



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

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“Evaluación del rendimiento de una máquina secadora de cacao rectangular a gas”

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

Autores:

Molina Farinango Héctor Fabricio.

Tutor:

PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique

Latacunga- Ecuador

2023



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



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Molina **Farinango Héctor Fabricio** con cédula de ciudadanía N° **055003301-3**, estudiante de la carrera de **Ingeniería Electromecánica** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR A GAS”**, 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.

Molina Farinango Héctor Fabricio

C.C: 055003301-3

Cel: 0994504216

E-mail:

hector.molina3013@utc.edu.ec



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



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR A GAS”, de los ponentes: **Molina Farinango Héctor Fabricio**, 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, agosto 2023

Tutor

.....

PhD Ing. Enrique Torres Tamayo

C.C. 175712194-0



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



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 INGERIENÍA Y APLICADAS.**; por cuanto, los postulantes: **Molina Farinango Héctor Fabricio** con el título de Proyecto de titulación: **“Evaluación del rendimiento de una máquina secadora de cacao rectangular a gas”** 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, 15 de agosto de 2023.

Para constancia firman:

.....
Lector 1 (presidente)

Ing.M.S.c. Mauro Dario Albarracín Álvarez

CC: 050311373-0

.....
Lector 2

PhD. Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis

CC: 175836725-2

.....
Lector 3

Ing.M.S.c. Edwin Homero Moreano Martínez

CC: 050260750-0

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios pues durante todo este tiempo, ha bendecido e iluminado mi camino me ha otorgado la fuerza y la sabiduría que me ha permitido levantarme y seguir adelante superando las adversidades que se han presentado en mi vida.

También agradezco a los docentes con quienes, además de las excelentes clases impartidas en cada materia, pude transmitir un sentimiento de amistad y confianza, que se expresa a través de mi capacidad para enfrentar los problemas técnicos y académicos que tengo; originados y futuros, especialmente gracias al, PhD. Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis, Ing. Ms.C. Edwin Moreano y a mi tutor PhD Ing. Enrique Torres Tamayo.

De la misma manera expresar un gran sentimiento de cariño y gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi pues este gran sueño se ha construido en cada espacio destinado a nuestro aprendizaje.

¡Gracias a todos!

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico:

A mis padres, Efraín Molina y Mónica Farinango, que han sido un pilar fundamental quienes me han brindado su amor, confianza, paciencia, comprensión y apoyo en todo momento, así como me han ilustrado con su ejemplo de constancia y perseverancia, que a pesar de las dificultades presentes nunca me han dejado solo y es por ellos que sigo adelante.

A ese gran apoyo por parte de mis hermanos a mi enamorada que a pesar de la distancia ha estado presente en los momentos más difíciles compartiéndome sus consejos y palabras de aliento, que he utilizado como armas para seguir adelante pese a las dificultades que se han presentado, que con su cariño y su amor ha sido para mí un empujoncito emocional que he necesitado para seguir el trayecto.

Finalmente dedicar este trabajo a Lenin Ponce compañero que en algún día comenzamos un sueño en común, por designios de la vida no pudimos culminar el proyecto.

Héctor Fabricio Molina



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



ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	PROBLEMA.....	2
1.1.1	Situación Problemática	2
1.1.2	Matriz de identificación del problema.....	2
1.1.3	Formulación del problema	2
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	Objetivo General	4
1.5.2	Objetivos específicos	4
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1	ANTECEDENTES	5
2.1.1	Orígenes del cacao.....	6
2.1.2	Comercialización y denominación fortuita de origen	7
2.1.3	Independencia y boom cacaotero.....	7
2.1.4	Zonas productoras de cacao en Ecuador	8
2.1.5	Tipos de secado	8
2.1.6	Sistemas para el secado de cacao	9
2.2	MARCO REFERENCIA	10
2.2.1	Tipos de cacao.....	10
2.2.1.1	Cacao criollo	10
2.2.1.2	Cacao forastero.....	10
2.2.1.3	Cacao trinitario	10
2.2.2	Ciclo productivo del cacao.....	11
2.2.3	Pulpa de cacao	11

2.2.4	Secado de cacao	12
2.2.5	Principio de secado.....	12
2.2.6	Ventajas y desventajas entre secado natural y secado artificial	13
2.2.7	Ventilador	14
2.2.8	Tipos de ventiladores	14
2.2.8.1	Ventiladores centrífugos	14
2.2.8.2	Ventiladores de alabes curvados hacia adelante	14
2.2.8.3	Ventiladores centrífugos radiales álabes rectos.....	14
2.2.8.4	Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás	14
2.2.8.5	Ventiladores axiales.....	15
2.2.8.6	Ventiladores helicoidales	15
2.2.8.7	Ventiladores tubulares.....	15
2.2.9	Leyes de los ventiladores.....	15
2.2.10	Curva característica del ventilador	17
2.2.11	Válvulas Proporcionales	17
2.2.11.1	¿Cómo funciona una válvula proporcional?	18
2.2.11.2	¿Cómo seleccionar una válvula proporcional?	19
2.2.12	Tipos de válvulas proporcionales	19
2.2.12.1	Válvulas proporcionales de caudal	19
2.2.12.2	Válvulas proporcionales de presión.....	19
2.2.13	Aplicaciones de las válvulas proporcionales	19
2.2.14	MCP 4725.....	20
2.2.15	Celda de carga tipo S	20
2.2.16	Sumador de celdas de carga	21
2.2.17	Termocuplas	21
3	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	22
3.1	METODOLOGÍA	22
3.1.1	Variables dependientes	22
3.1.2	Variables independientes.....	22
3.1.3	Características técnicas de secado	23
3.1.4	Condiciones térmicas del cacao.....	23
3.1.4.1	Contenido de humedad de fermentación de cacao	24
3.1.4.2	Flujo másico de entrada de cacao húmedo	24
3.1.4.3	Flujo sólido seco.....	25
3.1.4.4	Cantidad de humedad que se desprenderá en el proceso	25
3.1.4.5	Flujo másico de entrada de humedad.....	25
3.1.4.6	Flujo másico de agua a la salida del secador.....	26

3.1.5	Cálculo de densidad de aire en el lugar de investigación.....	26
3.1.6	Cálculos para selección de ventilador.....	27
3.1.6.1	Flujo volumétrico	27
3.1.6.2	Volumen específico.....	28
3.1.7	Selección de ventilador según la velocidad de aire.....	28
3.1.7.1	Cálculo de caudal mediante la velocidad de aire.....	28
3.1.8	Selección del sistema de encendido	29
3.1.9	Chispero o bujías para encendido.....	29
3.1.10	Procedimiento de encendido.....	29
3.1.11	Control de fase/Control de velocidad AC.....	30
3.1.11.1	Funcionamiento del control de fase	30
3.1.12	Selección de válvula proporcional	31
3.1.12.1	¿Por qué se seleccionó la válvula proporcional HSH-Flo bola eléctrica motorizada?	31
3.1.12.2	Funcionamiento de la válvula proporcional	31
3.1.12.3	Especificaciones técnicas de válvula proporcional	32
3.1.12.4	Diagrama de conexión de válvula proporcional	32
3.1.13	Selección del convertidor de señal digital a analógica	33
3.1.14	Amplificador de señal analógica	34
3.1.15	Selección de sensores de temperatura	34
3.1.16	Calibración de las termocuplas PT-100.....	35
3.1.17	Selección de sensores de peso	37
3.1.17.1	Calibración de los sensores de peso	37
3.1.18	Selección de posición adecuada para la herramienta de combustión.....	37
3.1.19	Dimensionamiento del cableado para el gabinete eléctrico	38
3.1.20	Cálculo de ampacidad del cable.....	38
3.1.20.1	Cálculo de la potencia de tres horas de trabajo:	39
3.1.20.2	Cálculo de Intensidad de carga de trabajo más de tres horas:	39
3.1.20.3	Cálculo de corriente con factor de temperatura:	39
3.1.20.4	Cálculo de factor de corrección por ajuste:	40
3.1.21	Cálculo para el consumo energético	40
3.1.21.1	Cálculo para la energía consumida.....	40
3.1.21.2	Cálculo de potencia:	41
3.1.21.3	Consumo económico diario	41
3.1.21.4	Consumo energético mensual.....	41
3.2	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
3.2.1	Parámetros de trabajo a desempeñar en el prototipo de la maquina secadora rectangular de cacao.....	42

3.2.2	Resultados de análisis realizados en el cacao	42
3.2.3	Resultados para la selección de ventilador centrifugo	43
3.2.3.1	Parámetros para la selección del ventilador centrifugo.....	43
3.2.3.2	Conversión a unidades más frecuentes para el fabricante, además sobredimensionamos un 25% a los datos obtenidos por rango de tolerancia.	44
3.2.4	Pruebas experimentales al ventilador centrifugo según el caudal de aire.....	45
3.2.4.1	Pruebas experimentales en sistema cerrado, cálculo por velocidad y presión.....	45
3.2.4.2	Pruebas experimentales en sistema cerrado, cálculo por velocidad y presión.....	46
3.2.5	Pruebas experimentales de funcionamiento en vacío.....	48
3.2.5.1	Parámetros de temperatura 3 termocuplas en vacío.....	48
3.2.5.2	Análisis de temperatura pruebas experimentales en vacío.....	51
3.2.6	Análisis de válvula proporcional pruebas en vacío	51
3.2.6.1	Análisis de válvula proporcional y temperatura.	52
3.2.7	Análisis ventilador centrifugo	52
3.2.7.1	Análisis ventilador centrifugo y temperatura.....	53
3.2.8	Pruebas experimentales con carga.....	53
3.2.9	Comportamiento de las termocuplas con carga de 40 kg	54
3.2.9.1	Evaluación de temperatura con la cámara térmica	57
3.2.10	Parámetros finales en el proceso de secado.....	58
3.2.11	Curva temperatura vs peso en el tiempo de secado.....	60
3.2.12	Curva relación humedad-peso en el proceso de secado	61
3.2.13	Ampacidad para los elementos de control	61
3.2.13.1	Selección del cable para el tablero de control	62
3.2.14	Consumo energético	63
3.2.15	Consumo de GLP en el proceso de secado con válvula proporcional.....	64
3.2.15.1	Evaluación de rendimiento del consumo de GLP entre válvula proporcional y método manual.	66
3.2.15.2	Ventaja del uso de la válvula proporcional ante el método manual	67
3.2.15.3	Evaluación de rendimiento del ventilador centrifugo	67
3.2.16	Evaluación de rendimiento con pruebas experimentales anteriores	68
3.2.17	Costo de operación del proceso de secado sin mano de obra	68
3.2.17.1	Costo de operación del proceso de secado con mano de obra	69
3.2.18	Utilidad mensual de la máquina secadora rectangular de cacao	70
3.3	EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y/O ECONÓMICA.	70
3.3.1	Evaluación técnica.....	70
3.3.2	Evaluación social	70
3.3.3	Evaluación económica.....	70
3.3.3.1	Costos directos	71

3.3.3.2	Costes indirectos.....	72
3.3.3.3	Costo total de implementación.....	73
3.4	CONCLUSIONES DEL PROYECTO.....	74
3.4.1	CONCLUSIONES.....	74
3.4.2	RECOMENDACIONES.....	74
	ANEXOS.....	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1:	Objetivos específicos.....	4
Tabla 2.1:	Tiempo de fermentación según la variedad de Cacao1. [3].....	12
Tabla 2.2:	Antecedentes en los parámetros de secado. [4].....	13
Tabla 2.3:	Secado artificial.....	13
Tabla 2.4:	Secado natural.....	13
Tabla 2.5:	Símbolos y unidades según la normativa ISO.....	16
Tabla 3.1:	Variables dependientes.....	22
Tabla 3.2:	Variables independientes.....	22
Tabla 3.3:	Condiciones técnicas de la maquina secadora de cacao.....	23
Tabla 3.4:	Condiciones térmicas del cacao.....	23
Tabla 3.5:	Valores psicométricos de aire en Latacunga.....	27
Tabla 3.6:	Presión de acuerdo al tanque de GLP y válvula proporcional.....	31
Tabla 3.7:	Especificaciones técnicas. [21].....	32
Tabla 3.8:	Norma IEC DIN.....	35
Tabla 3.9:	Variación de temperatura versus el voltaje.....	35
Tabla 3.10:	Parámetros iniciales para el secado de cacao.....	42
Tabla 3.11:	Resultados a análisis realizados en el cacao.....	42
Tabla 3.12:	Resultados para la selección de ventilador centrifugo.....	43
Tabla 3.13:	Parámetros para selección de ventilador centrifugo.....	43
Tabla 3.14:	Conversión a unidades más frecuentes para el fabricante.....	44
Tabla 3.15:	Datos técnicos del ventilador centrifugo.....	44
Tabla 3.16:	Pruebas en sistema cerrado.....	45
Tabla 3.17:	Pruebas en sistema abierto.....	46
Tabla 3.18:	Análisis de caudal de aire.....	47
Tabla 3.19:	Resultados de pruebas experimentales en vacío termocupla 1.....	49
Tabla 3.20:	Resultados de pruebas experimentales en vacío termocupla 1.....	50
Tabla 3.21:	Valores de resultados en la termocupla 1.....	55
Tabla 3.22:	Resultados de termocupla 2 con carga.....	56

Tabla 3.23: Resultados finales de termocupla 3 en el proceso de secado.	57
Tabla 3.24: Ampacidad de cada componente eléctrico.	61
Tabla 3.25: Intensidad de ajuste para selección del cable para el gabinete eléctrico.	62
Tabla 3.26: Tiempo de secado de cacao mensual.	63
Tabla 3.27: Consumo diario y mensual.	64
Tabla 3.28: Cálculo del costo de consumo de GLP.	65
Tabla 3.29: Consumo económico de GLP por producción diaria	65
Tabla 3.30: Análisis económico método manual y válvula proporcional.	66
Tabla 3.31: Caudal de aire entre equipo anterior y actual.	67
Tabla 3.32: Parámetros de rendimiento y comparativa entre 2 procesos	68
Tabla 3.33: Coste de operación sin mano de obra.	69
Tabla 3.34: Coste de operación con mano de obra.	69
Tabla 3.35: Costos que intervinieron directamente en la investigación.	71
Tabla 3.36: Costes indirectos como transporte, comida, cacao u otros.	73
Tabla 3.37: Costos totales en la investigación realizada	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama Ishikawa.	2
Figura 2.1: Principales zonas de producción de cacao en Ecuador. [8]	8
Figura 2.2: Ciclo productivo del cacao [12]	11
Figura 2.3: Principales zonas de producción de cacao en Ecuador. [14]	12
Figura 2.4: Ventiladores centrífugos de alabes curvados hacia atrás.	15
Figura 2.5: Curva característica de los ventiladores	17
Figura 2.6: Válvula proporcional marca HSH-Flo.	18
Figura 2.7: MSP 4725	20
Figura 2.8: Celda de sensores de peso tipo S.	20
Figura 2.9: Sumador de celdas de carga.	21
Figura 2.10: Termocuplas RTD.	21
Figura 3.1: Proceso de humedad de cacao	24
Figura 3.2: Parámetros de aire para el lugar de investigación.	26
Figura 3.3: Modulo de encendido marca MABE.	29
Figura 3.4: Relé de estado sólido a 40 A.	29
Figura 3.5: Circuito de control de fase.	30
Figura 3.6: Conexión de válvula proporcional.	33

Figura 3.7: Diagrama electrónico de válvula proporcional y MSP 4725.....	33
Figura 3.8: Diagrama de señal digital a analógica.	34
Figura 3.9: Diagrama electrónico de amplificador de voltaje no inversor.....	34
Figura 3.10: Diagrama de conexión de PT100	35
Figura 3.11: Curva de comportamiento entre temperatura y voltaje.....	36
Figura 3.12: Sensor de temperatura para calibración de sensores.	37
Figura 3.13: Antes de la corrección Figura 3.14: Después de la corrección	38
Figura 3.15: Curva presión-velocidad sistema abierto y cerrado.....	46
Figura 3.16: Curva velocidad-caudal entre sistema abierto y cerrado	47
Figura 3.17: Distribución de calor observado desde la cámara térmica.	48
Figura 3.18: Curva de comportamiento de temperatura, termocupla 1.....	48
Figura 3.19: Cueva de temperatura-tiempo de termocupla 2.....	49
Figura 3.20: Curva de temperatura en la termocupla 3.....	50
Figura 3.21: Comportamiento de válvula proporcional	51
Figura 3.22: Curva entre temperatura y válvula proporcional.	52
Figura 3.23: Curva tiempo-ventilador centrífugo.	52
Figura 3.24: Curva entre ventilador centrífugo y temperatura.....	53
Figura 3.25: Cacao con 45 % de humedad.....	53
Figura 3.26: Valor de humedad inicial.	54
Figura 3.27: Peso inicial del cacao.	54
Figura 3.28: Curva de termocupla 1 en el proceso de secado.	54
Figura 3.29: Curva de temperatura-tiempo en el proceso de secado de cacao.....	55
Figura 3.30: Curva de comportamiento termocupla 3 en el proceso de secado.	56
Figura 3.31: Distribución de calor con carga vista desde la cámara térmica.	57
Figura 3.32: Vista tomada desde la cámara térmica con carga de cacao.	58
Figura 3.33: Peso de cacao final al 7% de humedad.....	58
Figura 3.34: Humedad final del cacao.	59
Figura 3.35: Ultimas señales de temperatura obtenidas por el software LabVIEW	60
Figura 3.36: Curva de pérdida de peso según la temperatura.	60
Figura 3.37: Curva humedad-peso en el proceso de secado.	61

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
TEMA: “EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA SECADORA
RECTANGULAR DE CACAO”

Autor

Molina Farinango Héctor Fabricio

Tutor

PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique

RESUMEN

La falta de control de temperatura en el secado de cacao, mediante la regulación del flujo de aire forzado y de llama en la máquina experimental rectangular, genera consumos excesivos de energía, disminución de la calidad del producto debido a un secado inconsistente. El proceso de secado es un paso fundamental porque reduce la humedad en la que se encuentra el cacao de 40 – 60% a una humedad entre el 8 y 7% manteniendo la temperatura ideal inferior a 80° C que es crucial para que el proceso de secado sea exitoso. Con la ayuda de un controlador lógico se crea un sistema de control de temperatura, diseñado para medir y ajustar automáticamente la temperatura de la cámara de secado según sea necesario dependiendo de lo que requiera el proceso de secado del cacao aumentar o disminuir la temperatura. En la cámara de secado hay sensores RTD PT-100 de temperatura distribuidas proporcionalmente, estos serán los instrumentos que miden continuamente la temperatura y emite señales al controlador lógico permitiendo las modificaciones necesarias de calibraciones de ajuste entre el ventilador centrífugo y la válvula proporcional. El sistema de control tiene una pantalla Nextion, donde se visualiza las desviaciones de temperatura significativas y peligrosas, en consecuencia, el proceso será seguro y el producto de cacao a secar no sufrirá daños o pérdidas de propiedades del grano. Se obtiene mediante el sistema de control de temperatura de secado las condiciones experimentales se obtiene los siguientes resultados: la masa inicial de cacao es de 40 kg y contiene un 45 % de humedad relativa, la temperatura en el proceso es inferior a los 80 ° C y el caudal del flujo de aire es de 84 m³/h y el consumo de GLP es de 12.8 kg en todo el proceso de producción, poniendo fin al proceso de secado se tiene una humedad del 7 % y el peso de la masa final de 22 kg.

Palabras claves: Ventilador centrífugo – válvula proporcional – sensores RTD PT 100.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
ELECTROMECHANICAL ENGINEERING CAREER

TITLE: "DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR A CYLINDRICAL COCOA DRYER".

Author:

Molina Farinango Héctor Fabricio

Tutor:

PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique

ABSTRACT

The inability to regulate the temperature of the forced air and flame in the rectangle trial machine results in increased energy consumption and lower product quality because of uneven drying. The drying process is a fundamental step because it reduces the moisture content of the cocoa from 40 - 60% to a humidity between 8 and 7% while maintaining the ideal temperature below 80° C, which is crucial for a successful drying process.

A temperature control system is built with the aid of a logic controller and is intended to automatically measure and modify the drying chamber's temperature, based on whether the drying of the cocoa calls for an increase or decrease in temperature. In the drying chamber, there are RTD PT-100 temperature sensors distributed proportionally, these will be the instruments that continuously measure the temperature and emit signals to the logic controller allowing the necessary modifications of adjustment calibrations between the centrifugal fan and the proportional valve.

The control system has a Nextion screen, where significant and dangerous temperature deviations are displayed, consequently, the process will be safe and the cocoa product to be dried will not suffer any damage or loss of bean properties. The experimental conditions are obtained through the drying temperature control system and the following results are obtained: the initial mass of cocoa is 40 kg and contains 45% relative humidity, the temperature in the process is below 80 ° C and the airflow rate is 84 m³ / h and LPG consumption is 12.8 kg throughout the production process, ending the drying process has a humidity of 7% and the weight of the final mass of 22 kg.

Keywords: Centrifugal fan - proportional valve - PT 100 RTD sensors.

INFORMACIÓN GENERAL

Título: “Evaluación del rendimiento de una máquina secadora rectangular de cacao”.

Fecha de inicio: 17/10/2022

Fecha de finalización: 18/02/2023

Lugar de ejecución: Universidad Técnica De Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad De Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: Eficiencia del proceso de secado a gas de cacao mediante diferentes formas geométricas del absorbedor.

Equipo de Trabajo: PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique.

Molina Farinango Héctor Fabricio

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción/ 071 Ingeniería y Profesiones Afines/ 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación: Procesos Industriales

Sub líneas de investigación de la Carrera: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánico

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

1.1.1 Situación Problemática

Inexistencia de un el control de temperatura de la máquina secadora rectangular de cacao a GLP el cual opere de manera automática el control de flujo de llama y el flujo de aire.

