de un sistema de control de temperatura para un secador de cacao controlado por PID*

CONTROL	DESCRIPCIÓN
Sensor de temperatura:	Para medir la temperatura en tiempo real, se debe instalar sensores de temperatura en la secadora de cacao. Los sensores de termopar o los sensores de resistencia de platino RTD (PT100) se utilizan a menudo para medir la temperatura en tales aplicaciones.
Controlador PID:	Se requiere un controlador PID para configurar y controlar la temperatura del secador de cacao. El controlador PID utiliza un algoritmo que combina tres componentes para mejorar la estabilidad y la capacidad de respuesta del sistema de control: proporcional (P), integral (I) y derivativo (D).
Actuador:	El operador debe configurar la temperatura ideal en la secadora de cacao. El actuador puede ser un elemento calefactor eléctrico o una válvula de control de flujo de aire o gas, según el tipo de secador y el diseño específico.

El uso de PLC con un sistema de control PID para la realización de control de temperatura automático. En lugar de un sistema manual, se ha instalado un controlador de temperatura automático ajustando la temperatura del secador según las necesidades específicas del cacao. Esto asegurará una temperatura constante y controlada durante todo el proceso de secado. El controlador PID se adapta a las características específicas y condiciones de funcionamiento del sistema de secado de cacao ajustando los parámetros de cada componente (por ejemplo, coeficiente relativo, tiempo de integración, vida útil). Cuando se configura correctamente, el controlador PID puede ajustar automáticamente la salida del secador de cacao para mantener la temperatura dentro de un rango estrecho, optimizando así el proceso de secado y asegurando la calidad del producto final.

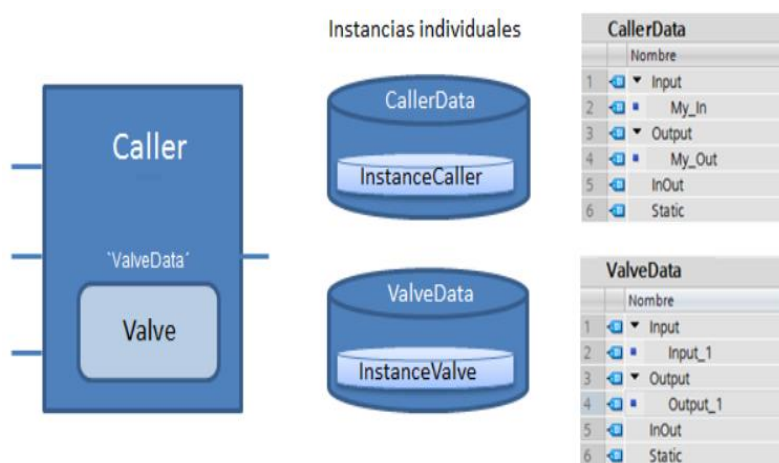


Figura 3.2 Bloque de función como instancia individual, control PID

3.1.3.1. El proceso de diseño de un sistema de control de temperatura del secador de cacao.

Antes de implementar el control PID para el sistema de temperatura se debe realizar los pasos de la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Proceso para la implementación del control PID

PASOS	DESCRIPCIÓN
Calibración del sensor de temperatura:	Es importante calibrar los sensores de temperatura seleccionados (PT-100), para garantizar que mida con precisión la temperatura en la secadora cilíndrica de cacao.
Configuración del controlador PID:	Para un control de temperatura óptimo, el controlador PID debe configurarse con los parámetros apropiados. Los parámetros típicos que se establecen son el factor relativo (Kp), el factor integral (Ki) y el factor derivado (Kd). Estos parámetros se determinan usando experimentos y pruebas sistemáticas.
Conexión del actuador:	El actuador previsto debe conectarse al controlador PID para regular la temperatura de acuerdo con las instrucciones del controlador. En caso del control del gas la válvula proporcional necesita una fuente exterior de 24 V.
Prueba y ajuste:	Después de instalar y conectar el sistema, debe probarse y ajustarse para garantizar que el control PID funcione correctamente. Esto incluye el control de la temperatura en tiempo real y el ajuste de los parámetros del controlador necesarios para una respuesta óptima.

Es importante señalar que esta es una descripción común del diseño y también se deben tener en cuenta otros aspectos como la capacidad de la secadora de cacao, el tiempo de secado requerido y otros factores que pueden afectar el diseño y la configuración de los controles. Temperatura con PID.

3.1.4. Programación y configuración del PID del PLC

El PLC S7 - 1200 - 1212C contiene comandos PID perdiéndonos el control de variables de temperatura, flujo de aire y gas, el PLC tiene una función PIC_Compact para esto. Puede controlar las variables de entrada y salida de cualquier proceso, ya que cuenta con entras y salidas tanto analógicas como digitales, donde estas instrucciones tienen dos modos de trabajo, automático y manual.

Después de ajustar la configuración de acuerdo con los parámetros relevantes, las constantes P, I y D (proporcional, integral y derivada respectivamente), los sensores se ajustan, en este caso, el PT-100 RTD ejerciendo un cálculo automáticamente de acuerdo con la operación del sensor y se calibrará automáticamente de la siguiente manera: duración de trabajo de acuerdo al tiempo, las variables previamente calculadas se ingresan a la red, el circuito muestra la función PID y las constantes se procesan para determinar la salida.

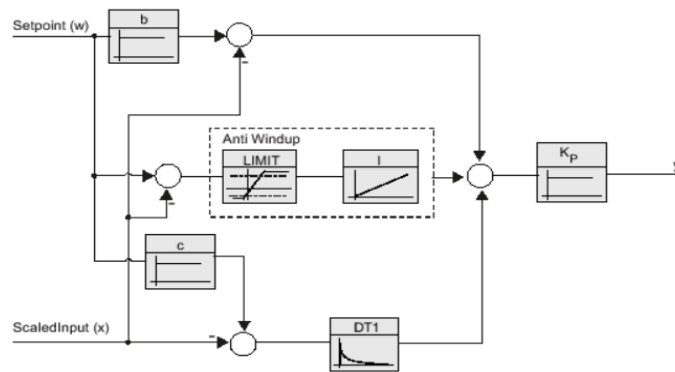


Figura 3.3 Diagrama de bloques PIDTI con Anti-Windup

Según la **Figura 3.3**, PIC_Compact, utiliza 3 constantes proporcionales b, c y K_p . El valor establecido en Set-point (w) se multiplica por las constantes b y c menos la entrada magnificación Scaled-Input (x). El resultado de la resta se multiplica por la derivada constante DT1 y se multiplica por c. La resta w resta x veces el constante integral I. El resultado dado, sume estos 3 pasos y multiplique por la constante K_p para obtener y. Cuando utilice el control de temperatura variable, siempre que sea posible, programe el control PID específicamente para cada medición de datos variables.

Datos preestablecidos para diferentes tipos de cantidades que se pueden medir. Como se muestra en la **Figura 3.4**, este bloque contiene una serie de entradas que le permiten definir. Comportamiento PID deseado y los 3 tipos de salida utilizados en consecuencia a la solicitud requerida.

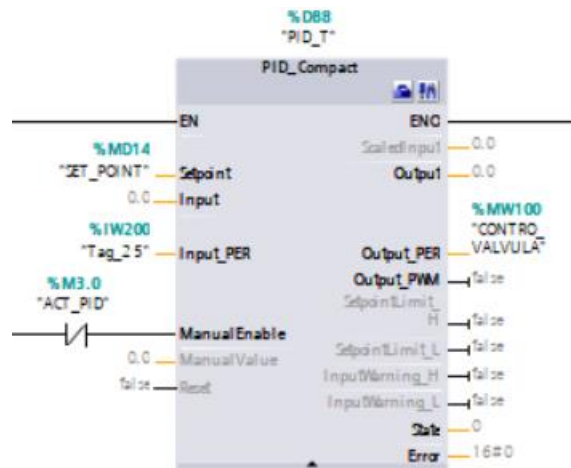


Figura 3.4 Bloque *Pid_Compact* para controlar la temperatura

3.1.5. Elección de la instrumentación para la regulación de temperatura:

Para lograr el objetivo principal del control de la temperatura durante el secado del grano de cacao, es necesario tener en cuenta algunas variables en la estructura del equipo a monitorear. Mantenga la temperatura del secador entre 60 y 80 °C para mantener la calidad, las propiedades y la persistencia del cacao.

Condiciones técnicas para el control de temperatura de la maquina:

- La humedad de fermentación antes del secado debe tener un rango del 40 a 60%.
- La humedad del secado sea menor al 8% dentro del grano de cacao.
- Durante el proceso de secado, la temperatura ambiente ronda entre el 25 al 20% de humedad relativa.
- La humedad relativa del aire en la ciudad de Latacunga de 82%.
- Se recomienda que la velocidad del aire generada por un ventilador para el proceso de secado esté entre 1 y 3 m/s.

Tabla 3.3 Condiciones técnicas para el control de temperatura de la maquina

Criterio	Valor
Temperatura de aire caliente al secar	60 – 80%
Humedad de fermentación del producto	55 – 60%
Humedad final del secado	<7%
Temperatura ambiente	20 – 25%
Velocidad del aire	1 – 3 m/s
Material anticorrosivo	>70%

3.1.6. Humedad durante el secado de cacao:

Durante el proceso de secado del cacao, es importante controlar la humedad de los granos para evitar la aparición de hongos, moho y fermentación. El objetivo es reducir la humedad de los granos de cacao de aproximadamente 60-70% a un nivel adecuado para su almacenamiento.

La humedad durante el secado del cacao varía según el método utilizado. Existen dos métodos principales de secado: el secado al sol y el secado mecánico. Independientemente del método utilizado, el objetivo principal de todos los tipos de secado del cacao es reducir la humedad producida durante el proceso de secado anterior del 60-70 % al 7 % después del proceso de secado.

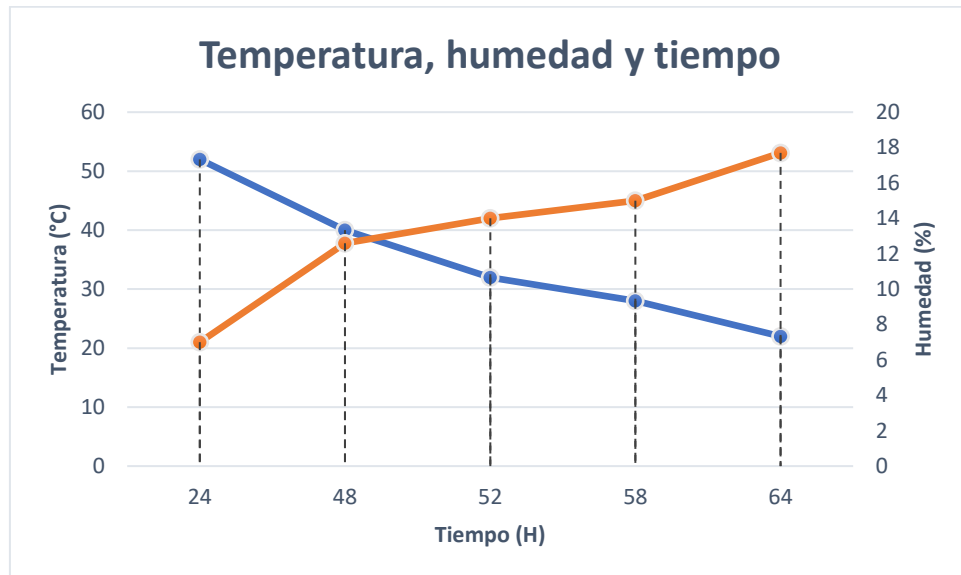


Figura 3.5 Curvas de humedad y temperatura.

3.1.7. Cálculo de humedad del cacao

$$\text{Humedad cacao} = \frac{(P1 - P2)100}{(P1 - P0)} \%$$

Ecuación (3.1)

El valor físico de una variedad de cacao puede variar según una serie de factores, incluida la variedad de cacao, el área de cultivo y las condiciones climáticas. Sin embargo, algunos valores físicos comúnmente medidos en las variedades de cacao son:

Tabla 3.4 Valores físicos de los cultivados de cacao [42]

Tratamiento de cacao	Variables				
	IG (g)	Testa (%)	ε (%)	IF (%)	IB
Nacional Ecuador	1.24 ± 0.03 ^d	16.19 ± 0.49 ^a	0.64 ± 0.04 ^a	77.66 ± 1.33 ^{ae}	31.40 ± 0.22 ^a
CCN 51 Ecuador	1.50 ± 0.02 ^a	12.33 ± 0.34 ^b	0.54 ± 0.01 ^b	58.86 ± 1.45 ^c	31.40 ± 0.25 ^a
CCN 51 Perú	1.41 ± 0.06 ^b	10.05 ± 0.54 ^c	0.64 ± 0.01 ^a	80.68 ± 1.85 ^a	28.93 ± 0.38 ^b
ICS 6 Perú	1.30 ± 0.01 ^c	15.38 ± 0.37 ^a	0.64 ± 0.01 ^a	74.64 ± 2.64 ^b	25.87 ± 0.32 ^c

3.1.8. Especificaciones técnicas del detector de humedad de cereales

Tabla 3.5 Especificaciones técnicas del detector de humedad de cereales [43]

Cereal	Rango	Resolución	Precisión
Trigo	9 ... 38%	0,1 %	±0,5%
Maíz	9 ... 39%		
Arroz Japónica	8,5 ... 40 %		
Arroz indio	8,9 ... 30,4 %		
Granos de soja	8,9 ... 33,4 %		
Arroz	10,4 ... 26,4 %		
Sorgo	8 ... 35 %		
Semilla de colza	6,4 ... 25,4 %		
Mijo	9,4 ... 28,4%		
Cacahuetes	5,4 ... 18,9 %		
Cebada	9,4 ... 26,4 %		
Semillas de girasol	7,9 ... 24,4 %		
Granos de café	10 ... 30 %		
Granos de cacao	4,5 ... 17 %		
Sésamo	6 ... 18 %		
Semillas de lino	4,5 ... 18 %		
Almendras	4,5 ... 21 %		

3.1.8.1. Características técnicas del equipo

Tabla 3.6 Características técnicas del medidor de humedad [44]

Repetibilidad	0,2 %
Rango de ajuste	± 9,9 %
Muestra	Aprox. 65 ml
Temperatura operativa	0 ... 40 °C
Compensación de temperatura	Automática
Alimentación	Pila de 9 V
Desconexión automática	Tras 3 minutos de inactividad

3.1.9. Diseño de una cámara de secado

La cámara de secado es un recipiente que está expuesto a la humedad de los granos de cacao, por lo que se deben seleccionar materiales adecuados y distribuirlos uniformemente en la sala, lo que puede evitar la sobreproducción o la baja de su producción.

Cálculo de volumen a secar:

$$V_{\text{secado}} = \frac{m}{\rho} (m^3)$$

Ecuación (3.2)

Donde:

m es la masa de cacao a secar (kg)

ρ densidad del cacao (kg/m³)

El volumen resultante debe ser el 10% del volumen de la centrífuga. Se recomienda un 7-8% del volumen de la cámara de secado, aunque en algunos casos el volumen que ocupa el producto a secar puede llegar al 15%.

$$V_{\text{camara}} = \frac{(V_{\text{secao}})100}{15\%} (m^3)$$

Ecuación (3.3)

Dimensionamiento de la longitud del cilindro:

$$h = \frac{V_{\text{camara}}}{S_b} (m)$$

Ecuación (3.4)

Donde:

H, longitud de la Cámara de secado (m)

Sb, área superficial de la cámara del secado (m²)

3.1.9.1. Área de la Cámara de secado

Utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Sb = b \cdot a \text{ (m}^2\text{)}$$

Donde:

a es igual a 0.8 m.

b es igual a 1.6 m.

3.1.10. Diseño del controlador de temperatura

El objetivo principal de este proyecto es monitorear la temperatura y la humedad en la sala del cilindro para garantizar que la temperatura esté alrededor de los 70 grados Celsius sin afectar las propiedades ergonómicas del grano de cacao, por lo que se desarrolló una unidad de control de temperatura, donde se controla la temperatura de la fuente de calor, en este caso aire caliente que irradia calor al cilindro desde una llama creada por GLP y un soplador de aire.

3.1.10.1. Requisitos del sistema de control.

- El costo de implementación del sistema de control de la máquina sea menor.
- Sencillo montaje, desmontaje y mantenimiento del sistema.
- Aprovechamiento óptimo y mínimo del espacio necesario para el secado del sistema.
- Alta capacidad de producción y control de calidad.
- Ambiente de trabajo aceptable y seguridad en el trabajo.

3.1.10.2. Requisitos de la secadora cilíndrica:

- La capacidad de secar el cacao nos permita mantener la calidad que se logra en los procesos tradicionales de secado.
- Examinar las variables que intervienen en el proceso de secado.

- El contenido de humedad al finalizar el proceso de seca del producto sea aproximado del 7%.
- Utilice aire ambiente "limpio" para el secado.

3.1.11. Consumo energético:

Para determinar el costo de la energía, se debe considerar como datos la corriente consumida, el voltaje, el tiempo de operación del equipo, y se utiliza la ecuación 3.13 para calcular el costo:

$$C_{energia} = E_{consumida} \cdot P_{Kwh}$$

Ecuación (3.5)

Donde:

$C_{energia}$ es el consumo energético de la maquina (\$)

$E_{consumida}$ es la energía consumida en el de operación (kWh)

P_{Kwh} Precio de consumo en KWh en el país.

Donde la energía consumida se determina en le ecuación 3.22.

$$E_{consumida} = P * t$$

Ecuación (3.6)

Donde:

P es la potencia de la maquina (W)

t tiempo de funcionamiento expresado en horas (h)

para el cálculo de potencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = I * V$$

Ecuación (3.7)

El equipo está diseñado para secar un quintal de cacao que, con un tiempo de secado de 8 horas, en la siguiente tabla se expresa las horas y el peso requerido por 30 días.

3.1.12. Dimensionamiento del cableado de la máquina para el control.

El dimensionamiento del cable se refiere a determinar el tamaño correcto y la capacidad de carga de los conductores eléctricos utilizados en las instalaciones eléctricas. Esto incluye calcular la corriente máxima requerida, la caída de voltaje permitida y la longitud del circuito.

3.1.12.1. Cálculo de ampacidad de cable:

Al calcular la capacitancia de un cable, se tienen en cuenta varios factores, como la corriente máxima a través del cable, el tipo de aislamiento del cable, la temperatura a la que está expuesto el cable y las condiciones de instalación.

Los cálculos de potencia se pueden realizar utilizando una variedad de métodos, pero uno de los más comunes es usar las tablas NEC (Código Eléctrico Nacional) que enumeran el amperaje máximo permitido para varios tamaños de cable y condiciones de instalación. Para calcular el amperaje, siga estos pasos:

Determine la corriente máxima que fluye a través del cable. Esto se puede hacer tomando la corriente del dispositivo conectado al cable y dividiéndola por el voltaje. Determine la temperatura de funcionamiento del cable. Esto puede verse afectado por el entorno en el que se encuentra el cable. Se deben tener en cuenta factores como la temperatura ambiente y la temperatura de los materiales adyacentes, entre otros.

Compruebe el tipo de aislamiento del cable. Los diferentes tipos de materiales de aislamiento tienen diferentes propiedades de disipación de calor que afectan la capacidad del cable.

Use la tabla NEC para encontrar el tamaño de cable correcto para su corriente y temperatura. Cabe señalar que estos cálculos deben ser realizados por electricistas capacitados, ya que existen varios códigos, leyes y normas de seguridad a seguir.

Realizamos los cálculos para que los cables cumplan con los requisitos de corriente máxima y no se sobrecalienten con las siguientes ecuaciones.

$$I = \frac{P}{V} (A)$$

Ecuación (3.8)

3.1.12.2. Cálculo de Intensidad de carga de trabajo más de tres horas:

$$I_{cc} = I_{carga} \cdot I_{carga\ continua} (A)$$

Ecuación (3.9)

Donde:

I_{carga} es la intensidad de consumo general

$I_{carga\ continua}$ corriente eléctrica máxima que circula más de 3 horas, Factor de 125%.

