

Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café

Santiago Andrés Timaná Guerrero

Universidad Cesmag
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto

2024

Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café

Santiago Andrés Timaná Guerrero

Proyecto de grado presentado al Comité Curricular del Programa de Ingeniería
Electrónica para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Camilo Arturo Lagos Mora

Asesor

Universidad Cesmag
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto

2024

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité Curricular en cumplimiento de los
requisitos exigidos por la Universidad CESMAG
para optar al título de Ingeniero Electrónico

Camilo Lagos

Asesor

Jurado 1

Jurado 2

Página de nota exclusión de responsabilidad intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusivamente responsabilidad de su autor y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG”

Dedicatoria

Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 13 |
| 1. Problema de Investigación | 15 |
| 1.1 Objeto o tema de investigación | 15 |
| 1.2 Línea de Investigación..... | 15 |
| 1.3 Sub-línea de investigación | 15 |
| 1.4 Planteamiento del problema..... | 15 |
| 1.5 Formulación del Problema..... | 17 |
| 1.6 Objetivos..... | 17 |
| 1.6.1 Objetivo General..... | 17 |
| 1.6.2 Objetivo Específico..... | 17 |
| 1.7 Justificación | 17 |
| 1.8 Delimitación..... | 19 |
| 2. Tópicos de Marco Teórico | 20 |
| 2.1 Antecedentes | 20 |
| 2.2 Enunciados supuestos teóricos..... | 22 |
| 2.2.1 Procesos de fermentación del Café..... | 22 |
| 2.2.2 Temperatura..... | 23 |
| 2.2.3 pH | 24 |
| 2.2.4 Sistema de Control..... | 24 |
| 2.2.5 Sensores y actuadores | 25 |
| 2.3 Definición de Conceptos..... | 42 |
| 2.3.1 Definición Nominal de Variables | 42 |
| 2.3.2 Definición operativa de variables | 42 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4 | Hipótesis | 43 |
| 2.4.1 | Hipótesis de investigación..... | 43 |
| 2.4.2 | Hipótesis nula | 43 |
| 2.4.3 | Hipótesis alternativa | 43 |
| 3. | Metodología..... | 44 |
| 3.1 | Paradigma | 44 |
| 3.2 | Enfoque..... | 44 |
| 3.3 | Método..... | 44 |
| 3.4 | Tipo de diseño | 44 |
| 3.5 | Diseño de investigación..... | 45 |
| 3.6 | Universo..... | 45 |
| 3.7 | Técnicas e instrumentos de recolección de información | 45 |
| 3.8 | Validez..... | 46 |
| 4. | Resultados | 47 |
| 4.1 | Identificar los Requerimientos del Proceso de Fermentación del Café..... | 47 |
| 4.2 | Construcción de Prototipo para el Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café..... | 50 |
| 4.2.1 | Diseño de Prototipo | 51 |
| 4.2.2 | Acoplamiento de Materiales..... | 58 |
| 4.2.3 | Instalación de Componentes..... | 59 |
| 4.3 | Construcción del Firmware para el Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café..... | 64 |
| 4.3.1 | Diseño de Firmware..... | 64 |
| 4.4 | Analizar y Evaluar el Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café..... | 72 |
| 4.4.1 | Toma de datos..... | 72 |

| | | |
|-------|------------------------------|-----|
| 4.4.2 | Análisis de los Datos..... | 80 |
| 4.4.3 | Evaluación de los Datos..... | 83 |
| | CONCLUSIONES..... | 87 |
| | RECOMENDACIONES..... | 89 |
| | REFERENCIAS | 90 |
| | ANEXO A..... | 92 |
| | ANEXO B..... | 93 |
| | ANEXO C..... | 95 |
| | | 96 |
| | ANEXO D..... | 101 |
| | ANEXO E..... | 102 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 a) Diagrama de bloques de un controlador on/off; (b) Diagrama de bloques de un controlador con salto diferencial (Ogata, 2010) | 25 |
| Figura 2 Arduino Uno link https://shorturl.at/qzFGV | 26 |
| Figura 3 Arduino Mega 2560 link https://shorturl.at/lqleZ | 27 |
| Figura 4 Modulo RTC DS1307 link https://shorturl.at/SfDhJ | 28 |
| Figura 5 Módulo Micro_ SD link https://shorturl.at/kwEFQ | 29 |
| Figura 6 Sensor de Temperatura DS18B20 Link https://shorturl.at/owIS4 | 30 |
| Figura 7 Sensor de pH Arduino link https://shorturl.at/DLO39 | 31 |
| Figura 8 Motor paso a paso NEMA 17 Link https://shorturl.at/FM167 | 33 |
| Figura 9 MaxiMini Thermometer Link https://shorturl.at/fsEM3 | 34 |
| Figura 10 Termómetro Digital Tipo Punzón TP101 Link https://shorturl.at/luP49 | 35 |
| Figura 11 Cinta Métrica de pH Link https://shorturl.at/4RuAh | 36 |
| Figura 12 Modulo Relé Arduino Link https://shorturl.at/NWRsO | 37 |
| Figura 13 Resistencia de Calor Tipo Cartucho Link https://shorturl.at/jI7Fc | 38 |
| Figura 14 Controlador DVR8825. Link https://shorturl.at/zDO34 | 39 |
| Figura 15 Shield Driver DRV8825 Link https://shorturl.at/mweZJ | 40 |
| Figura 16 Ventilador 12v-2.2A Link https://shorturl.at/aPngB | 41 |
| Figura 17 Modelo de Tanques para la Fermentación. (a) Tanque con vacío medio (b) Tanque con vacío bajo (c) Tanque con vacío alto | 49 |
| Figura 18 Tanque Ideal de 10 Litros para Almacenar 5Kg de Café en Grano Link https://shorturl.at/rulUI | 50 |
| Figura 19 Diseño General del Prototipo | 51 |
| Figura 20 Placa de Conexión de Alimentación 5v y 12V | 53 |
| Figura 21 vista Posterior de la alimentación de 9v y 12v | 53 |
| Figura 22 vista Frontal de la alimentación de 9v y 12v..... | 54 |
| Figura 23 Placa de Sensores de Temperatura - DS18B20 | 54 |
| Figura 24 vista Frontal de los sensores DS18B20..... | 55 |
| Figura 25 vista Posterior de los sensores DS18B20 | 55 |
| Figura 26 Placa del Módulo Micro SD..... | 56 |
| Figura 27 vista Frontal del módulo Micro SD | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 28 vista Posterior del módulo Micro SD..... | 57 |
| Figura 29 Modelo guía de Tornillo de Arquímedes | 57 |
| Figura 30 Tornillo de Arquímedes Real | 58 |
| Figura 31 Placa del Módulo para el Sensor de pH Link https://shorturl.at/4ZXpN | 58 |
| Figura 32 Placa del Relé Arduino Link https://shorturl.at/olmV0 | 59 |
| Figura 33 Ubicación de Sensores de Temperatura DS18B20..... | 60 |
| Figura 34 Ubicación de Sensor de pH de Arduino E201C | 60 |
| Figura 35 Ubicación interna de los sensores temperatura y pH | 61 |
| Figura 36 Ubicación de ventilador y calentadores PTC | 62 |
| Figura 37 Vinagre de Manzana y Agua de Calidad (Ozono)..... | 62 |
| Figura 38 Motor Nema 17 acoplado con los engranajes | 63 |
| Figura 39 Diseño General del Firmware del prototipo | 64 |
| Figura 40 Diagrama organizacional de la interacción de la temperatura para el comportamiento del café en el proceso de fermentación | 65 |
| Figura 41 Diagrama organizacional de la interacción del pH para el comportamiento del café en el proceso de fermentación | 66 |
| Figura 42 Diagrama organizacional de la interacción de la temperatura en el sistema de control..... | 67 |
| Figura 43 Diagrama organizacional de la interacción del pH en el sistema de control..... | 68 |
| Figura 44 Diagrama de bloques del Funcionamiento del sistema de control de temperatura | 69 |
| Figura 45 Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de control del pH | 70 |
| Figura 46 Diagrama de bloques del funcionamiento del motor | 71 |
| Figura 47 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba del comportamiento del café en el proceso de fermentación | 73 |
| Figura 48 Grafica de pH vs tiempo de la prueba del comportamiento del café en el proceso de fermentación..... | 73 |
| Figura 49 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba 1-a con sistema de control..... | 74 |
| Figura 50 Grafica del pH vs tiempo de la prueba 1-a con sistema de control | 75 |
| Figura 51 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba 1-b con sistema de control..... | 75 |
| Figura 52 Grafica de pH vs tiempo de la prueba 1-b con sistema de control | 76 |