1.1.2 Matriz de identificación del problema

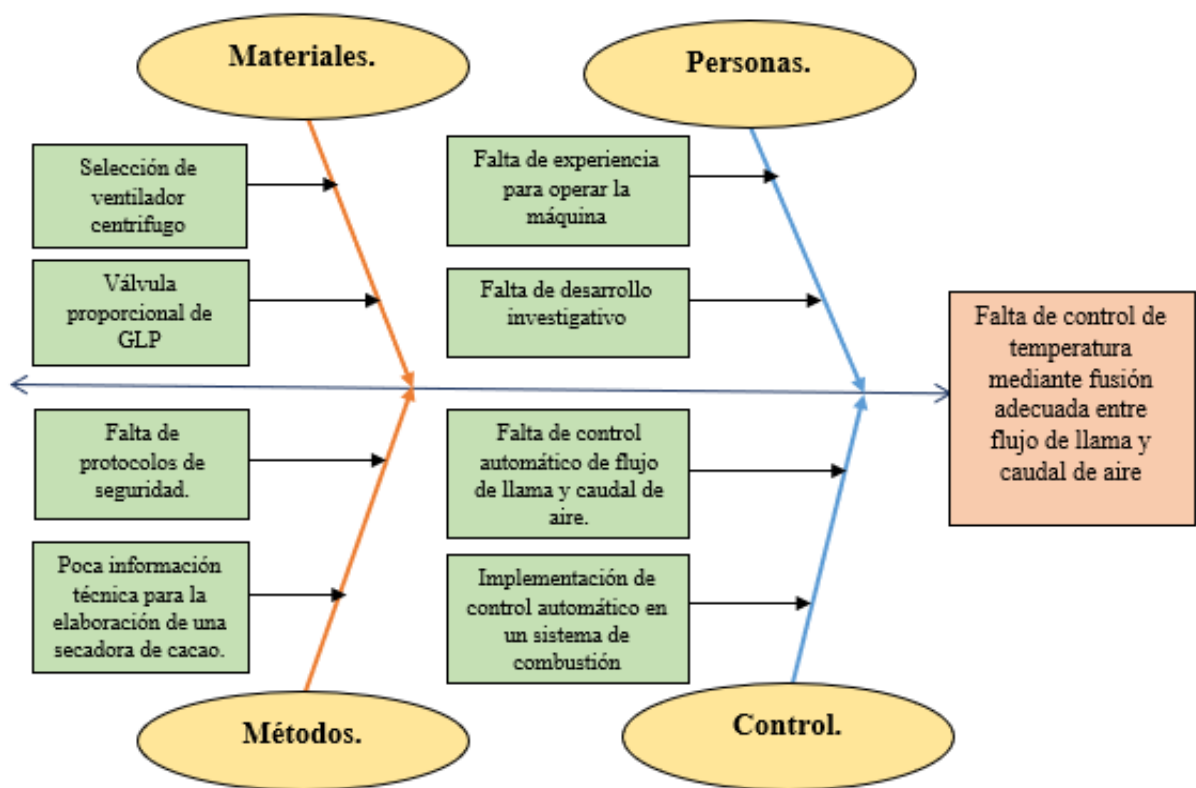


Figura 1.1: Diagrama Ishikawa

1.1.3 Formulación del problema

Falta de control de temperatura en procesos de secado de cacao, mediante fusión adecuada entre flujo de llama y caudal de aire.

1.2 BENEFICIARIOS

El proyecto tiene como objetivo beneficiar a la mayoría de los pequeños productores de cacao al reducir tiempos y recursos de secado mientras se mantiene la calidad sabor y aroma del fruto, aumentando la vida útil del cacao y aumentando la producción de secado de cacao.

1.2.1 Directos

Los beneficiarios directos son los pequeños agricultores que con la máquina secadora de cacao aumentarán la producción diaria disminuyendo tiempo y recursos manteniendo propiedades y características del cacao.

1.2.2 Indirectos

Se beneficiarán los estudiantes que pongan en práctica sus conocimientos y rendimiento académico y que deban innovar en futuras investigaciones.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador el cacao es una de las exportaciones tradicionales representando el 7% de la producción mundial, según la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao ANECACAO (2018), la producción total de cacao del país se distribuye entre 70% pequeños productores, 20% medianos productores, grandes productores y 10% grandes productores. [1]

El secador de cacao rectangular resuelve los siguientes problemas: mejorar el procedimiento de secado del cacao para lograr un efecto de secado que satisfaga los estándares de calidad mientras aumenta la producción en beneficio de los pequeños agricultores y la nación, brindando comodidad a los agricultores. y así satisfacer el mercado. [2]

Los pequeños productores de cacao tendrán una alternativa al secado de los granos de cacao sin sacrificar el aroma, el sabor o la calidad ante condiciones climáticas desfavorables.

La máquina secadora rectangular de cacao tiene un ventilador centrífugo de 103 cfm, sin embargo, en la investigación y cálculos realizados el ventilador está sobredimensionado, aumentando pérdidas de caudal de aire en el sistema y aumentos en el consumo energético es por ello que se ha utilizado un ventilador adecuado para este proceso en función al flujo másico requerido.

También se da el uso de una válvula proporcional que nos ayudará a solventar problemas como el consumo de GLP ofreciendo un mayor rendimiento en el sistema en relación al ahorro de

energía y un control porcentual de gas estableciendo parámetros idóneos entre la fusión de aire forzado y GLP, manteniendo las propiedades del fruto.

1.4 HIPÓTESIS

Es posible reducir el consumo de gas licuado de petróleo en el proceso de secado de cacao mediante una válvula que regula proporcionalmente el gas, y así mediante parámetros de estudio y termocuplas obteniendo valores idóneos de temperatura para un correcto secado de cacao.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Evaluar a escala experimental un secador rectangular de cacao para control automático de la temperatura de secado mediante el flujo de llama y aire, estimando la eficiencia del proceso de combustión.

1.5.2 Objetivos específicos

- **Establecer la fundamentación teórica relacionada con el proceso de secado en secadoras rectangulares de cacao reflejando datos técnicos elaborados durante el proceso de secado.**
- **Realizar pruebas experimentales que determinen el consumo de GLP, el análisis del tiempo de secado, la temperatura y otros parámetros operacionales del proceso.**
- **Ejecutar una investigación experimental basada en pruebas entre diferentes procesos, con registros detallados y ajustes de mejoras realizados.**

Tabla 1.1: Objetivos específicos

Objetivos específicos	Actividades	Resultados de la actividad	Descripción de la actividad
Establecer la fundamentación teórica relacionada con el proceso de secado en secadoras rectangulares de cacao	Selección de los parámetros indicados, en la evaluación entre procesos operacionales reflejando datos técnicos	Determinar parámetros fijos de humedad y temperatura para secadores de cacao,	Norma INEN NTE 176-2006.

reflejado datos técnicos elaborados durante el proceso de secado.	y mejoras del proceso de secado.	teniendo en cuenta los estándares de calidad del producto.	
Realizar pruebas experimentales que determinen el consumo de GLP, el análisis del tiempo de secado, la temperatura y otros parámetros operacionales del proceso.	Consolidación de los resultados mediante gráficas, análisis y métodos técnicos que convaliden el proceso operacional.	Conjunto de resultados, graficas, análisis comparativos señalando cada parámetro y rendimiento del sistema de secado.	Análisis de cada proceso operacional que interviene en la maquina secadora de cacao.
Ejecutar una investigación experimental basada en pruebas entre diferentes procesos, con registros detallados y ajustes de mejoras realizados.	Evaluación del correcto funcionamiento de la secadora de cacao, tomando en cuenta procesos anteriores.	Análisis comparativo entre los 2 sistemas evaluando el rendimiento de cada método.	Imágenes, pruebas y ensayos con los diferentes tipos de mecanismos.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 ANTECEDENTES

Dado que el cacao es un cultivo de alto rendimiento, la mayoría de la población de las regiones costeras de Ecuador dedica su vida a su cultivo. El cacao es una exportación importante para Ecuador y se cultiva durante todo el año.

Actualmente, el país está realizando una serie de análisis para identificar los componentes, características y variables que determinan la calidad del producto y dónde se han logrado avances en esta área a lo largo del tiempo. Esto se debe a la creciente producción nacional de cacao del país, así como a la creciente demanda del mercado. El período de estudio está a punto de terminar, pero hay información crucial que puede ayudar al proceso de secado a alcanzar los

parámetros deseados manteniendo su calidad, y también ofrece un punto de referencia aproximado.

La fermentación postcosecha es importante porque el contenido de humedad del cacao oscila entre el 55 y el 60 %. Existen varios métodos para hacerlo, como el uso de líneas de secado o cajas de madera. [3]

Para que el producto final tenga éxito en el mercado, el contenido de humedad del cacao debe reducirse entre un 9 y un 10 por ciento. Para asegurar el secado, la temperatura debe estar entre 40 y 60 °C para asegurar que el cacao mantenga sus propiedades de cacao. [4]

El secado se puede realizar de forma natural o artificial. El proceso de secado natural utiliza la radiación solar, pero es perjudicial en invierno porque daña el producto y reduce la producción. Se necesitan de 6 a 7 días para el secado natural, dependiendo de factores como temperatura, humedad relativa, radiación solar (600 a 800 W/m²), entre otros. Las máquinas manuales o el trabajo manual son las formas más rápidas de secar.

Los cacaos aromáticos de la más alta calidad con cualidades aptas para la elaboración de chocolate representan el 5% de la producción mundial y son una de las principales exportaciones de Ecuador, siendo el 75% cacaos aromáticos de la más alta calidad y el 25% cacao CCN-51. [5]

El objetivo del proceso es bajar el contenido de humedad del 55% al 7%, lo que se establece como el dato deseado para su posterior comercialización como materia prima de cacao seco destinado a diferentes productos. También se evidencia en esta etapa que los polifenoles se oxidan aportando el aroma, y de la misma manera se pierde una membrana que da lugar al color característico de la almendra deshidratada. Similar a esto, la investigación, derivó un análisis en el que se determinó cualitativa organoléptica del teobroma del cacao, que la calidad deseada se logra con una serie de procesos comenzando con la cosecha de las mazorcas debido a su estado de madurez exacto, pero los procesos de fermentación y secado se determinan como estados críticos para obtener la máxima calidad, en los cuales se determinan factores como el tiempo y la temperatura. [6]

2.1.1 Orígenes del cacao

Vivían en lo que ahora es la provincia de Chinchipe, en el pueblo circular de Zamora, o Paland, en la región amazónica del sur de Ecuador, hace 5.500 años. Pertenecían a la cultura Mayo-

Chinchipe, cuyo principal medio de subsistencia era la agricultura. En 2002, las investigaciones y excavaciones dirigidas por el arqueólogo Francisco Valdez dieron con algunas ofrendas con restos de comida en las tumbas de la familia Paland. Se pudo identificar la presencia de cacao o residuos de cacao en muchas de sus vasijas gracias a diversas pruebas químicas de carbono-14, elemento utilizado para fechar muestras orgánicas. Este descubrimiento, entre otras cosas, nos permite confirmar que el cacao, el grano que se convierte en chocolate, fue domesticado en esta región 2.000 años antes que en Mesoamérica. La variedad de cacao aromático, que es la más representativa de la nación, es la variedad que se cultiva en Paland. Ecuador puede solicitar una denominación de origen de cacao a través del Templo de Santa Ana de la Florida. Además, refuta la noción de que el Amazonas fue el hogar de nada más que civilizaciones primitivas y desorganizadas.

Además, la región ha albergado restos de conchas estromales y espondilo. Esto demuestra el grado de comercio que estas culturas pudieron lograr al transportar cacao de manera segura a las regiones costeras. [7]

2.1.2 Comercialización y denominación fortuita de origen

La fruta rápidamente tuvo una gran demanda como resultado del *xcóatl* (de ahí el nombre de chocolate), una popular bebida cultural mexicana que los colonos españoles habían conocido. Un decreto real español, que también fue emitido por naciones como México y Venezuela, pero no por Ecuador, lamentablemente era la única forma en que la nación podía obtener cacao a mediados del siglo XVI. Algunos dueños de negocios de Guayaquil optaron por cultivar y vender la planta de todos modos a pesar de las advertencias, infringiendo la ley.

A lo largo de las márgenes de los ríos Guaya, Daule y Babahoyo crecieron las plantaciones de cacao durante este período. [7]

2.1.3 Independencia y boom cacaotero

En 1830 sería un punto de inflexión en la lucha por la independencia. De hecho, muchas plantaciones de cacao contribuyeron a la liberación del país y la posterior unificación utilizando una parte de sus ganancias para hacerlo. Antes de las bananas, estas propiedades considerables, conocidas como Grandes Cacao, representan hasta el 60% de las exportaciones. El impuesto es superior a este porcentaje. Ecuador se convirtió en el principal exportador mundial de cacao a principios del siglo XX. Los productos de las provincias de Guaya, Los Ros y El Oro se

exportan a otros países desde el puerto de Guayaquil. El viaje más significativo por más de un millón de quintales fue a Europa. Los cimientos de la nación se fortalecieron como resultado del trabajo de los productores de cacao que hicieron del cultivo la columna vertebral económica de su nación. Ecuador tiene una larga historia con el cacao. En realidad, la primera década del siglo XX fue trágica porque el crecimiento del cacao se vio obstaculizado por una serie de enfermedades. Sin embargo, la producción de uno de los mejores cacaos del mundo no se vio afectada por estos hechos. ANEPI seguirá contando la épica historia del cacao en próximas crónicas. [7]

2.1.4 Zonas productoras de cacao en Ecuador

Ecuador es un país costero donde existe un mayor índice de participación en la cosecha de cacao. Los datos de la Agencia de Inteligencia Comercial e Inversiones de 2013 indicaron que en 2009, el área maderera en las regiones costeras constituía el 80% del área total a nivel nacional. Manabí, Los Rios y Guayas, Esmeraldas y El Oro, una provincia en el noreste, tienen las mayores áreas de cosecha de cacao. Cotopaxi, Bolívar y Cañar son las principales provincias productoras de cacao de Sierra Leona, aunque solo en pequeña escala. Los datos se muestran en el siguiente gráfico. [1]

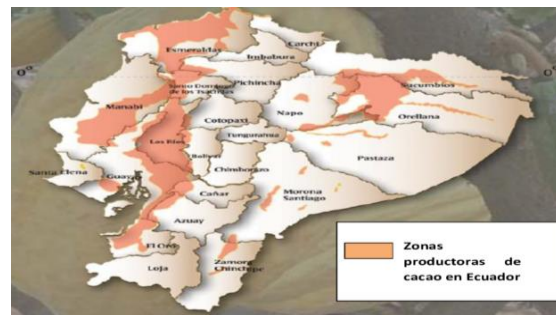


Figura 2.1: Principales zonas de producción de cacao en Ecuador. [8]

2.1.5 Tipos de secado

El proceso de secado del cacao puede ser natural o artificial.

Secado natural: Mediante el uso de tendedores de madera, cemento o colocando el producto sobre montículos donde los rayos del sol inciden directamente sobre la superficie, este tipo de secado se logra mediante la radiación solar. [8]

Seco artificial: Como resultado de la baja incidencia de la luz solar para este proceso en particular, el secado natural no es una opción cuando se aplica este tipo de secado, por lo que se requieren máquinas que reduzcan el tiempo de secado y la mano de obra. siempre que haya cambios climáticos en el invierno. Hay que tener en cuenta que este método utiliza menos espacio de secado que el secado natural, lo que se traduce en un mayor nivel de producción. [8]

2.1.6 Sistemas para el secado de cacao

Los sistemas de calefacción y ventilación se tendrán en cuenta como parte del proceso.

Calefacción: El proceso de calentamiento utiliza combustibles, por lo que es necesaria la comprensión de la combustión.

Combustión: El proceso consiste en oxidar un elemento en una reacción química.

La energía de activación, el combustible y el oxidante son tres componentes cruciales en la combustión. Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos dependiendo del uso adecuado para su proceso. El oxidante utiliza una composición de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno.

- **Un elemento se oxida a través de una reacción química en el proceso.**
- **Se utiliza una reacción química para oxidar un elemento en el proceso.**
- **Un elemento se oxida durante el procedimiento a través de una reacción química.**
- **El procedimiento consiste en oxidar un elemento en una reacción química.**

Ventilación: Tanto la circulación de aire natural como la circulación forzada son opciones para el movimiento del aire en la cámara de secado.

Circulación natural: Se utiliza en sistemas pequeños que no requieren mucho aire para funcionar porque es causado por diferencias de temperatura. La velocidad del aire fluctúa entre 0 y 1 m/s.

Circulación aire forzado: La circulación forzada, producida por un ventilador, se utiliza para amplias capacidades de secado. La velocidad del proceso de secado también se puede cambiar, con un rango recomendado de 5 m/s a 1 m/s. [8]

2.2 MARCO REFERENCIA

2.2.1 Tipos de cacao

2.2.1.1 Cacao criollo

Es un árbol que produce los frutos de mejor sabor, pero solo aporta una pequeña cantidad a la producción mundial y se distingue por su naturaleza succulenta. Se reconoce por sus semillas redondas y ligeramente aplanadas. Púrpura claro y blanco describen el tono de estos vinos sin fermentar.

Es un cacao afrutado, con sabor a nuez, ligeramente amargo y delicado. Es considerado como el mejor chocolate disponible. El mejor chocolate está disponible con esta variedad para cualquier gourmet. [9]

2.2.1.2 Cacao forastero

Esta es la variedad más común, pero también es la más resistente y la que más frutos da. Produce los granos menos aromáticos. Los europeos introdujeron el árbol en sus colonias cuando la demanda de chocolate aumentó drásticamente a principios del siglo XX. Se cultiva principalmente en: Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Guyana e incluso Venezuela. También es como la costa de Dientes, Ghana, Camerún y Santa Toma. También hay plantaciones en el sudeste asiático. Este cacao tiene un fuerte sabor amargo y es ligeramente ácido. Hay muchos taninos y astringente. Poseen gran potencia aromática, pero carecen de sutileza o variedad de sabor. Su producción alcanza el 70% de la producción total mundial. [10]

2.2.1.3 Cacao trinitario

Es un híbrido obtenido a partir del Criollo y el Forastero. Su producción es claramente superior en comparación con el criollo y combinando las características gustativas de ambos.

Contiene un amplio rango de sabores, aromas y persistentes en el paladar. Pueden apreciarse sabores a heno, roble miel, manzana y melón. Se cultiva en Trinidad, Java, Sri Lanka, Papua, Nueva Guinea, Camerún y en Venezuela con el nombre de Carenero Superior. Actualmente representa aproximadamente el 5% de la producción mundial. [9]

2.2.2 Ciclo productivo del cacao

El árbol del cacao o árbol del cacao es una planta perenne que produce varias cosechas cada año. Aunque los frutos maduran al mismo tiempo, suele haber dos cosechas al año: la cosecha principal y la cosecha intermedia. Los cultivos intercalados suelen ser más pequeños que los cultivos principales, pero el tamaño relativo varía de un país a otro. Generalmente, los árboles de cacao tienen períodos del año en los que alcanzan su punto máximo o producen más y períodos en los que producen menos o nada.

La siembra de cacao se debe realizar en la primera mitad de la estación lluviosa para que los árboles de cacao tengan tiempo suficiente para desarrollarse antes de la siguiente estación seca. Los árboles de cacao maduran 24 meses después de que se plantan por primera vez, pero los árboles tardan cinco años en dar frutos. [11]



Figura 2.2: Ciclo productivo del cacao [12]

2.2.3 Pulpa de cacao

La pulpa que aún está adherida a las semillas durante el proceso de fermentación en pilas o cajas ofrece un medio con la temperatura y el pH correctos para licuar la pulpa y construir las relaciones dentro del cotiledón necesarias para el desarrollo de un chocolate sabroso. La composición de la pulpa es aproximadamente un 80 % de agua, un 15 % de glucosa y fructosa, con cantidades menores de ácido cítrico, sacarosa, pectinas y aminoácidos. Durante el período de fermentación, el pH de la pulpa cambia de 3 punto 7 a 5 punto 0, y durante este tiempo, los microorganismos producen primero alcohol etílico a partir de los azúcares, que luego se transforma en ácido acético. La reacción anterior requiere aire, agitando la masa de granos que se fermentan en el proceso. Si la fermentación dura más de 5 a 6 días, los organismos se deterioran y el sabor del grano se resiente. Los cotiledones que comienzan con un pH de 6,6 absorben ácido acético y finalmente alcanzan un pH de 5,0. [3]



Figura 2.3: Principales zonas de producción de cacao en Ecuador. [14]

Tabla 2.1: Tiempo de fermentación según la variedad de Cacao1. [3]

Tiempo de fermentación	
Cacao criollo	1 / 5 días
Cacao mejorado	4 / 6 días
Cacao nacional	5 / 8 días

2.2.4 Secado de cacao

Los granos todavía tienen un contenido de humedad de alrededor del 60% después de que se completa la fermentación del cacao. Para evitar la disminución de la calidad y el desarrollo acelerado de moho, esto debe reducirse a un valor de alrededor del 8 %. Manipulación, almacenamiento, traslado y comercialización del cacao. [12]

La calidad del chocolate elaborado con cacao está determinada por la fermentación y el secado; ambos procesos son necesarios para producir un excelente producto final. Se seca, prácticamente, para evitar que se eche a perder y aligerarlo para su comercialización. [12]

El transporte, la manipulación, el almacenamiento y la venta de los granos de cacao se pueden facilitar con la ayuda del secado. Después de la fermentación, la humedad del cacao se mantiene alrededor de los 55 grados, pero es necesario reducirla a un margen de 6 a 7 por ciento para poder venderlo o almacenarlo por un tiempo. El cacao se puede secar en un horno o al aire. [13]

2.2.5 Principio de secado

El secado es la forma más eficiente de conservar alimentos, granos y frutas. Es un método milenario de conservación de alimentos. La llamada humedad se riega por secado, que intenta eliminarla para evitar el crecimiento microbiano. Es importante comprender que el secado es

un proceso que involucra transferencia de calor y masa y requiere una relación de calor particular para eliminar la humedad de fuentes externas.

Tabla 2.2: Antecedentes en los parámetros de secado. [4]

	PARÁMETRO	VALOR
1	Temperatura del aire de secado	55, 70 y 81 °C
2	Velocidad del aire de secado	3,1 y 3,7 m/s
3	Contenido de humedad inicial	79,6 %
4	Humedad relativa	80

2.2.6 Ventajas y desventajas entre secado natural y secado artificial

Tabla 2.3: Secado artificial.

Secado artificial	
Ventajas	Desventajas
Reducir el tiempo de secado	Uso de combustibles fósiles
Velocidad de mayor secado	Alto costo de instalación
No depende de la etapa atmosférica	Ligeramente contaminante

Tabla 2.4: Secado natural.

Secado natural	
Ventajas	desventajas
Menor emisión de gases	Necesita espacios amplios
categorización de las semillas de cacao	Peligro de exposición a contaminantes ambientales

2.2.7 Ventilador

Una máquina giratoria llamada ventilador puede mover un volumen específico de aire a una presión específica, que a su vez puede mover un gas. También se describe como una máquina turbo que transfiere energía para generar la presión necesaria para mantener un flujo de aire ininterrumpido. [14]

2.2.8 Tipos de ventiladores

No hay una clasificación de ventiladores, pero se ha realizado una división entre los 2 grupos más extensos:

- **Ventiladores centrífugos**
- **Ventiladores axiales**

2.2.8.1 Ventiladores centrífugos

En este tipo de ventilador, el flujo de aire se redirige en un ángulo de 90° entre la entrada y la salida. Por lo general, se clasifican según el diseño de la pala o la paleta.

2.2.8.2 Ventiladores de alabes curvados hacia adelante

Usualmente apropiado para aplicaciones que requieren alta presión y bajo flujo. Se pueden identificar por sus numerosas hojas delgadas con una inclinación hacia adelante variable y un espacio estrecho entre ellas. Con el flujo, el consumo de energía aumenta rápidamente. Es crucial asegurarse de que el ventilador no utilice más energía de la que se indica en la placa de identificación. El ventilador podría resultar dañado en la alternativa. Cuando se necesita filtrar el aire, por ejemplo, este tipo de ventiladores se pueden encontrar "en una caja de ventiladores".