3.1.12.3. Cálculo de corriente con factor de temperatura:

$$I_T = \frac{I_{cc}}{F_T} (A)$$

Ecuación (3.10)

Donde:

I_T es la intensidad con factor de temperatura

F_T es el factor de temperatura de acuerdo con la tabla de la norma NOM 001

3.1.12.4. Cálculo de factor de corrección por ajuste:

$$I_{agrup} = \frac{I_T}{F_A} (A)$$

Ecuación (3.11)

Donde:

I_{agrup} es la intensidad de ajuste

F_A es el factor de corrección de ajuste

3.1.12.5. Cálculo de motor trifásico:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\phi * \eta} (A)$$

Ecuación (3.12)

$$I = 5.3273 A$$

$$I_{cc} = 5.3273 * 1.25 A = 6.6591 A$$

$$I_T = \frac{6.6591}{0.82} = 8.1208 \text{ A}$$

$$I_{agrup} = \frac{8.1208}{0.8} = 10.1511 \text{ A}$$

Según los cálculos obtenidos de la ecuación 3.8 se seleccionaría el cable 14 AWG, pero por tabla por la norma NOM y picos de corriente en el motor se selecciona el cable 12 AWG.

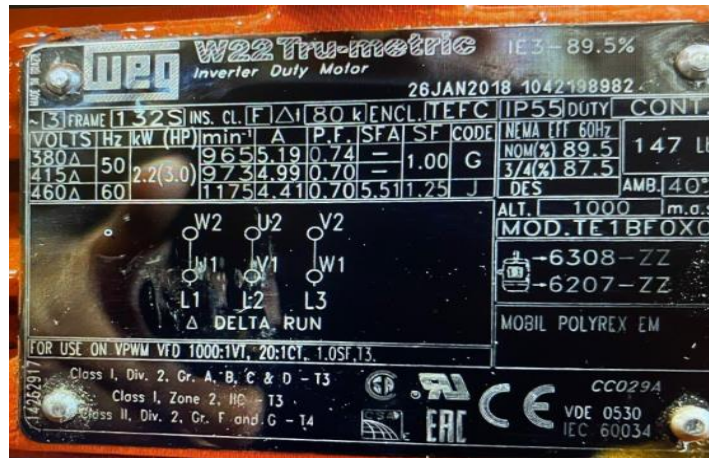


Figura 3.6 Placa de motor reductor de mezcladora

3.1.12.6. Selección de cable blower:

$$I = \frac{370}{120 * 0.8} = 3.8542 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 3.8542 * 1.25 = 4.8177 \text{ A}$$

$$I_T = \frac{4.8177}{0.91} = 5.2952 \text{ A}$$

Según cálculos obtenidos con la ecuación 3.7 el cable para utilizar en nuestro blower es el 18 AWG, que según tabla de la norma NOM-001 es la correcta selección.

Tabla 3.7 Ampacidad de los elementos de los elementos para el sistema de control

Elemento	Potencia (W)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Intensidad de Carga (A)	Factor de temperatura (A)	Corrección de ajuste (A)
Válvula proporcional	12	24	0.6868	0.8585	0.8585	0.8585
Relé	32.4	120	0.3375	0.4219	0.4219	0.844
pantalla HMI	10	24	0.5723	0.7154	0.7154	0.7154
Contactador	8.4	120	0.0875	0.1094	0.1094	0.219
motor trifásico	1972.2	380	5.3273	6.6591	8.1208	10.1511
Blower	403.2	120	3.8542	4.8177	5.2952	5.2952
luces piloto	9	120	0.0938	0.1172	0.1172	0.234
PLC	50.4	120	0.525	0.656	0.656	1.313
Modulo	3	24	0.1717	0.2146	0.2146	0.2146
control de fase	76.8	120	0.8	1	1.149	2.299
fuentes de 24V	130.8	120	1.363	1.703	1.958	3.915
TOTAL	2708.2		13.8191	17.2728	19.616	26.0588

Según los cálculos obtenidos en nuestra tabla 3.7, se ha determinado que para su conexión se utilice el cable 18 AWG para los elementos del tablero de control menos para el motor trifásico que ya se detalló en el **literal 3.1.8.5**.

También con los cálculos obtenidos que se obtiene en la tabla 3.7, se determinó que la alimentación para nuestro tablero de control se debe utilizar un cable 12 AWG.

3.1.13. Selección del contactor para mi motor trifásico:

Hay algunos factores importantes a considerar al elegir un contactor de motor trifásicos:

Voltaje nominal del motor: se debe conocer el voltaje nominal de un motor trifásico para seleccionar un contactor apropiado capaz de manejar ese voltaje.

Clasificación del motor: necesita saber la clasificación actual (en amperios) de su motor trifásico.

Factor de Servicio: El factor de servicio es un valor que representa la capacidad de sobrecarga de un motor.

Tipo de carga: también es importante considerar el tipo de carga que suministrará el motor, ya que esto afectará la elección del conector.

Para la selección del contactor se calcula con la ecuación 3.10.

$$P_E = \frac{P_m}{\eta} (kW)$$

Ecuación (3.13)

Donde:

PE potencia del contactor (kW)

Pm potencia del motor (kW)

η es la eficiencia del motor

También se puede encontrar con la intensidad del contactor con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}(V)(F_p)(\eta)} A$$

$$P_E = \frac{2200 W}{0,895} = 2458,101 W$$

$$I = \frac{2200 W}{\sqrt{3}(380)(0,74)(0,895)} = 5,046 A$$

Transformándole a caballos de fuerza nos da:

1 watt es igual a 0.00134102 HP.

1 HP es igual a 746 W

Entonces:

$$2458,101(0,00134102) = 3.2964 HP$$

De acuerdo con nuestra tabla tomada del **ANEXO 8**, tomamos un contactor de 5,5 HP que sería nuestro modelo NC1-3-12-10 y un amperaje de 12 Amperios.

NC1-3-12-01-●	3	1NC	20	5,5	7,5	12	1
NC1-3-12-10-●	3	1NO					
NC1-3-18-01-●	3	1NC	32	7,5	10	18	1
NC1-3-18-10-●	3	1NO					

3.1.14. Análisis del diseño térmico para el intercambio de calor

Intercambiador de calor de aire caliente: En este método, se hace si circular aire caliente alrededor del cacao para evaporar la humedad. El aire caliente puede ser generado mediante la combustión de un combustible como gasolina o gas natural en un calentador de aire. El aire caliente se hace circular a través del cacao mediante el uso de ventiladores.

Teniendo en cuenta que la contribución de GLP será del 100%, se hace un balance de calor y determinando en la siguiente ecuación que flujo de aire que ingresa a la Cámara cilíndrica.

$$Q1 = \dot{m}_a(h1 - h2) \left(\frac{kg}{h}\right)$$

Ecuación (3.14)

Donde:

Q1 es el calor necesario para calentar el aire (kg/h)

\dot{m} flujo masico del aire (m3/h)

h1 es la entalpia del aire a la entrada del quemador (kJ/kg)

h2 la entalpia del aire a la salida del quemador (kJ/kg)

Para obtener los valores de entalpía a la entrada y salida del quemador, es necesario visualizar las condiciones del aire de entrada; Se supone que la entalpía del vapor de agua en el aire es aproximadamente igual a la entalpía del vapor de agua saturado a la temperatura del aire. Se encuentra en el anexo 2.

$$h1 = hg_{T1}$$

$$h2 = hg_{T2}$$

donde:

h1 es la entalpia de aire saturado a T1 (kJ/kg)

h2 es la entalpia del aire saturado a T2 (kJ/kg)

energía necesaria para disminuir la humedad de fermentación de 61% a 7%. Se determina según la siguiente ecuación.

$$Q_3 = (\Delta\dot{m}_w)(h_{fg}) + (\dot{m}_{cacao-humedo})(cp_{cacao})(T_{in} - T_{out}) = \left(\frac{kg}{h}\right)$$

Ecuación (3.15)

Donde:

Q3 calor total de vaporización kg/h

$\Delta\dot{m}_w$ tasa de vaporización del agua (m3/h)

h_{fg} calor latente de vaporización del agua (kJ/kg)

$\dot{m}_{cacao-humedo}$ flujo masico del cacao húmedo (m³/h)

cp_{cacao} calor especifico del cacao (J/kg. °C)

T_{in} temperatura de los granos de cacao a la entrada del secador (°C)

T_{out} temperatura de los granos de cacao a la salida del secador (°C)

Tasa de vaporización de agua:

$$\Delta \dot{m}_w = \dot{m}_{win} - \dot{m}_{wout} \text{ kJ/kg}$$

Ecuación (3.16)

Se requiere la igualación de masa para determinar el flujo másico de entrada y salida de los granos de cacao. La cantidad de cacao a secar en 8 horas es de 45,3 kg, que es el tiempo necesario para reducir la humedad al 7% que es el porcentaje requerido para determinar que está totalmente seco. Se puede ver la variación del secado del cacao:

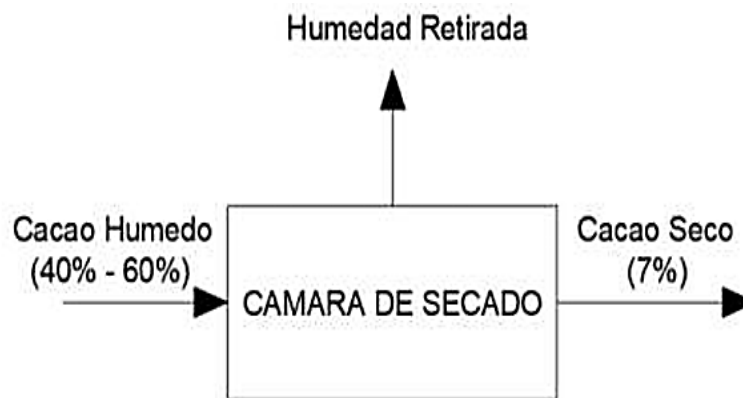


Figura 3.7 Balance del flujo masico de la entra y de la salida

3.1.15. Flujo masico del cacao

$$\dot{m}_{cacao-humedo} = \frac{m_{total}}{t} = \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

Ecuación (3.17)

Donde:

m-total es la masa requerida a secar (kg)

t es el tiempo de secado (h)

En la siguiente ecuación nos permite determinar el flujo del solido seco:

$$\dot{m}_{sin} = (1 - X_{in}) \cdot \dot{m}_{cacao-humedo} = \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

Ecuación (3.18)

X_{in} es el porcentaje de humedad del cacao a la entrada de la secadora.

La cantidad de desprendimiento del producto se determina por la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{cacao-humedo} = \dot{m}_{sin} + \dot{m}\vartheta = \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

Ecuación (3.19)

$\dot{m}\vartheta$ donde es el flujo de vapor en kg/s

Flujo masico de la entrada de humedad del grano de cacao se determina en la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{win} = X_{in} \cdot \dot{m}_{cacao-humedo} = \left(\frac{kg}{s}\right)$$

Ecuación (3.20)

Donde:

X_{in} es la humedad inicial presente en la humedad del cacao %

\dot{m}_{cin} es el flujo de entrada del cacao a la cámara de secado. (kg/s)

3.1.15.1. Flujo masico del agua:

El flujo másico del agua se refiere a la cantidad de masa de agua que fluye a través de un sistema en un período de tiempo determinado. Se generalmente se expresa en kilogramos por segundo (kg/s) o en otra unidad de masa dividida por tiempo. El flujo másico del agua puede ser medido o calculado en diferentes situaciones, como en un río, una tubería o un proceso de producción de vapor.

Se determina en la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{wout} = \frac{\dot{m}_{sin} \cdot X_{out}}{1 - X_{out}} = \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

Ecuación (3.21)

Donde:

X_{out} es la humedad final de la salida del secado de los granos de cacao (%)

\dot{m}_{sin} es el flujo masico del solido seco que permanece constante durante todo el proceso (m3/h).

Para determinar el calor latente de vaporización lo podemos encontrar en la tabla del anexo 2, considerando la temperatura de 100 °C para evaporar el agua contenida en los granos.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1.1. Contenido de humedad de fermentación de cacao

$$\%Humedad\ cacao = \frac{(P1 - P2). 100}{(P1 - P0)}$$

Ecuación sacada de [45]

En la que:

P0 = Masa de cápsula vacía (kg)

P1 = Masa de cápsula con muestra Húmeda (kg)

P2 = Masa de cápsula con muestra seca (kg)

$$\%Humedad = \frac{(23 - 9,07)kg. 100}{(23 - 0,22)kg}$$

$$\%Humedad = 61,15\%$$

4.1.2. Análisis del intercambio de calor en el cacao:

Primero se calcula el flujo masico del cacao con la ecuación 3.8

$$\dot{m}_{cacao-humedo} = \frac{45,36kg}{8h}$$

$$\dot{m}_{cacao-humedo} = 5,67kg/h$$

Determinamos el flujo masico del solido seco según la ecuación 3.9:

$$\dot{m}_{sin} = (1 - 0,6115)(5,67)$$

$$\dot{m}_{sin} = 2,2028kg/h$$

Determinamos el flujo de vapor despejando la ecuación 3.10:

$$\dot{m}_v = \frac{(5,67 - 2,2028)kg}{h} \cdot \frac{h}{3600s} = 0,00096311 \frac{kg}{h}$$

Determinamos el flujo masico de la entrada del cacao con la ecuación 3.11:

$$\dot{m}_{win} = (0,6115)5,67 \frac{kg}{h} = 3,4672 \frac{kg}{h}$$

Determinamos el flujo masico del agua a la salida del secador según la ecuación 3.12:

$$\dot{m}_{wout} = \frac{(2,2113)0,07}{1 - 0,07}$$

$$\dot{m}_{wout} = 0,1656 \frac{kg \text{ agua}}{h}$$

Los valores hallados sustituimos en la ecuación 3.7:

$$\Delta\dot{m}_w = 3,4672 \frac{kg}{h} - 0,1656 \frac{kg \text{ agua}}{h}$$

$$\Delta\dot{m}_w = \frac{3,3015kg}{h} \left(\frac{1}{3600s} \right)$$

$$\Delta\dot{m}_w = 0,0009171 \frac{kg}{s}$$

Se procede a igualar la ecuación 3.6 y 3.5 debido a la energía del cacao gana respecto a la energía del aire:

$$\dot{m}_a = \frac{0,0009171 \frac{kg}{s} * 2256,4 \frac{kJ}{kg} + 0,01751 \frac{kg}{s} (70 - 25)^\circ C}{(2626,1 - 2546,5) \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_a = 0,03589 \frac{kg}{s}$$

Conociendo el flujo masico, se procede a utilizar la Ecuación 3.5 para determinar la potencia requerida para el proceso de secado del cacao.

$$Q1 = 0,03589 \frac{kg}{s} (2626,1 - 2546,5) \frac{kJ}{kg}$$

$$Q1 = 2.85684 \frac{kJ}{s}$$

4.1.3. Flujo volumétrico del soplador de aire.

Este cálculo permitirá encontrar el flujo necesario que se debe entregar a la cámara de secado, para la selección de nuestro blower o ventilador, con la siguiente ecuación:

$$V = \dot{m}_a * v_1$$

Ecuación (4.1)

Donde:

V es el flujo volumétrico q se expresa en CFM.

\dot{m}_a es el flujo masico (m3/h) que se encontró con la ecuación 3.5

v_1 es el volumen especifico (m3)

$$v_1 = \frac{R_a(T_1)}{\Delta P_a}$$

Ecuación (4.2)

$$\Delta P_a = P - P_{1,v_1}$$

La presión atmosférica en vacío es igual a 1k fg /m2 en temperatura ambiente: que realizando la conversión a Kilo-pascales nos da 98,69 KPa.

Y una presión en el soplador de 0.5 BAR, transformando da 50 kPa.

$$\Delta P_a = (98,69 - 50)kPa = 48,69 \text{ kPa}$$

Ra: constante particular del gas para el aire es: $R_a = 286,9 \frac{J}{kg.K}$

La temperatura ambiente de Latacunga es de 12 °C transformando a kelvin nos da 285 Kelvin.

$$v_1 = \frac{\frac{0,2869kJ}{kg.K} 285K}{48,69kPa}$$

$$v_1 = 1,6793 \frac{m^3}{kg}$$

Se reemplaza el volumen especifico por la ecuación 3.13 dando los siguientes valores:

$$V = 0,03589 \frac{kg}{s} * 1,6793 \frac{m^3}{kg}$$

$$V = 0,06027 \frac{m^3}{s}$$

Utilizando la conversión tenemos que el flujo volumétrico del soplador es de:

$$V = 127,707 \text{ 2CFM}$$

Entonces el blower de 3” se ajusta a nuestra necesidad, porque nuestro blower trabaja aproximadamente a 180 CFM siendo el flujo necesario para la secadora cilíndrica de cacao.

Tabla 4.1 Relación de porcentaje del soplador por el flujo volumétrico y TIA Portal

Flujo volumétrico	
CFM	Porcentaje
180	100%
127	70.56%
DATOS DEL Tía Portal	
Datos	Porcentaje
27648	100%
18950	68.54%

4.1.4. Prueba en vacío

Primeramente, se realizó distintas pruebas en vacío, cada una de estas pruebas se realizó a diferentes temperaturas, todo esto para observar el comportamiento del sistema de control con diferentes rangos.

4.1.4.1. Temperatura a los 60° C

Para la realización de esta prueba se puso como límite una temperatura de 60° C, en la cual se calculó el tiempo en que la maquina llega a los 60° C, una vez llegado a la temperatura limite se dejó trabajar por 5 minutos para obtener datos y sacar los distintos resultados para graficarlos en la figura 4.1, que se muestra a continuación.

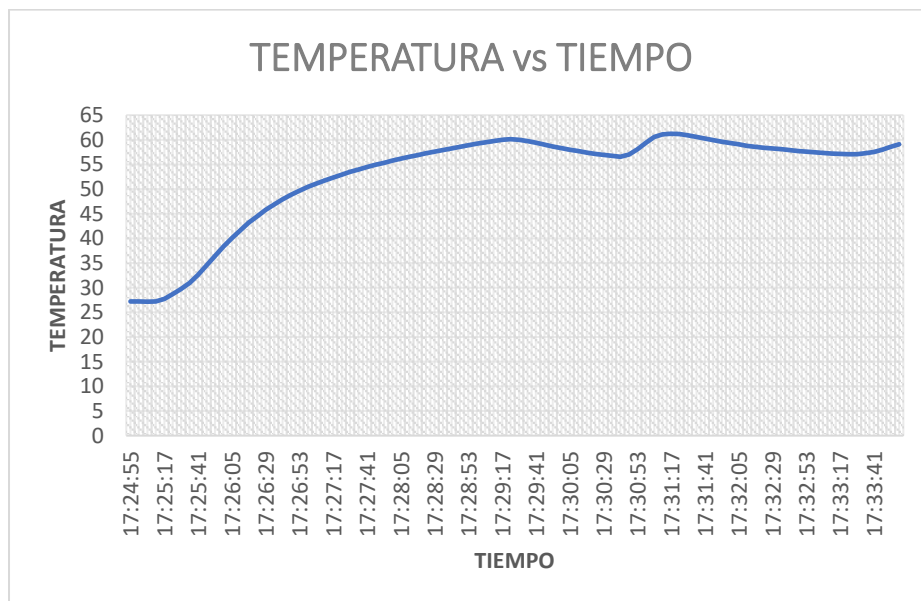


Figura 4.1 Relación de temperatura y tiempo a 60 °C

Dentro de esta prueba también se puede analizar el comportamiento de la válvula proporcional ya que esta es la que está controlando la flama para llegar y mantener una temperatura muy cercana o a su vez la de la temperatura limite como se muestra en la figura 4.2.