| | |
|---|-----|
| Figura 53 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba 1 sin el sistema de control | 76 |
| Figura 54 Grafica del pH vs tiempo de la prueba 1 sin el sistema de control..... | 77 |
| Figura 55 Grafica de Temperatura vs Tiempo de la Prueba #2 con Sistema de Control... | 78 |
| Figura 56 Grafica de pH vs Tiempo de la Prueba #2 con Sistema de Control | 78 |
| Figura 57 Grafica de Temperatura vs Tiempo de la Prueba #2 Sin Sistema de Control... | 79 |
| Figura 58 Grafica de pH vs Tiempo de la Prueba #2 Sin Sistema de Control..... | 79 |
| Figura 59 Resultado de Prueba de Taza – Finca Marcela..... | 93 |
| Figura 60 Resultado de Prueba de Taza – Finca Marcela..... | 93 |
| Figura 61 Resultado Prueba de Taza - Finca Hernando | 94 |
| Figura 62 Resultado Prueba de Taza - Finca Hernando | 94 |
| Figura 63 Zona Cafetera y Surco de Café..... | 95 |
| Figura 64 Recolección de Café | 95 |
| Figura 65 Selección de Café en Cereza | 96 |
| Figura 66 Despulpado de Café en Cereza..... | 96 |
| Figura 67 Café en Baba para Fermentar | 97 |
| Figura 68 Detección de Finalización de Fermentacion usando el Fermaestro..... | 97 |
| Figura 69 Lavado de Café Después de Fermentarse | 98 |
| Figura 70 Uso de Detección de Temperatura..... | 98 |
| Figura 71 Uso de Detección de pH..... | 99 |
| Figura 72 Secado de Café | 99 |
| Figura 73 Uso Final de Café para Prueba de Taza | 100 |
| Figura 74 Prototipo Final del Sistema de Control | 100 |
| Figura 75 Cosecha de Yuca a Cambio de Café..... | 101 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Procesos de Fermentación (Diana Lineth Medina Cruz, 2019)..... | 23 |
| Tabla 2 Respuestas de la Encuesta Realizada | 47 |

Introducción

Hoy en día, el país ha alcanzado un reconocimiento significativo y un notable crecimiento comercial gracias a su riqueza cultural, su agricultura, y otros sectores estratégicos. Entre los productos que reflejan y promueven nuestra identidad a nivel internacional, el café destaca como uno de los principales embajadores de Colombia en los mercados globales. Según (Legiscomex, 2022) Colombia se posicionó en 2020 como el tercer mayor exportador de café a nivel mundial, logrando exportar un total de 12,5 millones de sacos de café verde de 60 kg cada uno, lo que representa un valor económico de USD 2.655 millones. Este desempeño no solo evidencia la calidad del café colombiano, sino también el papel clave que desempeña en la economía nacional, impulsando la generación de empleo, la innovación en la producción sostenible y el fortalecimiento de las relaciones comerciales internacionales.

La industria del café en Colombia cuenta con más de 80 años de desarrollo en tecnologías, conocimientos y procesos, lo que ha permitido posicionar al país como un referente en la producción cafetera. Sin embargo, aún persisten deficiencias en el control de ciertos procesos clave, entre los que destaca la fermentación, seguida del lavado y el secado. La falta de un control adecuado en estas etapas críticas puede generar defectos en el grano, inconsistencias en la calidad del producto final, pérdidas económicas significativas y la limitación de oportunidades para expandirse en mercados internacionales. Estas fallas subrayan la necesidad de implementar mejoras técnicas y sistemas de monitoreo más precisos para garantizar la excelencia y competitividad del café colombiano.

Según (Puerta & Echeverry, 2015) las investigaciones realizadas en 59 fincas ubicadas en diferentes municipios se dice que en el 82% de las fincas que usaban la fermentación mezclaban cafés despulpados entre 2 y 9 días, y el 41% de aquellas que desmucilagaban lo mezclaban con cafés entre 2 y 5 días. Por ende, hay más de un sistema de fermentación del café como, por ejemplo, la fermentación sólida, fermentación sumergida, fermentación discontinua, entre muchas más.

En el proceso de la fermentación hay características fundamentales para que dicho proceso se efectúe correctamente, dentro de los más importantes es mantener una temperatura y pH adecuado. Dentro de la temperatura en el proceso de la fermentación, tiene un efecto en la velocidad de las degradaciones del mucilago de café, un ejemplo es que mediante la refrigeración entre 4°C y 8°C se retrasó la velocidad de fermentado, estando entre 20 y 31 horas, además de

presentar un pH de acidez alto con respecto al fresco. Con esto se encontró que la temperatura en el proceso de fermentación controlado del café diferencia a la proporción y tipo de aromas y sabores de la bebida, además afecta las cantidades de sustancias volátiles del café tostado y del mucilago fermentado. Estas diferencias contribuyen a que el proceso de fermentación del café en distintas regiones sea influenciado por factores como el origen geográfico, la variedad del café, el grado de madurez, la calidad del agua utilizada en el proceso, las condiciones de secado y los métodos de análisis, los cuales deben mantenerse constantes para asegurar la calidad y consistencia del producto final. (Puerta & Echeverry, 2015)

En la presente investigación, se realiza el diseño de un sistema de control que permite controlar de manera precisa la temperatura y el pH óptimos durante el proceso de fermentación del café. Esto responde a una necesidad identificada por los caficultores, quienes consideran este aspecto como un problema prioritario que requiere solución para garantizar la calidad del café producido, tanto en la región objeto de estudio como en otras zonas cafetaleras. El sistema busca ofrecer una herramienta eficiente y adaptable que optimice el proceso de fermentación y contribuya a la estandarización de la calidad del café colombiano. (Gloria Inés Puerta Quintero, 2010).