2.2.8.3 Ventiladores centrífugos radiales álabes rectos

Es el modelo más sencillo y se usa generalmente para transporte.

2.2.8.4 Ventiladores centrífugos de álabes curvados hacia atrás

Se distinguen por tener hojas anchas e inclinadas. No existe riesgo de sobrecarga del motor, como lo habría en caso de pandeo, según el punto de funcionamiento. Aunque el aire no es tan

limpio como con las persianas frontales, las campanas de ventilación son donde se usan con más frecuencia.

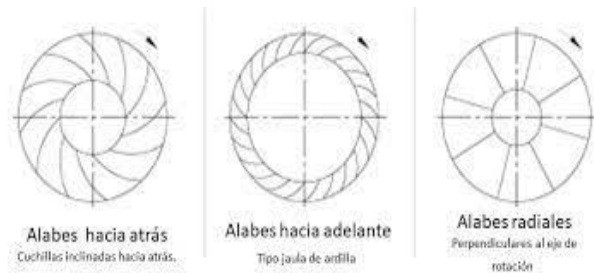


Figura 2.4: Ventiladores centrífugos de alabes curvados hacia atrás.

2.2.8.5 Ventiladores axiales

Estos ocurren cuando el flujo de aire se mueve en la dirección del eje del ventilador. Debido a la trayectoria helicoidal del flujo en la salida, con frecuencia se denominan helicoidales. En general, son efectivos para mover grandes flujos a bajas presiones.

2.2.8.6 Ventiladores helicoidales

Este ventilador es eficaz para mover mucho aire con poca presión. En edificios industriales, se utilizan tanto para suministro como para extracción de aire. Por lo general, estos ventiladores están empotrados en el vidrio, montados en la pared o ambos. Como resultado, se los conoce con frecuencia como ventiladores de pared. Sin embargo, la mayoría de sus usos son como extractores de baño a pesar de que pueden mover caudales relativamente altos a baja presión.

2.2.8.7 Ventiladores tubulares

Tienen hélices de pala ajustables universalmente. se permite que el aire se mueva mientras enfrenta cierta resistencia. Su diseño lo hace apropiado para su uso en conductos. En algunos sistemas industriales, como cabinas de pintura y extracción de humos localizada, también se emplea. [14]

2.2.9 Leyes de los ventiladores

La norma UNE 100-230-95 sobre este tema establece que no es práctico ni rentable realizar pruebas adicionales para conocer el funcionamiento del ventilador si se va a utilizar en circunstancias distintas a las que se probaron. Los nuevos beneficios de las pruebas realizadas

en condiciones estándar se pueden identificar con alta precisión utilizando el conjunto de ecuaciones conocidas como Leyes de Fan. Cuando la diferencia de presión es inferior a 3 kPa, donde se deben tener en cuenta las leyes del ventilador, las leyes del ventilador se expresan como una relación de magnitud en ecuaciones basadas en la teoría de la mecánica de fluidos, y su precisión es suficiente para la mayoría de las aplicaciones. compresibilidad de los gases.

Estos patrones muestran que dos ventiladores de series homólogas tienen curvas características homólogas y tienen eficiencias comparables para puntos de operación comparables, lo que implica que todas las demás relaciones entre variables están relacionadas. La velocidad del ventilador, el diámetro de la hélice o impulsor, la presión total, la presión estática y dinámica, el caudal, la densidad del gas, la potencia absorbida, la potencia y el nivel de ruido son sus variables constituyentes. [15]

Tabla 2.5: Símbolos y unidades según la normativa ISO.

Símbolo	Concepto	Unidad
Dr	Diámetro hélice/rodete	m
Lwt	Nivel potencia total sonora	dB
n	Velocidad rotacional	s
Pr	Potencia mecánica suministrada al ventilador	W
Pf	Presión del ventilador	Pa
qv	Caudal de entrada	m ³ /s
r	Densidad	kg/m ³

Antes de aplicar las leyes de los ventiladores, también es importante tener en cuenta que los valores conocidos pertenecen a un miembro de la misma familia de electrodomésticos que opera en las mismas condiciones que los que queremos usar para determinar los nuevos valores. Además, las condiciones del ventilador en consideración también deben ser proporcionales a las que se aplican al ventilador que se utilizó como punto de partida y cuyos valores reales de prueba se conocen. La velocidad del fluido dentro del ventilador también debe ser proporcional entre sí, y debe confirmarse que la velocidad periférica de dos puntos en un impulsor es la

misma que la de dos puntos situados de manera similar en el otro impulso. [16]

2.2.10 Curva característica del ventilador

La capacidad de un dispositivo para transferir energía al aire que mueve se evalúa mediante un ventilador. Dependiendo de la caída de presión a superar, el ventilador funciona con varios caudales manteniendo una velocidad constante. El trazado de diferentes valores de presión de fluido obtenidos de pruebas de laboratorio en ejes de coordenadas produce la curva característica del ventilador.

La curva característica de un ventilador esta expresada en el siguiente gráfico y siempre está en función entre caudal y presión.

La curva característica de los ventiladores se observa en la **Figura 2.5**:

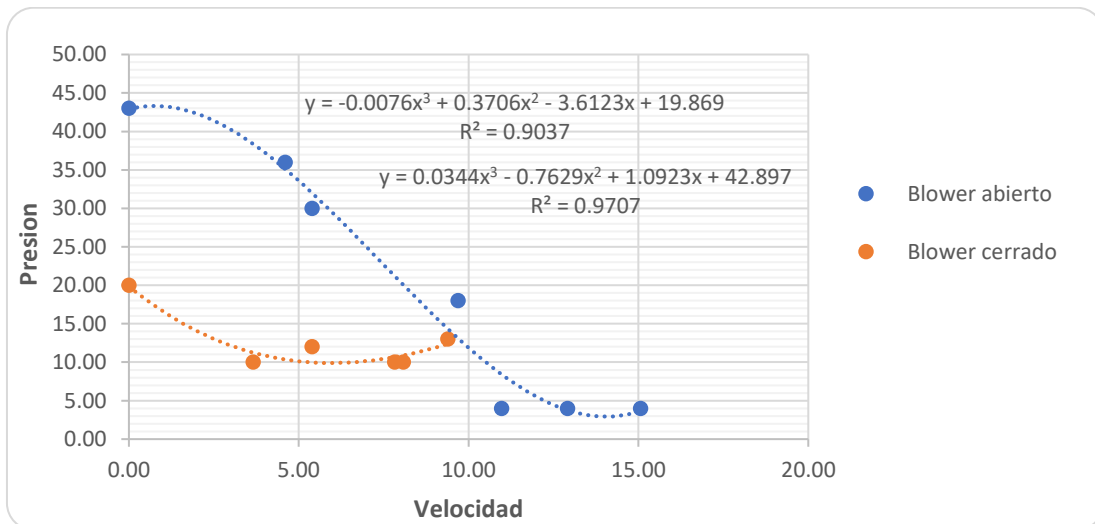


Figura 2.5: Curva característica de los ventiladores

2.2.11 Válvulas Proporcionales

Cuando se usan a altas presiones, las válvulas proporcionales reaccionan rápidamente y son capaces de controlar grandes caudales.

En la mayoría de los casos, se utilizan con equipos como prensas, máquinas de moldeo por inyección, máquinas de fundición y otros dispositivos que exigen velocidades de funcionamiento del actuador rápidas.

Para un control de alta precisión, se ofrecen adicionalmente una tapa y una válvula proporcional o servo válvula como válvulas proporcionales integradas.

Estas válvulas proporcionales determinan con precisión qué caudal controla el obturador principal en función de la diferencia entre la señal de entrada a la válvula proporcional o servo válvula y la señal de retroalimentación del sensor de desplazamiento del pistón principal. [17]

Según el tipo de válvula proporcional, necesitará una fuente de alimentación o un piloto con el control adecuado.

En algunas circunstancias, puede ser necesario suministrar aire de una calidad particular, lo que requiere una filtración adecuada y no debe confundirse con las válvulas de presión. Para controlar cualquier proceso en particular, incluidas la presión y la temperatura mencionadas anteriormente, la válvula necesita sensores de retroalimentación.

Se requieren tuberías y accesorios porque la válvula proporcional debe estar conectada al sistema.

Como amplificador de control electrónico, también puede incluir un solenoide proporcional.

En la figura 2.6 se observa la válvula proporcional seleccionada en el proyecto de investigación.



Figura 2.6: Válvula proporcional marca HSH-Flo

Figura 2.11: Válvula proporcional marca HSH-Flo

2.2.11.1 ¿Cómo funciona una válvula proporcional?

Debido a que un aumento en la corriente fortalece el campo magnético, la fuerza de atracción (o repulsión) sobre el material magnético crece a medida que aumenta la corriente. La geometría de la válvula proporcional garantiza una fuerza de campo constante en la trayectoria del imán a una corriente específica.

También se agrega un resorte para equilibrar la fuerza del imán. La fuerza de reacción del resorte aumenta a medida que el imán se mueve en oposición a él, y continúa haciéndolo hasta que la fuerza magnética se equilibra y el movimiento se detiene. A medida que aumenta la corriente, el imán (solenoides) empuja el resorte más lejos, restableciendo el equilibrio de fuerzas. La presión o el flujo se pueden cambiar en proporción a la corriente que se aplica al solenoide cuando se supone que el imán está conectado a una bobina de válvula. [17]

2.2.11.2 ¿Cómo seleccionar una válvula proporcional?

El rango a considerar, la temperatura en el trabajo y otros factores ambientales deben tenerse en cuenta porque afectan el tiempo y el rendimiento en el trabajo. Otros parámetros a tener en cuenta incluyen la presión, el flujo de gas y otros elementos. [17]

2.2.12 Tipos de válvulas proporcionales

2.2.12.1 Válvulas proporcionales de caudal

Los diferentes fluidos se pueden mover en diferentes direcciones y tienen una capacidad muy fuerte para detener o comenzar a fluir proporcionalmente.

2.2.12.2 Válvulas proporcionales de presión

- **Ampliamente utilizado debido a su capacidad para alterar las presiones dentro de los sistemas hidráulicos.**
- **Puede ser modificado por regulación electrónica de acuerdo a la presión requerida.**
- **Este tipo de válvula tiene las siguientes cualidades: autonomía, confiabilidad y eficiencia.**

2.2.13 Aplicaciones de las válvulas proporcionales

Las válvulas proporcionales son especialmente adecuadas para el trabajo cuando es necesario cambiar la presión de salida o el flujo tanto dentro como entre procesos. La respuesta rápida, el control confiable y el rendimiento constante se ofrecen a un precio justo. Las válvulas proporcionales pueden ayudar a reducir los tiempos de ciclo al lograr rápidamente una presión o un flujo estables. [17]

2.2.14 MCP 4725

A diferencia de un ADC, un DAC o un convertidor de digital a analógico le permite crear una señal analógica a partir de una señal digital. Con el módulo DAC MCP4725, podemos crear señales sinusoidales, triangulares y de otro tipo conectando una salida analógica real a nuestro microcontrolador, Arduino, PIC o Raspberry. Tiene una interfaz de comunicación digital de la variedad I2C. Ideal para usar como salida de controladores PID en proyectos de control automático en lugar de potenciómetros manuales para control de voltaje analógico. El chip puede funcionar a 3,3 V o 5 V; si la tensión de alimentación es de 5 V, el rango de tensión de salida será de 0 a 5 V, los mismos 3,3 V. También puede operar en modo I2C rápido a 3,4 Mbps. [18]

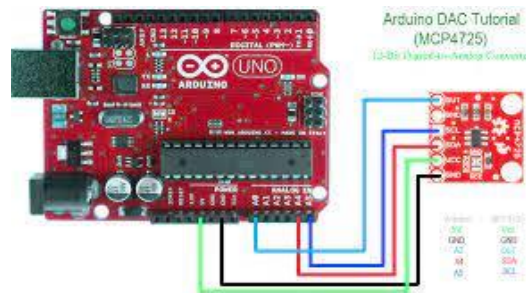


Figura 2.7: MSP 4725

2.2.15 Celda de carga tipo S

Las celdas de carga en forma de S son sensores de fuerza que miden la tensión y la presión, las celdas de cargas, las vigas en S cargadas son conocidas por su rendimiento y versatilidad. Se pueden conectar una variedad de amplificadores de celdas de carga, que son sensores que convierten la fuerza aplicada en una señal eléctrica medible, aunque hay muchos tipos de sensores, la carga es el sensor de fuerza más común en el mercado. [19]



Figura 2.8: Celda de sensores de peso tipo S.

2.2.16 Sumador de celdas de carga

Se utilizan cajas adicionales para celdas de carga y sensores de fuerza para agregar o combinar fuerzas cuando hay diferentes puntos de medición distribuidos.

Esta configuración permite medir un aumento en el peso o fuerza máximos a medida que aumenta la carga en cada sensor. Para sensores de fuerza y celdas de carga, se usa un cuadro de suma para agregar al medir fuerzas en varios lugares dispersos, combine las fuerzas. [20]



Figura 2.9: Sumador de celdas de carga.

2.2.17 Termocuplas

Las termocuplas son los termómetros más fiables para medir temperaturas entre unas pocas decenas negativas y miles de grados centígrados. Son los sensores de temperatura que más se utilizan en todo el mundo.

Una fuerza electromotriz se crea cuando un circuito cerrado está formado por dos uniones (T1 y T2) que se mantienen a varias temperaturas. Están hechos de dos metales diferentes que se unen en sus extremos y se conectan a un termómetro de termopar u otro dispositivo con capacidad para termocuplas.



Figura 2.10: Termocuplas RTD.

3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 METODOLOGÍA

3.1.1 Variables dependientes

Tabla 3.1: Variables dependientes.

Variable	Descripción	Unidad de medida	Técnica	Instrumento
Masa de cacao seca	Cantidad de 45% de humedad de cacao	Kg	Medición	Sensores de peso
Humedad de salida	Porcentaje de agua a retirar en el proceso	Porcentaje 7%	Medición	Medidor de humedad de cacao
Consumo de GLP	Comparar el peso de GLP antes y después del proceso y evaluar el rendimiento	Kg	Medición	Sensor de peso
Tiempo de secado	Tiempo total del proceso de secado a la humedad final del 7%	Horas	Medición	Cronometro

3.1.2 Variables independientes

Tabla 3.2: Variables independientes.

Variable	Descripción	Unidad de medida	Técnica	Instrumento
Flujo de aire	Correcto flujo de aire para el sistema de secado	$\frac{m^3}{s}$	Medición	Flujómetro

Temperatura de secado	Mantener una temperatura promedio y mantener las propiedades del cacao	Grados Celsius (°C)	Medición	Termocuplas
Distribución de temperatura	Distribución de calor equilibrada en la cama de secado	Grados Celsius (°C)	Medición	Cámara termográfica

3.1.3 Características técnicas de secado

Tabla 3.3: Condiciones técnicas de la maquina secadora de cacao.

N°	Criterio	Valor
1	Temperatura de secado de aire	70°C
2	Humedad inicial del producto	60%
3	Humedad final del producto	7%
4	Velocidad de aire	0.3 a 3 m/s
5	Material anticorrosivo	Mayor a 70%

3.1.4 Condiciones térmicas del cacao

Tabla 3.4: Condiciones térmicas del cacao

Descripción	Porosidad	Densidad aparente [kg/m ³]	Calor específico [$\frac{J}{kg \cdot K}$]	Conductividad térmica [$\frac{W}{m \cdot K}$]	Difusividad térmica [m ² /h]
Cacao	0.56	520	1728	0.18	0.000721

Se realiza un balance de flujo másico utilizando la salida de producto seco como entrada y la cantidad de producto húmedo que se debe secar un total de 40 kg de cacao hasta que haya perdido toda la humedad y solo tenga un 7%.

En la **Figura 3.1** se observa la variación de humedad en el proceso de secado.

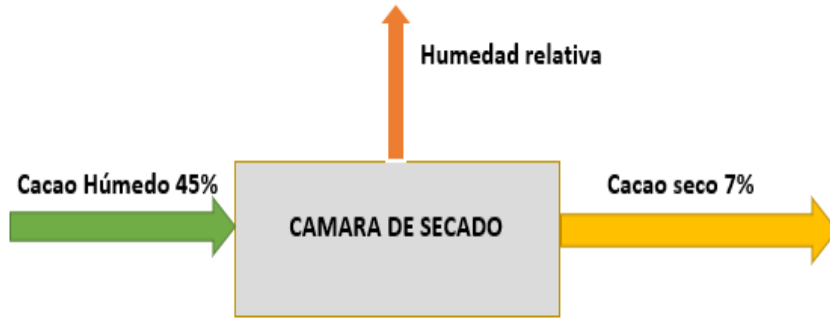


Figura 3.1: Proceso de humedad de cacao

3.1.4.1 Contenido de humedad de fermentación de cacao

El porcentaje de humedad inicial está en valores entre 60 y 70 % para este caso de investigación se tiene en cuenta el valor medio de 45% de humedad.

$$\% \text{ Humedad cacao} = \frac{(P_1 - p_2) * 100}{(P_1 - P_0)} \quad (3.1)$$

Dónde:

p_1 = *Peso de la cápsula con muestra humedad*

p_2 = *Peso de la cápsula con muestra seca*

p_0 = *Peso de la cápsula vacía*

3.1.4.2 Flujo másico de entrada de cacao húmedo

$$\dot{m}_{\text{cacao-húmedo}} = \frac{m}{\text{tiempo}} \quad (3.2)$$

Dónde:

$\dot{m}_{cacao-húmedo}$ = Masa de cacao húmedo

m = Masa de cacao a secar

t = Tiempo de secado

3.1.4.3 Flujo sólido seco

$$\dot{m}_{sin} = (1 - X_{in}) * \dot{m}_{cacao-húmedo} \quad (3.3)$$

Dónde:

X_{in} = Porcentaje de humedad al ingreso del secador

\dot{m}_{sin} = Flujo másico de sólido seco

3.1.4.4 Cantidad de humedad que se desprenderá en el proceso

$$\dot{m}_{cacao-húmedo} = \dot{m}_{sin} * \dot{m}_g \quad (3.4)$$

Dónde:

\dot{m}_g = Es el flujo de vapor en $\frac{kg}{s}$

3.1.4.5 Flujo másico de entrada de humedad

$$\dot{m}_{w in} = X_{in} * \dot{m}_{cacao-húmedo} \quad (3.5)$$

Dónde:

X_{in} = Es la humedad inicial presente en el cacao

$\dot{m}_{w in}$ = Es el flujo de entrada de cacao húmedo en la cámara de secado

3.1.4.6 Flujo másico de agua a la salida del secador

$$\dot{m}_{w out} = \frac{\dot{m}_{sin} * X_{out}}{1 - X_{out}} \quad (3.6)$$

Dónde:

X_{out} = es la humedad final del grano de cacao

3.1.5 Cálculo de densidad de aire en el lugar de investigación

Para obtener la densidad del aire, se calculó utilizando parámetros generados por cartas psicrométricas en el sitio de estudio (en este caso Latacunga), brindando propiedades y características específicas del aire como temperatura, volumen y presión del arrozal. Para la adquisición de los datos se utilizó el software Carta Psy, un programa gratuito en línea considerando los siguientes valores.

Ubicación: Latacunga

Temperatura ambiente: 19°C

Altitud: **Humedad relativa:** 93%

Psicrometría		
Datos		
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.
Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura:	19	C
Temp. b. húmedo:	18.13577141600	C
<input type="radio"/>		
Humedad relativa:	93	%
<input checked="" type="radio"/>		
Punto de rocío	<input type="radio"/> 17.86696638231	C
Altitud SNM	2860	m
<input type="button" value="Calcular"/>		
Resultados		
Presión Atmosférica	0.708527576687	bar
Pv sat	21.97790783348	mbar
Pv	20.43945428513	mbar
Humedad absoluta	0.018476326144	kg/kg
Entalpía	65.94598254837	kJ/kg
Volumen específico	1.217484387847	m3/kg

Figura 3.2: Parámetros de aire para el lugar de investigación.

Tabla 3.5: Valores psicométricos de aire en Latacunga.

Especificación	Cantidad	Unidad de medición
Presión atmosférica	70.85	kPa
Humedad relativa (HR)	85	%
Presión de vapor de saturación (Pv sat.)	26.44	kPa
Presión de vapor de agua (Pv)	22.48	kPa
Humedad Absoluta (HA)	0.018	kg agua / kg aire
Entalpia (H)	65.94	kJ / kg
Volumen específico (V esp)	1.21	m ³ /kg

3.1.6 Cálculos para selección de ventilador

Se determinará el flujo másico que permitirá obtener los datos requeridos para la selección del ventilador.

3.1.6.1 Flujo volumétrico

Con la ayuda de este cálculo, se determina el caudal que debe suministrarse a la cámara de secado. En este caso se utilizó un caudal másico de "Cengel 3". Se proporciona el área de la placa perforada en la Tabla A-15 del "Libro de transferencia de calor y masa" a 20 °C.

$$\dot{V} = \dot{m}_a * v_1 \quad (3.7)$$

Dónde:

$$\dot{V} = \text{Flujo volumétrico [m}^3 \text{ / s]}$$

$$\dot{m} = \text{Flujo másico [kg / s]}$$

$$v_1 = \text{Volúmen específico [m}^3 \text{ / Kg]}$$

3.1.6.2 Volumen específico

Dónde:

$$v_1 = \frac{R_s * T_1}{P_a} \quad (3.8)$$

$$R_a = \text{Constante del gas } 0.287 \left[\frac{kJ}{kg} \right] * K$$

$T_1 = \text{Temperatura ambiente [K]}$

$P_a = \text{Presión atmosférica [KJ]}$

$v_1 = \text{Volúmen específico } \left[\frac{m^3}{kg} \right]$

3.1.7 Selección de ventilador según la velocidad de aire

Para la selección adecuada del ventilador se ha realizado pruebas de aire con un anemómetro estos resultados ayudarán a un correcto dimensionamiento de caudal de aire, además a conocer parámetros de regulación de caudal en el sistema por lo cual hemos realizado pruebas en el ventilador centrífugo y con ayuda de un controlador de fase el variamos la velocidad y caudal en el sistema, se tiene también un control manual por el dámper propio del ventilador centrífugo, que determinará un sistema abierto o cerrado. En el sistema abierto la velocidad de aire aumenta por menor presión y el caudal de aire es mayor, con estos valores se determina que el aire que se requiere es el producido por el ventilador centrífugo seleccionado tanto para trabajos en vacío como en el proceso de secado de cacao.

3.1.7.1 Cálculo de caudal mediante la velocidad de aire

$$Q = \frac{v * \pi * \emptyset^2}{4} \quad (3.9)$$

Dónde:

$Q = \text{Caudal}$

$v = \text{Velocidad}$

$\pi = 3.14$

$\emptyset = \text{Diámetro de blower}$

La sección del diámetro del ventilador centrífugo es de 2,5 pulgadas o un equivalente a 0,06 m.