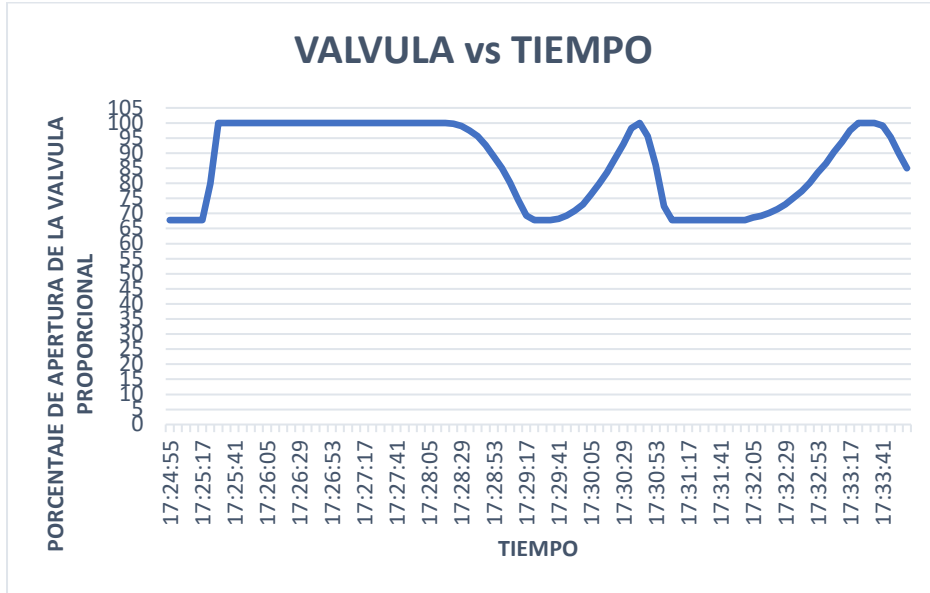


Figura 4.2 Apertura de la válvula proporcional a 60 °C

Todos estos datos utilizados para la elaboración la curva tanto de la figura 4.1 y figura 4.2, mostradas anteriormente, fueron obtenidos del programa LabVIEW, mismos datos que se encuentran en el **anexo 4**.

4.1.4.2. Temperatura a los 65° C

En esta prueba se puso como temperatura limite los 65° C, misma prueba que tuvo como resultado un tiempo de 2 minutos en alcanzar la temperatura limite, luego de ello tuvo una variación de temperatura por 2 minutos para luego mantenerse en una temperatura muy cercana a la temperatura limite, todos estos resultados se pueden analizar en la figura 4.3.

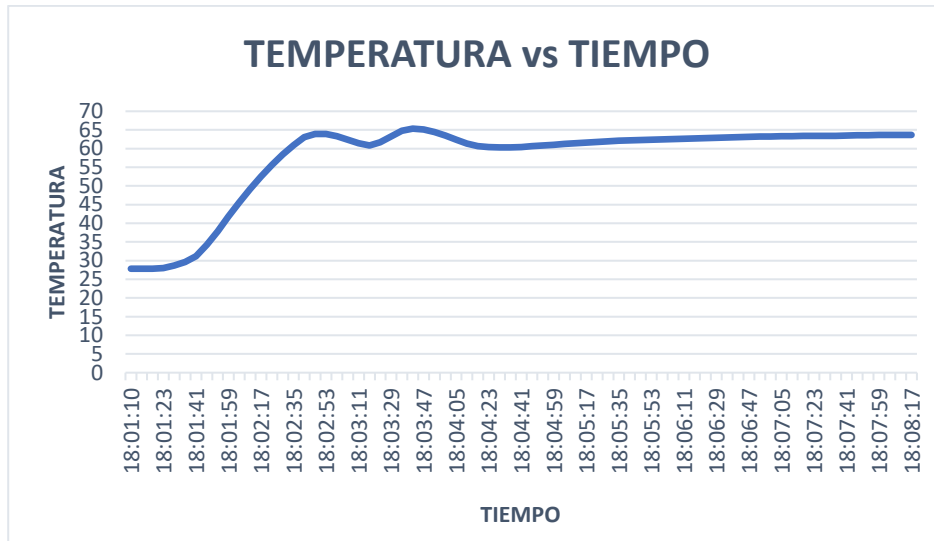


Figura 4.3 Relación de temperatura y tiempo a 65 °C

En la figura 4.4 que se muestra a continuación se detalla con exactitud la apertura de la válvula a una temperatura límite de 65° C, en la cual la apertura de la válvula tuvo una variación por unos 3 minutos, luego de ello se mantuvo constante para llegar a la temperatura límite.



Figura 4.4 Apertura de la válvula proporcional a 65 °C

4.1.4.3. Temperatura a los 70° C

En la tercera y última prueba en vacío se mantuvo como temperatura límite los 70° C, en esta prueba la temperatura tardó 3 minutos en llegar a la temperatura límite, luego de ello se mantuvo oscilando entre los 65° y 70° C, todo esto durante los 5 minutos de tiempo establecido para el trabajo, todos estos datos fueron graficados en la figura 4.5.

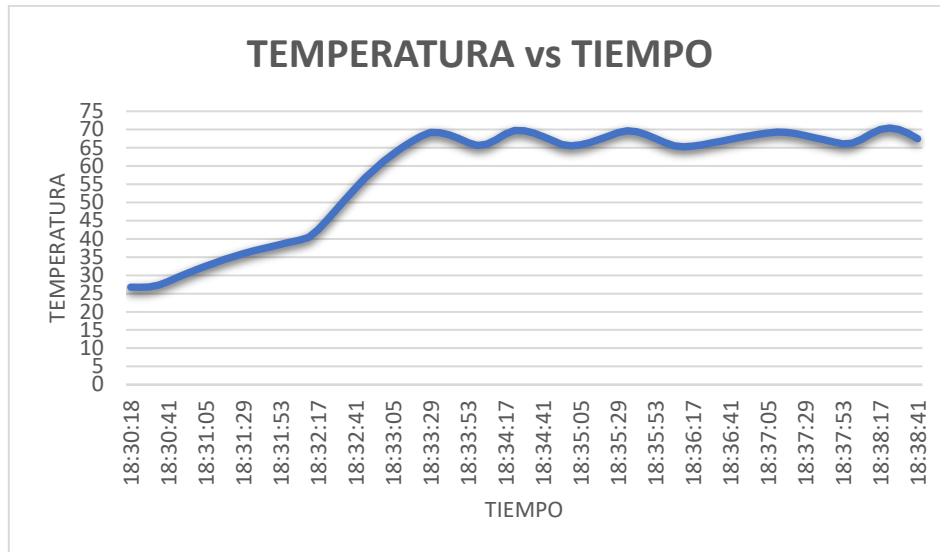


Figura 4.5 Relación de temperatura y tiempo a 70 °C

Durante esta prueba la apertura de válvula se abrió al 100% durante un tiempo de 3 minutos hasta alcanzar la temperatura límite establecida, luego de ello la apertura de la válvula osciló entre los 67,92 y 100 % para así mantener una temperatura cerca o igual a la temperatura límite, como se logra observar en la figura 4.6.

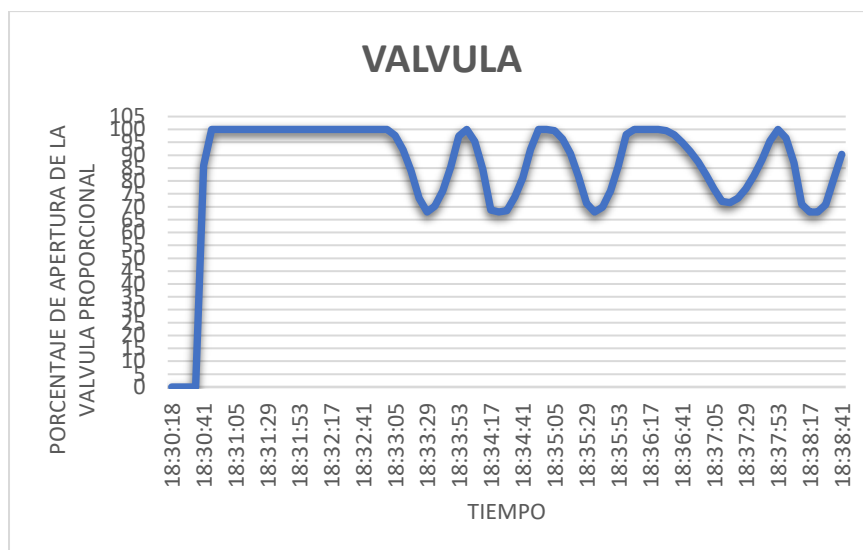


Figura 4.6 Apertura de la válvula proporcional a 70 °C

Durante estas pruebas en vacío se analizó que, a una temperatura de 65° C como límite, el sistema de control y apertura de la válvula se comporta de una manera correcta sin muchas variaciones, todos estos datos ocupados para realizar las diferentes curvas se encuentran en los **anexos 3, anexo 4, anexo 5.**

4.1.5. Prueba con carga

Para la realización de esta prueba se puso como temperatura límite 70° C, así mismo se obtuvo 23 kg de cacao fermentado mismo cacao que poseía una humedad del 62,1 %, para ello se trabajó durante un largo tiempo de 5 horas, en esta prueba se analizó que la temperatura se mantuvo en un rango de 63° a 65° C, lo cual es la temperatura ideal para el secado, así los granos de cacao no pierden sus propiedades.

4.1.6. Masa inicial del cacao

En la figura 4.7 se logra apreciar la cantidad de masa de cacao inicial de 23 kg, antes de ser sometido al proceso de secado, el cacao debe haber cumplido su etapa de fermentación para ser sometido al proceso.



Figura 4.7 Masa inicial del cacao

4.1.7. Inicio del proceso de secado

En la figura 4.8 se aprecia el inicio del proceso de secado, para lo cual el grano tuvo que haber culminado su etapa de fermentación, el tiempo de fermentación de los granos de cacao va a variar dependiendo de la situación climática.



Figura 4.8 Inicio del proceso del secado

4.1.8. Humedad inicial del cacao

En la figura 4.9, se observa la medición de la humedad inicial del cacao con el instrumento medidor de humedad de granos, sin embargo, el medidor tiene una medida máxima del 17 %, por lo cual para el cálculo de la humedad inicial se lo hace con la ecuación 3.1.



Figura 4.9 Humedad inicial de los granos de cacao

4.1.8.1. Comportamiento de temperatura respecto al tiempo

En la figura 4.10, se muestra la relación de la temperatura promedio y el tiempo del proceso de secado, la temperatura estuvo variando durante 2 horas manteniendo cerca o igual a la temperatura límite luego se estabilizo en una temperatura de los 66° C.

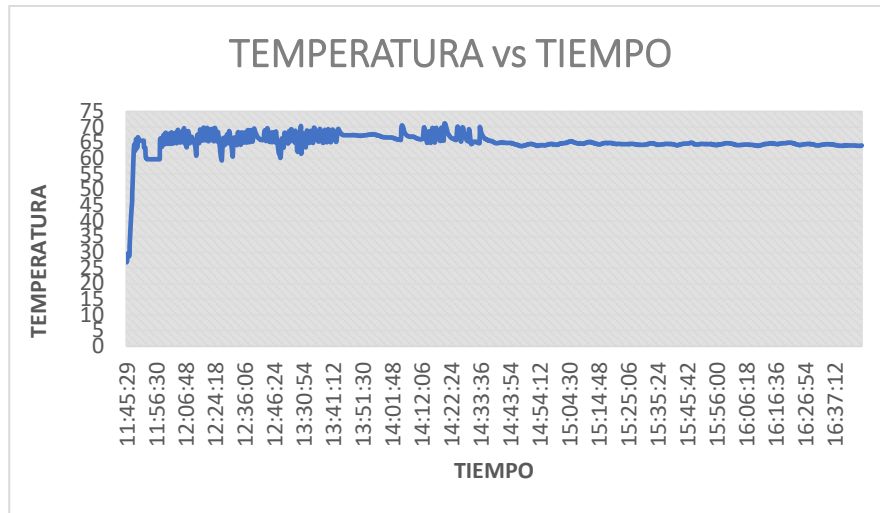


Figura 4.10 *Relación de temperatura y tiempo en el proceso de secado*

De acuerdo con la figura 4.10 La temperatura óptima varía dependiendo del tipo de cacao y las condiciones de secado específicas, pero suele oscilar en las primeras horas entre 55 y 72 °C por la evaporización del agua del cacao. El comportamiento de la temperatura en el secado de cacao es esencial para garantizar una deshidratación uniforme y una alta calidad del producto final. Se debe mantener una temperatura constante y controlada, evitando tanto temperaturas demasiado bajas como demasiado altas.

4.1.8.2. *Comportamiento de la válvula respecto al tiempo*

El porcentaje de la válvula proporcional con la prueba realizada con carga ha demostrado que realiza bien el control del flujo del gas para así controlar la llama, todo esto para que pueda mantener la temperatura cercana o igual a la del límite, en la figura 4.11.

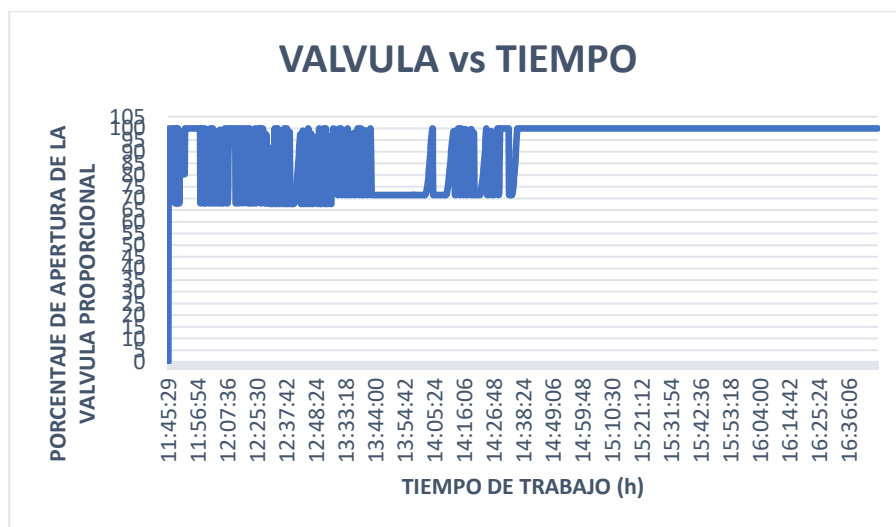


Figura 4.11 *Apertura de la válvula proporcional con carga 70 °C*

Respecto a la figura 4.11 se puede observar que la válvula proporcional tiene un cambio visible entre el 68% al 100%, donde este desempeño de la válvula proporcional en el control de la temperatura de secado del cacao consiste en una apertura y cierre gradual en respuesta a los cambios de temperatura del secador, hasta que se establezca la temperatura. Los tiempos de respuesta pueden variar según el sistema de control utilizado y es posible que se requieran algoritmos de control avanzados para garantizar un control de temperatura preciso y eficiente.

4.1.9. Comparación de secado según su humedad

En la tabla 4.2 Se aprecia el porcentaje que tiene el cacao en condiciones de fermentación y de igual manera muestra el porcentaje de humedad cuando se ha finalizado el secado en la máquina secadora de cacao. Se debe tener un porcentaje menor al 8 % de humedad requerida el cacao seco para posteriormente realizar su venta.

Tabla 4.2 *Humedad del cacao según su estado*

INICIO		
PESO (kg)	ESTADO	HUMEDAD (%)
23	Fermentado	61.15
FINAL		
PESO (kg)	ESTADO	HUMEDAD (%)
9.07	Seco	7.1



Figura 4.12 *Humedad Final del cacao seco*

Según la figura 4.12, tenemos una humedad final de 7.1% en 6 horas y media en el proceso del secado en nuestra máquina, lo que se determina una pérdida de 2,21 kg por las horas de secado.

4.1.10. Precio del Cacao en el mercado

El precio del cacao siempre va a variar dependiendo de algunos factores, como la oferta y la demanda, las condiciones climáticas y su calidad.

Sin embargo, es difícil dar un precio fijo y específico del cacao ya que este sujeto a cambios constantes en el mercado ya sea por la demanda o por situaciones climáticas y ambientales.

En la tabla 4.3 se detalla el precio del cacao en mercado del presente año en el Ecuador según condiciones diferentes del producto.

Tabla 4.3 Precio del cacao según condiciones de estado

Peso (kg)	Estado	Precio (\$)
45.36	Baba- Fermentado	30
45.36	Seco	150

4.1.11. Comparación de secado según su peso

En la tabla 4.4, se observa su peso inicial antes del proceso de secado y así mismo muestra su peso al final luego de ser secado, en la secadora cilíndrica y la diferencia de su precio.

Tabla 4.4. Comparación del secado

INICIO			
PESO (kg)	PORCENTAJE (%)	ESTADO	PRECIO (\$)
23	100	Fermentado	15,21
FINAL			
PESO (kg)	PORCENTAJE (%)	ESTADO	PRECIO (\$)
9.07	39.47	Seco	30,02

Con estos resultados obtenemos en la tabla 4.4, existe una diferencia de peso del 13.92 kg, con un porcentaje de reducción de peso del 39.47 %, dicha reducción sería de 2.21 kg por hora en el secado, donde se llega a determinar una diferencia de \$14,80 que representa la ganancia neta del cacao seco.

4.1.12. Porcentaje de humedad del cacao

En la siguiente tabla 4.5 y figura 4.13, se puede ver que el porcentaje de humedad de secado disminuye con el aumento del tiempo.

Tabla 4.5 Porcentaje de humedad durante el tiempo de secado

Porcentaje	tiempo	Peso Inicial
61.15%	11:45:29	23 kg
58%	12:45:24	
43.9%	13:45:48	
27.5%	14:46:00	
17.7%	15:46:00	
9.5%	16:46:42	
7.9%	17:46:33	Peso Final
7.1%	18:21:00	9.07 kg

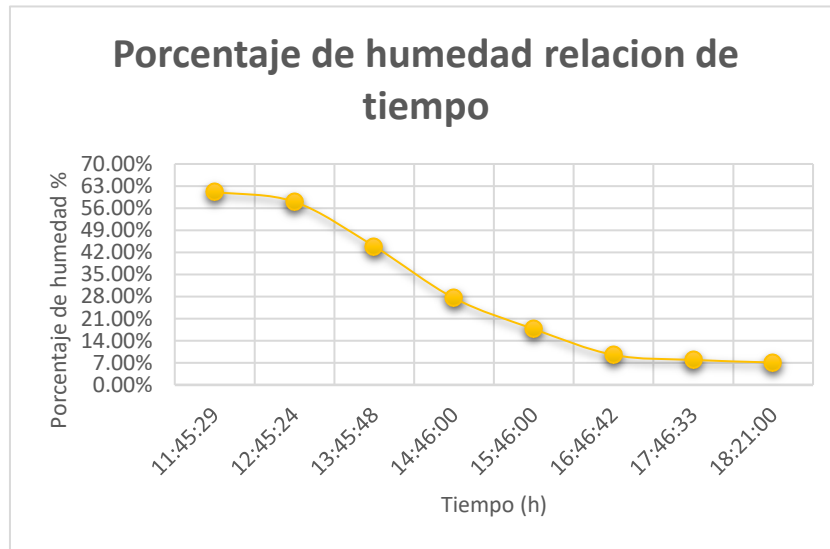


Figura 4.13 Porcentaje de humedad durante el tiempo de secado.

Se observó en la figura 4.13 y se determinación del contenido de humedad se tomaron muestras cada hora, por lo que a las 5 horas no se alcanzó el contenido de humedad determinado por factores ambientales, pérdida de calor, homogeneidad entre granos. El proceso de secado tomó una hora y media más y resultó en una humedad de 7.1%. La secadora secó con éxito 23 kg en 6½ horas aproximadamente.