En el transcurso de los años se ha mirado que el proceso para realizar la fermentación del café ha venido evolucionando desde la forma empírica hasta tener una herramienta que indica que el proceso ha finalizado utilizando una inspección manera visual y control manual semi-permanente. (Peñuela-Martínez et al., 2012)

1. Problema de Investigación

1.1 Objeto o tema de investigación

Sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café.

1.2 Línea de Investigación

Sistema de automatización y control

1.3 Sub-línea de investigación

Control de procesos

1.4 Planteamiento del problema

La fermentación en la industria del café es compleja y se debe manejar cuidadosamente, aparte de ser una novedad, es el secreto que hay detrás de un café de alta calidad (Delgado Iparraguirre, 2021). En Colombia, la creciente demanda de café de alta calidad en el mercado global ha llevado a que los caficultores busquen continuamente mejorar sus prácticas y productos. Esta situación ha impulsado su participación en concursos nacionales e internacionales, donde la calidad del café es rigurosamente evaluada. Estos eventos no solo permiten a los caficultores promocionar su producto, sino que también les ofrecen la oportunidad de ser visibles y obtener mayores ingresos debido al reconocimiento de su café. Sin embargo, el proceso de fermentación, es uno de los factores más críticos en la determinación de la calidad y características final del café, el cual sigue presentando desafíos. La variabilidad en las prácticas de fermentación, influenciada por factores como el manejo, la altitud, el clima y la infraestructura disponible, puede impactar negativamente la homogeneidad y la consistencia del producto final. Por ello, es vital que se implementen técnicas más precisas y controladas en el proceso de fermentación para garantizar que el café continúe siendo competitivo en todos los mercados (Legiscomex, 2022)

“La variación del pH durante la fermentación del café es diferente dependiendo de la calidad del grano en baba, del sistema y de la temperatura externa, durante la fermentación del café se presentan variaciones de la temperatura de los granos debido a los procesos metabólicos

de los microorganismos con la consecuente producción de energía, así, en algunos momentos la temperatura del sistema es mayor que la temperatura del aire externo” (Puerta Quintero, 2012)

Esto quiere decir que si en un principio no hay una temperatura adecuada la cual debe estar en el rango de 18°C a 24°C y un pH adecuado que debe estar entre 5.1 a 5.7 al iniciar y 3.2 a 4.2 al finalizar el proceso de fermentación, se generara una pérdida de la calidad del grano de café, obteniendo así diferentes sabores, aromas y negociación en el mercado. También se considera que el pH puede ser el que determine el tiempo real cuando el proceso de fermentación del café haya finalizado (Delgado Iparraguirre, 2021)

A pesar de la importancia de la fermentación en la producción de café de alta calidad, se ha observado que en muchas fincas cafeteras no se utilizan sistemas de monitoreo adecuados para garantizar condiciones óptimas durante este proceso. Esta deficiencia no solo limita la capacidad de los productores para estandarizar su producto, sino que también puede resultar en pérdidas económicas significativas debido a la producción de lotes defectuosos. Además, la falta de control sobre los parámetros críticos de fermentación contribuye a la ineficiencia en el uso de recursos, como el agua y la mano de obra.

Este proyecto desarrolló una herramienta innovadora diseñada para optimizar el proceso de fermentación del café mediante un sistema integral de control de temperatura y pH. Este tipo de sistemas de monitoreo y regulación son esenciales para garantizar un proceso de fermentación eficiente, lo que a su vez permite mantener o mejorar la calidad y consistencia del producto final. No obstante, a nivel regional, se ha identificado una significativa carencia de evidencia sobre la implementación efectiva de estas tecnologías, lo que resalta la importancia de este trabajo como un aporte estratégico para la industria cafetera.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y validar un sistema integral que no solo controle los parámetros críticos de temperatura y pH durante el proceso de fermentación del café, sino que también permita la recopilación de datos en tiempo real. Esto facilitará un análisis más detallado de cómo la fermentación impacta las características organolépticas del café, aportando un enfoque científico al manejo óptimo de estos parámetros. La herramienta desarrollada tiene como finalidad mejorar la calidad final del café en la región, contribuyendo al fortalecimiento y competitividad del sector cafetero local.

En este contexto, surge la necesidad de implementar un sistema de control de temperatura y pH que permita a los caficultores monitorear y gestionar el proceso de fermentación de manera eficiente y en tiempo real. Este sistema no solo debe ser accesible y adaptable a fincas con diferentes capacidades de producción, sino que también debe proporcionar datos útiles que sirvan como base para la toma de decisiones informadas. De esta manera, se busca optimizar el proceso de fermentación, promoviendo la sostenibilidad y mejorando la competitividad del café colombiano en mercados internacionales al cumplir con los más altos estándares de calidad.

1.5 Formulación del Problema

¿Cuál es la eficacia de un sistema de control de fermentación de temperatura y el pH en el proceso de fermentación del café?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General.

Determinar la eficacia del sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café

1.6.2 Objetivo Específico.

- ✓ Identificar los requerimientos del proceso de fermentación en el café.
- ✓ Construir el prototipo del sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café.
- ✓ Construir el firmware del sistema de Control de la temperatura y pH en el proceso de Fermentación del Café.
- ✓ Analizar y evaluar el sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café.

1.7 Justificación

El café colombiano es ampliamente reconocido en el mercado internacional por su calidad superior y características distintivas, como suavidad, aroma y sabor, posicionándose como un referente dentro de la industria cafetera global. Aproximadamente el 35% de las exportaciones de café de Colombia corresponden a cafés especiales, categorizados según su sostenibilidad, origen y métodos de preparación, lo que refleja la demanda por productos de alta calidad y valor agregado

(Inés et al., 2018). Este reconocimiento se deriva no solo de las condiciones climáticas y geográficas excepcionales del país, sino también de la precisión y cuidado aplicados en cada etapa de la cadena productiva, desde el cultivo hasta el procesamiento poscosecha.