3.1.8 Selección del sistema de encendido

Para el sistema de encendido de la máquina secadora rectangular de cacao de ha buscado diversas herramientas y se ha hecho varias pruebas para consolidar un sistema apto, y confiable, el módulo las cocinas electricas específicamente de la marca MABE este componente funciona con corriente alterna (AC) y el gas se enciende por una serie de chispas producidas por el circuito interno del dispositivo.

3.1.9 Chispero o bujías para encendido

El módulo que genera los pulsos de chispa requiere de una bujía para conducir la descarga que genera el arco eléctrico, este se dirigirá a una posición determinada por diversas pruebas, este detectara el GLP e iniciara el proceso de secado.

En la **Figura 3.3** se muestra el módulo que se usó para el encendido de la secadora rectangular de cacao.



Figura 3.3: Modulo de encendido marca MABE

3.1.10 Procedimiento de encendido

El módulo de cocina eléctrica requiere de un dispositivo que conmute el paso de la corriente y de pulsos según los requerimientos de la secadora, por esto se ha seleccionado un relé de estado sólido de 40 A que es un interruptor electrónico que proporciona los pequeños pulsos de activación del módulo.



Figura 3.4: Relé de estado sólido a 40 A.

El sistema de combustión tiene como principal fuente de energía GLP, la válvula proporcional mediante programación se abrirá porcentualmente y se abrirá el paso de GLP por la manguera, se emite una señal que activará al relé de estado sólido y este proporciona los pulsos que activan el módulo de chispa que se dirige mediante la bujía a nuestro soplete y este con el contacto directo de gas encenderá el sistema de combustión.

3.1.11 Control de fase/Control de velocidad AC

Este circuito utiliza el elemento activo como es el TRIAC, y un grupo de elementos pasivos como resistencias.

El circuito se conectará directamente a una alimentación de 110v y se ha tomado las precauciones necesarias para las pruebas de experimentación.

Con este circuito se puede variar la velocidad y modular el giro de la hélice del ventilador centrífugo, llegando a los valores más cercanos de flujo de aire requerido en el sistema.

3.1.11.1 Funcionamiento del control de fase

El triac controla el flujo de corriente CA a la carga cambiando entre los estados de encendido y apagado durante los semiciclos negativos y positivo a la señal de red que proviene del tomacorriente la señal de CA. El triac funciona como un interruptor que conmuta la corriente alterna y controla el flujo de caudal emitido por el controlador de fase, en diferentes porcentajes de apertura.

El controlador regula la frecuencia de giro de los álabes del ventilador centrífugo porcentualmente esto mediante programación y a diferentes parámetros se tiene diversos caudales y así obtener el valor ideal obtenidos mediante pruebas experimentales.

En la **Figura 3.5** se observa el circuito eléctrico del control de fase para controlar la frecuencia de giro del ventilador centrífugo.



Figura 3.5: Circuito de control de fase

3.1.12 Selección de válvula proporcional

La válvula proporcional establece un cambio en la presión o el flujo de salida, son accionadas eléctricamente por una bobina, un motor y se utilizan para controlar caudales o fluidos sean líquidos o gaseosos. En este caso requerimos para un control de GLP, visualizando el nivel de apertura de la bola motorizada.

La válvula se controla de acuerdo al porcentaje de apertura, también controla cualquier proceso, como la presión del GLP y la temperatura en la cámara de secado.

3.1.12.1 ¿Por qué se seleccionó la válvula proporcional HSH-Flo bola eléctrica motorizada?

De acuerdo a la aplicación que se requería para controlar el flujo de gas de una forma más exacta, se ha hecho un dimensionamiento de acuerdo al diámetro del soplete para evitar fugas, pérdidas y obtener el mayor aprovechamiento de GLP en el sistema de combustión.

Los tanques GLP domésticos que se ha usado en el sistema son de 15 kg, y tiene una presión de 80 a 125 psi de acuerdo a estos parámetros la válvula que se ha seleccionado cumple con estos parámetros y soporta la presión del cilindro de GLP.

Tabla 3.6: Presión de acuerdo al tanque de GLP y válvula proporcional

Componente	Presión (PSI)
Tanque de GLP	80 a 125
Válvula proporcional	145

3.1.12.2 Funcionamiento de la válvula proporcional

El aumento de la corriente aumenta la fuerza del campo magnético, lo que a su vez aumenta la fuerza de atracción sobre el material magnético. La geometría de la válvula proporcional proporciona una fuerza de campo constante para una corriente dada en la ruta magnética. Además, se inserta un resorte para neutralizar la fuerza del imán, cuando el resorte se comprime por el movimiento del imán, la fuerza de reacción del resorte aumenta hasta que se equilibra

con la fuerza magnética y el movimiento se detiene. Si se aumenta la corriente, el imán actúa más contra el resorte hasta que las fuerzas se igualan nuevamente. Si consideramos un imán unido a una bobina en una válvula, la presión o el flujo se pueden controlar en relación con la corriente suministrada al solenoide.

También nos permite controlar tanto la dirección como el caudal mediante una respuesta a una señal electrónica.

La válvula emitirá señales de acuerdo a los parámetros establecidos mediante programación para controlar el flujo de llama y mantener la temperatura idónea.

3.1.12.3 Especificaciones técnicas de válvula proporcional

Tabla 3.7: Especificaciones técnicas. [21]

Fabricante	HSH-Flo
Peso del producto	2 libras
Tamaño	¼ pulgada
Estilo	0-10v
Método de control	Control de señal eléctrica, 4-20 mA
Potencia	2 vatios
Tiempo abierto/cerrado	3 a 5 segundos
Presión máxima de trabajo	1 Mpa

3.1.12.4 Diagrama de conexión de válvula proporcional

En la **Figura 3.6** se observa el diagrama de conexión donde se detalla la conexión por colores.

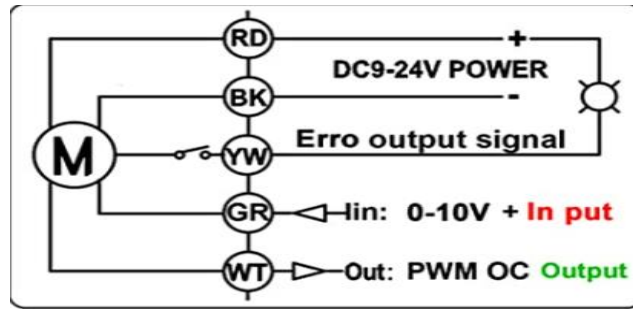


Figura 3.6: Conexión de válvula proporcional.

Rojo: Positivo de 9 – 24 v

Negro: Negativo

Amarillo: Salida de señal

Verde: Entrada de 0 – 10 v

Blanco: PWM

En la **Figura 3.7** se muestra el diagrama electrónico de la válvula proporcional con el módulo de conversión analógica.

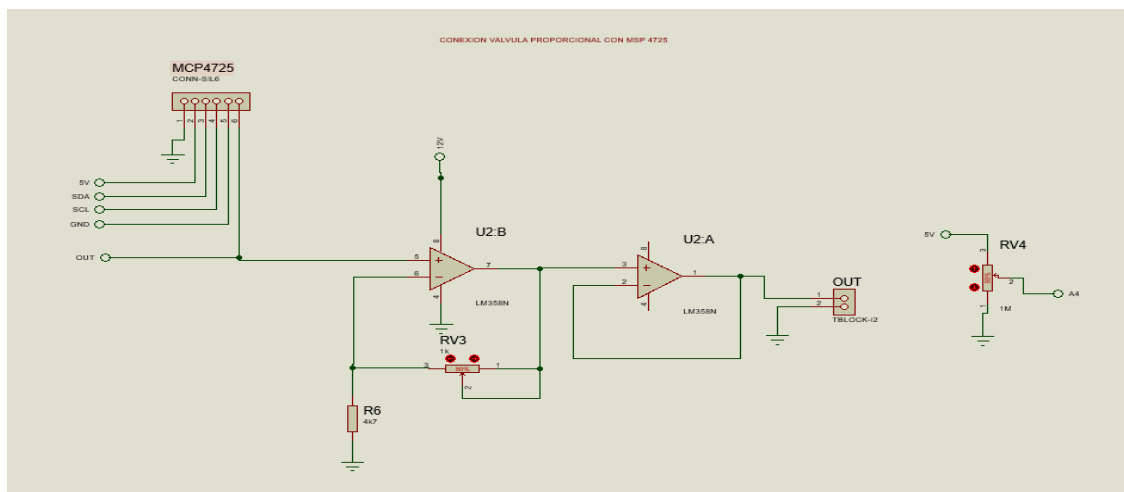


Figura 3.7: Diagrama electrónico de válvula proporcional y MSP 4725.

3.1.13 Selección del convertidor de señal digital a analógica

Se realiza el enlace mediante la placa de Arduino esto a una programación que da señal digital, para el funcionamiento correcto del sistema se necesita enviar una señal analógica.

El MCP 4725 es útil en el proyecto, ya que se puede generar una auténtica señal analógica en lugar del uso de un PWM y así alimentar nuestra válvula proporcional, los rangos de porcentaje de gas se elevarán o aumentarán de acuerdo al porcentaje de apertura de la válvula proporcional. En la **Figura 3.8** se observa un diagrama sobre la conversión de señal entre nuestro microcontrolador y el convertidor de señal.

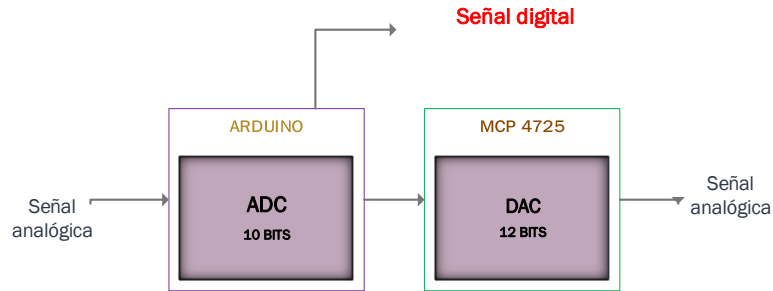


Figura 3.8: Diagrama de señal digital a analógica.

3.1.14 Amplificador de señal analógica

En la **Figura 3.9** se observa el diagrama electrónico donde la entrada de la señal digital es de 5v y la válvula proporcional funciona de 9 a 24v es por ello que se acondicionó el voltaje con el amplificador de señal analógica para el correcto funcionamiento.

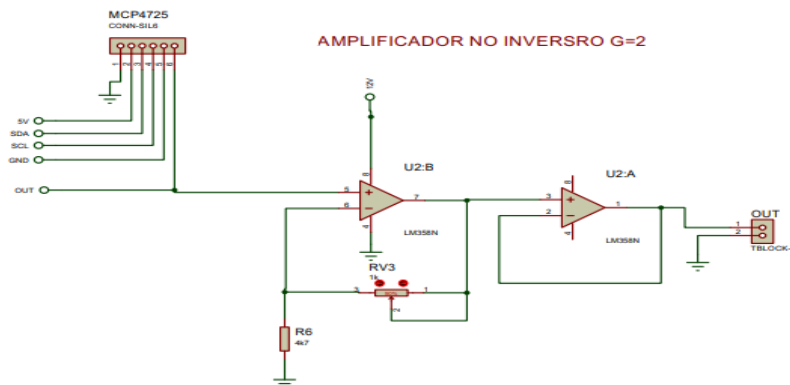


Figura 3.9: Diagrama electrónico de amplificador de voltaje no inversor

3.1.15 Selección de sensores de temperatura

En el sistema de secado de cacao se requirió de sensores que ayudan a reconocer las condiciones de temperatura en las que se encuentra la cámara de secado y así visualizar en tiempo real la variación de temperatura según el tiempo de secado.

Por ello que se ha seleccionado los sensores RTD PT 100 que son sensores de temperatura que a 0°C tiene 100 ohms y al elevarse la temperatura del sistema aumenta su resistencia eléctrica, cabe recalcar que se ha seleccionado el PT 100 de 3 hilos que es el más utilizado en procesos industriales y tiene una tolerancia de error aceptable de $\pm 3\%$

Tabla 3.8: Norma IEC DIN

Norma	
DIN IEC 751	Los valores DIN rigen para un valor nominal de 100 Ohms.

En la **Figura 3.10** se visualiza el diagrama de conexión de las 3 termocuplas que verificaran la temperatura en la máquina secadora.

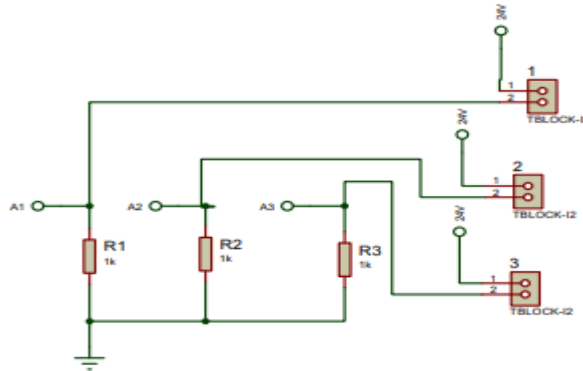


Figura 3.10: Diagrama de conexión de PT100

3.1.16 Calibración de las termocuplas PT-100

Para la calibración de las termocuplas PT-100 se realizó una tabla comparativa de comportamiento de voltaje y temperatura y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 3.9: Variación de temperatura versus el voltaje.

Temperatura (°C)	Voltaje (V)	Corriente (A)
18	1,29	5,30
22	1,40	5,71

25	1,43	5,84
30	1,51	6,23
40	1,77	7,27
50	2	8,22
60	2,19	8,90

En la **Figura 3.11** se observa la curva de variación entre temperatura y voltaje para la calibración de sensores.

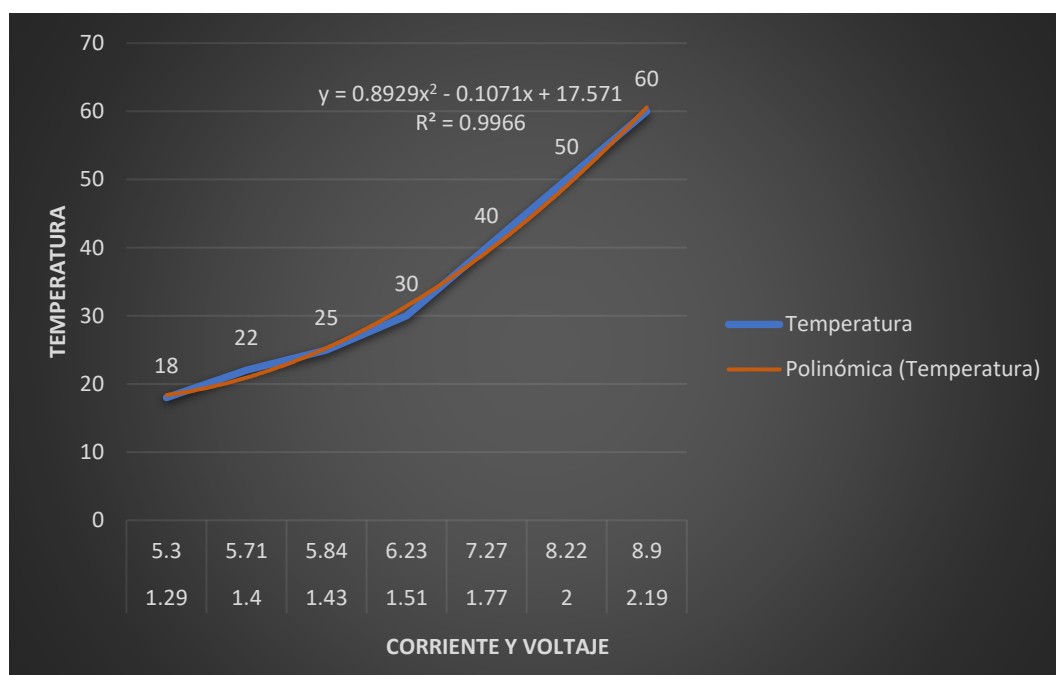


Figura 3.11: Curva de comportamiento entre temperatura y voltaje

En la **Figura 3.12** se observa el sensor de temperatura utilizado para la calibración de las termocuplas.



Figura 3.12: Sensor de temperatura para calibración de sensores.

3.1.17 Selección de sensores de peso

En el prototipo se seleccionó los tipos de carga tipo S a 25 kg, serán las básculas para determinar el peso de la masa de cacao a secar y la pérdida de peso en el procedimiento de secado.

Se ha seleccionado este tipo de sensores por su forma y su adaptación a la estructura del prototipo permitiendo conocer los valores de peso en tiempo real.

3.1.17.1 Calibración de los sensores de peso

Para la calibración de los sensores se utilizó dos puntos para ajustar una línea que representa la relación entre los valores eléctricos y físicos, es la forma más rápida y eficiente de crear un sensor. Es por ello se ha realizado con medidas conocidas como ha sido una arroba de arroz y así poder obtener valores cercanos a la realidad con un porcentaje de error del $\pm 2\%$.

3.1.18 Selección de posición adecuada para la herramienta de combustión

Para seleccionar la posición adecuada se ha realizado diversas modificaciones estructurales con el propósito de distribuir el calor uniformemente por la cámara de secado y resolver problemas anteriores en el sistema de combustión, así tales como la fuga de llama, esto provocando pérdidas de energía calorífica.

En las **Figuras 3.13 y 3.14** se observa la corrección de posición.



Figura 3.13: Antes de la corrección **Figura 3.14:** Después de la corrección

Con esto se ha conseguido un calor proporcional, con parámetros idóneos de temperatura para el cacao.

3.1.19 Dimensionamiento del cableado para el gabinete eléctrico

Se determinó el calibre adecuado y la capacidad de carga de los conductores eléctricos utilizados en las instalaciones eléctricas realizando el dimensionamiento del cable. Entre otras conexiones, esto implica calcular la longitud del circuito, la caída de voltaje y la corriente máxima requerida.

3.1.20 Cálculo de ampacidad del cable

Uno de los métodos más comunes para determinar el voltaje es usar las tablas del Código Eléctrico Nacional (NEC), que enumeran el amperaje máximo permitido para varios tamaños de cables y escenarios de instalación. Para calcular el amperaje, se siguió estos pasos:

- **Se determinó el flujo de corriente máximo del cable. Para hacer esto, se dividió el voltaje por la corriente proveniente del dispositivo cableado. Determinar la temperatura de funcionamiento del cable. Esto influye por el entorno en el que se encuentra el cable junto con otros elementos, como la temperatura ambiente, se debió considerar la temperatura de los materiales en las instalaciones.**
- **Se comprobó el tipo de aislamiento de los cables. Las propiedades de disipación de calor de varios tipos de materiales de aislamiento que tienen un impacto en la capacidad del cable.**

- Se revisó la tabla NEC para determinar el tamaño de cable adecuado en función de su corriente y temperatura.

La capacidad de los cables para entregar la corriente máxima requerida sin sobrecalentamiento se determinó utilizando las siguientes ecuaciones.

3.1.20.1 Cálculo de la potencia de tres horas de trabajo:

$$I = P/V \quad (3.10)$$

Dónde:

P = Es la potencia consumida

IT = Es el voltaje de línea

3.1.20.2 Cálculo de Intensidad de carga de trabajo más de tres horas:

$$I_{cc} = I_{carga} * I_{carga\ continua} \quad (3.11)$$

Dónde:

I_{carga} = es la intensidad de consumo general (A)

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

3.1.20.3 Cálculo de corriente con factor de temperatura:

$$I_T = \frac{I_{cc}}{F_T} \quad (3.12)$$

Dónde:

IT = es la intensidad con factor de temperatura

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

3.1.20.4 Cálculo de factor de corrección por ajuste:

$$I_{agrup} = \frac{I_T}{F_A} \quad (3.13)$$

Dónde:

I= agrupamiento es la intensidad de ajuste

F-A = es el factor de corrección de ajuste

3.1.21 Cálculo para el 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 3.14 para calcular el costo:

$$C_{energía} = E_{consumida} * P_{Kwh} \quad (3.14)$$

Dónde:

C_{energía} = es el consumo energético de la máquina

E_{consumida} = es la energía consumida en la operación

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

3.1.21.1 Cálculo para la energía consumida

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

(3.15)

Dónde:

P = Es la potencia de la máquina

t = Tiempo de funcionamiento expresado en horas

3.1.21.2 Cálculo de potencia:

$$P = I * V$$

(3.16)

I = Es la corriente

V = Es el voltaje de línea

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.

3.1.21.3 Consumo económico diario

En el Ecuador el precio de KWh es de 0,093 dólares:

$$C_{energia} = KW * 0.093\$$$

(3.17)

3.1.21.4 Consumo energético mensual

$$C.Proceso = \frac{Potencia(w) * tiempo de uso}{1000} = 2.254,4$$

Dónde:

Potencia(w) = Es la potencia total utilizada

Tiempo de uso = Tiempo de operacion mensual

3.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las pruebas experimentales en el prototipo de la máquina secadora rectangular de cacao se realizó una cantidad de cacao húmedo, a temperatura homogénea.

Se debe tener en cuenta los parámetros en referencia a la Norma técnica INEN 176.

3.2.1 Parámetros de trabajo a desempeñar en el prototipo de la maquina secadora rectangular de cacao.

Tabla 3.10: Parámetros iniciales para el secado de cacao

Nº	Parámetros	Cantidad	Disposición
1	Cantidad a secar	40 kg	Norma técnica INEN NTE 176
2	Humedad inicial del producto	45%	Norma técnica INEN NTE 176
3	Humedad final del producto	7%	Norma técnica INEN NTE 176
4	Temperatura del proceso	70°C	Norma técnica INEN NTE 176
5	Tiempo del secado	5 h y 30 min	Depende de la cantidad de masa

3.2.2 Resultados de análisis realizados en el cacao

Tabla 3.11: Resultados a análisis realizados en el cacao.

Nº Ecuación	Parámetro a calcular	Resultado
3.1	Contenido de humedad de fermentación de cacao	%Humedad = 45
3.2	Flujo másico de entrada de cacao húmedo	$\dot{m}_{\text{cacao-húmedo}} = 7.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
3.3	Flujo sólido seco	$\dot{m}_{\text{sin}} = 4.12 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

3.4	Cantidad de humedad que se desprenderá en el proceso	$\dot{m}_g = 3.38 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
3.5	Flujo másico de entrada de humedad	$\dot{m}_{w \text{ in}} = 3.37 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
3.6	Flujo másico de agua a la salida del secador	$\dot{m}_{w \text{ out}} = 0.21 \text{ kg agua /hora}$

3.2.3 Resultados para la selección de ventilador centrífugo

Tabla 3.12: Resultados para la selección de ventilador centrífugo.