4.1.13. Relación de la humedad y peso del cacao respecto al tiempo:

Tabla 4.6 Relación de humedad y peso respecto a horas de secado

Humedad (%)	Tiempo (h)	Peso Inicial (kg)
61.15	11:45:29	23
58	12:45:24	22.23
43.9	13:45:48	18.58
27.5	14:46:00	14.34
17.7	15:46:00	11.81
9.6	16:46:42	9.69
7.9	17:46:33	9.27
7.1	18:21:00	9.07

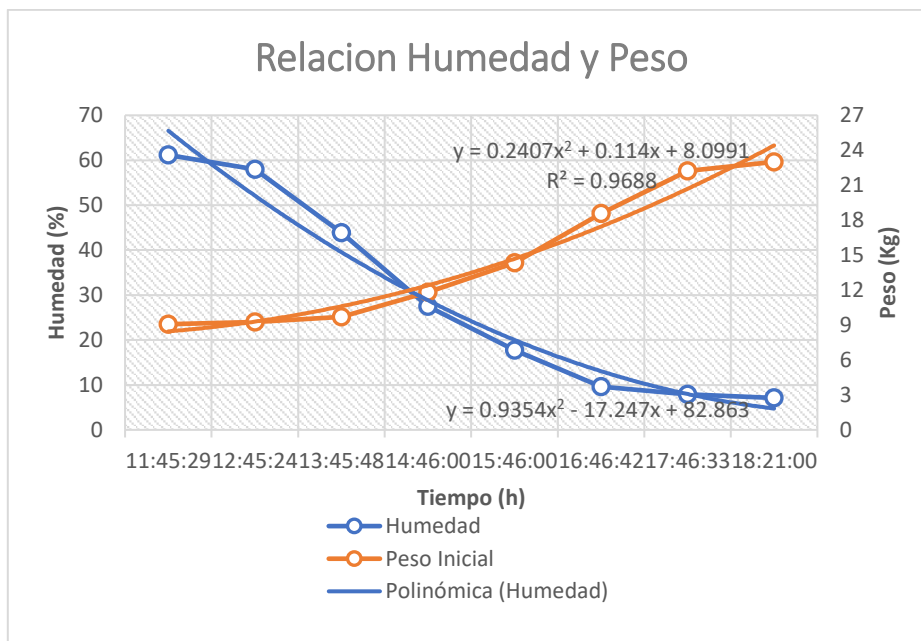


Figura 4.14 Relación de humedad y peso respecto a horas de secado

Según la figura 4.14, se puede determinar que se tiene una pérdida del 39.47%, durante el tiempo de secado reduciendo a 9.07 kg respecto a la masa inicial de los 23 kg y quedando a una humedad de 7.1%.

La relación de temperatura controlada entre la humedad y el peso del cacao es una variable importante para considerar durante la producción de cacao. El monitoreo y control adecuado de la humedad y el peso no solo asegura la calidad del producto final, sino que también ayuda a determinar el momento adecuado para detener el proceso de secado.

4.1.14. Comportamiento de la temperatura en el secado

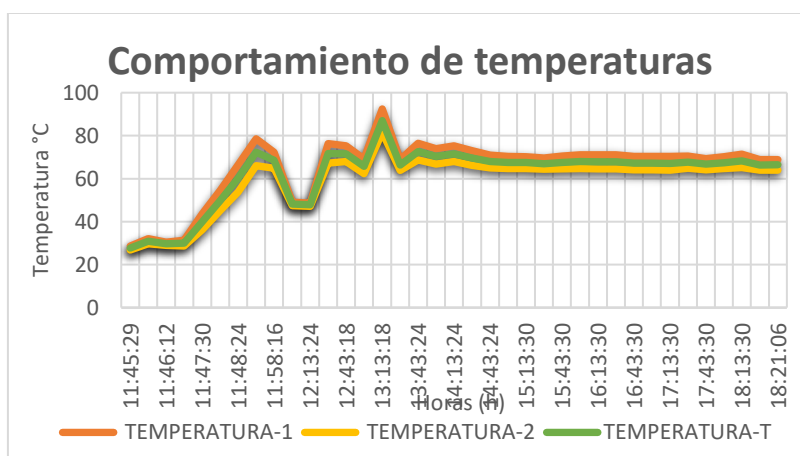


Figura 4.15 Recopilación de datos de temperatura 1, temperatura 2 y total

En la figura 4.15, se observa el comportamiento de la temperatura automática en el secado de cacao es esencial para garantizar un proceso eficiente y de alta calidad. La temperatura es un factor crucial en el secado de cacao, ya que influye directamente en la evaporación del agua de los granos, un control preciso y automático de la temperatura permite mantener las condiciones ideales para lograr un secado uniforme y óptimo de los granos.

4.1.15. Temperatura de estabilización del secado

El sistema de control actúa dentro del rango establecido en el Set-Point de 70 °C para el secado de cacao, el tiempo de estabilizarse es de 7 minutos y 13 segundos según datos tomados en el sistema de control, teniendo una variación aproximada de 3 °C como se observa en la figura 4.16:

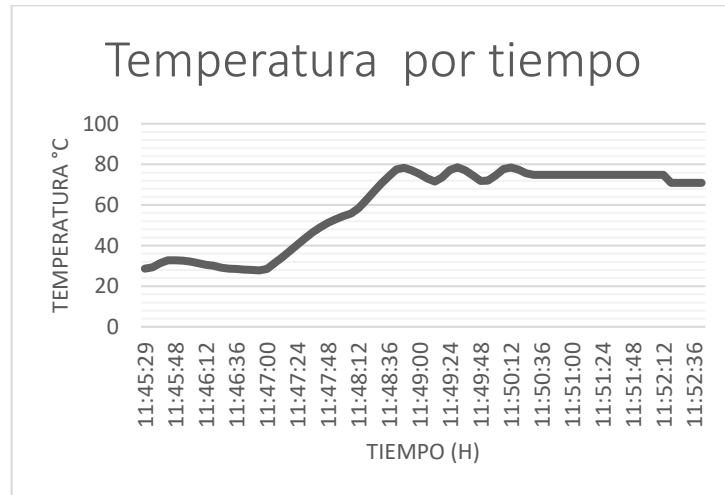


Figura 4.16 Comportamiento de temperatura de estabilización en la secadora cilíndrica

4.1.16. Consumo de gas GLP

Para realizar todas las pruebas tanto en vacío como la con carga se lo realizo con una bombona de gas llena, su consumo va a variar dependiendo la cantidad de uso en cada prueba que se lo ha realizado.

4.1.16.1. Consumo en vacío

En las pruebas realizadas en vacío en los diferentes tipos de temperaturas limites, su consumo fue menor ya que el tiempo máximo de cada prueba fueron de 10 minutos por cada una de ellas.

Tabla 4.7 Características del gas GLP de acuerdo con su peso en vacío

TEMPERATURA ° C	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	TIEMPO (min)	CONSUMO (%)
	45	45	0	0
70	45	42.7	8.23	5.11
65	42.7	41	7.07	3.98
60	41	38.5	9.26	6.09
Total				15.18

4.1.16.2. Consumo con carga

El consumo de la bombona de GLP con carga será mucho mayor que la de vacío, ya que para el secado se lleva un mayor tiempo de trabajo por ende el consumo de gas va a ser más elevado.

Tabla 4.8 Características del gas GLP de acuerdo con su peso con carga

TEMPERATURA ° C	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	TIEMPO (horas)	CONSUMO (%)
70	44.3	34	6.20	42.2

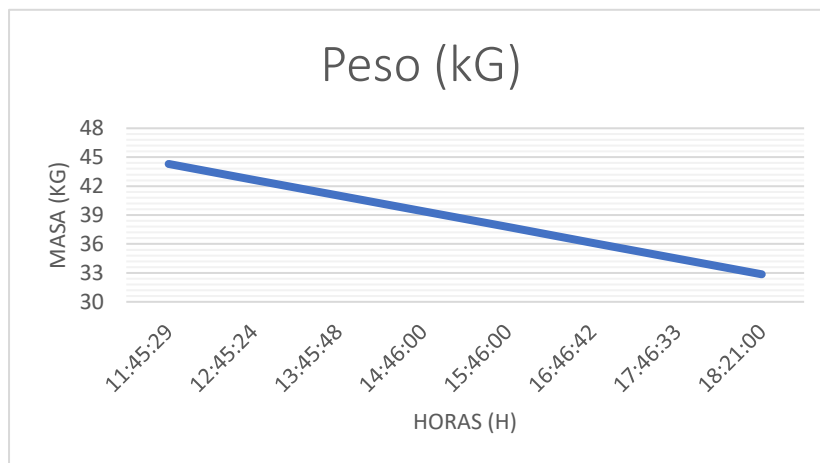


Figura 4.17 Reducción de la masa del gas respecto al tiempo

En la figura 4.17 se puede observar la reducción del gas de acuerdo con el tiempo, se ha determinado el consumo del gas de 1.643 kg/h en el tiempo de secado dando de 44.3 a una reducción de 34 kg, con una diferencia de 10.3 kg durante este proceso.

4.1.17. Consumo energético:

El consumo energético puede ser analizado desde diferentes perspectivas, como el consumo de una casa, una empresa, un sector industrial o un país entero. También se puede estudiar el consumo de energía en diferentes sectores, como el transporte, la industria, los servicios públicos o los hogares.

Tabla 4.9 *Tiempo de secado de cacao mensual*

Secado por día		Secado mensual	
Tiempo (h)	Peso (kg)	Tiempo (h)	Peso (kg)
8	45,36	240	1360.8

Teniendo los datos de tiempo y peso en horas de secado con el control de temperatura se llega a reducir a 6 horas y media, detallando en la siguiente tabla 4.9, el consumo de energía de cada componente de nuestra máquina.

Tabla 4.10 *Consumo de energía de cada componente de la secadora cilíndrica*

Elemento	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	tiempo (h)	Energía consumida (kWh)
Relé	0.027	120	3.24	6.30	0.020412
Contactador	0.07	120	8.4	6.30	0.05292
motor trifásico	1.73	380	657.4	6.30	4.14162
Blower	3.08	120	369.6	6.30	2.32848
luces piloto	0.075	120	9	6.30	0.0567
PLC	0.42	120	50.4	6.30	0.31752
control de fase	0.64	120	76.8	6.30	0.48384
fuelle de 24 V, módulo de PLC, válvula proporcional	0.13	120	15.6	6.30	0.09828
TOTAL					7.499772

Consumo energético

En el Ecuador el precio de kWh es de 0,091 dólares, donde utilizando la ecuación 3.21, encontraremos cuanto es el consumo diario.

$$C_{energía} = 7.499772kW * 0.091\$$$

$$C_{energía} = \$ 0,68$$

4.1.18. Selección del cableado del tablero de control de acuerdo con la ampacidad:

Tabla 4.11 *Uso de cableado de acuerdo con su ampacidad*

Elemento	Intensidad de ajuste (A)	Cableado
Válvula proporcional	0.8585	22 AWG
Relé	0.844	18 AWG
pantalla HMI	0.7154	18 AWG
Contactador	0.219	18 AWG
motor trifásico	10.1511	12 AWG
Blower	5.2952	18 AWG
luces piloto	0.234	18 AWG
PLC	1.313	18 AWG
Modulo	0.2146	18 AWG
control de fase	2.299	18 AWG
fuelle de 24 V	3.915	18 AWG
Carga Total	26.0588	12 AWG

4.2. EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y/O ECONÓMICA

4.2.1. Evaluación técnica

Los procesos de secado del cacao en las secadoras realizadas de modo experimental en la Universidad Técnica de Cotopaxi, no se pueden controlar a una temperatura ideal. La solución técnica para la implementación del sistema de control de temperatura en la secadora experimental cilíndrica de cacao se define parámetros, que incluyen un análisis de la eficiencia, precisión y eficacia del equipo y los métodos utilizados para mantener la temperatura deseada durante el proceso de secado. Esto asegurará un secado adecuado del cacao de alta calidad.

En la realización del estudio experimental acerca del sistema de control de temperatura para la secadora cilíndrica de cacao, se ha obtenido datos concretos y con exactitud, para determinar nuestro secado en óptimas condiciones y conservación de la energía a un 15%.

4.2.2. Evaluación Social

La evaluación social del control de la temperatura durante el proceso de secado del cacao se debe considerar el impacto en la calidad del producto, la productividad y los ingresos de los agricultores, así como las condiciones ambientales y sociales en la comunidad local. Esto facilitará la toma de decisiones informada y garantizará que la práctica sea sostenible y beneficiosa para todas las partes pertinentes interesadas.

El control de la temperatura durante el secado del cacao puede que afecte significativamente a la cantidad y la calidad del producto, lo que a su vez puede o no afectar los ingresos de los agricultores. Es importante evaluar si el control de la temperatura puede aumentar o mantener la productividad y los ingresos del agricultor.

4.2.3. Evaluación Socioeconómica:

El secado del cacao es un proceso crítico en la cadena de producción del chocolate ya que afecta la calidad final del producto. El análisis socioeconómico del secado del cacao tiene como objetivo comprender cómo este proceso afecta a los diversos actores involucrados, tanto social como económicamente.

Desde una perspectiva socioeconómica, el secado del cacao involucra la participación de agricultores, intermediarios, procesadores y consumidores. Todos tienen un rol y una motivación para participar en este proceso.

Los procesadores de cacao se benefician del secado adecuado del cacao, ya que mejora la calidad del producto final. El secado fino del cacao permite a los procesadores lograr un mejor sabor y aroma del chocolate, aumentando así la demanda y las ganancias. Sin embargo, los procesadores también pueden enfrentar problemas sociales y económicos, como cambios en el suministro de cacao de alta calidad debido a problemas de secado.

4.2.4. Análisis económico de la secadora de cacao

El sistema de control de temperatura del secador de cacao es muy importante en la economía de la producción de cacao, porque el secado es la etapa principal del procesamiento del cacao, lo que afecta directamente la calidad del producto final.

Un análisis económico de un sistema de control de temperatura de este tipo debería tener en cuenta los beneficios y costes asociados. Una de sus ventajas es la mejora de la calidad del cacao, ya que el control preciso de la temperatura evita el sobrecalentamiento y el deterioro de las propiedades organolépticas del cacao. Esto significa un mayor valor de mercado para el producto final, lo que puede conducir a precios de venta más altos. Además, un buen control de la temperatura en el secador de cacao asegura un secado más eficiente y uniforme, reduce el tiempo de procesamiento y aumenta la productividad de la planta de elaboración.

Esto significa más capacidad de producción y el potencial para servir a más clientes y mercados.

En la tabla 4.12, se puede determinar el precio de venta del cacao en el mercado, esto se lo puede visualizar con las diferentes características del grano, donde se halla en condiciones de húmedo (Baba) o en condiciones secas, de esto dependerá su precio.

Tabla 4.12 *Precio de venta del cacao en diferentes condiciones*

MASA (kg)	PRECIO \$ (Húmedo)	PRECIO \$ (Seco)
45,36	30	150
23,18	15	75

4.2.4.1. *Cantidad de secado*

En la tabla 4.13, se puede apreciar la cantidad de veces que se logra el proceso total de secado del cacao, comparando el secado tradicional y el secado mediante el uso de una máquina con control de temperatura.

Tabla 4.13 *Cantidad mensual de secado del producto*

	N.º de secado tradicional	N.º de secado por maquina
Día	0	1
Semana	1	5
Mes	4	20

Donde se puede observar que el secado de cacao mediante el uso de la maquina con un control de temperatura tiene un alcance de 20 secadas mensuales a diferencia de la tradicional que solo se puede secar 4 veces en el mes, beneficiando al producto por la reducción de tiempo al secar y también en términos de calidad del producto obtenido.

4.2.4.2. *Reducción de la masa*

En la tabla 4.14, se muestra la cantidad de masa que pierde el cacao al ser sometido al proceso de secado, en la cual existe una reducción de 0,87 kg más de masa en el secado tradicional a diferencia del secado por máquina.

Tabla 4.14 *Masa perdida en el secado de cacao*

Masa (kg)	Secado tradicional (%)	Secado por maquina (%)
45,36	33	31,08
Masa (kg)	Masa seca total (kg)	Masa seca total (kg)
45,36	30,39 (14,97)	31,26 (14,1)

Se analizado según términos en la tabla 4.14 cuanto es la pérdida de masa al acabar el proceso de secado, se determina que hay una diferencia de 0.87 kg del secado tradicional, respecto a la secadora cilíndrica pero en cuestiones de calidad se determina que tiene un incremento de 2.21 kg respecto al secado tradicional siendo de gran ganancia, ya que el secado tradicional se contamina el grano, se contamina de moho y esto es perdida para el producto ya que no tendrá el mismo costo con respecto al secado por la maquina con control de temperatura.

4.2.4.3. *Aprovechamiento del secado*

En la tabla 4.15, se refleja su masa final y su precio del producto sometido al proceso de secado mediante la secadora experimental cilíndrica de cacao con el control de temperatura.

Tabla 4.15 *Precio del cacao seco, mediante el uso de la secadora*

Masa inicial (kg)	Masa final (kg)	Precio (\$)
45,36	45,36	30
Masa inicial (kg)	Masa final (kg)	Precio (\$)
45,36	31,26	103,37

Se aprecia que existe un incremento en la venta del cacao seco respecto al de baba, representando una ganancia de \$73.37.

4.2.4.4. *Consumo de Energía*

En la tabla 4.16 se muestra el consumo de energía diario en el proceso de secado del grano del cacao en la secadora experimental cilíndrica de cacao, esta requiere de abastecimiento de energía y de gas licuado de petróleo (GLP),

Tabla 4.16 *Consumo energético en dólares*

Descripción	Valor (\$)
consumo eléctrico	0,63
consumo GLP	1
TOTAL	1,63

El cilindro de GLP abastece para 3 procesos de secado por ende su consumo económico seria de 1\$ por proceso

4.2.4.5. *Ganancia neta del secado*

El control de la temperatura durante el secado del cacao puede tener beneficios netos para mejorar la calidad del cacao, reducir los costos operativos y aumentar la productividad. Sin

embargo, vale la pena señalar que los resultados pueden variar de un caso a otro y dependiendo de factores específicos.

En la tabla 4.17, se representa la ganancia total, restando de la venta total del producto en el mercado con los consumos energéticos y de GLP.

Tabla 4.17 *Ganancia diaria neta en el secado*

Descripción	Valor (\$)
venta del producto (seco)	103.37
Consumo Energético	0.63
Consumo GLP	1
Transporte para la venta	10
Ganancia Total	91.74

En la tabla 4.18 se muestra el valor total a ganar en el transcurso de un mes.

Tabla 4.18 *Ganancias mensuales en el secado*

Secadas mensuales	Ganancia diaria (\$)	Ganancia Mensual (\$)
20	91,74	1834,8

Como se puede visualizar se tiene una ganancia neta de \$1834,80 mensuales aplicando el secado por medio de maquina con control de temperatura, con respecto la venta del producto en baba.

Además, el control de la temperatura reduce el tiempo de secado requerido, aumentando la capacidad de producción y reduciendo los costos operativos. Al acelerar el proceso de secado, se puede cosechar y secar más rápido, lo que aumenta el rendimiento.

4.2.4.6. Beneficio de la secadora cilíndrica de cacao

En la 4.19 se muestra todas las contribuciones de la secadora cilíndrica de cacao, que nos ayudara a maximizar el proceso de secado.

Tabla 4.19 *Beneficios de la secadora cilíndrica con control de temperatura*

Variable	Descripción
Masa	Su reducción de masa es mucho menor que la del secado tradicional
Mayor eficiencia	Con un control preciso de la temperatura, la secadora asegura un secado rápido y eficiente del cacao, reduce el tiempo de secado y optimiza el proceso.
Ahorro energético	El control preciso de la temperatura evita que el cacao se caliente o se enfríe demasiado, lo que significa que se utiliza menos energía en el proceso de secado.
Producción	Varios procesos totales de secado en el transcurso de la semana
clima	No depende de la situación climática para realizar su proceso de secado del grano de cacao
Trabajo	No requiere de esfuerzo físico para la manipulación del removimiento del cacao.
Temperatura	Control de temperatura para una mejor calidad de secado del producto.
Uniformidad	El control de temperatura mantiene una temperatura constante en toda la superficie del secador y evita cambios que pueden afectar la calidad del cacao.
Humedad	Existe un mayor control de la humedad final del grano de cacao.
Durabilidad	Estos secadores están diseñados con materiales resistentes y duraderos para garantizar un rendimiento duradero y reducir los costos de mantenimiento y reemplazo.
Propiedades organolépticas	El control de la temperatura ayuda a preservar las propiedades organolépticas del cacao, como el sabor, el aroma y la textura, y evita el deterioro que puede ocurrir durante el proceso de secado.

4.2.5. Evaluación económica

De acuerdo con la propuesta tecnológica realizada, la solución técnica del proyecto se basa en el uso técnico de la construcción y realización de máquinas.