En esta cadena, el proceso de fermentación se erige como una de las etapas más críticas, ya que impacta directamente las propiedades organolépticas del café, determinando aspectos clave como acidez, cuerpo y complejidad aromática. Dichas propiedades no solo son esenciales para satisfacer los estándares de calidad en mercados internacionales, sino que también definen el perfil sensorial único que caracteriza al café colombiano. Como señala (Ribeiro et al., 2017). “en los últimos años, los mercados son más exigentes y se asume que el análisis sensorial es una de las técnicas con gran importancia para evaluar la calidad final del café”. Esto pone de manifiesto la necesidad de optimizar procesos críticos como la fermentación para garantizar la competitividad del sector.

El control preciso de variables como la temperatura y el pH durante la fermentación es fundamental para lograr resultados consistentes y de alta calidad. Investigaciones han determinado que la temperatura óptima durante la fermentación debe mantenerse entre 18°C y 24°C, mientras que el pH debe iniciar en un rango de 5.1 a 5.7 y descender progresivamente hasta un rango final de 3.2 a 4.2 (Puerta Quintero, 2012) (Córdoba Castro & Guerrero Fajardo, 2016) (Parra, n.d.). Este rango de parámetros asegura un entorno adecuado para el desarrollo de microorganismos beneficiosos, como levaduras y bacterias lácticas, responsables de la producción de compuestos aromáticos y ácidos orgánicos que definen la calidad final del producto.

A pesar de la importancia de estas variables, su control en muchas fincas cafetaleras de Colombia sigue siendo limitado. En la mayoría de los casos, los caficultores confían en métodos manuales o seleccionan ubicaciones específicas con condiciones ambientales favorables para llevar a cabo la fermentación. Sin embargo, estas prácticas, aunque funcionales, carecen de precisión y consistencia, lo que puede resultar en variaciones en la calidad del café. Por otro lado, algunos productores han comenzado a implementar sistemas automatizados de control, pero su adopción es limitada debido a los costos y la complejidad tecnológica.

En este contexto, el desarrollo e implementación de un sistema de control automatizado y accesible que regule de manera eficiente la temperatura y el pH durante la fermentación representa una solución tecnológica clave para el sector. Este tipo de sistemas no solo garantizarían un control preciso y repetible de las condiciones óptimas, sino que también contribuirían a mejorar la calidad

final del café, aumentar su competitividad en mercados internacionales y promover la sostenibilidad económica y ambiental de la caficultura colombiana. De esta manera, se busca integrar la tecnología en una etapa crítica de la cadena productiva, generando valor agregado y fortaleciendo la posición de Colombia como líder en la industria global del café.

1.8 Delimitación

En el presente proyecto se desarrolló un sistema de control para regular la temperatura y el pH durante el proceso de fermentación del café, priorizando la eficacia y el bajo costo de implementación. El diseño del modelo de control se realizó utilizando diversos componentes electrónicos, permitiendo mantener la temperatura en un rango de 20°C a 22°C y el pH entre 4 y 6. Este sistema busca optimizar el proceso de fermentación, garantizando la calidad del grano y mejorando su consistencia.

El proyecto se centró en su implementación en fincas ubicadas en Santa Bárbara, Sandoná, y San Antonio, Buesaco, en el departamento de Nariño, donde se llevaron a cabo investigaciones y pruebas para validar el sistema. En el futuro, se proyecta expandir su aplicación a otras zonas cafeteras, aprovechando su eficacia comprobada para beneficiar a un mayor número de caficultores.

El prototipo desarrollado tiene la capacidad de controlar la temperatura y el pH en un tanque diseñado para albergar entre 5 y 8 kilogramos de café en baba o despulpado, garantizando un proceso controlado y estandarizado que contribuye a la mejora de la calidad del café colombiano.

2. Tópicos de Marco Teórico

2.1 Antecedentes

Según (Cecilia Montoya Restrepo & Jaramillo Robledo, 2016). En el estudio denominado “Efecto de la temperatura en la producción de café”, cuyo objetivo principal fue determinar el porcentaje de disminución de la producción de café cereza por efecto de la temperatura, se obtuvo la producción de café en diferentes escenarios de condición del fenómeno del Niño, La Niña y períodos normales, para diferentes localidades. La variable para identificar el efecto de la temperatura fueron las unidades térmicas acumuladas, llegando a establecer a través de una regresión lineal simple, que por cada 100 unidades térmicas que se tengan por defecto o exceso de las requeridas, la producción se disminuye en un 2,6%. Para alcanzar el objetivo se generó ocho escenarios de temperatura: 1. El Niño moderado; 2. El Niño débil; 3. El Niño fuerte; 4. La Niña fuerte; 5. La Niña moderada; 6. El Niño moderado y La Niña fuerte; 7. La Niña y Normal; 8. Normal. Con cada escenario se construyeron períodos de cinco ciclos y cada ciclo correspondió a cinco años calendario. Para cada Estación y período se simuló la producción potencial para café Variedad Castillo, con una densidad de 5.000 plantas por hectárea, teniendo en cuenta la latitud, la temperatura media diaria y el número de horas de brillo solar diario, generando 2.485 registros de producción, en kilogramos de café cereza por hectárea al año. Como resultado se obtuvo que se presentó el promedio diario de temperatura y número de horas de brillo solar, con su respectivo error estándar.

Se observó que, para una misma estación climática, hay cambio en la temperatura media diaria y en el acumulado mensual de horas de brillo solar, de acuerdo con el escenario ENOS. La temperatura óptima para el cultivo del café fue entre 18 y 21°C, por lo tanto, los cultivos de café en zonas que estuvieron por debajo de esta temperatura requieren de mayor tiempo cronológico para alcanzar la producción potencial, mientras que en cultivos en zonas por encima de esta temperatura puede verse afectado el llenado de frutos. Esta investigación permitirá determinar cuándo el sistema de control tendrá un mayor o menor esfuerzo al someterse al proceso de fermentación del grano de café, particularmente en las temporadas afectadas por los fenómenos de El Niño y La Niña. Estos fenómenos climáticos provocan variaciones en las características del grano de café, afectando el proceso como lo anteriormente mencionado y en este caso la fermentación. Por ello, es crucial emplear componentes electrónicos eficientes que puedan

contrarrestar estos efectos, asegurando un control adecuado de la variable de temperatura. Además, es fundamental considerar estas temporadas climáticas al diseñar y operar el sistema de control, para manejar las variaciones de manera efectiva y garantizar la estabilidad del proceso de fermentación.