Nº Ecuación	Parámetro a calcular	Resultado
3.7	Flujo volumétrico	$\dot{v} = 0.0231 \text{m}^3/\text{s}$
3.8	Volumen específico	$v_1 = 1.04 \text{m}^3/\text{kg}$

Según los cálculos realizados, seleccionar el ventilador centrífugo necesario para el secador, mismo que cumplirá con el proceso de secado mediante el flujo volumétrico es mismo que sea aproximado a $\frac{0.0231 \text{m}^3}{\text{s}}$. Para ello se debe convertir las unidades a las más usadas por los fabricantes.

3.2.3.1 Parámetros para la selección del ventilador centrífugo

Tabla 3.13: Parámetros para selección de ventilador centrífugo

Parámetros para selección de ventilador centrífugo	
Flujo volumétrico requerido	$\dot{v} = 0.0231 \text{m}^3/\text{s}$
Flujo másico requerido	$\dot{m}_a = 0.0221 \text{kg/s}$

3.2.3.2 Conversión a unidades más frecuentes para el fabricante, además sobredimensionamos un 25% a los datos obtenidos por rango de tolerancia.

Tabla 3.14: Conversión a unidades más frecuentes para el fabricante

Unidades de flujo	CFM	m ³ /min	m ³ /h
Resultado	49	1.40	83,16
Sobredimensionamiento 25%	61	1,67	103.7

A partir de los cálculos obtenidos se tiene claro que el ventilador centrifugo requerido deberá tener un caudal mínimo a 83,16 m³ / h.

Se ha decidido usar un ventilador centrifugo de 2 pulgadas y media que cumplirá con las exigencias del sistema, además se han realizado pruebas mediante un control de presión y velocidad, así asegurando los resultados de los cálculos realizados.



Figura 3.15: Ventilador centrifugo de 2 pulgadas y media

Tabla 3.15: Datos técnicos del ventilador centrifugo

Datos técnicos del ventilador centrifugo	
Potencia	¼ Hp→200 W
Voltaje	110 V
Rpm	3600
Frecuencia	60

3.2.4 Pruebas experimentales al ventilador centrífugo según el caudal de aire

Las pruebas realizadas al ventilador centrífugo se realizaron en sistema abierto y sistema cerrado.

3.2.4.1 Pruebas experimentales en sistema cerrado, cálculo por velocidad y presión

Las pruebas en sistema cerrado del ventilador centrífugo a diferente presión y velocidad determinó que la capacidad del ventilador en este sistema no abastecerá el caudal de aire.

Dando como valor máximo un caudal de 42.45 (m³/h) que es un valor insuficiente para el sistema de combustión.

Tabla 3.16: Pruebas en sistema cerrado.

Sistema cerrado		
Velocidad (m/s)	Presión (kpa)	Caudal (m ³ /h)
0	20	0
3,66	10	16,549056
5,39	12	24,371424
7,82	10	35,358912
8,08	10	36,534528
9,39	13	42,457824

3.2.4.2 Pruebas experimentales en sistema cerrado, cálculo por velocidad y presión

Las pruebas en sistema abierto determinaron que a la velocidad de 8.25 m/s y presión de 20 Kpa el caudal de aire es de 84 (m³/h), es el valor idóneo para la combustión en el prototipo de la máquina secadora de cacao.

Tabla 3.17: Pruebas en sistema abierto.

Sistema abierto		
Velocidad (m/s)	Presión (kpa)	Caudal (m ³ /h)
0,00	43,00	0,00
4,60	36,00	46,80
5,39	30,00	54,84
8,25	20,00	84
9,69	18,00	98,58
10,97	4,00	111,60
12,91	4,00	131,34
15,06	4,00	153,21

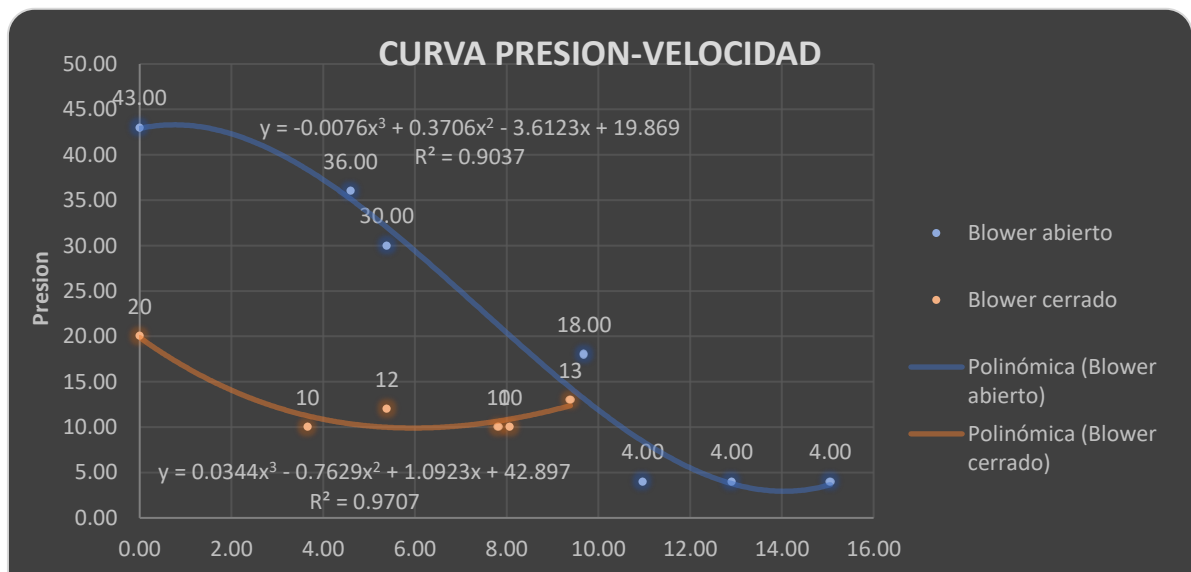


Figura 3.15: Curva presión-velocidad sistema abierto y cerrado

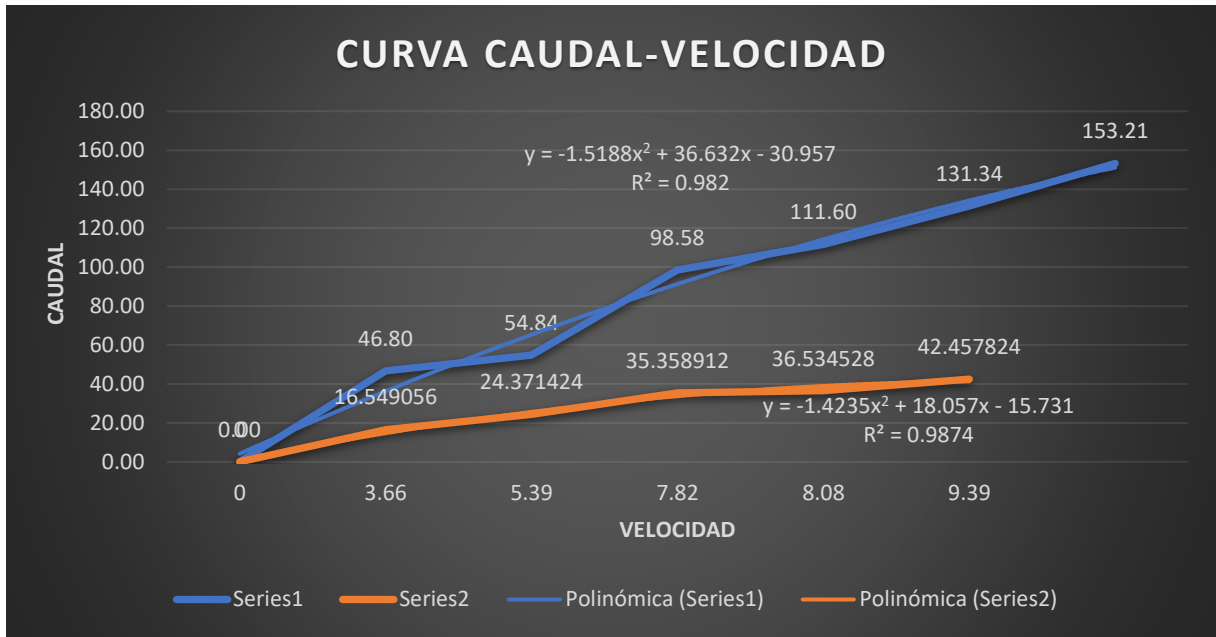


Figura 3.16: Curva velocidad-caudal entre sistema abierto y cerrado

Los resultados mostrados en la **Figura 3.16** y datos obtenidos mediante pruebas experimentales que el sistema necesita de una velocidad de 8.25 m/s y genera un caudal de $84 \text{ m}^3/\text{h}$ que es el requerido para el sistema de combustión.

Tabla 3.18: Análisis de caudal de aire.

Resultados	Porcentaje de ventilador centrífugo
83,16 m ³ /h el valor mínimo requerido	55 %
103 m ³ /h sobredimensionado un 25 %	67%
99.45 m ³ /h valor de estabilización	65 %

Según los valores de estudio el sistema se estabiliza con un 65% de la capacidad de trabajo del ventilador y estos valores concuerdan con los cálculos y experimentos realizados. Exactamente el sistema trabaja con un 10 % de sobredimensionamiento al valor mínimo requerido de caudal.

3.2.5 Pruebas experimentales de funcionamiento en vacío

Las pruebas en vacío se realizaron en 24 minutos para verificar el comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo, las condiciones de control de porcentaje de la válvula proporcional y el ventilador centrífugo para mantener la temperatura ideal de secado del cacao.

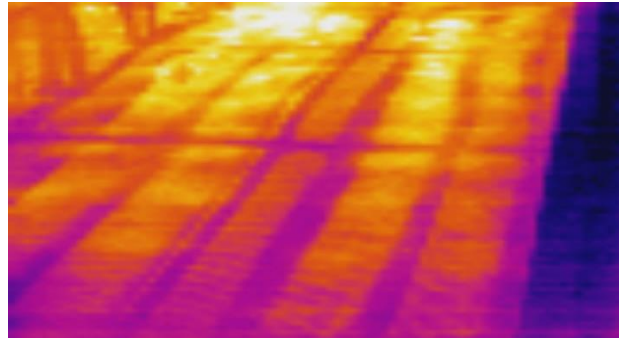


Figura 3.17: Distribución de calor observado desde la cámara térmica.

En la **Figura 3.17**, de acuerdo a los colores obtenidos desde el sensor infrarrojo el calor de la cámara mantiene una temperatura proporcional en cada región.

3.2.5.1 Parámetros de temperatura 3 termocuplas en vacío.

En la **Figura 3.18** se observa el comportamiento de la temperatura en un tiempo de 24 minutos.

Resultados termocupla 1

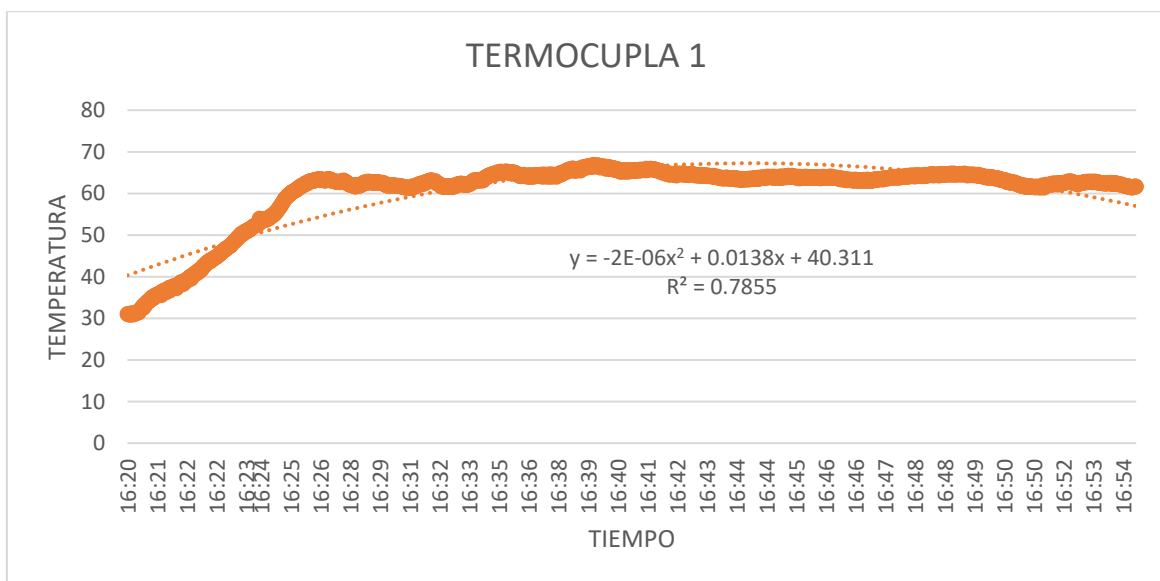


Figura 3.18: Curva de comportamiento de temperatura, termocupla 1.

Tabla 3.19: Resultados de pruebas experimentales en vacío termocupla 1.

Valores pruebas experimentales termocupla 1	
Temperatura inicial	30 °C
Tiempo en alcanzar la temperatura ideal	4 minutos
Temperatura ideal	62 °C
Temperatura promedio	62,38 °C

Resultados termocupla 2

En la **Figura 3.19** se observa los rebultados de las pruebas experimentales en vacío y el tiempo de trabajo de la máquina secadora rectangular de cacao, la temperatura promedio es de 62° C.

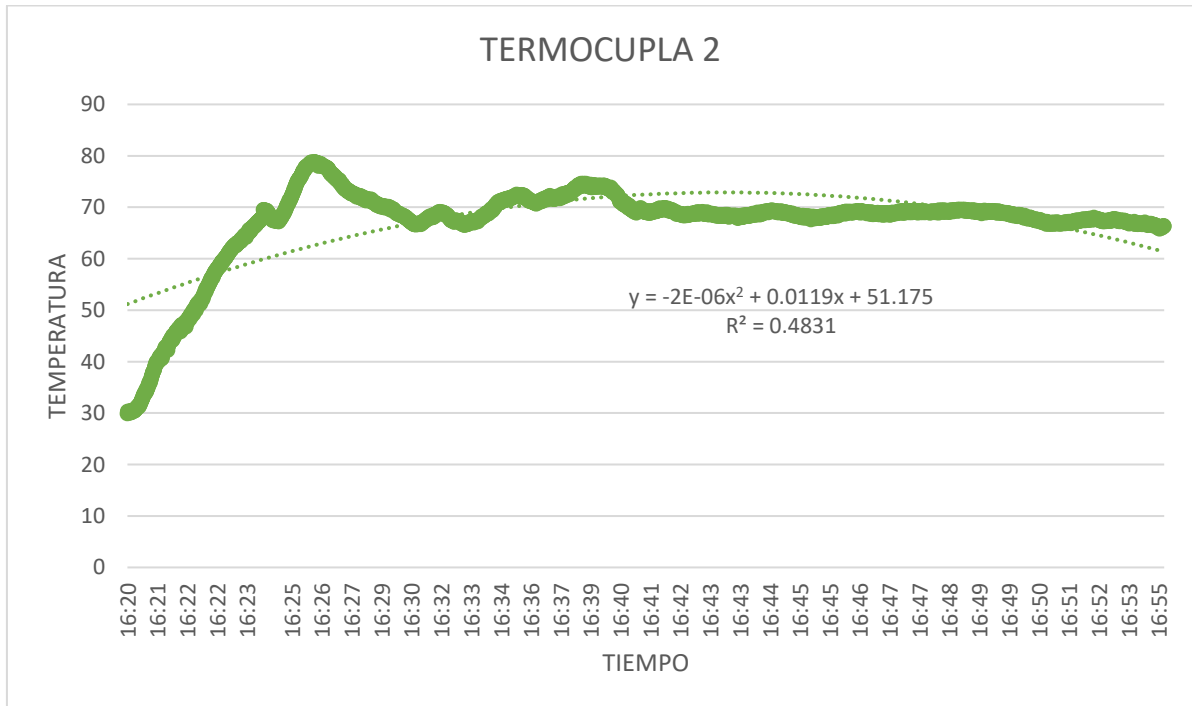


Figura 3.19: Cueva de temperatura-tiempo de termocupla 2.

Tabla 3.20: Resultados de pruebas experimentales en vacío termocupla 1.

Valores pruebas experimentales termocupla 2	
Temperatura inicial	29.87 °C
Tiempo en alcanzar la temperatura ideal	4 minutos
Temperatura ideal	68.3 °C
Temperatura promedio	67.08 °C

Resultados termocupla 3

En la **Figura 3.20** se muestra la curva de los datos tomados de las pruebas experimentales en vacío.

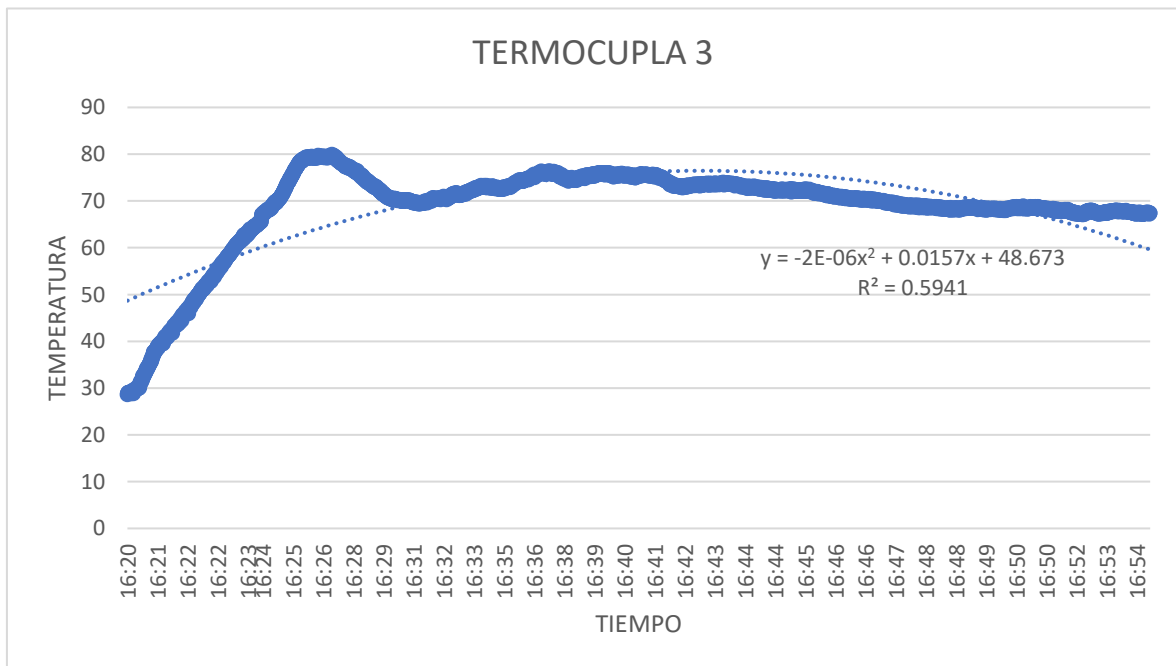


Figura 3.20: Curva de temperatura en la termocupla 3

Tabla 3.21: Valores termocupla 2 pruebas experimentales en vacío

Valores pruebas experimentales termocupla 3	
Temperatura inicial	28.65 °C
Tiempo en alcanzar la temperatura ideal	4 minutos
Temperatura ideal	70 °C
Temperatura promedio	68.78 °C

3.2.5.2 Análisis de temperatura pruebas experimentales en vacío

Las termocuplas son los indicadores que muestran las diferentes variaciones de temperatura en la cámara de secado.

Los sensores de temperatura con la lectura que realizan permiten actuar o detectar ciertos parámetros de control y emiten señales que ayudan accionar la válvula proporcional y el ventilador centrífugo para mantener la temperatura estable en el sistema.

3.2.6 Análisis de válvula proporcional pruebas en vacío

En la **Figura 3.21** se observa las variaciones de la válvula proporcional en el tiempo.

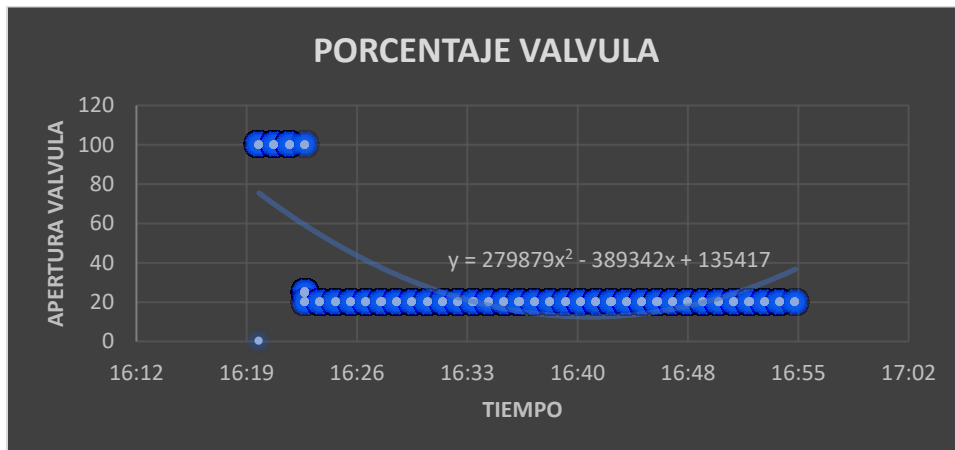


Figura 3.21: Comportamiento de válvula proporcional

La válvula proporcional actúa según la variación de temperatura en las termocuplas y realiza variaciones de apertura o cierre de la bola motorizada controlando la cantidad de GLP, según el sistema de combustión requiera.

3.2.6.1 Análisis de válvula proporcional y temperatura.

En la **Figura 3.22** se observa que válvula proporcional tiene un valor inicial de 0%, inmediatamente su apertura es al 100% con la condición de elevar la temperatura en el menor tiempo, después la válvula actúa según la temperatura para mantener un calor ideal.