El presupuesto se puede ver en la siguiente tabla:

4.2.5.1. Costos directos

Tabla 4.20 Presupuesto del sistema de control para la secadora cilíndrica

Cantidad	Elemento	Precio unitario	precio total
1	PLC	\$ 300.00	\$ 300.00
1	Módulo de Analógico para PLC	\$ 400.00	\$ 400.00
1	Pantalla HMI	\$ 300.00	\$ 300.00
1	Blower fragua 3"	\$ 80.00	\$ 80.00
1	Válvula proporcional	\$ 200.00	\$ 200.00
2	sensor de temperatura PT-100 RTD	\$ 60.00	\$ 120.00
1	gabinete 40*60*20	\$ 60.00	\$ 60.00
1	Fuente de 24V	\$ 20.00	\$ 20.00
1	Switch Ethernet	\$ 12.00	\$ 12.00
1	Módulo de chispa Whirlpool	\$ 5.00	\$ 5.00
2	Chisperos	\$ 2.00	\$ 4.00
1	Tubo de 3"	\$ 80.00	\$ 80.00
1	Contactador para motor 3	\$ 25.00	\$ 25.00
1	Relé rápido	\$ 25.00	\$ 25.00
1	Breaker 6A	\$ 15.00	\$ 15.00
1	Breaker 10A	\$ 25.00	\$ 25.00
6	Bornera 2"	\$ 5.00	\$ 30.00
11	Borneras 1/2"	\$ 3.50	\$ 38.50
2	Canaleta 25X40 mm	\$ 5.00	\$ 10.00
7	Metro de cable concéntrico 18X3	\$ 0.85	\$ 5.95
20	Metro de cable flexible 18 AWG	\$ 0.35	\$ 7.00
1	Soplete de 1/4 "	\$ 80.00	\$ 80.00
5	Metro de cable concéntrico 18 X2	\$ 0.55	\$ 2.75
3	Luces piloto	\$ 2.50	\$ 7.50
1	Paro de emergencia	\$ 3.00	\$ 3.00
3	Metro de cable UTP	\$ 0.50	\$ 1.50
1	Selector	\$ 3.50	\$ 3.50
TOTAL			\$ 1,860.70

4.2.5.2. Costos indirectos:

Costos indirectos que influenciaron en la construcción del prototipo.

Tabla 4.21 Costos de transporte y varios

Insumo	Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Transporte	Santo Domingo- Latacunga	3	\$ 10.00	\$ 30.00
Transporte	Quito - Latacunga	20	\$ 3.00	\$ 60.00
Alimentación	Almuerzo	20	\$ 5.00	\$ 100.00
Varios	Cacao, combustible, peaje		\$ 200.00	\$ 200.00
TOTAL				\$ 390.00

Tabla 4.22 Costo de materiales y otros

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Disco de devaste	1	\$ 3.00	\$ 3.00
Electrodo 60/11	1	\$ 2.50	\$ 2.50
Disco de grata	1	\$ 5.10	\$ 5.10
Gas GLP	6	\$ 2.50	\$ 15.00
Taípe	1	\$ 0.70	\$ 0.70
Enchufe pata de gallo 3	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Acoples para válvula	2	\$ 6.00	\$ 12.00
consumo de energía eléctrica	1	\$ 26.00	\$ 26.00
TOTAL			\$ 74.30

4.2.5.3. Costo total de implementación

El coste total de implantación será la suma de los distintos costes descritos anteriormente.

Tabla 4.23 Costo total de implementación

Detalles	Costos
Presupuesto del sistema de control para la secadora cilíndrica	\$ 1,860.70
Costos de transporte y varios	\$ 390.00
Costo de materiales y otros	\$ 74.30
TOTAL	\$ 2,325.00

5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

5.1. CONCLUSIONES

- Para el diseño de control de la secadora cilíndrica, definimos parámetros como temperatura, presión y humedad donde permite al operador tener un mando desde un tablero de control, evitando el contacto con los componentes de la máquina, determinando que se cumpla su proceso de secado.
- Se selecciono un controlador PID siendo la fiabilidad del instrumento PLC siemens S7-1200 que minimizan el funcionamiento en modo de control donde se mantienen la señal del proceso lo más constante posible y consumen aproximadamente un 15 % menos de energía, respecto al control manual de la máquina que se hacía antes.
- Mediante la utilización del sistema de control de temperatura de secado, se obtiene de forma experimental los siguientes parámetros: masa inicial de cacao es 45,36 kg, con un contenido de humedad del 60%, la temperatura de trabajo del secado es de 70 °C, el caudal de suministro de GLP es de 2 kg/h y el caudal volumétrico de aire es de $127 \frac{ft^3}{h}$, finalizando el proceso de secado se obtiene una masa final de cacao del 34,63 kg con un contenido de humedad del 7.1%.
- Después de observar la curva característica de temperatura durante la prueba de secado se logra diseñar un control de que el flujo de aire en el interior de la cabina puede alcanzar los 70 grados centígrados, y alcance una temperatura media dentro del barril de 55 grados centígrados.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que debe entenderse antes de usar el sistema de control, una de las variables a controlar tomando en cuenta ciclos termodinámicos y transferencia de calor, también se debe tener conocimiento en el hardware que se va a utilizar que ayude a cumplir con los requisitos.
- Al realizar el secado del cacao debe estar fermentado y con una humedad optima, ya que el uso de cacao con mayor humedad tiende a tener tiempos mayor de secado, lo que aumenta el consumo de energía innecesario ya que el objetivo es conservar los recursos. Obtenga mejores resultados.
- Al secar cacao, no se debe exceder el límite de temperatura especificado de 80 °C, de lo contrario, el cacao se quemará, por lo que esta temperatura debe establecerse mediante el control de la llama y el flujo de aire para mantener las propiedades de confort del producto.
- Se recomienda dejar de operar la maquina por un corto periodo de tiempo después de haber realizado el proceso de secado, para evitar cualquier recalentamiento excesivo en sus componentes eléctricos y electrónicos para evitar cualquier falla en la máquina, evitando así reduciendo costes de mantenimiento o remplazo de componentes.

6. Bibliografía

- [1] V. d. C. Laura Aguilar, «ResearchGate,» CECTURM -D, 15 Marzo 2022. [En línea]. Available: /www.researchgate.net/profile/Laura-Aguilar-8/publication/359435216_ASPECTOS_ETNOHISTORICOS_DEL_CACAO_EN_EL_OCCIDENTE_MEXICANO_SU_PUESTA_EN_VALOR_PARA_EL_TURISMO_EN_COMUNIDADES_RURALES_DE_NAYARIT/links/623bd998f559847a66148cb5/A_SPECTOS-ETNOHISTORICOS-DEL-. [Último acceso: 18 06 2023].
- [2] C. R.-. R. y. M. C. G. Edwin Castiblanco, Cacao, sabores y tradición, Bogota : Fundación Universitaria San Mateo, 2023.
- [3] A. L. Guerrero, «SECTOR CACAOTERO EN EL ECUADOR,» 10 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf>. [Último acceso: 17 06 2023].
- [4] G. G. H., «LÍDERES,» 11 07 2020. [En línea]. [Último acceso: 17 06 2023].
- [5] PROECUADPR, Artist, *Análisis del Sector Cacao y Elaborados..* [Art]. Inteligencia comercial e inversiones, 2013.
- [6] J. Poveda, Artist, *Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convección forzada para una capacidad de 500 Kg.* [Art]. Universidad de las Fuerzas Armadas, 2006.
- [7] K. E. Urrutia Triviño, «Universidad Tecnica Estatal de Quevedo,» 30 09 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6754>. [Último acceso: 20 06 2023].
- [8] A. Paredes, Artist, *Manual de cultivo de cacao para la amazonia ecuatoriana.* [Art]. INIAP, 2009.
- [9] P. L. E. Fernando, Ecuador Tierra del Cacao, Guayaquil: TRAMAEDICIONES, 2008.

- [10] G. w. Garcia Ariana, Artist, *Diseño y construcción de una secadora de cacao tipo tanque empleando una cámara de acondicionamiento para la inyección de aire caliente*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, 2022.
- [11] C. J. P. S. Quispe Luis, «Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor h_c en la evaluación del equipo de convección forzada,» *Polo del conocimiento*, p. 16, 01 03 2021.
- [12] Blog-Multi Washer, «Métodos de secado industrial: ¿cuál es el más adecuado?,» 30 12 2021. [En línea]. Available: <https://blog.somengil.com/es/metodos-de-secado-industrial-cual-es-el-mas-adecuado/>. [Último acceso: 08 07 2023].
- [13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 0176, Quito: INEN, 2006.
- [14] P. Maureira, Artist, *Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convección forzada para una capacidad de 500 kg*. [Art]. Escuela Politécnica del Ejército, 2006.
- [15] L. G, Artist, «Evaluación del proceso de secado de granos de cacao fermentado, en un. [Art]. Universidad de, 2011.
- [16] R. M.J. and Dand, «Cacao en Grano: Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao,» *ICAOBISCO/ECA/FCC*, vol. 1 st ed., nº 1, p. 110, 2015.
- [17] AUTRACEN, «Estructura de un PLC,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.autracen.com/blog/viajes-1/estructura-de-plc-51>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [18] ALLEN-BRADLEY, «Módulo de entradas y salidas de bloques de E/S analógicas 1791,» vol. 2, p. 83, 1971.
- [19] Control Real Español, «Módulos analógicos de entrada y salida,» Control Real Español, 28 03 2015. [En línea]. Available: <https://controlreal.com/es/modulos-analogicos-de-entrada-y-salida/>. [Último acceso: 2023 01 02].

- [20] WECON, «Wecon-iiot.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://wecon-iiot.com/pantallas-hmi/>.
- [21] M. C. Montoya Luis, Artist, *Reducción del consumo energético mediante el reemplazo de blower (AIR KNIFE) por cuchillas de aire comprimido para el secado de mallas en la industria papelera*. [Art]. Cooperacion Universitaria Minuto de Dios, 2017.
- [22] T. A. Alzamora Saúl, Artist, *Diseño y evaluación de un sistema de control digital para mantener constante la presión mediante la instalación de una válvula de control reguladora del flujo de gas del quemador del generador de vapor en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios*. [Art]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2008.
- [23] *La válvula proporcional de 4-20mA 0-10V 0-5 V DN20*. [Art].
- [24] A. I. Medina Mario, Artist, *Automatización de horno a gas didáctico, controlado por PLC para el laboratorio de máquinas eléctricas de la UPB*. [Art]. Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [25] T. J. Simbaña Raul, Artist, *Implementación de un Equipo de Laboratorio de Control Industrial con Relés Inteligentes para el Control Automatizado de Motores Eléctricos de Corriente Alterna Monofásicos*. [Art]. Escuela Superior Politecnica del Chimborazo, 2010.
- [26] C. Cherta, *Curso moderno de maquinasn electricas rotativas*, Barcelona: REVERTÉ S.A., 2013.
- [27] C. Antonio, Artist, *Arduino para principiantes*. [Art]. Campus Academy, 2017.
- [28] A. D. Montenegro Angel, Artist, *Análisis de circuitos en corriente continua*. [Art]. Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.
- [29] B. S. R. S. Itrick Klenner, Artist, *Conexion entre PC y PLC utilizando puerto ethernet..* [Art]. Universidad Técnica Federico Santa María, 2012.

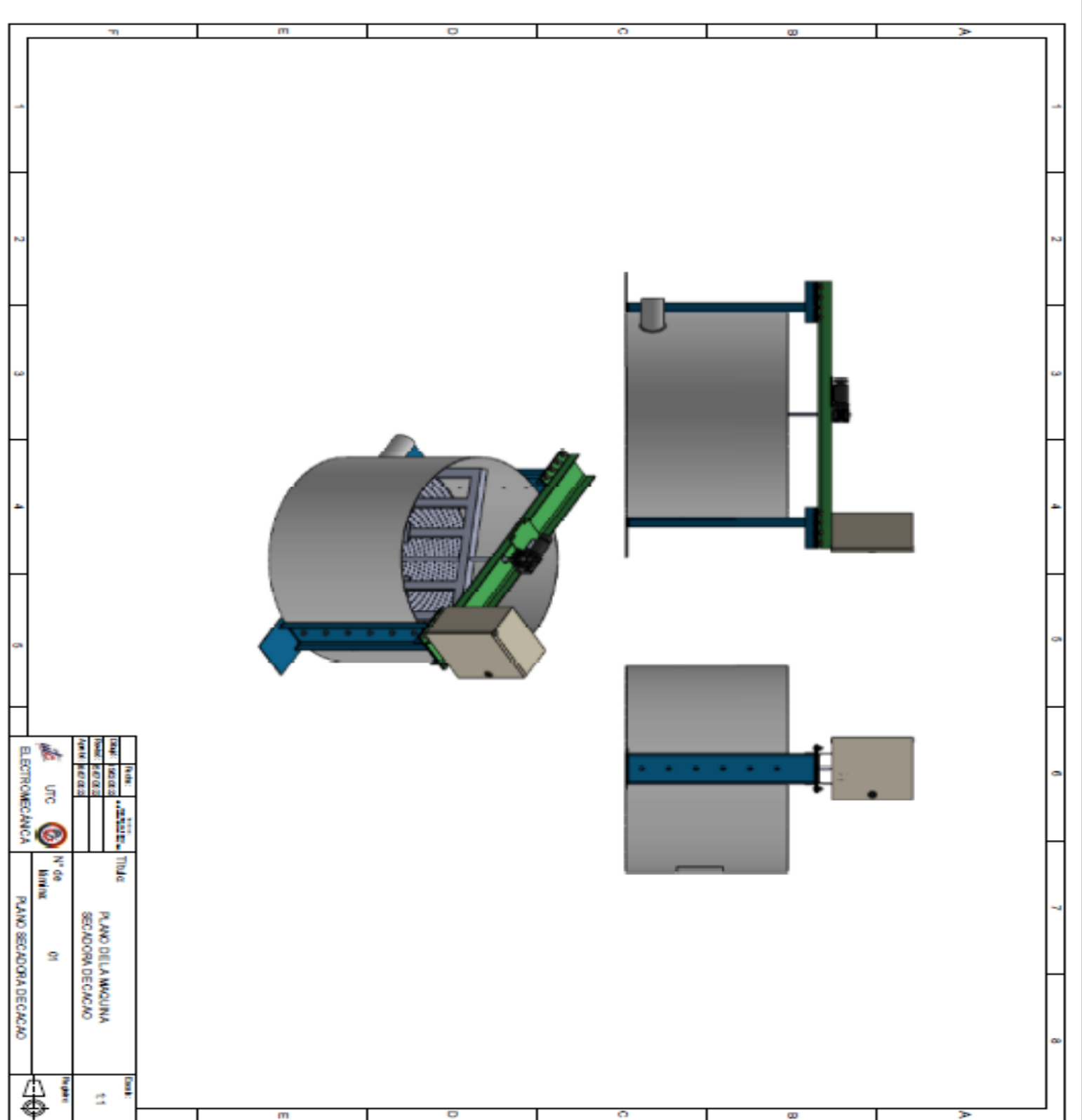
- [30] V. M., Artist, *Seguridad eléctrica: efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano..* [Art]. Universidad de Barcelona, 2000.
- [31] C. W. E. S. Msc. Ing. Arturo Llerena, Artist, *Breaker Inteligente.* [Art]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
- [32] C. G. G. B. Z. Z. , A. G. M. D. M. C. A. G. L. Jesús Bausà Aragonés, «Sensores de Temperatura,» 2003. [En línea]. Available: https://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf. [Último acceso: 18 07 2023].
- [33] M. Luis, Artist, *Diseño de un inversor de corriente eléctrica con selector manual de conexión por fases a la salida.* [Art]. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2014.
- [34] L. V. L. Alberto, Artist, *Diseño de un sistema de controlador de temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural.* [Art]. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.
- [35] N. C. G. Damián, «Punto Flotante S.A.,» [En línea]. Available: <https://www.puntoflotante.net/CONTROLONOFF.htm>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [36] B. H. A. Ederik, Artist, *Sistema de control proporcional integrador y derivativo, como alternativa para mejorar la precisión de temperatura, aplicado al proceso de elaboración de pinturas, para la empresa mara S.A. ”.* [Art]. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, 2017.
- [37] «JM Industrial Technology SA de CV,» Soluciones Integrales en Temperatura, [En línea]. Available: <https://www.jmi.com.mx/controladores-de-temperatura>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [38] G. M. Esperanza, Artist, *Desarrollo de un controlador PID industrial de bajo coste mediante raspberry pi para control de temperatura..* [Art]. Universitat Politècnica de Valencia, 2015-2016.

- [39] «Lumox Maxima,» 02 01 2022. [En línea]. Available: <https://velog.io/@717lumox/Control-PID-%EC%A0%9C%EC%96%B4>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [40] C. A. Murillo y J. H. Guzman, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL DIFUSO PARA UNA ESTACION DIDACTICA DE TEMPERATURA,» Pereira, 2014.
- [41] S. Kouro y R. Musalem, Artists, *Control mediante logica difusa*. [Art].
- [42] J. Andrade Almeida, J. Rivera Garcia, C. Fajardo y U. Peralta, «Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao Theobroma cacao L. de Ecuador y Perú,» 12 2019. [En línea]. Available: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001. [Último acceso: 02 07 2023].
- [43] PCE Instrument, «Detector de humedad de cereales PCE-GMM 10,» [En línea]. Available: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-humedad/detector-humedad-cereales-fs-2000.htm>. [Último acceso: 17 07 2023].
- [44] PCE Instrument, «Detector de humedad de cereales PCE-GMM 10,» 2000. [En línea]. Available: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-humedad/detector-humedad-cereales-fs-2000.htm>. [Último acceso: 2023 07 19].
- [45] N 18410-MEIC, «Anteproyecto Norma Oficial Cacao Seco Grano para Determinación Humedad,» 1988. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mag.go.cr/legislacion/1988/de-18410.pdf>.
- [46] L. D. Albán Rocha y H. R. Montesdeoca Balarezo, «IMPLEMENTACIÓN DE UNA SECADORA CILÍNDRICA A GAS PARA EL SECADO DE CACAO,» p. 8, 17 02 2023.
- [47] CHINIT, Artist, *Contactores C.A y C.C*. [Art].

[48] P. Pablo, Artist, *Secado artificial de cacao*. [Art]. Universidad Politecnica Salesiana, 2008.