Según (Puerta Quintero, 2012). Realizó un artículo denominado “Factores, procesos y controles en la fermentación del café”, cuyo objetivo fue crear buenas prácticas para lograr bebidas de café de buena calidad mediante la fermentación natural. Estos se hicieron mediante los factores de fermentación (la velocidad y los compuestos formados en la fermentación del café dependen de la calidad del sustrato, madurez y sanidad del fruto que influyen en la composición química y microbiológica de los granos despulpados; de factores ambientales como la temperatura externa y la higiene de las instalaciones, ambientes y equipos; del tiempo, y del sistema mismo de fermentación); también mencionaron la microbiología de la fermentación del café (los microorganismos del café en baba provienen de diferentes fuentes como suelo, aire, agua, vegetales, personas, animales, insectos, equipos, instalaciones y utensilios de beneficio; temperatura; cinética; química de la fermentación del mucílago de café; carbohidratos; fibra; sustancias pépticas (durante la fermentación varía su concentración debido a las degradaciones de los azúcares, a los cambios de humedad y materia seca, a la eliminación de CO₂ y por la actividad de varias enzimas naturales del sustrato que degradan y despolimerizan parcialmente los compuestos pépticos en el medio ácido de la fermentación.); pH; alcohol; CO₂ y tiempo de fermentación.

Como conclusión, para el diseño y creación de un sistema de control eficiente en el proceso de fermentación del café, es esencial garantizar un manejo adecuado de herramientas y la implementación de buenas prácticas de limpieza. La calidad del café en baba también depende en gran medida de la recolección selectiva de frutos maduros y de la correcta eliminación de frutos y granos verdes, secos, o dañados, así como de la pulpa. Es crucial utilizar tanques o recipientes fabricados con materiales inertes, superficies lisas, y bordes redondeados, que no solo faciliten su limpieza, sino que también minimicen la posibilidad de contaminaciones que puedan interferir en el proceso de fermentación.

Según (Figuroa Meléndez, Ancizar; Castro Vásquez, 2021). Realizo un estudio denominado “Diseño del sistema de control de temperatura para el proceso de fermentación de mucilago de café en la planta piloto de la fundación entorno”, cuyo objetivo fue el

aprovechamiento del mucilago de café por medio del diseñar un sistema de control para mejorar la eficiencia térmica para una mayor concentración del etanol. Esta investigación ayudo para el desarrollo del sistema de control ya que es eficiente en su objetivo porque maneja un modelo en el cual utiliza un intercambiador que su función es transferir el líquido de baja temperatura por la de alta temperatura, dejando la temperatura deseada y en nuestra investigación sirvió como modelo en el momento de poder controlar la temperatura, además de estar en el mismo medio en el cual se va a realizar dicha investigación.

Según (Becerra Suarez & Amado Espinosa, 2018). Realizo un estudio denominado “Desarrollo de un sistema de control de temperatura y monitoreo de pH y humedad del proceso Spin coating”, cuyo objetivo fue desarrollar dicho sistema de control para la deposición de micropelículas. Esta investigación ayudo para el desarrollo del sistema de control porque dentro de los elementos utilizados en dicha investigación, algunos son los que se van a manejar, por ende, el modelo y resultados finales nos beneficiara en la implementación. Además, cuenta con una estructura diferente al modelo de estudio anterior que es el de spin- coating, el cual se tomaría como referente la rotación de las aspas o mezcladores de acero inoxidable que sería otra manera de controlar y mantener uniformemente el fermento en el proceso de fermentación del café.

2.2 Enunciados supuestos teóricos

2.2.1 Procesos de fermentación del Café

“En la fermentación del café ocurren varios procesos, básicamente las levaduras y las bacterias del mucílago mediante sus enzimas naturales oxidan parcialmente los azúcares y producen energía (ATP), etanol, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono. Además, se obtienen otros alcoholes como propanol, butanol, ácidos como el succínico, fórmico, butírico y sustancias olorosas como aldehídos, cetonas y ésteres. También se degradan los lípidos del mucílago de café y cambian el color, el olor, la densidad, la acidez, el pH, los sólidos solubles, la temperatura y la composición química y microbiana de este sustrato.” (Puerta Quintero, 2012)

(Peñuela-Martínez et al., 2012) y (Puerta Quintero, 2012) afirman que un proceso de fermentación de café no controlado puede generar defectos en taza que dan sabor a vinagre, fermento, piña o vino, cebolla, rancio o stinker, dependiendo del tiempo que el café pase sin lavar.

El defecto sobre fermentado está asociado a prácticas inadecuadas como fermentaciones prolongadas y mezclas de café con diferentes tiempos de proceso, entre otras.

Los diferentes procesos de fermentación que existe son:

- Fermentación sólidos, este es un proceso en el cual no necesita presencia de agua
- Fermentación sumergida, este es un proceso en el cual necesita presencia de agua

proporcional a la masa del café

(Puerta & Echeverry, 2015)

Entre otros encontramos diferentes procesos de fermentación como,

Tabla 1 Procesos de Fermentación (Diana Lineth Medina Cruz, 2019)

| Nombre de Tratamiento | Tipo de Proceso de Fermentación | Descripción |
|------------------------------|---|--|
| T1 | Fermentación aerobia en seco | Método tradicional en pila de fermentación |
| T2 | Fermentación anaerobia en seco | Se cubrió la pila de fermentación con un plástico para así limitar la entrada de oxígeno |
| T3 | Fermentación aerobia sumergida (Con agua) | Se agregó agua con una altura de 1cm arriba de la masa de café y se dejó la pila abierta |
| T4 | Fermentación anaerobia sumergida (Con agua) | Se agregó agua con una altura de 1cm arriba de la masa de café y se cubrió con un plástico para limitar la entrada oxígeno |

2.2.2 Temperatura

Según (Jaramillo, 2005) La temperatura es una magnitud física que indica el grado de calor o frío de un cuerpo o sistema y es una propiedad fundamental de la materia. Se puede medir utilizando diversos dispositivos electrónicos, como termómetros de resistencia, termopares, o sensores digitales. En el proceso de fermentación del café, la temperatura juega un papel crucial,

ya que afecta directamente la actividad de los microorganismos y enzimas involucrados. Durante la fermentación, es común que la temperatura interna del tanque, donde se encuentran los granos, supere la temperatura ambiente debido a la actividad microbiana. Para garantizar una fermentación óptima, se establecen rangos de temperatura ideales, generalmente entre 18°C y 24°C. Estos rangos ayudan a controlar el proceso y asegurar que se desarrollen las características deseadas en el café. (Puerta Quintero, 2012)

2.2.3 pH

Según (Rivera et al., 2018) El pH es un término que se refiere a la medida de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en una disolución, lo que determina si la solución es ácida o alcalina (básica). Se mide en una escala logarítmica que va de 0 a 14, donde un pH de 7 indica una solución neutra, valores menores a 7 indican acidez, y valores mayores a 7 indican alcalinidad. La medición del pH se realiza comúnmente utilizando un potenciómetro o pH-metro, instrumentos que miden con precisión la actividad de los iones de hidrógeno en la disolución. También es posible medir el pH mediante tiras reactivas que contienen indicadores especiales, los cuales cambian de color dependiendo del pH de la solución, aunque esta técnica es menos precisa.