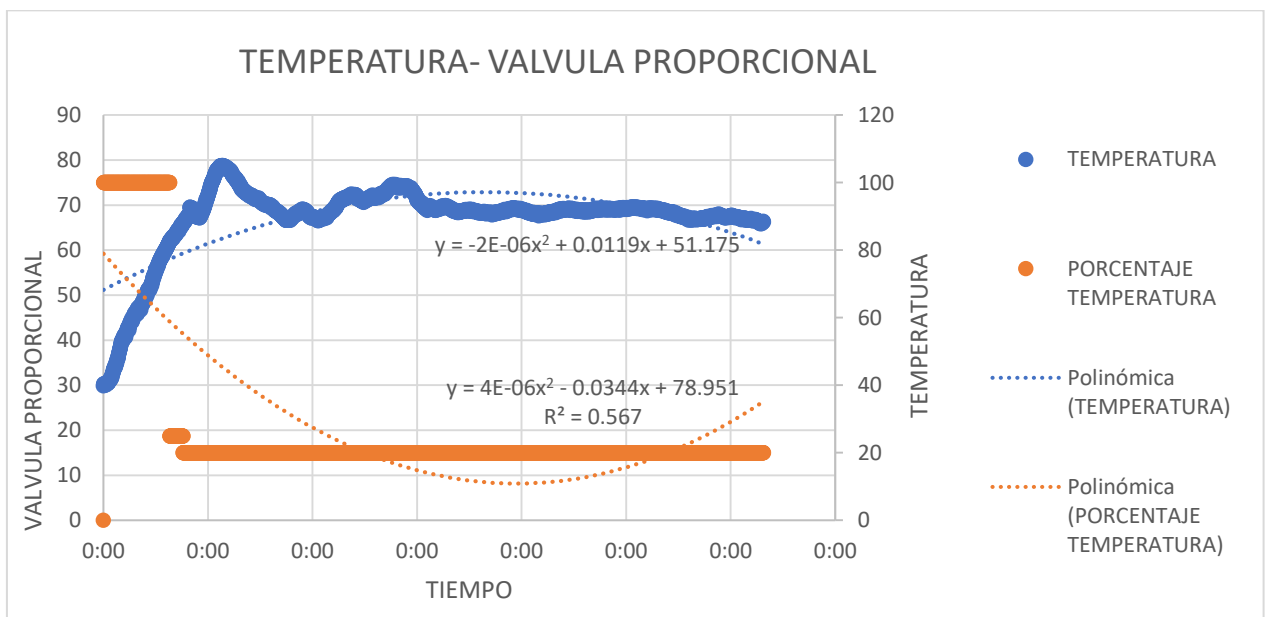


Figura 3.22: Curva entre temperatura y válvula proporcional.

3.2.7 Análisis ventilador centrífugo

En la **Figura 3.23** se observa las variaciones del ventilador centrífugo en el tiempo de trabajo.

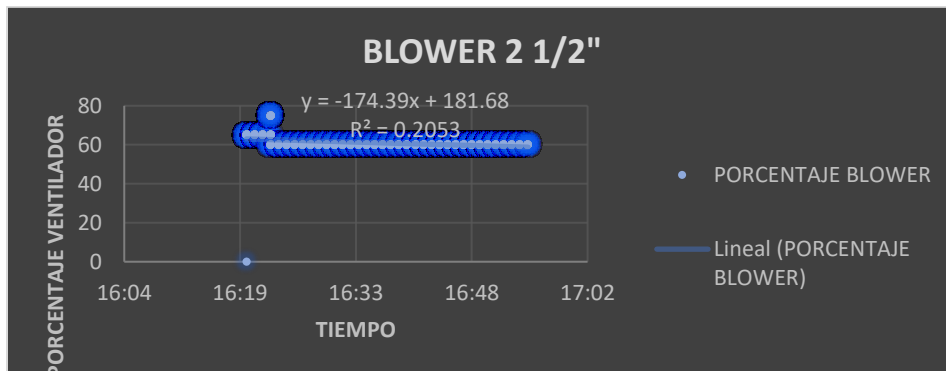


Figura 3.23: Curva tiempo-ventilador centrífugo.

3.2.7.1 Análisis ventilador centrífugo y temperatura

En la **Figura 3.24** se observa el comportamiento del ventilador centrífugo de acuerdo a la temperatura, este realiza diversas variaciones con la condición de mantener un sistema equilibrado, el aire forzado generado por el ventilador impulsa la llama producida por GLP y mantiene la relación llama-aire en la combustión, también se observa el ventilador se estabiliza a una temperatura y trabaja a $91 \text{ m}^3/\text{h}$ que representa el 65% de apertura a un sistema abierto.

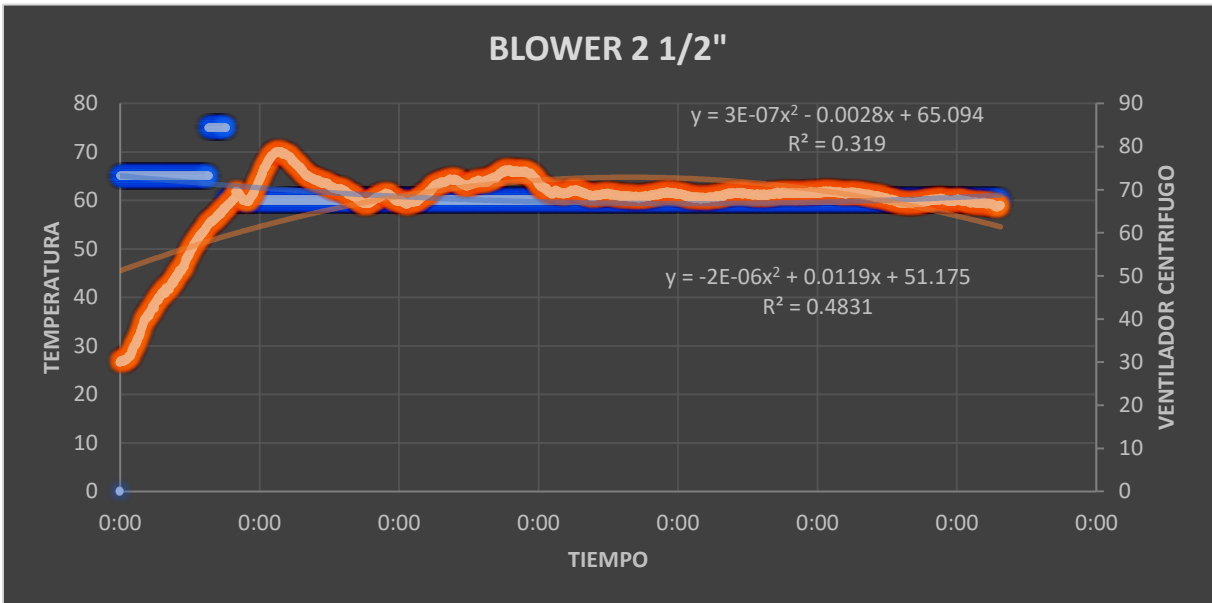


Figura 3.24: Curva entre ventilador centrífugo y temperatura.

3.2.8 Pruebas experimentales con carga

En la **Figura 3.25** se observa el cacao fermentado al 45% de humedad.



Figura 3.25: Cacao con 45 % de humedad.

En la **Figura 3.27** se observa el valor de humedad inicial, con un medidor que muestra el porcentaje de humedad interior del grano de cacao.

Para transformar el cacao crudo en un delicioso chocolate, la fermentación es un paso crucial.

El sabor y la acidez del producto terminado se desarrollan durante este paso, por ello que este proceso se lo ha realizado en 3 días para garantizar el sabor, aroma y propiedades del producto final.



Figura 3.26: Valor de humedad inicial.

En la **Figura 3.27** se observa el peso inicial de cacao con el 45% de humedad.



Figura 3.27: Peso inicial del cacao.

3.2.9 Comportamiento de las termocuplas con carga de 40 kg

Termocupla 1

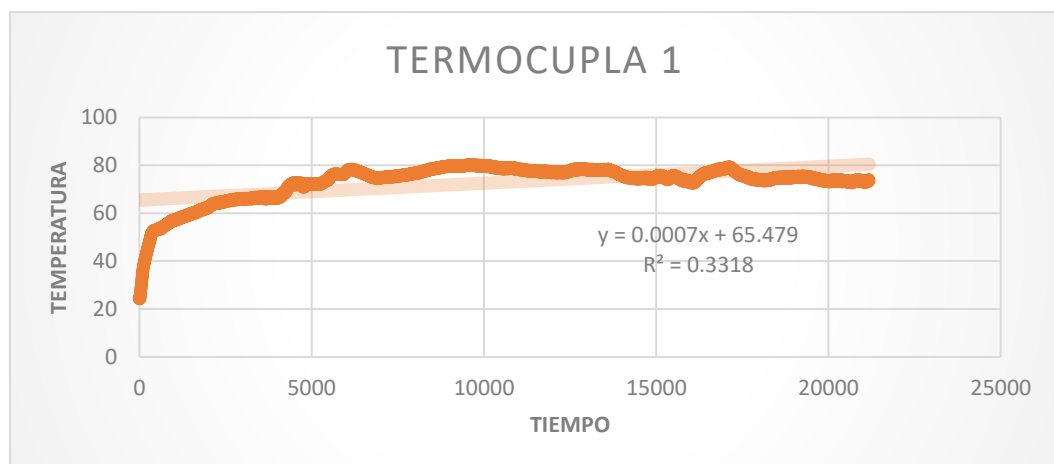


Figura 3.28: Curva de termocupla 1 en el proceso de secado.

En la **Figura 3.28** se observa el comportamiento de la temperatura en el proceso de secado, donde la temperatura mantiene un valor equilibrado para mantener el grano en condiciones propias de secado.

Tabla 3.22: Valores termocupla 1 con carga

Tabla 3.21: Valores de resultados en la termocupla 1

Valores pruebas experimentales termocupla 1	
Temperatura inicial	28 °C
Tiempo en alcanzar la temperatura ideal	4 minutos
Temperatura ideal	70 °C
Temperatura promedio	72.96 °C

Termocupla 2

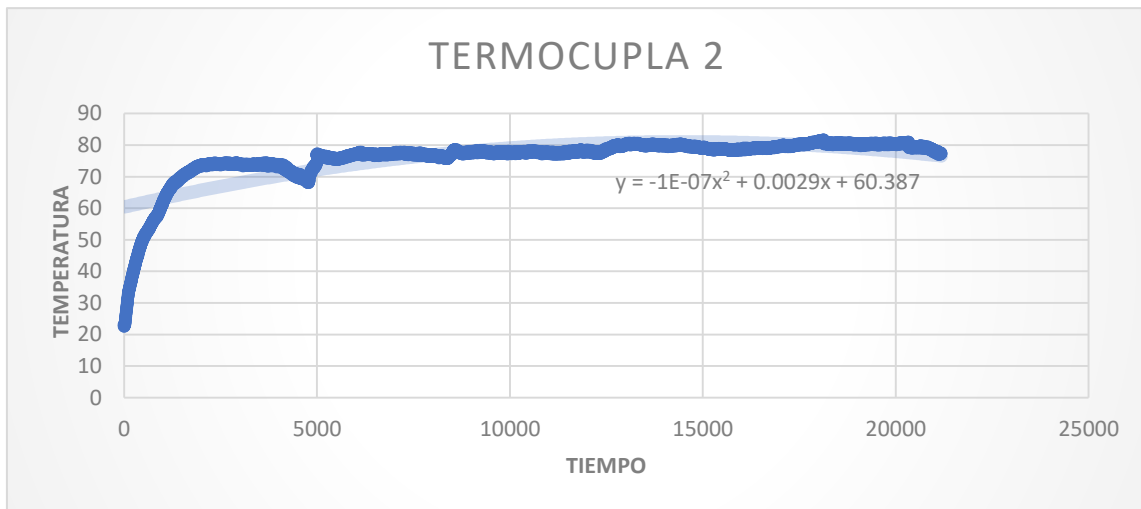


Figura 3.29: Curva de temperatura-tiempo en el proceso de secado de cacao.

En la **Figura 3.29** se observa la curva de temperatura en el tiempo de secado donde comienza desde la temperatura ambiente hasta la temperatura requerida de 70° C y este valor se mantuvo en todo el proceso de secado de cacao.

Tabla 3.22: Resultados de termocupla 2 con carga.

Valores pruebas experimentales termocupla 1	
Temperatura inicial	29.2 °C
Tiempo en alcanzar la temperatura ideal	4 minutos
Temperatura ideal	70 °C
Temperatura promedio	74.3 °C

Termocupla 3

En la **Figura 3.30** se observa la curva de la termocupla 2, inicia a temperatura ambiente, alcanza la temperatura de 70° C y el sistema se estabiliza manteniendo la temperatura en puntos estables,

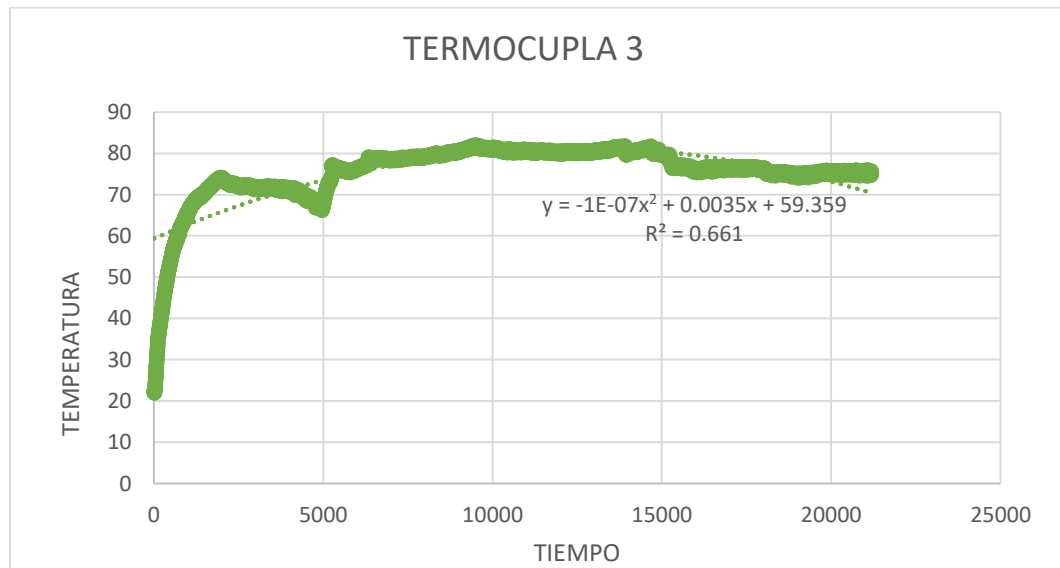


Figura 3.30: Cuerva de comportamiento termocupla 3 en el proceso de secado.

Las curvas de temperatura en los 3 sensores que tiene la cara de secado tienen valores similares y apropiados de acuerdo a estudios que es inferior a 80 ° para retener acidez y calidad del grano de cacao.

Tabla 3.23: Resultados finales de termocupla 3 en el proceso de secado.

Valores pruebas experimentales termocupla 1	
Temperatura inicial	28.5 °C
Tiempo en alcanzar la temperatura ideal	4 minutos
Temperatura ideal	70 °C
Temperatura promedio	74.8 °C

En las termocuplas el tiempo en alcanzar los 70 °C desde la temperatura ambiente tarda aproximadamente 4 minutos de temperatura se eleva hasta una temperatura máxima luego descende progresivamente hasta estabilizarse, esto mediante un trabajo simultáneo entre la válvula proporcional y el ventilador centrífugo.

La temperatura promedio de cada termocupla y los resultados de los análisis fueron los siguientes: En la termocupla 1 la temperatura promedio en 5h y 30 minutos de operación fue de 72° C, en la termocupla 2 se observa una variación de 3 °C mayor a la termocupla 1, en el mismo tiempo de producción, y en la termocupla 3 mantenemos una temperatura similar a la termocupla 2, de acuerdo a los resultados la temperatura promedio es de 74 °C en el proceso de secado.

3.2.9.1 Evaluación de temperatura con la cámara térmica

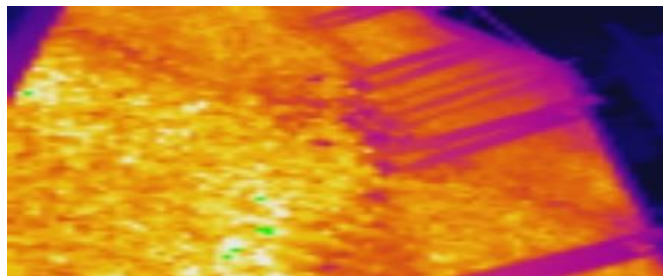


Figura 3.31: Distribución de calor con carga vista desde la cámara térmica.

En la **Figura 3.31** se observa la distribución de calor por toda la cámara de secado con carga de 45 kg de cacao, la variación de temperatura en comparación con los sensores de temperatura es de 10 °C un valor ideal para el secado del producto, el color emitido desde la cámara térmica es uniforme y muestra una tonalidad rojiza por el nivel de calor producido del sistema.

En las pruebas experimentales con carga la temperatura se eleva de acuerdo a la cantidad de masa de cacao que está en cada lote de la cámara de secado, como se observa en la figura, y a la representación de colores se puede verificar que mantenemos un calor uniforme en cada parte de la cámara de secado y esto nos proporciona un secado seguro, estable e idóneo.

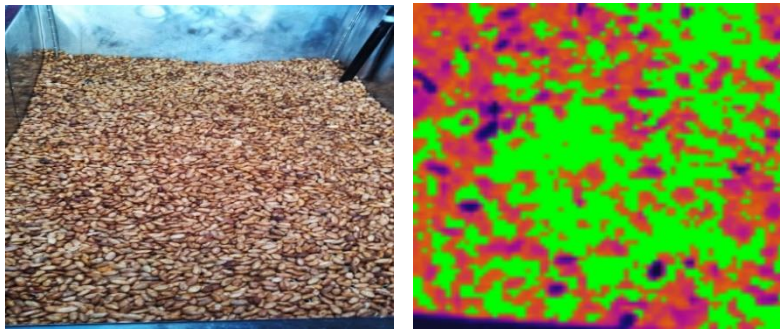


Figura 3.32: Vista tomada desde la cámara térmica con carga de cacao.

3.2.10 Parámetros finales en el proceso de secado

Como se observa en la **Figura 3.33** después de un proceso de secado que tardó alrededor de 5 horas y 30 minutos la masa de cacao se redujo de 40 kg a 22 kg y el valor de la humedad es del 7% lo cual es el rango de secado. La relación entre el cacao antes del proceso y después del proceso evidencia una reducción del 55% de la masa de cacao. Esto debido a la pérdida de humedad en el proceso de secado.



Figura 3.33: Peso de cacao final al 7% de humedad.

Como también se muestra en la **Figura 3.33** podemos observar los últimos parámetros registrados en todo el proceso como el porcentaje final de apertura de la válvula proporcional

que trabaja a un 20% de su capacidad, el parámetro final del ventilador centrifugo es del 60 % y equivale a $90,6 \text{ m}^3/h$.

Tabla 3.25: Parámetros finales pruebas experimentales con carga

Parámetros finales de la prueba experimental	
Temperatura ambiente	24° C
Temperatura final del proceso de secado	72 °C
Peso inicial	40 kg
Peso final	22 kg
Humedad inicial del cacao	45 %
Humedad final del cacao	7%
Peso inicial GLP	38 kg
Peso final GLP	22 kg
Tiempo de secado	5h y 30 m

En las pruebas realizadas los resultados fueron los siguientes y se analiza que con 5h y 30m la masa de cacao disminuyó en 18 kg o el 55 % de su peso inicial hasta llegar al 7% de humedad.



Figura 3.34: Humedad final del cacao.

Después de un tiempo estimado de 5h y 30 minutos se llegó a los valores ideales del grano seco se cacao, en este porcentaje de humedad el cacao puede ser procesado o ser vendido al mercado.

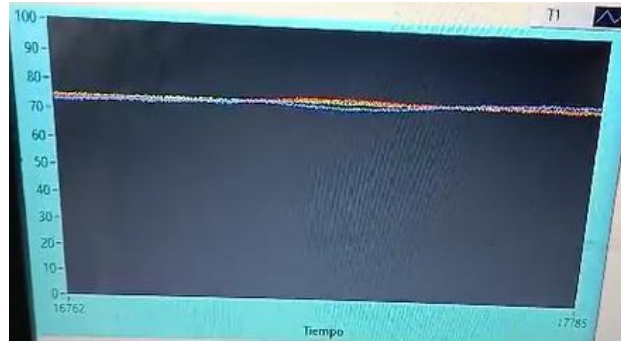


Figura 3.35: Últimas señales de temperatura obtenidas por el software LabVIEW

Como se observa en la **Figura 3.35** los parámetros de temperatura en la última hora de trabajo se estabilizan, es decir la temperatura tendrá valores aproximados en cada parte de la cámara y la temperatura promedio fue de 72°

3.2.11 Curva temperatura vs peso en el tiempo de secado.

En la figura se observa el comportamiento de la temperatura promedio en la cámara versus la pérdida de masa, como se observa la mayor cantidad de masa se elimina en la primera hora mientras la temperatura se eleva y se mantiene constante la masa perdida en el secado fue de 18 kg a una temperatura $^{\circ}\text{C}$.

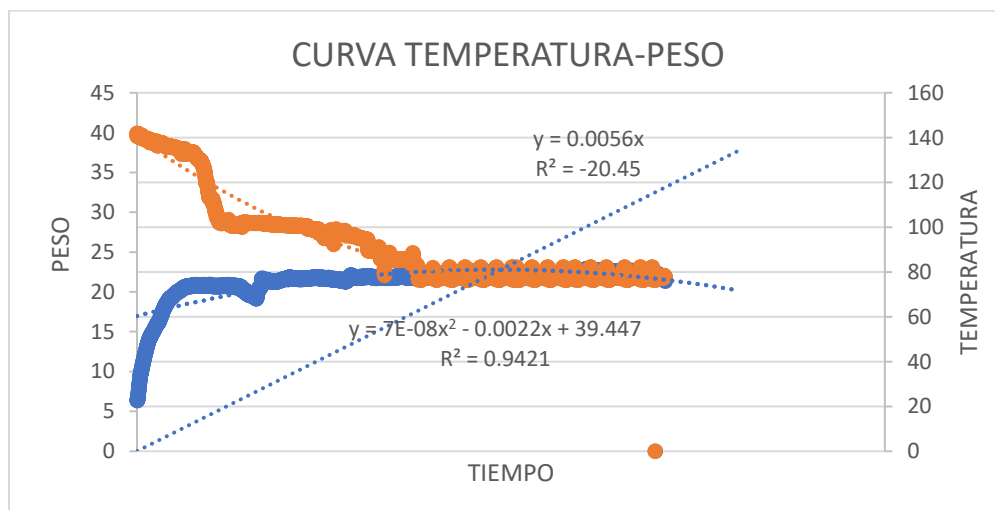


Figura 3.36: Curva de pérdida de peso según la temperatura.

3.2.12 Curva relación humedad-peso en el proceso de secado

En la **Figura 3.37** se observa la relación entre la humedad y peso de la masa al iniciar el proceso es de 40 kg y al finalizar fue de 22 kg de la misma manera se ve la curva de pérdida de humedad en el tiempo hasta alcanzar un valor de humedad del 7%.