ANEXOS:

ANEXO 1 Plano de la cama de la secadora cilíndrica [46]



 ELECTROMECÁNICA	NOMBRE:	TÍTULO:	FECHA:
	N° de	PLANO DE LA MQUINA	11
N° de	SECADORA DE CARGO	01	11
NOMBRE:	PLANO SECADORA DE CARGO	01	11

ANEXO 2. Datos de temperatura, tiempo y válvula de la secadora cilíndrica con carga.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI						
DATOS DE SECADORA DE CACAO						
DATOS						
Fecha:	Hora:	TEMPERATURA1	TEMPERATURA2	TEMP. TOT	SET-POINT	PR_VALVULA
1/8/2023	11:45:29	28,62	26,8	26,8	70	0
1/8/2023	11:45:30	29,29	27,11	27,11	70	0
1/8/2023	11:45:36	31,39	28,22	28,22	70	99,7
1/8/2023	11:45:42	32,7	29,14	29,14	70	100
1/8/2023	11:45:48	32,76	29,51	29,51	70	100
1/8/2023	11:45:54	32,5	29,65	29,65	70	100
1/8/2023	11:46:00	32,13	29,63	29,63	70	100
1/8/2023	11:46:06	31,37	29,38	29,38	70	100
1/8/2023	11:46:12	30,45	28,99	28,99	70	100
1/8/2023	11:46:18	30,03	28,78	28,78	70	100
1/8/2023	12:00:30	71,22	64,81	64,81	70	97,89
1/8/2023	12:00:36	71,17	64,56	64,56	70	99,51
1/8/2023	12:00:42	72,47	65,05	65,05	70	94,15
1/8/2023	12:00:48	74,22	65,89	65,89	70	85,28
1/8/2023	12:00:54	76,07	66,88	66,88	70	73,25
1/8/2023	12:01:00	77,52	67,75	67,75	70	67,92
1/8/2023	12:01:06	77,34	67,91	67,91	70	68,23
1/8/2023	12:01:12	75,89	67,43	67,43	70	72,79
1/8/2023	12:01:18	73,91	66,59	66,59	70	81,77

1/8/2023	12:01:24	71,93	65,59	65,59	70	93,43
1/8/2023	12:30:00	70,14	64,32	64,32	70	83,62
1/8/2023	12:30:06	68,26	63,27	63,27	70	83,62
1/8/2023	12:30:12	66,55	62,25	62,25	70	83,62
1/8/2023	12:30:18	65,73	61,52	61,52	70	83,62
1/8/2023	12:30:24	65,46	61,06	61,06	70	73,32
1/8/2023	12:30:30	64,85	60,56	60,56	70	91,62
1/8/2023	12:32:06	73,43	62,9	62,9	70	67,67
1/8/2023	12:32:12	76,56	65,05	65,05	70	67,67
1/8/2023	12:32:18	77,32	66,11	66,11	70	67,67
1/8/2023	12:32:24	76,98	66,57	66,57	70	67,67
1/8/2023	12:57:42	69,89	63,04	63,04	70	98,72
1/8/2023	12:58:12	68,97	62,3	62,3	70	76,32
1/8/2023	12:58:18	69,13	62,36	62,36	70	83,16
1/8/2023	12:58:24	69,29	62,42	62,42	70	89,96
1/8/2023	12:58:30	69,39	62,5	62,5	70	96,43
1/8/2023	12:58:36	69,69	62,65	62,65	70	99,62
1/8/2023	12:58:42	72,21	63,91	63,91	70	89,74
1/8/2023	12:58:48	75,9	65,86	65,86	70	75,19
1/8/2023	12:58:54	79,9	68,12	68,12	70	75,19
1/8/2023	12:59:00	82,95	70,33	70,33	70	75,19
1/8/2023	13:30:06	67,85	61,38	61,38	70	93,91
1/8/2023	13:30:12	71,4	63,82	63,82	70	82,59
1/8/2023	13:30:18	74,56	66,05	66,05	70	71,43
1/8/2023	13:30:24	76,43	67,48	67,48	70	71,43
1/8/2023	13:30:30	76,66	67,95	67,95	70	71,43

1/8/2023	13:30:36	75,95	67,83	67,83	70	71,43
1/8/2023	13:30:42	74,76	67,38	67,38	70	73,57
1/8/2023	13:30:48	73,44	66,75	66,75	70	78,87
1/8/2023	13:30:54	72,08	66	66	70	86,47
1/8/2023	13:31:00	70,81	65,23	65,23	70	95,75
1/8/2023	14:00:06	73,91	66,64	66,64	70	71,43
1/8/2023	14:00:12	73,86	66,63	66,63	70	71,43
1/8/2023	14:00:18	73,87	66,62	66,62	70	71,43
1/8/2023	14:00:24	73,86	66,62	66,62	70	71,43
1/8/2023	14:00:30	73,88	66,63	66,63	70	71,43
1/8/2023	14:00:36	73,89	66,64	66,64	70	71,43
1/8/2023	14:00:42	73,91	66,65	66,65	70	71,43
1/8/2023	14:00:48	73,94	66,65	66,65	70	71,43
1/8/2023	14:00:54	73,94	66,66	66,66	70	71,43
1/8/2023	14:01:00	73,93	66,65	66,65	70	71,43
1/8/2023	14:30:00	71,08	64,96	64,96	70	100
1/8/2023	14:30:06	71,3	65,08	65,08	70	100
1/8/2023	14:30:12	71,48	65,18	65,18	70	100
1/8/2023	14:30:18	71,62	65,28	65,28	70	100
1/8/2023	14:30:24	71,64	65,33	65,33	70	100
1/8/2023	14:30:30	71,59	65,34	65,34	70	100
1/8/2023	14:30:36	71,53	65,34	65,34	70	100
1/8/2023	14:30:42	71,48	65,32	65,32	70	100
1/8/2023	14:30:48	71,45	65,31	65,31	70	100

1/8/2023	14:30:54	71,42	65,29	65,29	70	100
1/8/2023	15:00:00	69,65	64,33	64,33	70	100
1/8/2023	15:00:06	69,58	64,29	64,29	70	100
1/8/2023	15:00:12	69,53	64,26	64,26	70	100
1/8/2023	15:00:18	69,54	64,25	64,25	70	100
1/8/2023	15:00:24	69,56	64,26	64,26	70	100
1/8/2023	15:00:30	69,6	64,27	64,27	70	100
1/8/2023	15:00:36	69,66	64,32	64,32	70	100
1/8/2023	15:00:42	69,76	64,37	64,37	70	100
1/8/2023	15:00:48	69,87	64,42	64,42	70	100
1/8/2023	15:00:54	69,97	64,47	64,47	70	100
1/8/2023	15:30:00	69,6	64,24	64,24	70	100
1/8/2023	15:30:06	69,64	64,25	64,25	70	100
1/8/2023	15:30:12	69,66	64,27	64,27	70	100
1/8/2023	15:30:18	69,7	64,28	64,28	70	100
1/8/2023	15:30:24	69,75	64,3	64,3	70	100
1/8/2023	15:30:30	69,78	64,33	64,33	70	100
1/8/2023	15:30:36	69,8	64,34	64,34	70	100
1/8/2023	15:30:42	69,8	64,34	64,34	70	100
1/8/2023	15:30:48	69,81	64,34	64,34	70	100
1/8/2023	15:30:54	69,83	64,36	64,36	70	100
1/8/2023	16:00:00	70,86	64,79	64,79	70	100
1/8/2023	16:00:06	70,85	64,79	64,79	70	100
1/8/2023	16:00:12	70,84	64,8	64,8	70	100
1/8/2023	16:00:18	70,83	64,81	64,81	70	100
1/8/2023	16:00:24	70,8	64,81	64,81	70	100

ANEXO 3. Datos de temperatura, tiempo y válvula de la secadora cilíndrica en vacío a los 60°
C.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI						
DATOS DE SECADORA DE CACAO						
DATOS						
Fecha:	HORA	TEMPERATURA- ₁	TEMPERATURA- ₂	TEMPERATURA- _T	SET-POINT	PR_VALVULA
26/7/2023	17:24:55	26,53	27,21	27,21	60	67,8
26/7/2023	17:24:59	26,51	27,18	27,18	60	67,8
26/7/2023	17:25:05	26,48	27,16	27,16	60	67,8
26/7/2023	17:25:11	26,51	27,18	27,18	60	67,8
26/7/2023	17:25:17	27,45	27,73	27,73	60	67,8
26/7/2023	17:25:23	28,89	28,67	28,67	60	79,92
26/7/2023	17:25:29	30,41	29,77	29,77	60	100
26/7/2023	17:25:35	31,97	30,96	30,96	60	100
26/7/2023	17:25:41	34,19	32,62	32,62	60	100
26/7/2023	17:25:47	36,55	34,51	34,51	60	100
26/7/2023	17:25:53	38,87	36,44	36,44	60	100
26/7/2023	17:25:59	40,99	38,29	38,29	60	100
26/7/2023	17:26:05	42,96	40,04	40,04	60	100
26/7/2023	17:26:11	44,7	41,64	41,64	60	100
26/7/2023	17:26:17	46,3	43,16	43,16	60	100
26/7/2023	17:26:23	47,71	44,5	44,5	60	100
26/7/2023	17:26:29	48,96	45,74	45,74	60	100
26/7/2023	17:26:35	50,07	46,86	46,86	60	100
26/7/2023	17:26:41	51,11	47,89	47,89	60	100
26/7/2023	17:26:47	52,08	48,81	48,81	60	100
26/7/2023	17:26:53	52,97	49,65	49,65	60	100
26/7/2023	17:26:59	53,79	50,41	50,41	60	100
26/7/2023	17:27:05	54,49	51,11	51,11	60	100
26/7/2023	17:27:11	55,16	51,76	51,76	60	100
26/7/2023	17:27:17	55,76	52,35	52,35	60	100
26/7/2023	17:27:23	56,31	52,92	52,92	60	100
26/7/2023	17:27:29	56,88	53,46	53,46	60	100
26/7/2023	17:27:35	57,42	53,96	53,96	60	100
26/7/2023	17:27:41	57,91	54,44	54,44	60	100
26/7/2023	17:27:47	58,41	54,9	54,9	60	100
26/7/2023	17:27:53	58,9	55,32	55,32	60	100
26/7/2023	17:27:59	59,35	55,74	55,74	60	100
26/7/2023	17:28:05	59,79	56,13	56,13	60	100
26/7/2023	17:28:11	60,18	56,51	56,51	60	100
26/7/2023	17:28:17	60,55	56,88	56,88	60	100
26/7/2023	17:28:23	60,92	57,24	57,24	60	99,74
26/7/2023	17:28:29	61,26	57,58	57,58	60	99,02
26/7/2023	17:28:35	61,58	57,92	57,92	60	97,55
26/7/2023	17:28:41	61,89	58,25	58,25	60	95,59
26/7/2023	17:28:47	62,22	58,58	58,58	60	92,69
26/7/2023	17:28:53	62,54	58,89	58,89	60	88,93
26/7/2023	17:28:59	62,87	59,18	59,18	60	84,97
26/7/2023	17:29:05	63,19	59,48	59,48	60	80,23
26/7/2023	17:29:11	63,51	59,75	59,75	60	74,65
26/7/2023	17:29:17	63,76	59,97	59,97	60	69,34
26/7/2023	17:29:23	63,79	60,08	60,08	60	67,8
26/7/2023	17:29:29	63,5	59,96	59,96	60	67,8
26/7/2023	17:29:35	63,04	59,71	59,71	60	67,8
26/7/2023	17:29:41	62,57	59,37	59,37	60	68,25
26/7/2023	17:29:47	62,15	59,01	59,01	60	69,27
26/7/2023	17:29:53	61,77	58,65	58,65	60	70,92
26/7/2023	17:29:59	61,41	58,31	58,31	60	73,03
26/7/2023	17:30:05	61,07	58	58	60	76,35
26/7/2023	17:30:11	60,75	57,7	57,7	60	79,81
26/7/2023	17:30:17	60,46	57,41	57,41	60	83,65
26/7/2023	17:30:23	60,21	57,15	57,15	60	88,36
26/7/2023	17:30:29	60	56,92	56,92	60	92,92
26/7/2023	17:30:35	59,8	56,71	56,71	60	98,31
26/7/2023	17:30:41	59,67	56,55	56,55	60	100
26/7/2023	17:30:47	60,47	56,97	56,97	60	95,59
26/7/2023	17:30:53	62,04	58,04	58,04	60	86,06

26/7/2023	17:30:59	63,84	59,36	59,36	60	72,32
26/7/2023	17:31:05	65,23	60,54	60,54	60	67,8
26/7/2023	17:31:11	65,55	61,07	61,07	60	67,8
26/7/2023	17:31:17	65,35	61,21	61,21	60	67,8
26/7/2023	17:31:23	64,93	61,12	61,12	60	67,8
26/7/2023	17:31:29	64,42	60,88	60,88	60	67,8
26/7/2023	17:31:35	63,94	60,58	60,58	60	67,8
26/7/2023	17:31:41	63,51	60,26	60,26	60	67,8
26/7/2023	17:31:47	63,14	59,92	59,92	60	67,8
26/7/2023	17:31:53	62,8	59,61	59,61	60	67,8
26/7/2023	17:31:59	62,5	59,32	59,32	60	67,8
26/7/2023	17:32:05	62,17	59,04	59,04	60	68,63
26/7/2023	17:32:11	61,89	58,78	58,78	60	69,15
26/7/2023	17:32:17	61,63	58,56	58,56	60	70,09
26/7/2023	17:32:23	61,42	58,38	58,38	60	71,37
26/7/2023	17:32:29	61,26	58,23	58,23	60	72,99
26/7/2023	17:32:35	61,07	58,07	58,07	60	75,1
26/7/2023	17:32:41	60,9	57,9	57,9	60	77,4
26/7/2023	17:32:47	60,73	57,73	57,73	60	80,15
26/7/2023	17:32:53	60,56	57,58	57,58	60	83,5
26/7/2023	17:32:59	60,4	57,44	57,44	60	86,55
26/7/2023	17:33:05	60,24	57,29	57,29	60	90,4

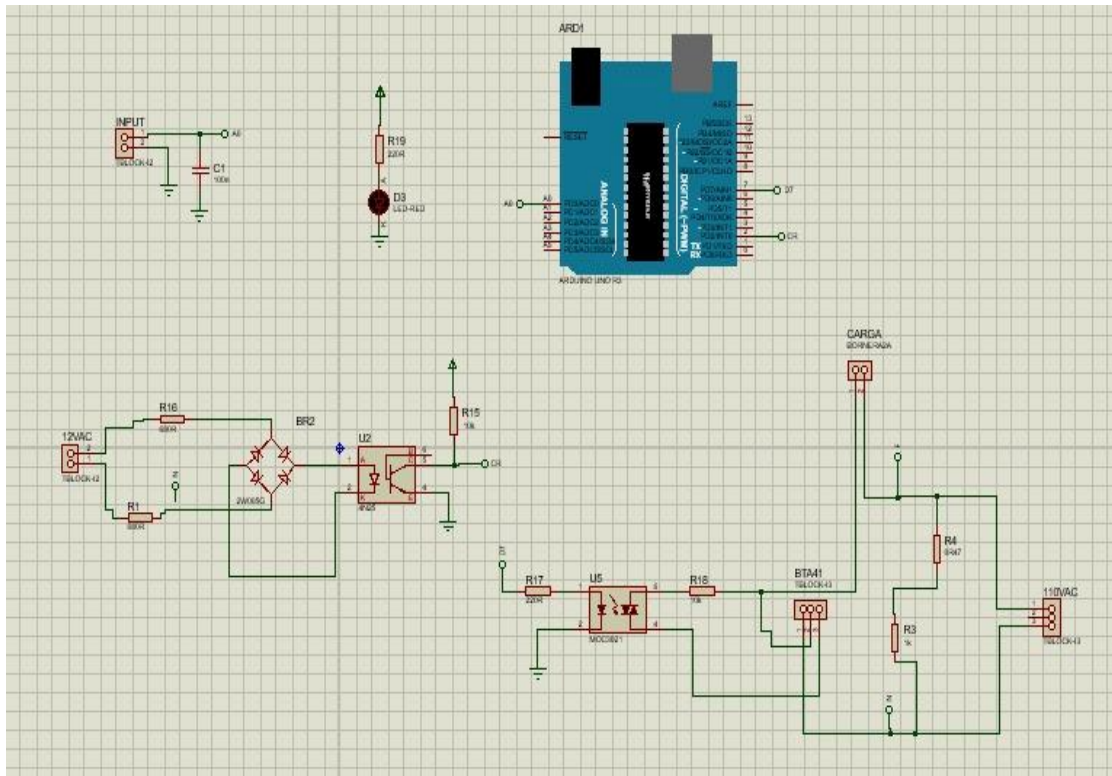
**ANEXO 4. Datos de temperatura, tiempo y válvula de la secadora cilíndrica en vacío a los
65° C.**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI						
DATOS DE SECADORA DE CACAO						
DATOS						
Fecha:	HORA	TEMPERATURA-1	TEMPERATURA-2	TEMPERATURA-T	SET- POINT	PR_VALVUL
26/7/2023	18:01:10	27,34	27,88	27,88	65 A	0
26/7/2023	18:01:11	27,33	27,88	27,88	65	0
26/7/2023	18:01:17	27,3	27,84	27,84	65	0
26/7/2023	18:01:23	27,56	27,97	27,97	65	0
26/7/2023	18:01:29	28,81	28,73	28,73	65	0
26/7/2023	18:01:35	30,22	29,67	29,67	65	100
26/7/2023	18:01:41	32,47	31,21	31,21	65	100
26/7/2023	18:01:47	36,71	34,23	34,23	65	100
26/7/2023	18:01:53	41,44	37,91	37,91	65	100
26/7/2023	18:01:59	46,17	41,78	41,78	65	100
26/7/2023	18:02:05	50,54	45,58	45,58	65	100
26/7/2023	18:02:11	54,56	49,2	49,2	65	100
26/7/2023	18:02:17	58,16	52,52	52,52	65	100
26/7/2023	18:02:23	61,44	55,64	55,64	65	97,21
26/7/2023	18:02:29	64,34	58,47	58,47	65	89,21
26/7/2023	18:02:35	66,76	60,97	60,97	65	78,72
26/7/2023	18:02:41	68,66	63,04	63,04	65	67,92
26/7/2023	18:02:47	68,96	63,96	63,96	65	67,92
26/7/2023	18:02:53	68,1	63,92	63,92	65	71,06
26/7/2023	18:02:59	66,8	63,33	63,33	65	77,74
26/7/2023	18:03:05	65,35	62,42	62,42	65	87,77
26/7/2023	18:03:11	64,01	61,41	61,41	65	100
26/7/2023	18:03:17	63,68	60,88	60,88	65	99,28
26/7/2023	18:03:23	65,33	61,68	61,68	65	91,55
26/7/2023	18:03:29	67,72	63,21	63,21	65	77,13
26/7/2023	18:03:35	69,8	64,82	64,82	65	67,92
26/7/2023	18:03:41	69,97	65,36	65,36	65	67,92
26/7/2023	18:03:47	69,08	65,09	65,09	65	68,87
26/7/2023	18:03:53	67,78	64,4	64,4	65	73,43
26/7/2023	18:03:59	66,36	63,46	63,46	65	81,28
26/7/2023	18:04:05	64,95	62,41	62,41	65	92,19
26/7/2023	18:04:11	63,79	61,39	61,39	65	100
26/7/2023	18:04:17	63,27	60,71	60,71	65	100
26/7/2023	18:04:23	63,28	60,39	60,39	65	100
26/7/2023	18:04:29	63,51	60,3	60,3	65	100
26/7/2023	18:04:35	63,84	60,34	60,34	65	100
26/7/2023	18:04:41	64,2	60,45	60,45	65	100
26/7/2023	18:04:47	64,55	60,63	60,63	65	100
26/7/2023	18:04:53	64,85	60,84	60,84	65	100
26/7/2023	18:04:59	65,12	61,03	61,03	65	100
26/7/2023	18:05:05	65,38	61,24	61,24	65	100
26/7/2023	18:05:11	65,63	61,44	61,44	65	100
26/7/2023	18:05:17	65,83	61,62	61,62	65	100
26/7/2023	18:05:23	65,99	61,78	61,78	65	99,92
26/7/2023	18:05:29	66,15	61,94	61,94	65	100
26/7/2023	18:05:35	66,25	62,09	62,09	65	100
26/7/2023	18:05:41	66,35	62,18	62,18	65	100
26/7/2023	18:05:47	66,43	62,28	62,28	65	100
26/7/2023	18:05:53	66,5	62,38	62,38	65	99,96
26/7/2023	18:05:59	66,57	62,47	62,47	65	100
26/7/2023	18:06:05	66,62	62,57	62,57	65	100
26/7/2023	18:06:11	66,67	62,66	62,66	65	100
26/7/2023	18:06:17	66,75	62,75	62,75	65	99,81
26/7/2023	18:06:23	66,8	62,84	62,84	65	99,85
26/7/2023	18:06:29	66,86	62,91	62,91	65	99,58
26/7/2023	18:06:35	66,95	62,99	62,99	65	99,21
26/7/2023	18:06:41	67,05	63,07	63,07	65	98,34
26/7/2023	18:06:47	67,18	63,14	63,14	65	97,55
26/7/2023	18:06:53	67,3	63,22	63,22	65	96,11
26/7/2023	18:06:59	67,43	63,28	63,28	65	95,21
26/7/2023	18:07:05	67,51	63,33	63,33	65	93,77
26/7/2023	18:07:11	67,56	63,37	63,37	65	92,72
26/7/2023	18:07:17	67,58	63,39	63,39	65	91,51
26/7/2023	18:07:23	67,56	63,41	63,41	65	90,57
26/7/2023	18:07:29	67,49	63,43	63,43	65	89,58
26/7/2023	18:07:35	67,45	63,45	63,45	65	88,64
26/7/2023	18:07:41	67,44	63,51	63,51	65	87,36
26/7/2023	18:07:47	67,46	63,56	63,56	65	86
26/7/2023	18:07:53	67,48	63,61	63,61	65	84,72