También según (García-García et al., 2019) El pH del café es un factor muy importante para la determinación de la calidad y el sabor. Afirma que cuando el café tiene un pH menor a 4,9 adquiere un sabor ácido y cuando está por encima de 5,2 es amargo. La variedad del pH es debido a la madurez del grano, el tiempo de recolección, el despulpado y la temperatura. Los sistemas sumergidos ya sean anaeróbicos o aeróbicos inician con el valor del pH mayor que los sistemas sin agua. Así como también en los sistemas abiertos el pH va disminuyendo lentamente en relación a los sistemas cerrados y a mayor temperatura externa la disminución del pH en la fermentación es más rápida. (Puerta Quintero, 2012)

2.2.4 Sistema de Control

2.2.4.1 Sistema de Control On/Off

El sistema de control on/off o también llamado sistema de control de dos posiciones, esto es debido a que el sistema se va a encontrar en dos posiciones fijas como es el encendido o apagado. Este sistema de control es comúnmente utilizado en las industrias como domésticamente por costos y simplicidad de ejecutarse. El funcionamiento de este control es por medio de señales controladas ($u(t)$), esto quiere decir que el sistema se rige por unos parámetros o rangos interpuestos en el cual el sistema se va a encontrar apagado y señales de error ($e(t)$) cuando el sistema se sale de los

parámetros o rangos interpuestos anteriormente en el cual el sistema se va a encender hasta volver a llegar a los parámetros o rangos inicialmente interpuestos. Como, por ejemplo, “Las Figuras 1(a) y (b) muestran los diagramas de bloques para dos controladores de dos posiciones. El rango en el que debe moverse la señal de error antes de que ocurra la conmutación se denomina brecha diferencial. En la Figura 1(b) se señala una brecha diferencial. Tal brecha hace que la salida del controlador $u(t)$ conserve su valor presente hasta que la señal de error se haya desplazado ligeramente más allá de cero. En algunos casos, la brecha diferencial es el resultado de una fricción no intencionada y de un movimiento perdido; sin embargo, con frecuencia se provoca de manera intencional para evitar una operación demasiado frecuente del mecanismo de encendido y apagado.” (Ogata, 2010)

2.2.5 Sensores y actuadores

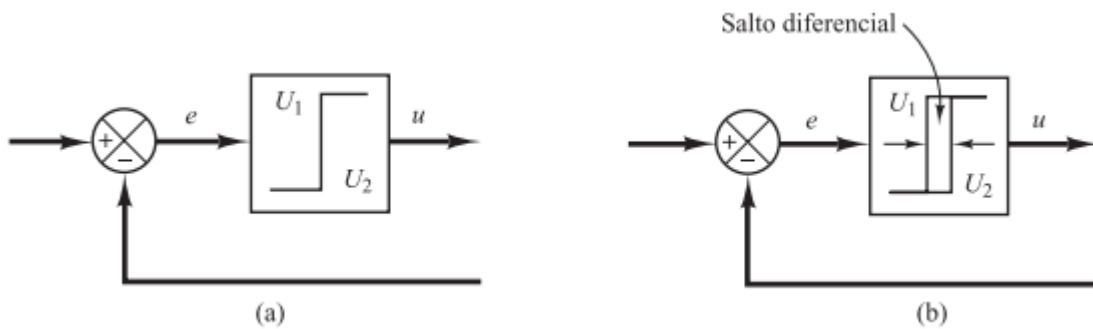


Figura 1 a) Diagrama de bloques de un controlador on/off; (b) Diagrama de bloques de un controlador con salto diferencial (Ogata, 2010)

2.2.5.1 Arduino Uno

El Arduino Uno es una placa de desarrollo ampliamente conocida y utilizada en el campo de la electrónica y la programación. Diseñado para ser accesible y fácil de usar, el Arduino Uno ha transformado la forma en que las personas interactúan con la electrónica, permitiendo a entusiastas y estudiantes de todo el mundo llevar a cabo proyectos creativos e innovadores. (Farnell, 2013)

El Arduino Uno se destaca por su versatilidad y potencia. Equipado con el microcontrolador ATmega328P, el Arduino Uno ofrece una amplia gama de pines de entrada/salida digital y analógica, lo que permite la conexión de diversos sensores, actuadores y otros componentes electrónicos. Además, cuenta con una interfaz USB para la programación y comunicación con otros dispositivos. (Farnell, 2013)

Características del Arduino Uno:

Microcontrolador ATmega328P: El Arduino Uno utiliza el microcontrolador ATmega328P, el cual ofrece un rendimiento confiable y capacidad de procesamiento suficiente para la mayoría de los proyectos.

Pines de entrada/salida: El Arduino Uno dispone de 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales 6 pueden utilizarse como salidas de modulación por ancho de pulso (PWM). Además, cuenta con 6 pines de entrada analógica para la conexión de sensores y otros dispositivos.

Interfaz USB: El Arduino Uno cuenta con una interfaz USB integrada que facilita la programación y la comunicación con otros dispositivos. Esto permite cargar programas e interactuar con el Arduino a través de una conexión USB estándar.

Compatibilidad y comunidad activa: El Arduino Uno es compatible con una amplia variedad (placas de expansión) y módulos, lo que amplía aún más sus capacidades. Además, cuenta con una comunidad activa de usuarios y desarrolladores que comparten conocimientos, proyectos y recursos en línea.

(Farnell, 2013)



Figura 2 Arduino Uno link

<https://shorturl.at/qzFGV>

2.2.5.2 Arduino Mega

El **Arduino Mega 2560** es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560, diseñada para proyectos que requieren una mayor capacidad de pines y memoria en comparación con otras placas Arduino, como el Arduino Uno. Es una herramienta fundamental en la creación de prototipos y proyectos de ingeniería, debido a su versatilidad y facilidad de uso. (Arduino, 2024)

El Arduino Mega es ideal para proyectos que requieren una gran cantidad de entradas y salidas, así como para aquellos que necesitan más memoria para el almacenamiento de programas

complejos. En un proyecto de control de temperatura y pH para la fermentación del café, el Arduino Mega puede gestionar múltiples sensores y actuadores de manera eficiente, garantizando un control preciso y una respuesta rápida a los cambios en las condiciones del proceso. (Arduino, 2024)

Características del Arduino Mega 2560 son:

Microcontrolador: ATmega2560.

Voltaje de Operación: 5V.

Pines Digitales I/O: 54 (de los cuales 15 pueden ser utilizados como salidas PWM).

Pines de Entrada Analógica: 16.

Memoria Flash: 256 KB de los cuales 8 KB son utilizados por el bootloader.

SRAM: 8 KB.

EEPROM: 4 KB.

Velocidad del Reloj: 16 MHz.

Conectividad: USB, alimentación externa (9V - 12V), jack de alimentación, pin de 5V y 3.3V.

Dimensiones: 101.52 mm x 53.3 mm.