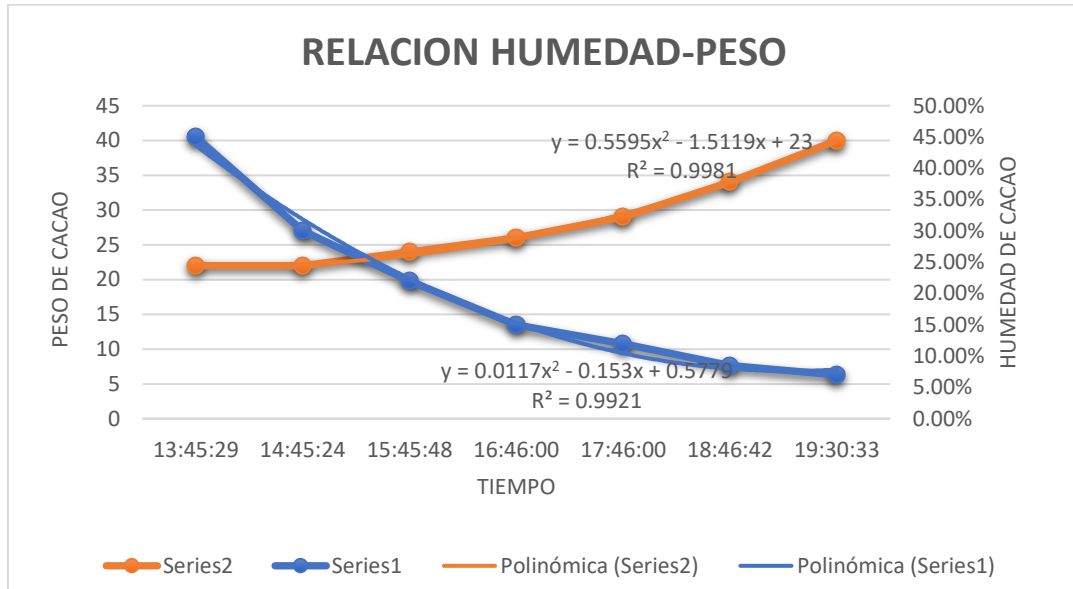


Figura 3.37: Curva humedad-peso en el proceso de secado.

3.2.13 Ampacidad para los elementos de control

Tabla 3.24: Ampacidad de cada componente eléctrico.

Elemento	Potencia (W)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Intensidad de Carga (A)	Factor de temperatura (A)	Corrección de ajuste (A)
Válvula proporcional	12	24	0.5	0.8585	0.8585	0.8585
Relé	32.4	120	0.27	0.4219	0.4219	0.844
Pantalla nextion	5	24	0.20	0.7154	0.7154	0.7154
Ventilador centrifugo	200	120	1.67	4.8177	5.2952	5.2952

Luces piloto	9	120	0.0938	0.1172	0.1172	0.234
Control de fase	76.8	120	0.8	1	1.149	2.299
Fuente de 24V	130	120	1.0.8	1.703	1.958	3.915
TOTAL	2708.2		4.61	17.2728	19.616	26.0588

Según la tabla el cable de alimentación es cable 12 AWG.

3.2.13.1 Selección del cable para el tablero de control

Tabla 3.25: Intensidad de ajuste para selección del cable para el gabinete eléctrico.

Intensidad de ajuste (A)	Cableado
0.8585	22 AWG
0.844	18 AWG
0.7154	18 AWG
5.2952	18 AWG
0.234	18 AWG
2.299	18 AWG
3.915	18 AWG
Carga total	
14.02	12 AWG

Según los cálculos realizados el tipo de cable apropiado de acuerdo a la carga total y el cálculo de la intensidad de ajuste es el 12AWG que soporta hasta 25 A y una temperatura de 90°C.

3.2.14 Consumo energético

Para determinar el coste de energía de debe considerar ciertos parámetros eléctricos, el tiempo de trabajo del equipo y así obtener un costo de producción:

El equipo está diseñado para secar un quintal de cacao que, con un tiempo de secado de 5 horas y 30 minutos, en la siguiente tabla se expresa valores para proceso diario y mensual.

Tabla 3.26: Tiempo de secado de cacao mensual.

Secado por día		Secado mensual	
Tiempo (h)	Peso (Kg)	Tiempo (h)	Peso (Kg)
5.30	40	180	1200

Tomando en cuenta los datos de potencia de cada componente eléctrico que interviene en la producción de secado de se obtiene la energía consumida los valores se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3.29: Consumo de energía de cada componente de la secadora rectangular.

ELEMENTO	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	TIEMPO (H)	ENERGÍA CONSUMIDA (KWH)
Válvula proporcional	0.5	110	55	5.30	0.29
Relé	0.27	110	29.7	5.30	0.15
Pantalla nextion	0.20	110	20	5.30	0.10
Ventilador centrifugo	1.67	110	183.7	5.30	0.97
Luces piloto	0.0938	110	20.9	5.30	0.11
Control de fase	0.8	110	8	5.30	0.88
Fuente de 24v	1.08	110	118.8	5.30	0.62
TOTAL					3.12

Se tiene en cuenta la potencia instalada para la puesta en marcha de la máquina, teniendo en cuenta que la potencia de todo el sistema es de 3.12 kW y la máquina tarda 5 horas y 30 minutos en completar el proceso de secado de 40 kg de cacao, en la siguiente tabla se visualiza el consumo diario y mensual.

Tomando en cuenta según el Ministerio de trabajo, el mes tiene 20 días laborables con una jornada laboral de 8 horas al día.

Y mediante resolución ARCERNNR-009/2022 se determinó que el kilovatio hora en Ecuador equivale en 9,3 centavos de dólar.

Tabla 3.27: Consumo diario y mensual

	Potencia (Kw)	Costo de producción (\$)
Consumo diario	3.12	0.29
Consumo mensual	105.96	9.58

El costo de energía al día será de \$0.29 y consumida al mes será de \$9, 58.

3.2.15 Consumo de GLP en el proceso de secado con válvula proporcional

Para determinar el consumo de GLP en el proceso de secado se pesó el tanque de gas antes de iniciar la prueba experimental y al finalizar la prueba dando así los siguientes parámetros de consumo:

- Peso inicial del GLP 34.18 kg
- Peso final del GLP 22 kg
- Poder calorífico del GLP 11.867kcal/kg

Tabla 3.28: Cálculo del costo de consumo de GLP.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Costo de 15 Kg de GLP con subsidio en Ecuador \$2.5	$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo 15 kg GLP}}{\text{Cantidad util de GLP}}$	\$0.17
Costo de 15 Kg de GLP PVP subsidiado en ECUADOR \$3	$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo 15 kg GLP}}{\text{Cantidad util de GLP}}$	\$0.20
Costo de 15 Kg de GLP precio sin subsidio en ECUADOR = \$15.1	$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo 15 kg GLP}}{\text{Cantidad util de GLP}}$	\$1

Tabla 3.29: Consumo económico de GLP por producción diaria

Peso (kg)	Costo (\$)
Peso inicial 34.18	Costo: 2.43
Peso final 22	Costo: \$1.56
Consumo: 12.8	Consumo: \$0.87

El valor del subsidio en Ecuador se mantiene en un valor referencial de USD 1,60 por bombona de 15 kg de GLP, sin embargo, este valor no se alcanza en su totalidad debido al P.V.P de USD 2.5 después de la cadena de distribución al mayorista, en todo caso la operación, se considera que el costo es el precio mayorista, la variación es de 12.4 kg dependiendo del peso inicial y peso final del producto. El proceso de secado de 5 horas:30 minutos y 40kg consumirá 12.18

kg de GLP con la válvula proporcional, lo que tendrá un costo de \$0.87 en producción diaria, y para la producción mensual tendrá un consumo de \$17,4 y esto representa para 1200 Kg de secado de cacao.

El combustible como el GLP de acuerdo al subsidio del gobierno lo convierte en energía económica y sustentable para cualquier actividad.

Según el análisis de combustible de la máquina secadora rectangular de cacao el consumo del GLP abastece para 3 procesos de secado con la válvula proporcional de 12.7 mm de diámetro.

3.2.15.1 Evaluación de rendimiento del consumo de GLP entre válvula proporcional y método manual.

El consumo de GLP de importante en el proceso de secado puesto que es la fuente de energía de la máquina secadora rectangular de cacao, por lo tanto, se hace una evaluación del rendimiento por los 2 métodos planteados.

Tabla 3.30: Análisis económico método manual y válvula proporcional.

	Consumo (Kg)	Consumo económico (\$)
Válvula proporcional	12.8	0.87
Método manual	14.5	0.98

En la tabla anterior se visualiza los parámetros de consumo entre los 2 métodos, la válvula proporcional consume menos cantidad de GLP exactamente un 12% de ahorro energético, es decir en cada operación diaria ahorramos \$ 0.11 y esto proporciona un ahorro mensual de \$ 2.2, el costo de la válvula proporcional es de \$ 180 la inversión del equipo se recupera en 82 días laborables o 4 meses y un día.

3.2.15.2 Ventaja del uso de la válvula proporcional ante el método manual

Al contrario del método manual, la válvula proporcional genera respuestas rápidas, soportan grandes presiones, no requieren de operación manual, facilitan el control y automatización del proceso de secado y desempeña el trabajo con gran precisión.

3.2.15.3 Evaluación de rendimiento del ventilador centrifugo

Tabla 3.31: Caudal de aire entre equipo anterior y actual.

	Equipo anterior	Equipo actual
Caudal	103 CFM	50 CFM

En las pruebas anteriores se usó un motor que estaba sobredimensionado un 206 % y esto provoca importantes pérdidas de rendimiento en el funcionamiento adecuado, así como sobrecostos si se utiliza en los sistemas de accionamiento normalmente funcionan con cargas entre el 50 % y el 100 % de su potencia nominal, con un rendimiento máximo cercano al 75 % de la potencia nominal.

Si se apuesta por sobredimensionar el reductor, el rendimiento del motor se verá afectado cuando las cargas sean inferiores al 50%, como lo demuestra el hecho de que disminuya drásticamente con cargas inferiores al 50%, con esto también se aumenta los costes de consumo de energía.

Ante lo mencionado se ha seleccionado un ventilador centrifugo que opere hasta 8 horas diarias, evitando perdidas de caudal, obteniendo un ahorro energético y un rendimiento propio para el proceso de secado.

3.2.16 Evaluación de rendimiento con pruebas experimentales anteriores

Tabla 3.32: Parámetros de rendimiento y comparativa entre 2 procesos

Parámetros	Pruebas experimentales anteriores	Pruebas experimentales actuales
Temperatura promedio	63.47 ° C	72 ° C
Tiempo es estabilizar la temperatura	4 a 5 minutos	8 a 10 minutos
Masa a sacar	42.2kg	40 kg
Masa final del proceso	30.10 kg	22 kg
Humedad inicial	33.6%	45%
Humedad final	7 %	7 %
Tiempo estimado	3 h y 10 min	5 h y 30 min

Realizando una evaluación entre las dos pruebas experimentales se puede visualizar que los datos son similares con la variación en el porcentaje inicial de humedad, donde en las pruebas anteriores se realiza con un 33.6% al contrario de las pruebas actuales que la cantidad de humedad fue de un 45 % y esto con conlleva a variaciones en los resultados finales como el peso final del cacao, el consumo de GLP, y el tiempo de secado.

3.2.17 Costo de operación del proceso de secado sin mano de obra

Tabla 3.33: Coste de operación sin mano de obra

Proceso	Cantidad (kg)	Costo de operación (\$)
Secado de cacao (60-40% a 7% de humedad)	40	1,15
	1200	26,98

El costo de operación para 40 kg sin mano de obra tiene un valor de \$1,15 y el valor de costo para 1200 kg, da un valor de \$26,98.

Considerando que por el tiempo que tarda el proceso de secado se debe realizar una producción diaria.

3.2.17.1 Costo de operación del proceso de secado con mano de obra

Después de calcular los costos de operación, debe agregarse un costo por la mano de obra de un trabajador que estará a cargo de poner en marcha la máquina y remover el grano de cacao cada 10 minutos.

El salario básico a partir de enero del 2023 en Ecuador es de \$450, esto dividido, para los 20 días laborables al mes, y 8 horas de trabajo, se obtiene un costo por hora de trabajo con mano de obra de \$2.8 considerando que el tiempo de secado dura 5 h y 30 minutos.

Tabla 3.34: Coste de operación con mano de obra.

Proceso	Cantidad (kg)	Costo de operación (\$)
Secado de cacao (60-40% a 7% de humedad)	40	16
	1200	480

El costo de operación incluyendo mano de obra de 40 kg equivale a \$6 y el costo de operación para 1200 kg o una producción mensual equivale a \$ 480.

3.2.18 Utilidad mensual de la máquina secadora rectangular de cacao

Anteriormente con los resultados obtuvimos un costo de operación diaria con mano de obra es de 16\$, al usar la máquina para secar el cacao.

Con los datos económicos realizados obtenemos una rentabilidad económica por el servicio de alquiler en un centro de acopio llega a costar hasta \$40, la utilidad diaria será de \$ 16 y mensual de \$320 al mes. Debido a que los negocios de secado cuentan con equipos con capacidades muy grandes de hasta 300 qq, deciden servir como centros de acopio.

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

3.3.1 Evaluación técnica

La máquina secadora rectangular de cacao opera de manera automática por parámetros establecidos en la programación y calibración de la válvula proporcional y ventilador centrífugo, con la finalidad de mantener la temperatura estable inferior a 80 ° C, en las pruebas experimentales se realizó el proceso para reducir tiempo y recursos, conservando las propiedades físicas del cacao.

3.3.2 Evaluación social

El prototipo de la investigación experimental ayuda a los pequeños agricultores maximizando la producción de secado de cacao, reduciendo recursos energéticos con la finalidad de trabajar en condiciones óptimas.

3.3.3 Evaluación económica

A continuación, se detallará es aspecto financiero de la evaluación de rendimiento de cacao, los costos directos e indirectos en la propuesta tecnológica.

3.3.3.1 Costos directos

Tabla 3.35: Costos que intervinieron directamente en la investigación.

Materiales	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Gabinete eléctrico	1	\$45	\$45
Arduino mega	1	\$ 25	\$25
Resistencias de 250 ohmios	4	\$0.04	\$0.16
Pantalla Nextion	1	\$65	\$65
Fuente de LOGO	1	\$80	\$80
Resistencias de 390 ohm	12	\$0.04	\$0.48
Borneras de 2p azules	2	\$0.25	\$0.50
Bornera de 2 p verde	4	\$0.20	\$0.80
Paro de emergencia	1	\$5	\$5
Luz piloto	2	\$4	\$8

Pulsador NA + disyuntor	2	\$8	\$8
Relé electromecánico	1	\$6.25	\$6.25
Relé de estado sólido 40 A	1	\$18	\$18
Cable N° 18	10	\$0.30	\$3
Cable concéntrico 3*12	20	0.65	\$13
Canaleta	1	\$7	\$7
Riel	1	\$9	\$9
Válvula proporcional	1	\$200	200
Módulo de cocina eléctrica	1	\$10	\$10
Ventilador centrifugo	1	\$45	45
Costo total			\$549.96

3.3.3.2 Costes indirectos

Costes que no intervienen directamente al proceso de investigación.

Tabla 3.36: Costes indirectos como transporte, comida, cacao u otros.

Insumo	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Varios	Cacao, combustible, comida y transporte	10 días	\$150	\$150
Mantenimiento de cámara de secado	Se realizó un mantenimiento de la máquina para garantizar un trabajo óptimo	2 días	\$40	\$40
Mano de obra	Mano de obra	30 días	\$200	\$200
Costo total				\$390

3.3.3.3 Costo total de implementación

Tabla 3.37: Costos totales en la investigación realizada

Detalle	Costo
Costos directos	\$546,96
Costos indirectos	\$390
Costo total	\$936,96

3.4 CONCLUSIONES DEL PROYECTO

3.4.1 CONCLUSIONES

- Al realizar las pruebas experimentales la reducción de humedad el 45% al 7% se dio en un tiempo de 5h y 30 minutos, a la temperatura ideal secado del grano de cacao. manteniendo las propiedades del grano según investigaciones realizadas.
- El uso de la válvula proporcional permite un control exacto evaluando el consumo de GLP, que fue de 12.8kg, además el uso de un ventilador centrífugo que trabaje a 84 m^3/ha apropiado evita pérdidas energéticas, sobredimensionamiento en el sistema y permite una correcta fusión entre gas y aire forzado manteniendo una temperatura ideal de secado.
- Evaluando los procesos de secado se evitó pérdidas en el sistema, un control de cada parámetro que interviene en el proceso de secado permitió ahorrar recursos energéticos, y consumo de GLP estableciendo comparativas de evaluación.

3.4.2 RECOMENDACIONES

- Continuar secando el cacao al nivel de humedad ideal; sin embargo, debido a que el secado del cacao tiende a tomar mucho tiempo y requiere más energía, primero debe fermentarse.
- Realizar un sistema eléctrico que permita remover el cacao cada 5 minutos de manera automática, con esto disminuiríamos costos de operación, manteniendo las propiedades del cacao para la comercialización.
- La temperatura debe ser uniforme en la cámara para evitar dañar el grano de cacao y así generar pérdidas económicas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima”, Consultado: el 16 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf>
- [2] C. De, I. Mecánica, A. Fabián, B. Guailas, J. Carlos, y L. Juca, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA ‘DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA HÍBRIDA DE SECADO DE GRANOS DE CACAO CON SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA’ Autores”. Consultado: el 16 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17131/1/UPS-CT008186.pdf>
- [3] E. L. Mejoramiento, D. V. Agregado, y D. Cacao, “UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE CIENCIA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS Y BIOQUÍMICA CARRERA: INGENIERIA EN ALIMENTOS "INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE SECADO EN”.
- [4] I. E. Mecatrónica, “DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE”, 2015.
- [5] C. Ricardo, J. Yépez, F. Alexander, y A. Muñoz, “ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.
- [6] J. Patricia, S. Quezada, y I. Químico, “UNIVERSIDAD DE CUENCA Fundada en 1867 TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE”.
- [7] “Ecuador, la tierra del cacao – Servicios”. <https://www.derechosintelectuales.gob.ec/ecuador-la-tierra-del-cacao/> (consultado el 16 de enero de 2023).
- [8] J. E. Orna Chávez, N. Chuquín, L. Saquina, y O. Cueva, “Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg”, *Enfoque UTE*, vol. 9, núm. 2, pp. 159–174, jun. 2018, doi: 10.29019/ENFOQUEUTE.V9N2.185.

- [9] “Cacao criollo, trinitario y forastero ¿Conoces la diferencia? | Le Vice Chocolat”. <https://levicechocolat.com/article/cacao-criollo-trinitario-y-forastero-conoces-la-diferencia> (consultado el 16 de enero de 2023).
- [10] “Tipos de cacao: forastero, criollo y trinitario - Cocina y Vino”. <https://www.cocinayvino.com/mundo-gourmet/tipos-cacao-forastero-criollo-trinitario/> (consultado el 16 de enero de 2023).
- [11] “Temporada de cosecha de Cacao”. https://exportadoraerazo.com/blog_post/0013-temporada_de_cosecha.html (consultado el 17 de enero de 2023).
- [12] P. I. Rocío y V. Arrunátegui, “FUNDAMENTOS DEL SECADO DEL CACAO”.
- [13] “MÉTODOS DE SECADO DE CACAO ~ Poscosecha Cacao”. <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html> (consultado el 17 de enero de 2023).
- [14] “Clasificación y aplicación de ventiladores industriales”. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventiladores-industriales/> (consultado el 19 de enero de 2023).
- [15] “UNE 100-230-95 : ventiladores : recomendaciones para el acoplamiento al sistema de distribución - Universidad Politecnica de Madrid”. https://ingenio.upm.es/primo-explore/fulldisplay/34UPM_ALMA2165703080004212/34UPM_VU1 (consultado el 19 de enero de 2023).
- [16] “Hojas técnicas Leyes de los ventiladores – S&P”. <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-leyes-de-los-ventiladores/> (consultado el 19 de enero de 2023).
- [17] “¿QUÉ SON Y PARA QUÉ SIRVEN LAS VÁLVULA PROPORCIONALES? – Distritec”. <https://www.distritec.com.ar/que-son-y-para-que-sirven-las-valvula-proporcionales/> (consultado el 22 de enero de 2023).
- [18] “Módulo DAC MCP4725”. <https://naylorlampmechatronics.com/conversores/175-modulo-dac-mcp4725.html> (consultado el 22 de enero de 2023).

- [19] “¿Qué es una celda de carga y sus diferentes tipos? – Blog Logicbus”.
<https://www.logicbus.com.mx/blog/que-es-una-celda-de-carga-cuales-son-los-diferentes-tipos-de-sensores-de-fuerza-y-como-funcionan-en-la-medicion-de-fuerza/>
(consultado el 5 de agosto de 2023).
- [20] “Caja sumadora para células de carga y sensores de fuerza - Sensing, Sensores de Medida”. <https://sensores-de-medida.es/catalogo/caja-sumadora-para-celulas-de-carga-y-sensores-de-fuerza/> (consultado el 5 de agosto de 2023).
- [21] “Amazon.com: Válvula de bola eléctrica motorizada con control integral proporcional de acero inoxidable NPT de 2 vías 1/2 ‘3/4’ 1-1/4 "12V/24VCC 4-20ma/0-10V/0-5V de acero inoxidable NPT proporcional control integral motorizado (1/2 pulgada, 4-20ma) : Industrial y Científico”. https://www.amazon.com/-/es/el%C3%A9ctrica-motorizada-proporcional-inoxidable-motorizado/dp/B0B39L5BJN/ref=sr_1_6?crid=1YWYQ24KH66RQ&keywords=valvula%2Bproporcional&qid=1690173699&srefix=%2Caps%2C161&sr=8-6&th=1
(consultado el 23 de julio de 2023).

ANEXOS

ANEXO 1: Características técnicas de la válvula proporcional

Descripción del producto

Parámetro técnico:

- Ⓞ Modelo: A20-M15-S2-C;
- Ⓞ Voltaje de funcionamiento: 9-24VDC;
- Ⓞ Dimensión de la válvula: conexión de rosca hembra NPT de 1/2 pulgada, orificio completo de 0.591 in.
- Ⓞ Método de control: control de señal eléctrica 4-20ma;
- Ⓞ Material del cuerpo de la válvula: Acero inoxidable 304 (CF8) sin plomo;
- Ⓞ Material del actuador: Plásticos de ingeniería;
- Ⓞ Tiempo abierto/cerrado: alrededor de 3-5 segundos. ;
- Ⓞ Medios adecuados: aire, agua, aceite;
- Ⓞ Potencia: Max 2 vatios;
- Ⓞ Anulación manual: No;
- Ⓞ Indicador: Sí;
- Ⓞ Máx. Fuerza de par para el subastador: 4 N.M;
- Ⓞ Longitud de los cables: 1.6 ft;
- Ⓞ Presión máxima de trabajo: 145 PSI (1.0 MPA);
- Ⓞ Temperatura del líquido: 32 ° ~ 212 ° F (0 ° ~ 212.0 °F);
- Ⓞ Temperatura ambiente: 5 ~ 122 F (-15 ° ~ 122.0 °F);

Aplicación:

- Ⓞ HVAC;
- Ⓞ Tratamiento de agua;
- Ⓞ Proceso químico;
- Ⓞ Pequeño equipo industrial para control automático;
- Ⓞ Sustitución de la válvula electromagnética, particularmente cuando el solenoide no puede funcionar de manera confiable;
- Ⓞ Sistemas de control automático;
- Ⓞ Ahorro de agua eficiente, equipo de agua;
- Ⓞ Proyecto solar de agua caliente;
- Ⓞ Riego regular de las flores, sincronización de humidificación, sincronización de drenaje del compresor de aire.