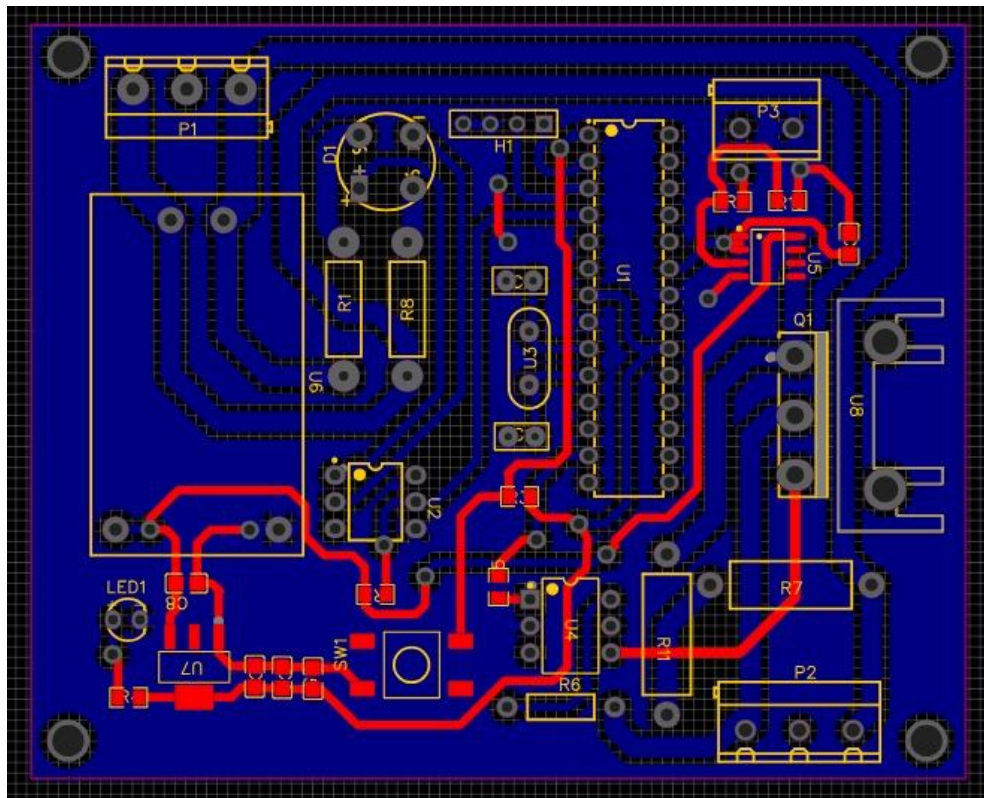
ANEXO 4 Datos de temperatura, tiempo y válvula de la secadora cilíndrica en vacío a los
70° C.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI								
DATOS DE SECADORA DE CACAO								
DATOS								
Fecha		TEMPERATURA-1		TEMPERATURA-2	TEMPERATURA-T	SET-POINT	PR_VALVULA	
26/7/2023	18:30:18	26,35		26,75		26,75	70	0
26/7/2023	18:30:23	26,36		26,76		26,76	70	0
26/7/2023	18:30:29	26,39		26,77		26,77	70	0
26/7/2023	18:30:35	27,31		27,31		27,31	70	0
26/7/2023	18:30:41	28,81		28,28		28,28	70	85,96
26/7/2023	18:30:47	30,4		29,43		29,43	70	100
26/7/2023	18:30:53	31,78		30,53		30,53	70	100
26/7/2023	18:30:59	33,01		31,56		31,56	70	100
26/7/2023	18:31:05	34,07		32,54		32,54	70	100
26/7/2023	18:31:11	35,06		33,43		33,43	70	100
26/7/2023	18:31:17	36,01		34,32		34,32	70	100
26/7/2023	18:31:23	36,87		35,14		35,14	70	100
26/7/2023	18:31:29	37,7		35,9		35,9	70	100
26/7/2023	18:31:35	38,46		36,6		36,6	70	100
26/7/2023	18:31:41	39,19		37,26		37,26	70	100
26/7/2023	18:31:47	39,87		37,91		37,91	70	100
26/7/2023	18:31:53	40,5		38,5		38,5	70	100
26/7/2023	18:31:59	41,09		39,06		39,06	70	100
26/7/2023	18:32:05	41,7		39,61		39,61	70	100
26/7/2023	18:32:11	42,85		40,46		40,46	70	100
26/7/2023	18:32:17	45,67		42,52		42,52	70	100
26/7/2023	18:32:23	49,13		45,24		45,24	70	100
26/7/2023	18:32:29	52,6		48,13		48,13	70	100
26/7/2023	18:32:35	56,02		51,14		51,14	70	100
26/7/2023	18:32:41	59,08		53,93		53,93	70	100
26/7/2023	18:32:47	62		56,63		56,63	70	100
26/7/2023	18:32:53	64,5		59,01		59,01	70	100
26/7/2023	18:32:59	66,81		61,28		61,28	70	100
26/7/2023	18:33:05	68,84		63,29		63,29	70	97,62
26/7/2023	18:33:11	70,69		65,13		65,13	70	92,04
26/7/2023	18:33:17	72,31		66,77		66,77	70	83,89
26/7/2023	18:33:23	73,78		68,19		68,19	70	73,36
26/7/2023	18:33:29	74,57		69,18		69,18	70	67,92
26/7/2023	18:33:35	73,89		69,14		69,14	70	70,15
26/7/2023	18:33:41	72,61		68,5		68,5	70	76,11
26/7/2023	18:33:47	71,14		67,54		67,54	70	85,51
26/7/2023	18:33:53	69,68		66,44		66,44	70	97,4
26/7/2023	18:33:59	68,9		65,6		65,6	70	100
26/7/2023	18:34:05	70,09		66		66	70	95,25
26/7/2023	18:34:11	72,13		67,2		67,2	70	84,45
26/7/2023	18:34:17	74,36		68,76		68,76	70	68,75
26/7/2023	18:34:23	75,33		69,73		69,73	70	67,92
26/7/2023	18:34:29	74,7		69,68		69,68	70	68,49
26/7/2023	18:34:35	73,39		69,02		69,02	70	73,74
26/7/2023	18:34:41	71,9		68,09		68,09	70	81,25
26/7/2023	18:34:47	70,35		67		67	70	92,23
26/7/2023	18:34:53	68,96		65,9		65,9	70	100
26/7/2023	18:34:59	68,84		65,49		65,49	70	100
26/7/2023	18:35:05	69,69		65,78		65,78	70	99,55
26/7/2023	18:35:11	70,86		66,42		66,42	70	96,34
26/7/2023	18:35:17	72,12		67,25		67,25	70	90,53
26/7/2023	18:35:23	73,45		68,18		68,18	70	81,58
26/7/2023	18:35:29	74,71		69,1		69,1	70	71,32
26/7/2023	18:35:35	75,26		69,66		69,66	70	67,96
26/7/2023	18:35:41	74,43		69,4		69,4	70	69,81
26/7/2023	18:35:47	72,98		68,61		68,61	70	76,11
26/7/2023	18:35:53	71,39		67,59		67,59	70	85,7
26/7/2023	18:35:59	69,8		66,44		66,44	70	98,04
26/7/2023	18:36:05	68,8		65,5		65,5	70	100
26/7/2023	18:36:11	68,91		65,24		65,24	70	100
26/7/2023	18:36:17	69,53		65,41		65,41	70	100
26/7/2023	18:36:23	70,27		65,8		65,8	70	100
26/7/2023	18:36:29	70,96		66,28		66,28	70	99,58
26/7/2023	18:36:35	71,6		66,78		66,78	70	97,85
26/7/2023	18:36:41	72,2		67,3		67,3	70	94,98
26/7/2023	18:36:47	72,76		67,8		67,8	70	91,43
26/7/2023	18:36:53	73,21		68,27		68,27	70	87,32
26/7/2023	18:36:59	73,63		68,68		68,68	70	82,19
26/7/2023	18:37:05	73,99		69,05		69,05	70	76,91
26/7/2023	18:37:11	74,22		69,34		69,34	70	72,04
26/7/2023	18:37:17	73,86		69,26		69,26	70	71,62
26/7/2023	18:37:23	73,16		68,9		68,9	70	73,25
26/7/2023	18:37:29	72,32		68,37		68,37	70	77,09
26/7/2023	18:37:35	71,52		67,77		67,77	70	82,15
26/7/2023	18:37:41	70,78		67,16		67,16	70	88,19
26/7/2023	18:37:47	70,11		66,57		66,57	70	95,58

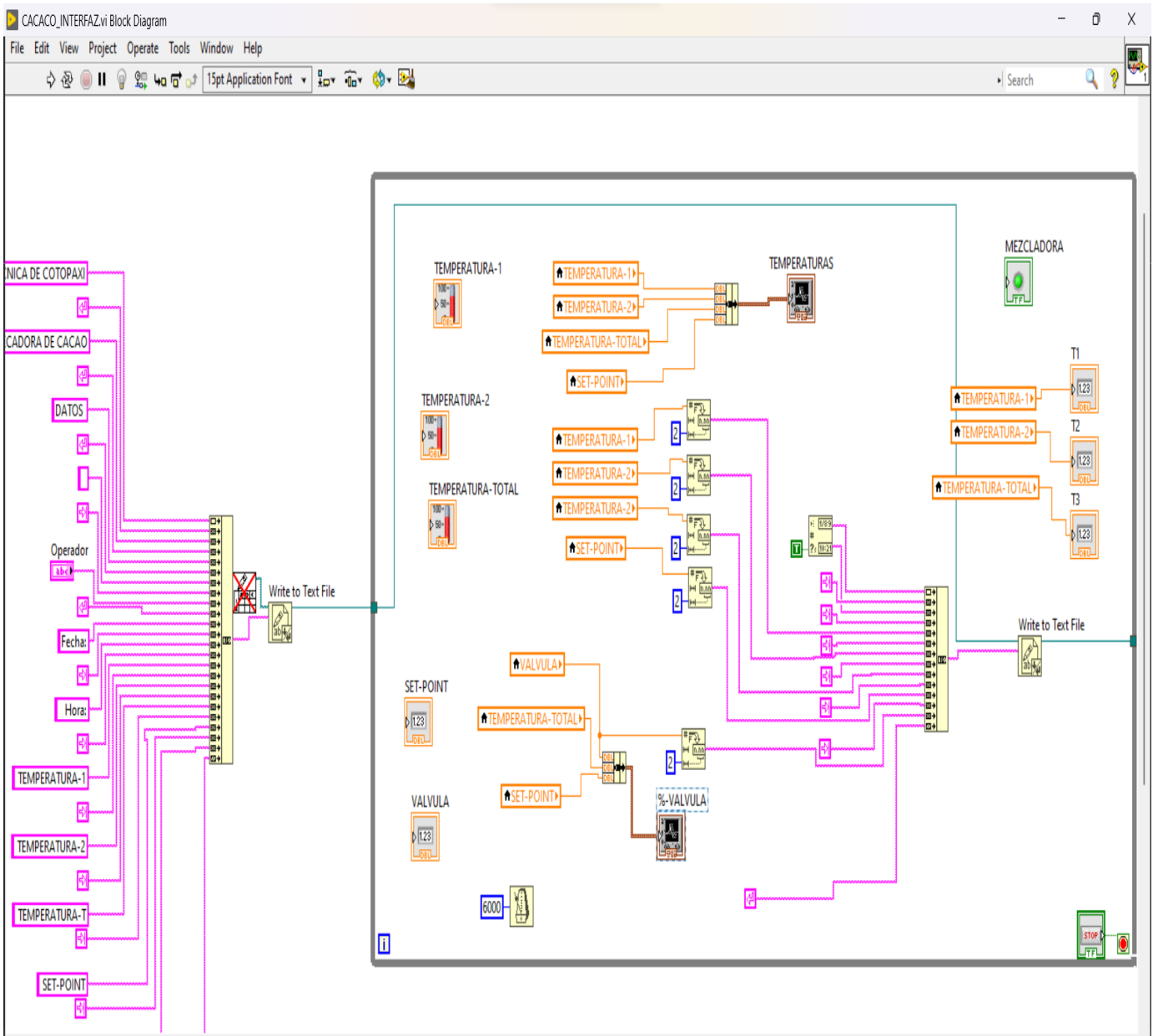
ANEXO 5. Control de fase, para regular el flujo de aire



ANEXO 6. Esquema del diseño de la placa para control del flujo de aire



ANEXO 7. Diagrama de control para la obtención de datos en el Software Labview



ANEXO 8. Contactores de C.A. y C.C. CHINIT [47].



Contactores de C.A. y de C.C.

Referencia	P	Contactos Auxiliares	Intensidad Ib - AC1	Potencia motor 380Vca - AC3			Emb.
				kW	CV	A	

NCE - Mínicontactores tripolares y tetrapolares de Corriente Alterna - 9A



NCE-3-9-01+	3	INC	20	4	5,5	9	160
NCE-3-9-10+	3	IND	20	4	5,5	9	160
NCE-4-9-00+	4	-	30	4	5,5	9	160
NCE-4-9+	3	-	20	4	5,5	9	160

NCE-9: solo disponible con pinos para quitar el contacto principal

Ver Star (*) por la referencia de la familia de datos requerida (20, 40, 75, 120, 400 y 630)

NCT - Contactores tripolares de Corriente Alterna - 12A - 95A



NCT-3-12-01+	3	INC	20	5,5	7,5	12	1
NCT-3-12-10+	3	IND	20	5,5	7,5	12	1
NCT-3-15-01+	3	INC	30	7,5	10	15	1
NCT-3-15-10+	3	IND	30	7,5	10	15	1
NCT-3-25-01+	3	INC	40	11	15	25	1
NCT-3-25-10+	3	IND	40	11	15	25	1
NCT-3-32-01+	3	INC	50	15	20	30	1
NCT-3-32-10+	3	IND	50	15	20	30	1
NCT-3-40-01+	3	IND+INC	60	18,5	25	40	1
NCT-3-40-10+	3	IND+INC	60	18,5	25	40	1
NCT-3-65-01+	3	IND+INC	80	22	30	50	1
NCT-3-65-10+	3	IND+INC	80	22	30	50	1
NCT-3-80-01+	3	IND+INC	125	37	50	80	1
NCT-3-80-10+	3	IND+INC	125	37	50	80	1

Ver Star (*) por la referencia de la familia de datos requerida (20, 40, 75, 120, 400 y 630)

NCT - Contactores tetrapolares de Corriente Alterna - 12A - 95A



NCT-4-12-00+	4	-	20	5,5	7,5	12	1
NCT-4-15-00+	4	-	30	7,5	10	15	1
NCT-4-25-00+	4	-	40	11	15	25	1
NCT-4-32-00+	4	-	50	15	20	30	1
NCT-4-40-00+	4	-	60	18,5	25	40	1
NCT-4-65-00+	4	-	80	22	30	50	1
NCT-4-80-00+	4	-	125	37	50	80	1
NCT-4-95-00+	4	-	125	45	60	95	1

Ver Star (*) por la referencia de la familia de datos requerida (20, 40, 75, 120, 400 y 630)

Referencia (*)	P	Contactos Auxiliares	Intensidad Ib - AC1	Emb.
----------------	---	----------------------	---------------------	------

NCT-Z - Contactores tripolares de Corriente Continua- 12A - 95A



NCT-Z-12Z-10+	3	IND	20	1
NCT-Z-15Z-10+	3	IND	30	1
NCT-Z-25Z-10+	3	IND	40	1
NCT-Z-32Z-10+	3	IND	50	1
NCT-Z-40Z-10+	3	IND+INC	60	1
NCT-Z-50Z-10+	3	IND+INC	80	1
NCT-Z-65Z-10+	3	IND+INC	80	1
NCT-Z-80Z-10+	3	IND+INC	125	1
NCT-Z-95Z-10+	3	IND+INC	125	1

Ver Star (*) por la referencia de la familia de datos requerida (20, 40, 75 y 120)

MANUAL DE USO DE LA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO

MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

Este manual proporciona instrucciones detalladas sobre cómo utilizar y mantener correctamente la secadora experimental cilíndrica de cacao y todos sus componentes con la cual fue construida, para así garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

IMPORTANTE

Hay varios procesos importantes a seguir antes de poner en marcha la máquina la secadora experimental cilíndrica de cacao. Estos procesos son necesarios para garantizar la seguridad del personal y el correcto funcionamiento del equipo, mismos procesos que serán detallados a continuación en el presente manual.

RESUMEN

En esta sección del proyecto se describe cómo poder manipular la secadora experimental cilíndrica de cacao para que tenga un correcto funcionamiento, lo que se beneficiará de una reducción en el tiempo de secado, y se guiará al operador a través de todos los parámetros del sistema, lo que permitirá hacerlo en de una forma muy sencilla y correcta, del mismo modo, si se estropea algún componente de la máquina, sabrás qué hacer, lo que redundará en un menor tiempo de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

El manual de uso y mantenimiento es una guía que proporciona instrucciones detalladas sobre cómo utilizar y cuidar de forma adecuada la secadora experimental cilíndrica de cacao. Este documento es esencial para los usuarios, ya que les permite entender el funcionamiento de la máquina, así como aprender las mejores prácticas para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

En este manual, encontrarás información sobre las características técnicas de la secadora experimental cilíndrica de cacao, cómo realizar la instalación correctamente, las precauciones de seguridad que debes tomar durante su uso, los pasos para realizar el mantenimiento regular y las soluciones a los problemas comunes que puedan surgir.

OBJETIVOS

General

Proporcionar instrucciones claras y detalladas sobre cómo utilizar el sistema de control de temperatura de manera efectiva y segura, con el fin que garantice un proceso de secado óptimo para el cacao y obtener productos finales de alta calidad y permitiendo el uso óptimo de la máquina.

Específicos

Explicar cómo utilizar la secadora de cacao de manera segura y eficiente, mediante el manual de uso debe incluir instrucciones claras y precisas sobre cómo utilizar el producto de manera segura y eficiente, evitando cualquier riesgo o daño potencial.

INFORMACION DE SEGURIDAD

Se incluyen recomendaciones de seguridad importantes que deben seguirse para prevenir lesiones o daños durante el uso de la secadora experimental cilíndrica de cacao. Esto puede incluir el uso de equipo de protección personal, la prohibición de ciertas prácticas peligrosas y la advertencia de posibles riesgos.

FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA

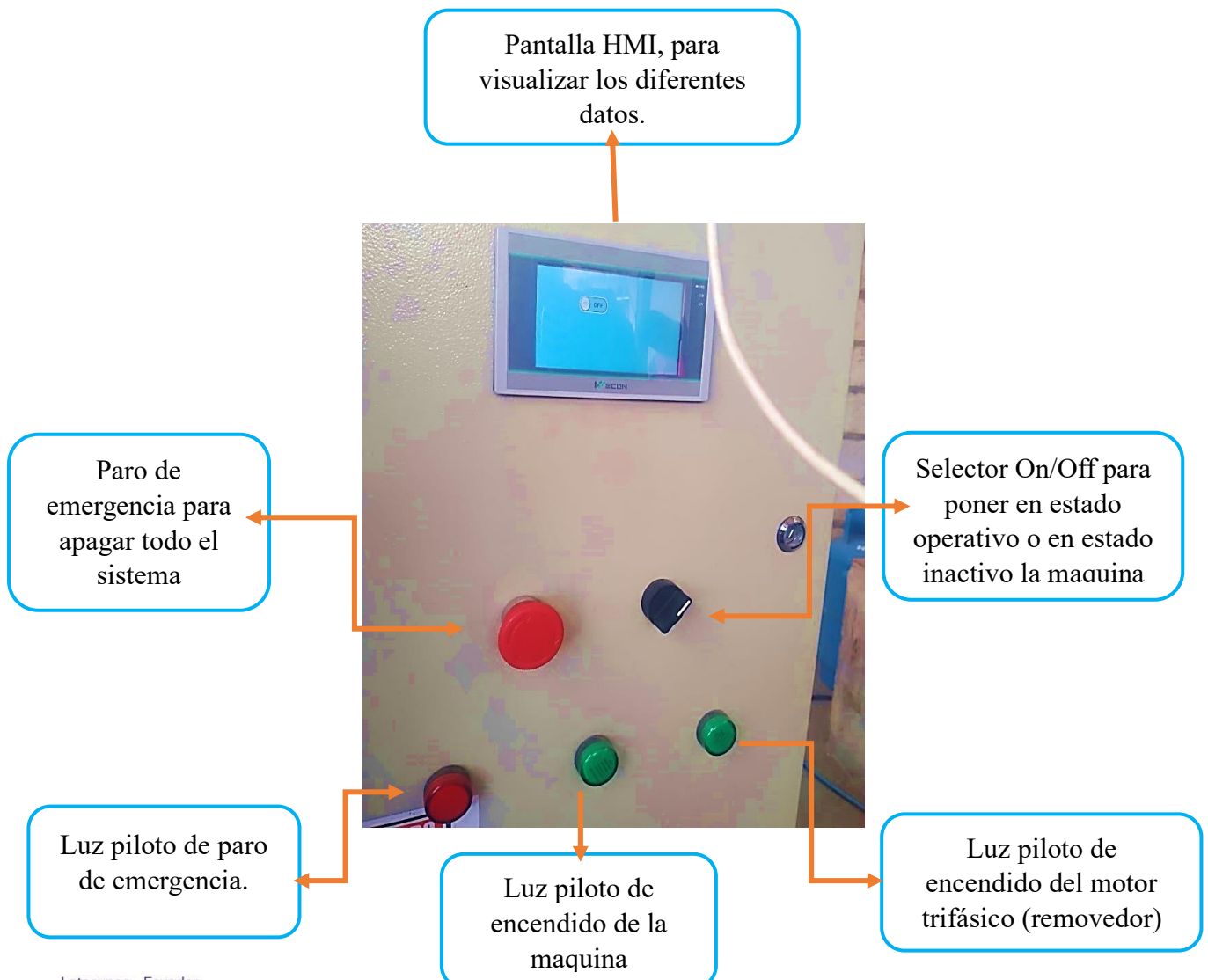
El presente manual de uso tiene como objetivo proporcionar instrucciones para el correcto control de temperatura de la secadora experimental cilíndrica de cacao. Es importante seguir todas estas indicaciones para garantizar un adecuado funcionamiento y evitar posibles daños.

MODO DE OPERACIÓN DE LA MAQUINA

Asegúrese de que la secadora cilíndrica esté en óptimas condiciones de limpieza y de funcionamiento.

TABLERO DE CONTROL

El tablero de control cuenta con elementos para el desarrollo de su proceso de secado, a continuación, se describirá cada uno de sus componentes que se encuentran en la parte principal del tablero.



Encendido de la maquina

Para el encendido de la maquina se realiza las siguientes acciones para que la secadora experimental cilíndrica de cacao tenga un desarrollo optimo en su operación de secado.

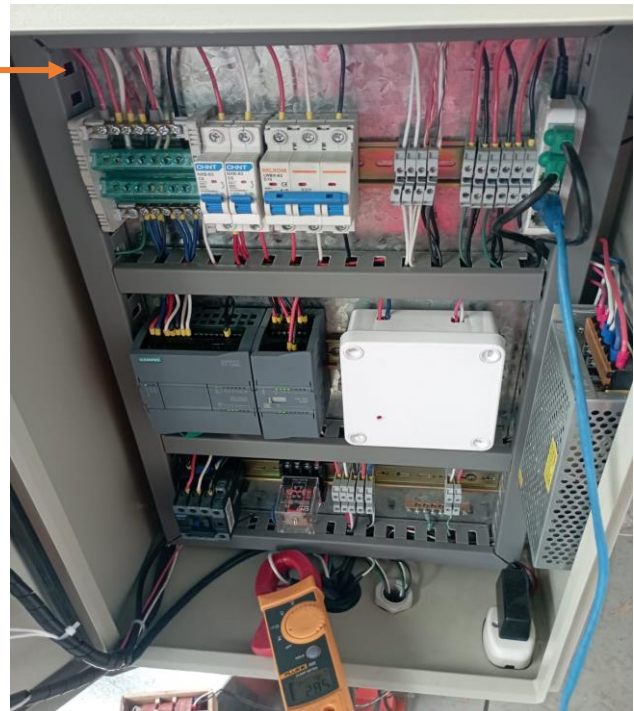
1. CONEXIÓN DEL CILINDRO DE GAS AL SISTEMA DE distribución DE LA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO.



Conectar la válvula industrial al cilindro de y abrir el paso de gas.

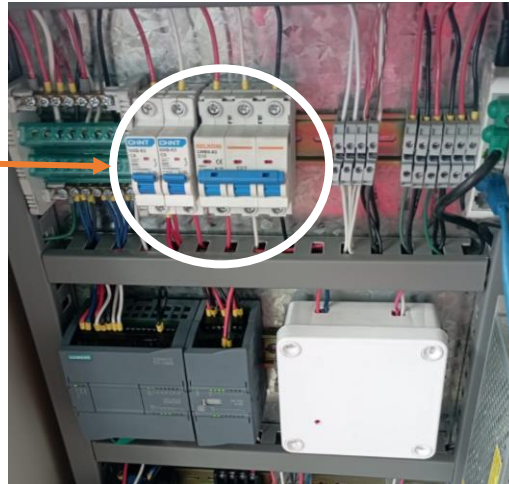
2. CONECCION DE LA ALIMENTACION ELECTRICA A NUESTRO TABLERO, MISMA QUE DEBE SER ALIMENTADA POR UNA RED TRIFÁSICA Y EL CABLE BLANCO DEBE CONECTARSE A NEUTRO.

Conectar el tablero a la red trifásica de 4 hilos



3. ENERGIZAR EL TABLERO MEDIANTE EL ACCIONAMIENTO DE LOS BREAKERS.

Consta de 2 breakers la secadora uno para el motor trifásico y el otro para los otros componentes del sistema



4. PONER EN FUNCIONAMIENTO LA MAQUINA MEDIANTE EL ACCIONAMIENTO DEL SELECTOR.

Gire la perilla del selector para que la máquina se ponga en total operación, y tener precaución al momento del encendido por el impacto de ruido que ejerce el chispero para encender la llama.

Para la regulación de la perilla del soplete, cierre totalmente y de media vuelta.



5. COLOCAR EL CACAO PREVIAMENTE FERMENTADO A LA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO



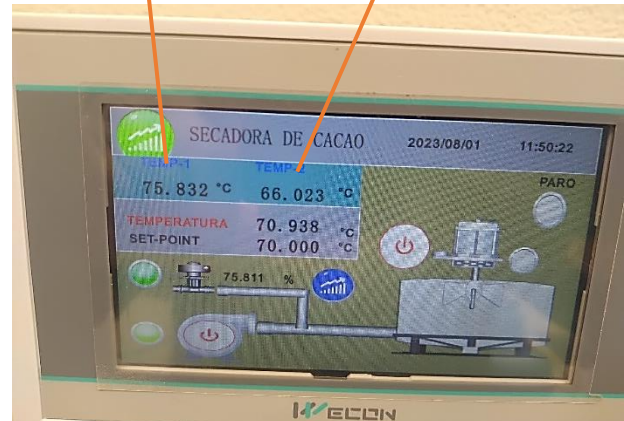
Colocar los 45 kg uniformemente en la cámara de secado, para el proceso de secado.

6. SUPERVISAR LA MAQUINA CONSTANTEMENTE DURANTE SU OPERACIÓN.

Supervisar que la secadora cumpla con los parámetros establecidos, ya que todo es automático.

SENSOR RTD
PT100 3 HILOS
12MM

SENSOR RTD PT-
100 LONG. 50MM



Nota: El motor trifasico de la mezcladora se encendera despues de 10 minutos y girara en un tiempo de 2 minutos, luego de ese proceso se apagara durante 5 minutos y volvera a repetir el proceso, hasta la finalizacion del secado.

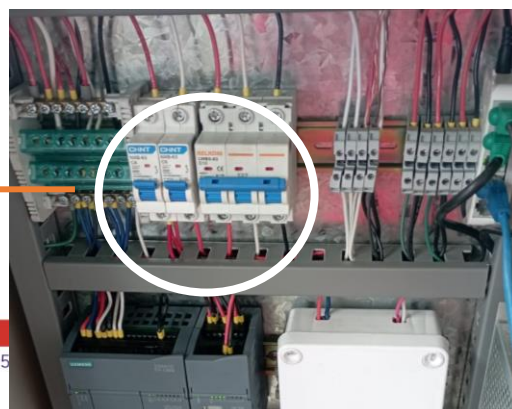
7. FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO.



Gire la perilla del selector para que la maquina finalice su proceso de secado.

8. DESENERGIZAR EL TABLERO MEDIANTE EL ACCIONAMIENTO DE LOS BREAKERS.

Desenergizar todo el sistema mediante el accionar de los breakers.



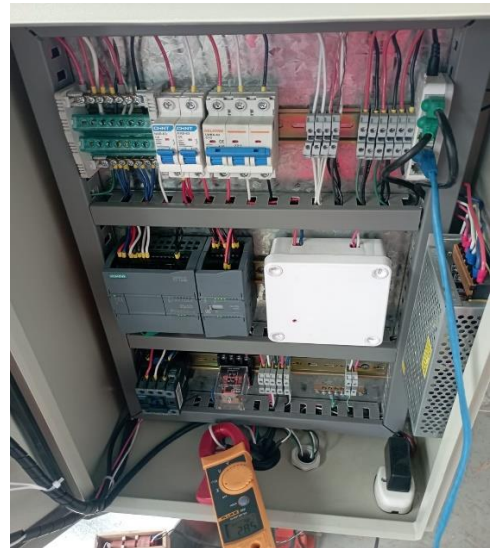
9. RETIRAR EL CACAO PREVIAMENTE FINALIZADO SU PROCESO DE SECADO



Retirar el cacao seco
del recipiente
cilíndrico.

10. DEENCHUFAR DE LA RED TRIFASICA

Desconectar el conector
trifásico de la red.



11. DESCONECCIÓN DEL CILINDRO DE GAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA SECADORA EXPERIMENTAL CILÍNDRICA DE CACAO.



Cierre la válvula de gas y
retire del cilindro.

12. LIMPIEZA TOTAL DE TODA LA MAQUINA DE SECADO.

Luego de un proceso de secado se debe dejar completamente limpia para el siguiente proceso.



MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN LA SECADORA CILÍNDRICA.

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD
1	Inspección Visual	Realice una inspección visual detallada de todo el sistema de control de temperatura, incluidos los sensores, el cableado, los módulos de control y otros componentes. Busque signos de daño o desgaste.
2	Limpieza	Limpie regularmente la cámara de la secadora, los sensores y otros componentes del sistema de control de temperatura para eliminar cualquier acumulación de polvo, suciedad o residuos que puedan afectar su funcionamiento.
3	Calibración	Los sensores de temperatura se prueban y calibran regularmente para garantizar mediciones precisas y confiables. Utilice el equipo de calibración adecuado y siga los procedimientos recomendados por el fabricante.
4	Verificación de cableado	Verifique regularmente el cableado del control de temperatura para asegurarse de que esté en buenas condiciones, libre de corrosión, cortocircuitos o conexiones sueltas. Repare o reemplace los cables dañados o dañados.
5	Actualización de Software	Actualice su software de control regularmente para garantizar que funcione correctamente y aproveche las últimas mejoras de software y correcciones del fabricante.
6	Educación y Capacitación	Brindar educación y capacitación adecuadas a los responsables del mantenimiento y operación de la secadora de cacao para que puedan realizar el mantenimiento preventivo de manera efectiva y segura.
7	Registro de mantenimiento	Un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento preventivo del sistema de control de temperatura, incluidas fechas, descripciones de las actividades realizadas y problemas o hallazgos relacionados. Esto ayudará a monitorear y planificar adecuadamente las futuras actividades de mantenimiento.

FALLAS EN EL PROCESO DE SECADO DE CACAO Y SUS SOLUCIONES PERTINENTES.

N.º.	DESCRIPCIÓN	CAUSA	SOLUCIÓN
1	Flama deficiente	Insuficiente cantidad de gas en el cilindro.	Comprar nuevo cilindro de gas
2	Falta de chispa para encender la flama	Chispero averiado	Comprar y cambiar chispero
3	Déficit de eficiencia energética para el funcionamiento del soplador de aire.	Recalentamiento del controlador de fase	Ventilación del controlador de fase.

Advertencia de seguridad:

- No utilice la secadora cilíndrica cerca de materiales inflamables.
- No presione, ni opere el controlador de temperatura con las manos mojadas.
- No deje la secadora sin supervisión mientras realiza el proceso de secado.
- Siga todas las instrucciones de seguridad del manual.
- Cuando se complete el secado, presione el botón de apagado para apagar la secadora.
- Desenchufe la secadora y deje que se enfríe antes de guardarla.

CONCLUSIONES

El manual busca ayudar a los usuarios a comprender y aprovechar al máximo el uso de la máquina, mientras se aseguran de su funcionamiento adecuado y duradero.

El manual del uso del sistema de control de temperatura es una guía esencial para configurar, operar y solucionar problemas relacionados con el sistema de control de temperatura de una secadora cilíndrica de cacao. Seguir las instrucciones proporcionadas en el manual garantiza un secado efectivo y seguro de los materiales

RECOMENDACIONES

Se recomienda que, para el mantenimiento regular del producto, tales como limpieza, reemplazo de piezas desgastadas, y revisión periódica, sea realizada por parte de un personal especializado.

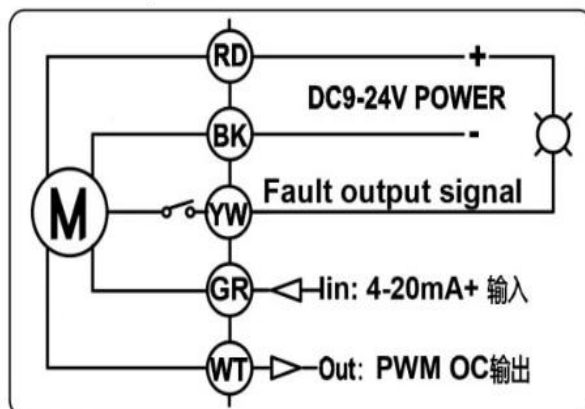
Un sistema de control de temperatura efectivo para una secadora cilíndrica debe incluir un sensor de temperatura de calidad, un sistema de control PID, controles de seguridad adicionales, un sistema de monitoreo y registro de datos, y mantenimiento regular del sistema. Al seguir estas recomendaciones, se logrará un control de temperatura eficiente y seguro en la secadora cilíndrica.

FICHA TÉCNICA DE VÁLVULA PROPORCIONAL

Parámetros técnicos

El tamaño del producto	NPT/BSP 3/4 pulg.
La máxima working pressure	1.0MPa
Medio de circulación	El líquido, aire
La tensión nominal	DC9-24V
Señal de control	4-20 mA , 0-5 V, 0-10V
Los métodos de control cableado	5, cable de control con la señal de realimentación
La posición	Cualquier posición (0~100% está Ok). Hacer sus necesidades, por ejemplo, la posición 4, la posición 5, etc.
Tiempo de abrir/cerrar	≤7S
Tiempo de vida	100000 veces
Material del cuerpo de válvula	SS304 de latón (opcional).
Material del actuador	Plásticos de ingeniería
Material de sellado	FKM&PTFE
La rotación del actuador	90°
La fuerza de par máximo.	3 N.M
La longitud del cable	0,5 m de 1,5m
La temperatura del medio ambiente	-15°C~60°C.
Temperatura del líquido	2°~90°C
La anulación manual	No
El indicador	Sí
La clase de protección	IP67
Certificado	LVD, EMC, RoHS y válvula de SS304 pasa NSF61-G
Pasó de la empresa	ISO9001:2015
El rotor bloqueado	500mA
Tiempo de retardo de rotor bloqueado	2-4s

El trefilado de abajo:



- 1, RD connect DC9-24V positive
- 2, BK connect DC9 ~ 24V/ 4-20mA/0-5V/0-10V.
- 3 GR connect position Input /control current +/ control voltage +(4-20mA, 0-5V, 0-10V)
- 4, YW connect ERR output, OC output
- 5, WT connect position feedback, OC output PWM signal

El cable blanco no puede ser conectado directamente a la fuente de alimentación. Necesita estar conectado a la resistencia de 10 K y a continuación, conectado a la fuente de alimentación.

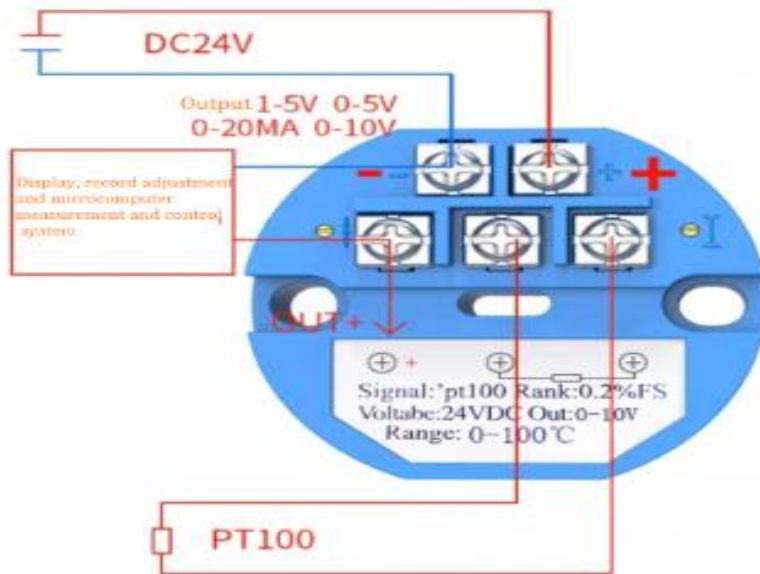
GR, el Cable verde señal de entrada de 4-20 ma.

YW, cable amarillo, ERR, señal de salida cuando la válvula Está bloqueada, se enviará una señal de fallo.

Puede conectar una luz para YW & RD, la luz se enciende.

WT, cable blanco, la señal PWM, puede ser medido con osciloscopio.

**FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA
TÉRMICA, 0-10 V, SALIDA RTD PT-100 .**



★★★NotaOcho grandes proyectos italianos:

1. Al pedir un sistema de dos cables, las terminales del transmisor 3 y 4 están cortocircuitadas internamente y la resistencia del cableado a Pt100 es la más pequeña posible.
2. Cuando la distancia del cableado desde Pt100 es larga, la resistencia del cableado único es superior a 35W cuando se puede personalizar de acuerdo con los requisitos del cliente.
3. La temperatura de trabajo suele ser de -30 ~ +60 °C, otras temperaturas de funcionamiento se pueden personalizar de acuerdo con los requisitos del cliente.
4. Cuando la carga es de 500 Ω, la resistencia del cable de 4-20mA debe ser inferior a 80 Ω; cuando la carga es de 250 Ω, la resistencia del cable de 4-20mA debe ser inferior a 80 Ω.
5. Cuando el rango de entrada Pt100 es 100 °C, el coeficiente de temperatura es $\leq 350\text{ppm/K F.S.}$. Cuando el rango de entrada Pt100 es superior a 150 °C, el coeficiente de temperatura es $\leq 150\text{ppm/K F.S.}$
6. Transmisor de temperatura de salida de corriente como salida de 4-20mA, resistencia de carga con 1% de precisión, 0.5 veces de resistencias de película metálica básicamente pueden cumplir con los requisitos. Sin embargo, es necesario ajustar Las dos potenciómetros en el transmisor para corregirlos en consecuencia porque la resistencia de la precisión del 1% tiene un gran error.
7. Instrucciones de depuración del potenciómetro de corrección:
 - Potenciómetro izquierdo: potenciómetro cero, en sentido horario-> aumento, en sentido antihorario-> disminución.
 - Potenciómetro derecho: potenciómetro de amplitud, en sentido horario-> disminución, en sentido antihorario-> aumento.

Componente principal	Trasmisor de temperatura	Uso	Industrial
numero de modelo	Thermocouple transfer module	Temperatura de medición máxima	49 °C y Bajo
Tipo de pantalla	Digital	tipo de alimentación	Cargador
Tamaño de la pantalla	1.9 Pulgadas y Menos	Estilo	Handheid
Nombre de la marca	XNQJALYCY	Origen	CN(Origen)
Certificación	NONE		