(Arduino, 2024)

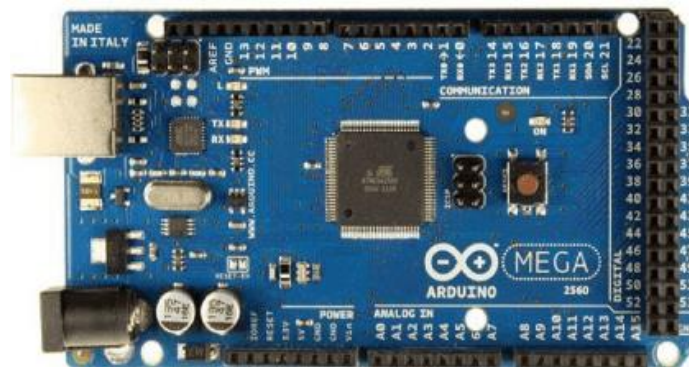


Figura 3 Arduino Mega 2560 link <https://shorturl.at/lqleZ>

2.2.5.3 Módulo RTC DS1307

El RTC DS1307 es un reloj de tiempo real que utiliza un cristal de cuarzo para mantener la hora y la fecha de manera precisa. Está diseñado para funcionar con una batería de respaldo que permite mantener la cuenta del tiempo incluso cuando no está conectado a la fuente de alimentación principal. Este módulo es compatible con la mayoría de las plataformas de

microcontroladores, incluyendo Arduino, gracias a su interfaz de comunicación I2C. El DS1307 es ideal para proyectos que requieren un seguimiento preciso del tiempo, como sistemas de registro de datos, temporizadores, alarmas y sistemas de automatización. (Maxim Integrated, 2015a)

Características del módulo RTC DS1307 son:

Interfaz de Comunicación: I2C (bidireccional).

Voltaje de Operación: 4.5V a 5.5V.

Consumo de Corriente: Menos de 500 nA en modo de respaldo con batería.

Precisión del Reloj: Típicamente ± 2 ppm a 25°C.

Memoria Adicional: 56 bytes de SRAM.

Batería de Respaldo: Soporta baterías tipo CR2032.

Dimensiones: Generalmente pequeñas, adecuadas para montaje en placas de circuito.

(Maxim Integrated, 2015a)



Figura 4 Modulo RTC DS1307 link

<https://shorturl.at/SfDhJ>

2.2.5.4 Modulo Micro_ SD

El módulo microSD es un componente esencial para el almacenamiento de datos en dispositivos electrónicos. Su tamaño compacto y capacidad de expansión lo convierten en una solución popular para agregar memoria adicional a teléfonos móviles, cámaras, reproductores de música y otros dispositivos portátiles. Con un módulo microSD, los usuarios pueden guardar y transferir datos de manera conveniente, ampliando así su capacidad de almacenamiento y flexibilidad. (EBay, 2013)

El módulo microSD se destaca por su versatilidad y facilidad de uso. Con una interfaz sencilla, se puede insertar fácilmente en dispositivos compatibles, lo que permite aumentar rápidamente la capacidad de almacenamiento. Además, el módulo microSD es compatible con

diferentes sistemas operativos y dispositivos, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones. (EBay, 2013)

Características del módulo microSD:

Capacidad de almacenamiento: el módulo microSD ofrece diferentes capacidades de almacenamiento, desde unos pocos gigabytes hasta varios terabytes, lo que permite a los usuarios elegir el tamaño adecuado según sus necesidades.

Velocidad de transferencia: el módulo microSD está disponible en diferentes clases de velocidad, que determinan la velocidad de lectura y escritura de datos. Las clases de velocidad más altas ofrecen una transferencia más rápida de datos, lo cual es especialmente importante al grabar videos de alta resolución o transferir archivos grandes.

Compatibilidad: el módulo microSD es compatible con una amplia gama de dispositivos, incluyendo teléfonos móviles, tabletas, cámaras digitales, reproductores de música y otros dispositivos electrónicos que admiten la ranura para tarjetas microSD.

Durabilidad: los módulos microSD suelen ser resistentes a golpes, vibraciones y condiciones ambientales adversas, lo que los hace adecuados para su uso en entornos exigentes.

Portabilidad: debido a su tamaño compacto, el módulo microSD es fácil de transportar y cambiar entre dispositivos, lo que permite a los usuarios llevar consigo su música, fotos, videos y otros archivos importantes de manera conveniente.

(EBay, 2013)



Figura 5 Módulo Micro_SD

link <https://shorturl.at/kwEFQ>

2.2.5.5 Sensor de Temperatura – DS18B20

El sensor de temperatura DS18B20 es un componente electrónico utilizado para medir la temperatura de manera precisa y confiable en diversas aplicaciones. Este sensor digital se destaca por su facilidad de uso y su popularidad en proyectos electrónicos que requieren un monitoreo térmico preciso. (Maxim Integrated, 2015b)

Características del sensor DS18B20:

Interfaz de comunicación de un solo cable: El DS18B20 utiliza una interfaz de comunicación de un solo cable llamada "One-Wire", lo que simplifica su conexión y permite su integración con otros dispositivos.

Alta precisión y resolución programable: El sensor DS18B20 ofrece una alta precisión en la medición de temperatura y cuenta con una resolución programable de hasta 12 bits, lo que proporciona detalles precisos sobre las variaciones de temperatura.

Amplio rango de temperatura de funcionamiento: El DS18B20 puede operar en un amplio rango de temperatura, desde -55 °C hasta +125 °C, lo que lo hace adecuado para su uso en diferentes entornos.

Compatibilidad con múltiples sensores: Es posible conectar varios sensores DS18B20 en un mismo bus, lo que facilita la medición de temperatura en diferentes puntos de un sistema.

(Maxim Integrated, 2015b)



*Figura 6 Sensor de Temperatura
DS18B20 Link <https://shorturl.at/owIS4>*

2.2.5.6 Sensor de pH Arduino

El sensor de pH E-201-C es un dispositivo ampliamente utilizado en diversas aplicaciones donde se requiere una medición precisa del nivel ácido o alcalino de una solución líquida. Este

sensor desempeña un papel importante en campos como la química, la agricultura, la industria alimentaria y la investigación científica, brindando información esencial para el control de calidad y el monitoreo de procesos. (e-Gizmo Mechatronix Central, 2017)

El sensor de pH E-201-C se destaca por sus características excepcionales y su gran desempeño. En primer lugar, cuenta con un amplio rango de medición de pH que abarca desde 0 hasta 14, lo que permite cubrir una amplia gama de niveles ácidos y alcalinos. Además, posee una alta precisión de ± 0.1 pH, lo que garantiza mediciones confiables y precisas en diversas aplicaciones. Este sensor está fabricado con materiales resistentes y puede funcionar de manera efectiva incluso en entornos agresivos y en contacto directo con productos químicos. (e-Gizmo Mechatronix Central, 2017)

Características del sensor de pH E-201-C:

Rango de medición de pH de 0 a 14, abarcando una amplia gama de niveles ácidos y alcalinos.