Características:

- Ⓞ Forma inteligente, funciona de manera confiable, gran par de salida, hasta 50000-100000 veces, comodidad para todo tipo de requisitos;
 - Ⓞ Diseño de bola flotante, sin fugas, gran flujo, la válvula es válvula de bola bidireccional, independientemente de la entrada y salida, más adecuada para suciedad pesada y mucho tiempo sin acción.
 - Ⓞ Las condiciones que la válvula solenoide no se puede trabajar;
 - Ⓞ Clase de alta protección, se puede trabajar en la mayoría de las condiciones;
 - Ⓞ POM coopera con engranajes metálicos, el engranaje POM se utiliza en nivel de alta velocidad para reducir el ruido, al mismo tiempo que el engranaje de metal se aplica en el grado bajo para garantizar la confiabilidad del engranaje;
-

ANEXO 2 Resultados de pruebas finales en vacío

27/7/2023	16:52	62.48	67.34	67.86	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.55	67.24	67.71	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.14	67.4	67.99	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.21	67.23	67.88	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.52	67.37	67.85	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.14	67.37	68.06	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.39	67.3	67.81	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.24	67.28	67.91	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.19	67.23	67.97	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.37	67.36	67.56	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.37	67.3	67.63	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.3	67.33	67.88	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.39	67.37	67.9	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.5	67.45	67.61	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.4	67.41	67.73	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.51	67.43	67.68	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.5	67.29	67.71	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.43	67.4	67.67	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.53	67.36	67.6	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.5	67.28	67.52	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.67	67.49	67.45	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.62	67.31	67.53	20	60	0
27/7/2023	16:52	62.53	67.28	67.55	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.6	67.63	67.56	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.61	67.45	67.32	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.72	67.55	67.29	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.67	67.36	67.35	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.7	67.63	67.32	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.82	67.55	67.24	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.52	67.64	67.37	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.69	67.62	67.36	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.59	67.45	67.19	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.68	67.54	67.44	20	60	0
27/7/2023	16:53	62.85	67.41	67.32	20	60	0

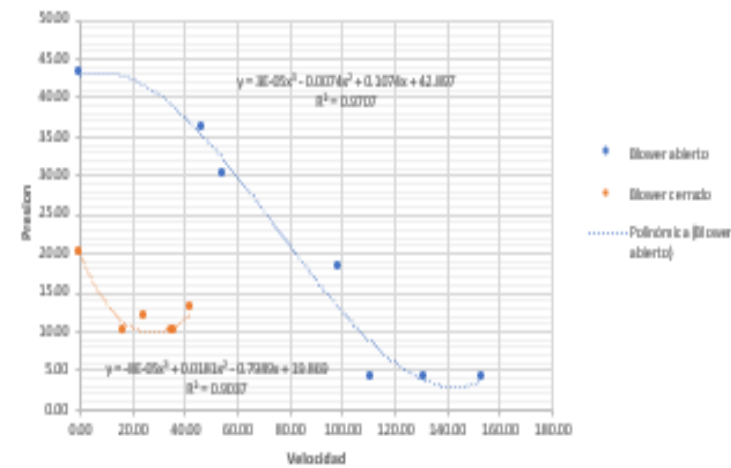
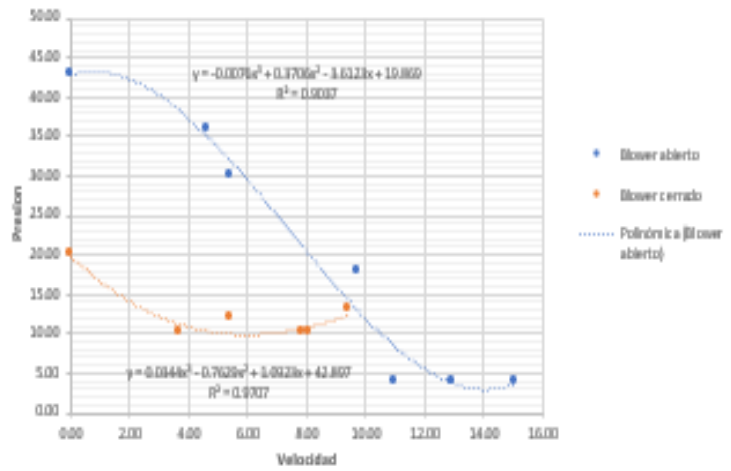
ANEXO 3 Resultados de pruebas finales en vacío

3/8/2023		73.45	79.4	75.47	20	60	21.48
3/8/2023		73.66	78.77	74.94	20	60	21.6
3/8/2023		73.41	79.26	75.66	20	60	21.57
3/8/2023		73.7	79.3	75.62	20	60	21.63
3/8/2023		73.67	79.12	75.71	20	60	21.52
3/8/2023		73.69	78.94	75.39	20	60	21.54
3/8/2023		73.6	79.1	75.69	20	60	21.52
3/8/2023		73.68	79.33	75.75	20	60	21.6
3/8/2023		73.53	79.23	75.2	20	60	21.63
3/8/2023		73.6	79.24	74.86	20	60	21.81
3/8/2023		73.46	79.26	75.71	20	60	21.49
3/8/2023		73.7	79.12	75.69	20	60	21.85
3/8/2023		73.92	79.31	75.46	20	60	22.25
3/8/2023		73.97	79.16	75.22	20	60	21.79
3/8/2023		73.37	79.13	75	20	60	21.6
3/8/2023		73.84	79.07	75.59	20	60	21.6
3/8/2023		73.55	79.31	74.73	20	60	21.67
3/8/2023		73.82	79.13	74.7	20	60	21.91
3/8/2023		73.66	79.13	75.61	20	60	21.67
3/8/2023		73.76	79.41	75.26	20	60	21.71
3/8/2023		73.97	79.38	74.93	20	60	21.74
3/8/2023		73.79	79.24	75.62	20	60	21.96
3/8/2023		73.68	79.2	74.57	20	60	22.06
3/8/2023		73.88	78.97	74.66	20	60	22.11
3/8/2023		73.43	79.11	74.74	20	60	22
3/8/2023		73.77	79.32	75.11	20	60	22.15
3/8/2023		73.81	79.1	74.68	20	60	21.97
3/8/2023		73.52	79.02	74.61	20	60	21.74
3/8/2023		73.76	78.92	74.86	20	60	22.01
3/8/2023		73.65	79.24	75.62	20	60	21.81
3/8/2023		73.62	79.35	74.7	20	60	21.73
3/8/2023		73.78	79.19	75.32	20	60	21.73
3/8/2023		73.95	79.08	75.45	20	60	21.72
3/8/2023		73.81	79.02	74.85	20	60	21.71
3/8/2023		74.01	79.01	75.65	20	60	21.74
3/8/2023		73.67	79.08	75.14	20	60	21.75
3/8/2023		73.57	79.05	75.66	20	60	21.72
3/8/2023		73.81	78.69	75.3	20	60	21.85
3/8/2023		73.61	78.86	74.78	20	60	21.72
3/8/2023		73.76	78.78	75.38	20	60	21.76
3/8/2023		73.68	78.61	74.94	20	60	21.76
3/8/2023		73.45	79.01	74.75	20	60	21.74
3/8/2023		73.78	78.94	75.19	20	60	21.8
3/8/2023		73.85	78.89	74.79	20	60	21.8
3/8/2023		73.63	78.9	74.69	20	60	21.87
3/8/2023		73.73	79.08	74.94	20	60	21.76
3/8/2023		73.7	78.96	75.42	20	60	21.69
3/8/2023		73.47	79.04	75.56	20	60	21.71
3/8/2023		73.88	78.56	74.91	20	60	21.79
3/8/2023		73.6	78.91	75.59	20	60	21.73
3/8/2023		73.61	79.05	75.59	20	60	21.77

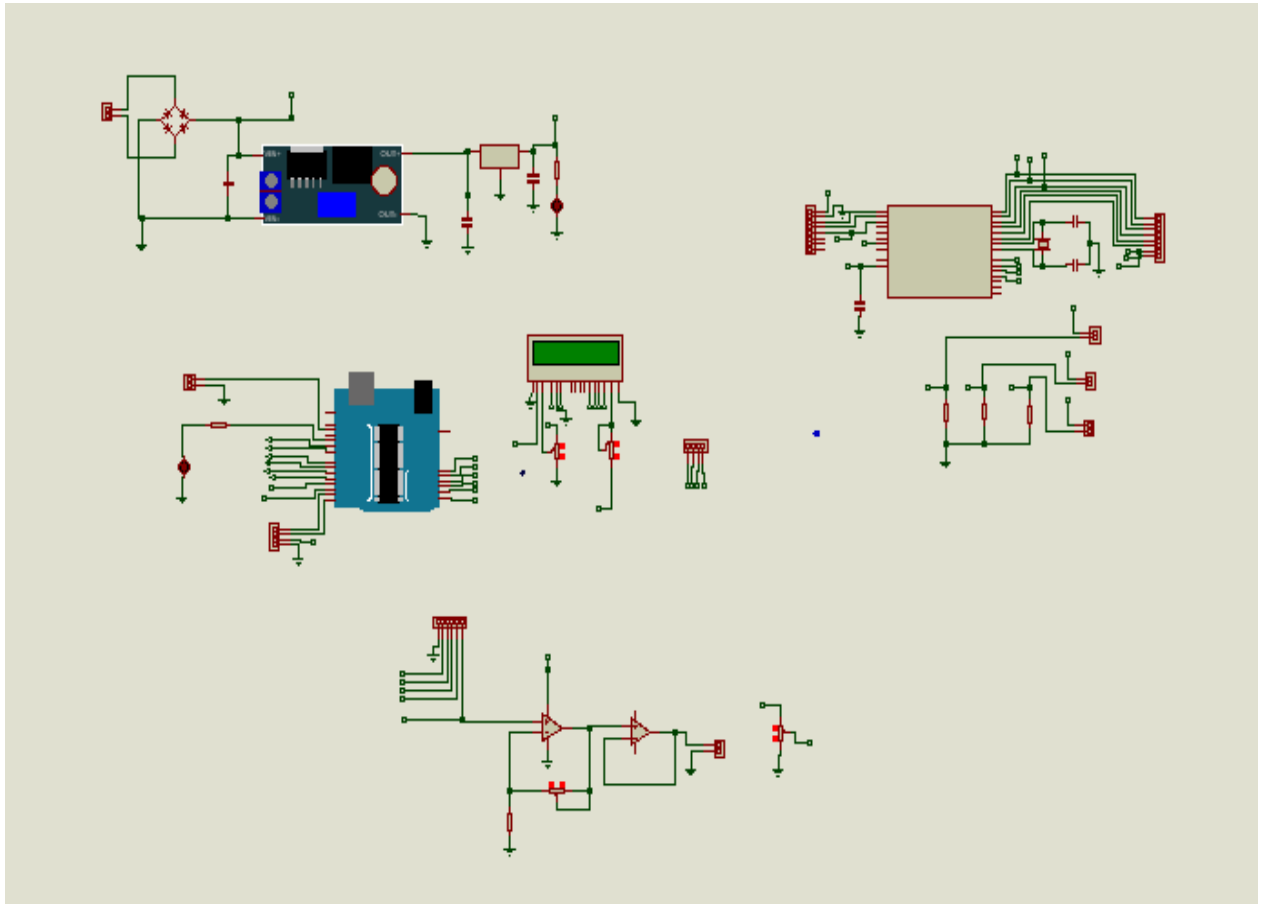
ANEXO 4 Cálculos para la selección del ventilador centrífugo

Sistema abierta		
Velocidad (m/s)	Presión (kpa)	Caudal (m ³ /h)
0.00	43.00	0.00
4.60	36.00	46.80
5.39	30.00	54.84
9.69	18.00	98.58
10.97	4.00	111.60
12.91	4.00	131.34
15.06	4.00	153.21

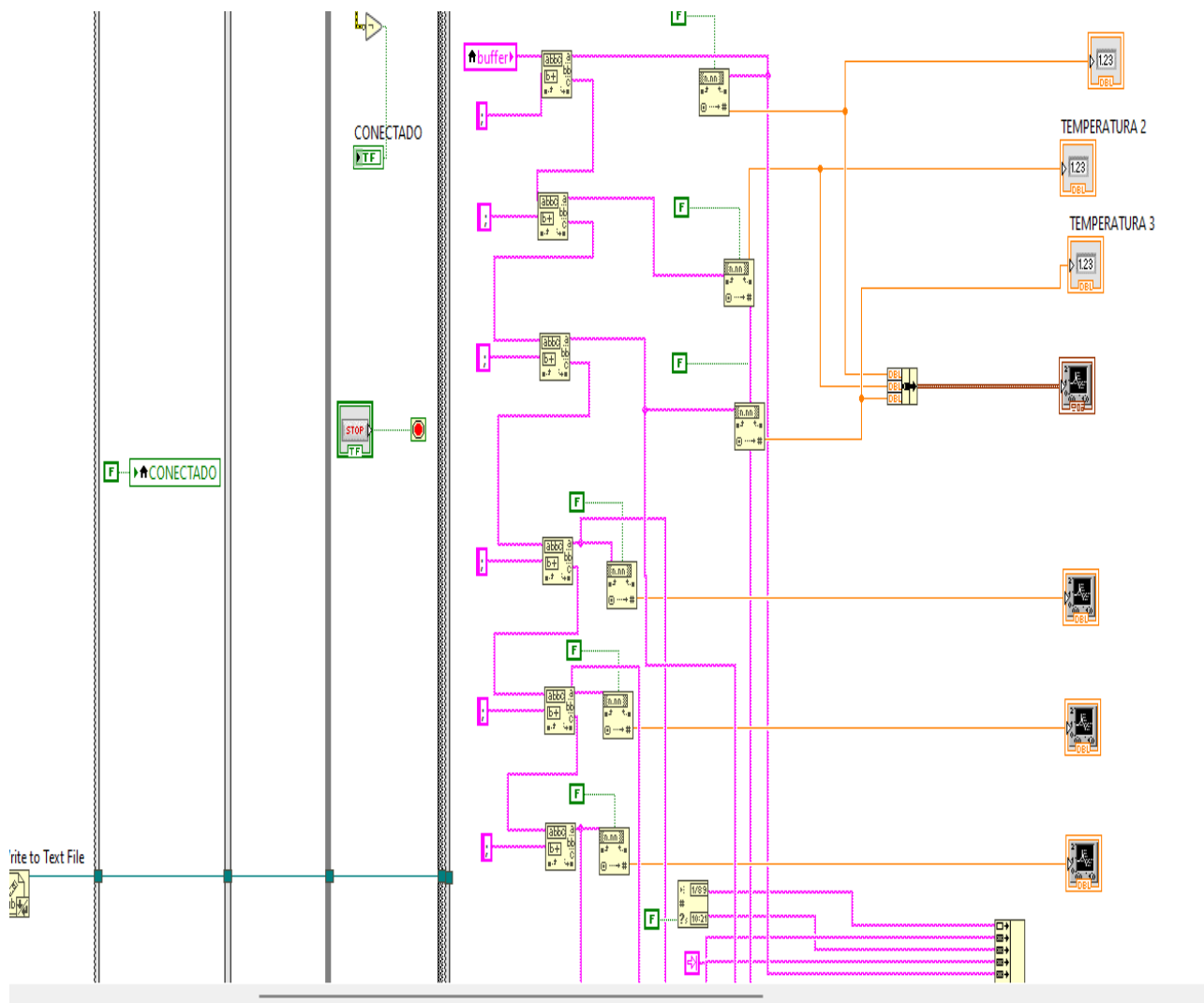
Sistema cerrada		
Velocidad (m/s)	Presión (kpa)	Caudal (m ³ /h)
0	20	0
3.66	10	16.549056
5.39	12	24.371424
7.82	10	35.358912
8.08	10	36.534528
9.39	13	42.457824



ANEXO 5: Diagrama electrónico del proyecto de investigación



ANEXO 6: Programación del sistema SCADA para la obtención de datos



MANUAL DE USO DE LA SECADORA EXPERIMENTAL RECTANGULAR DE CACAO

MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

IMPORTANTE

RESUMEN

El siguiente manual de operación todavía está presente en la secadora de cacao rectangular en la que se usó la parte de control, y para una operación adecuada, los pasos deben seguirse exactamente como se enumeran. La máquina funciona con 110 voltios; para energizarlo, se debe encender un disyuntor de 20 amperios. Una vez encendida, la máquina establece parámetros precalibrados y comienza a operar automáticamente.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

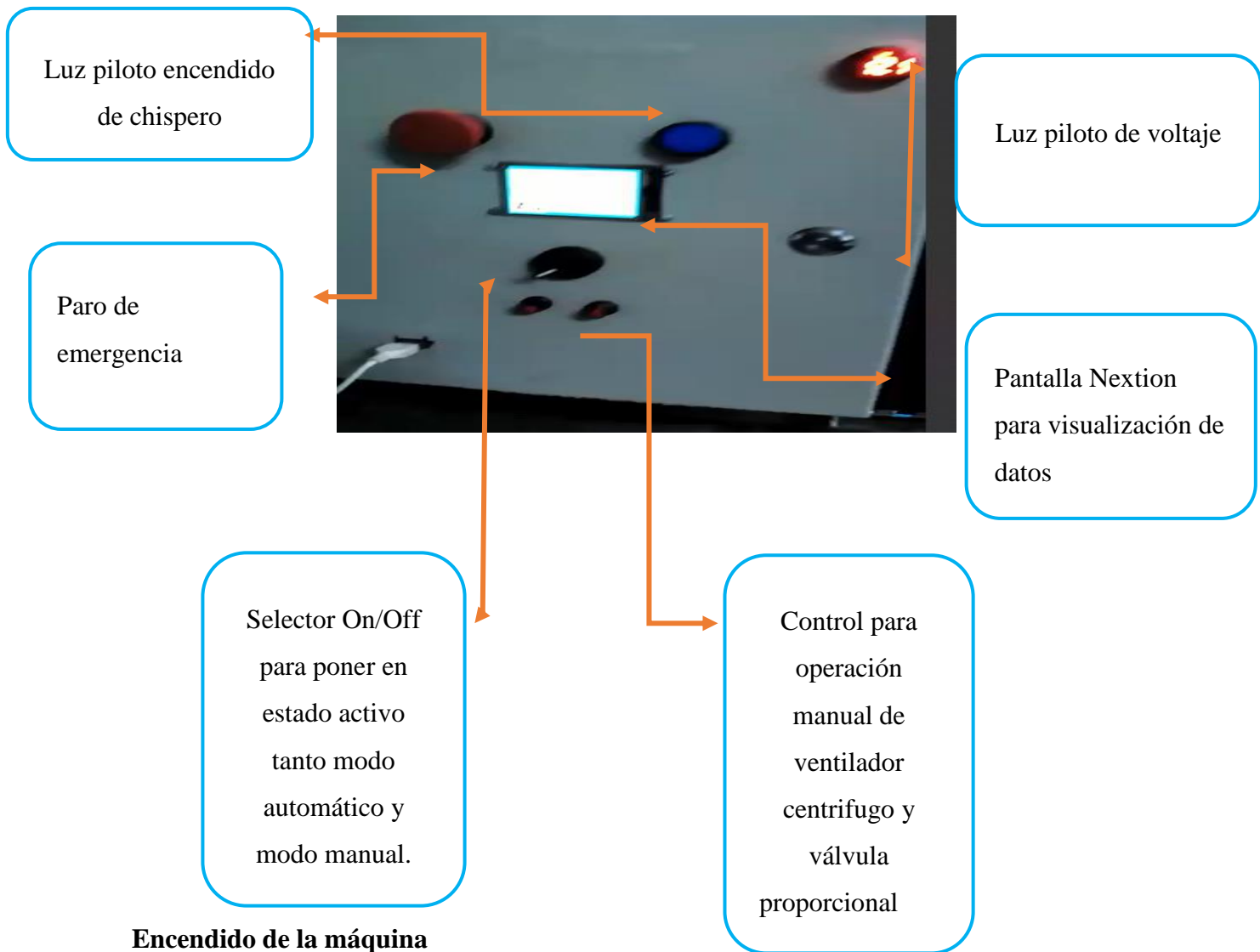
General

Realizar un manual de operación de la maquina secadora rectangular de cacao, el mantenimiento y el funcionamiento.

1. Específicos

- Información de seguridad
- Funcionamiento de la maquina
- Modo de operación de la maquina
- 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 máquina

Para el encendido de la máquina se realiza las siguientes acciones para que la secadora experimental rectangular de cacao, tenga un desarrollo óptimo en su operación de secado.

1. CONEXIÓN DEL CILINDRO DE GAS AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA SECADORA EXPERIMENTAL RECTANGULAR DE CACAO.



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

2. CONEXIÓN DE LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA A NUESTRO TABLERO.

Conectar el tablero a la red monofásica.



3. COLOCAR EL CACAO PREVIAMENTE FERMENTADO A LA SECADORA EXPERIMENTAL RECTANGULAR DE CACAO



Colocar los 40 kg uniformemente en la cámara de secado, para el proceso de secado.

4. SUPERVISAR LA MÁQUINA CONSTANTEMENTE DURANTE SU OPERACIÓN.

Gire la perilla del selector para que la máquina se ponga en total operación.



Supervisar que la secadora cumpla con los parámetros.

5. FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO.



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

6. RETIRAR EL CACAO PREVIAMENTE FINALIZADO SU PROCESO DE SECADO



Retirar el cacao seco del recipiente rectangular.

7. DESCONEXIÓN DEL CILINDRO DE GAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA SECADORA EXPERIMENTAL RECTANGULAR DE CACAO.



Cierre la válvula de gas y retire del cilindro.

8. LIMPIEZA TOTAL DE TODA LA MÁQUINA DE SECADO.



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

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SECADOR

N.º	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD
1	Limpieza de la cámara de secado	Limpiar antes y después de ser utilizada para el proceso de secado
2	Limpieza del ducto de aire	Limpiar para cada proceso de secado
3	Revisión del encendido del chispero	Cada mes
4	Revisión de la cámara de secado	Cada 6 meses
5	Revisión del sistema eléctrico	Revisar cada 3 meses
6	Revisión válvula proporcional	Revisar cada 6 meses
7	Revisión del ventilador centrifugo	Revisar cada 6 meses

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.

CONCLUSIONES

El manual tiene como objetivo garantizar el funcionamiento correcto y duradero de la máquina y, al mismo tiempo, ayudar a los usuarios a comprender y aprovechar al máximo su uso.

Para garantizar un uso seguro y eficaz del secador de cacao rectangular experimental, es importante seguir las instrucciones proporcionadas en el manual.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que solo personal calificado maneje el mantenimiento de rutina del producto, incluida la limpieza, el reemplazo de piezas desgastadas y la revisión periódica.