Alta precisión de ± 0.1 pH, asegurando mediciones confiables y precisas.

Diseño resistente y duradero que permite su uso en entornos agresivos y en contacto con productos químicos.

Fácil integración con sistemas y dispositivos gracias a su interfaz estándar.

Punta de vidrio sensible que permite un muestreo y una medición precisos en soluciones líquidas.

Larga vida útil y confiabilidad a largo plazo, garantizando un funcionamiento óptimo durante períodos prolongados.

(e-Gizmo Mechatronix Central, 2017)



Figura 7 Sensor de pH Arduino link

<https://shorturl.at/DLO39>

2.2.5.7 Motor paso a paso NEMA 17

El motor NEMA 17 es uno de los motores más utilizados en aplicaciones de robótica, automatización y fabricación. Este motor destaca por su tamaño compacto y rendimiento eficiente, convirtiéndolo en una elección popular para proyectos que requieren un control preciso del movimiento. (Electric, 2010)

El motor NEMA 17 es reconocido por su versatilidad y rendimiento excepcional. Con un diseño estándar y una interfaz de conexión sencilla, este motor se integra fácilmente en una variedad de sistemas. Además, ofrece un alto par de torsión y una resolución precisa, permitiendo un control detallado de la velocidad y la posición. (Electric, 2010)

Características del motor NEMA 17:

Tamaño compacto: El motor NEMA 17 cuenta con un diseño compacto, lo cual lo hace ideal para aplicaciones con limitaciones de espacio.

Rendimiento y potencia: Este motor ofrece un alto par de torsión y una respuesta rápida, asegurando un rendimiento confiable en diversas aplicaciones.

Precisión en la resolución: El motor NEMA 17 brinda una resolución precisa en la posición y velocidad, permitiendo un control detallado del movimiento.

Fácil integración: Gracias a su diseño estándar y una interfaz de conexión sencilla, este motor se integra de manera sencilla en sistemas existentes o en nuevos proyectos.

Amplia compatibilidad: El motor NEMA 17 es compatible con una variedad de controladores y microcontroladores, facilitando su uso en diferentes plataformas y entornos de desarrollo.

Bajo consumo de energía: A pesar de su potencia, el motor NEMA 17 se caracteriza por su eficiencia energética, siendo adecuado para aplicaciones que requieren un consumo reducido de energía.

(Electric, 2010)



*Figura 8 Motor paso a paso
NEMA 17 Link
<https://shorturl.at/FM167>*

2.2.5.8 MaxiMini Thermometer

El termómetro MaxiMini es un dispositivo compacto y portátil que se ha vuelto muy popular debido a su tamaño conveniente y su capacidad para medir la temperatura en diversas aplicaciones. Este termómetro es ideal para uso personal, en el hogar, en laboratorios y en otras situaciones donde se requiere un monitoreo preciso de la temperatura. (MS Schippers, 2018)

El termómetro MaxiMini destaca por su diseño compacto y su facilidad de uso. Su tamaño reducido lo hace práctico para llevar a cualquier lugar, y su interfaz sencilla permite una medición rápida y precisa. Este termómetro ha revolucionado la forma en que las personas controlan y monitorean la temperatura, brindando una herramienta confiable y conveniente en diferentes entornos. (MS Schippers, 2018)

Características del termómetro MaxiMini:

Precisión de medición: este termómetro ofrece una alta precisión en la medición de la temperatura, garantizando resultados confiables y precisos.

Pantalla digital: cuenta con una pantalla digital clara y fácil de leer, que muestra la temperatura de manera precisa y en tiempo real.

Amplio rango de temperatura: el termómetro MaxiMini tiene un amplio rango de temperatura que permite medir desde temperaturas bajas (-50°C) hasta altas (+50°C), lo que lo hace versátil para diferentes aplicaciones.

Funciones adicionales: algunos modelos de MaxiMini pueden incluir funciones adicionales, como la capacidad de almacenar y recordar registros de temperatura, configuraciones personalizadas y alarmas.

Durabilidad: el termómetro MaxiMini está diseñado para ser resistente y duradero, lo que garantiza su uso a largo plazo en diferentes entornos y condiciones.

(MS Schippers, 2018)



Figura 9 MaxiMini

Thermometer Link

<https://shorturl.at/fsEM3>

2.2.5.9 Termómetro Digital Tipo Punzón TP101

El termómetro TP101 es confiable y fácil de usar para medir la temperatura. Ha ganado popularidad gracias a su precisión y versatilidad en diversas aplicaciones, ya sea para uso interno, en entornos profesionales o en laboratorios. El TP101 proporciona mediciones precisas y rápidas. (JC Medical Supplies, 2020)

El TP101 se destaca por su diseño ergonómico y su pantalla digital liviana. Su tamaño compacto y su diseño duradero lo convierten en un termómetro portátil ideal para llevar a cualquier

lugar. Además, su interfaz intuitiva permite un funcionamiento sencillo, proporcionando mediciones precisas de temperatura de manera efectiva. (JC Medical Supplies, 2020)

Características del termómetro TP101:

Alta precisión: el TP101 ofrece una medición de temperatura precisa, con una resolución de hasta 0.1 °C, lo que garantiza resultados confiables.

Tiempo de respuesta rápido: este termómetro tiene un tiempo de respuesta breve, proporcionando mediciones instantáneas para la toma de decisiones.

Amplio rango de temperatura: el TP101 puede medir temperaturas en un amplio rango desde -50°C hasta 300°C, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones, desde productos alimenticios hasta aplicaciones industriales.

Funciones adicionales: algunos modelos de TP101 pueden incluir funciones como retención de lectura, apagado automático y selección de unidades de temperatura.

Diseño resistente: el TP101 está diseñado para ser robusto y duradero, lo que garantiza su uso prolongado y su capacidad para resistir condiciones adversas.

Portabilidad: gracias a su tamaño compacto y diseño ergonómico, el TP101 es fácil de transportar y utilizar en diferentes entornos.

(JC Medical Supplies, 2020)



Figura 10 Termómetro Digital Tipo Punzón TP101 Link

<https://shorturl.at/luP49>

2.2.5.10 Cinta métrica de pH

Las tiras de pH son herramientas simples y efectivas para medir el nivel de acidez o alcalinidad de una solución. Estas tiras están recubiertas con un indicador que cambia de color

dependiendo del pH del líquido con el que entran en contacto. Son ampliamente utilizadas en laboratorios, industrias y proyectos de investigación debido a su facilidad de uso y bajo costo.

Características de las tiras de pH son:

Rango de Medición: Generalmente cubren un rango de pH de 0 a 14, aunque existen tiras especializadas para rangos más específicos.

Precisión: La precisión típica varía entre 0.5 y 1 unidad de pH, dependiendo de la calidad de la tira.

Fácil de Usar: No requieren calibración ni mantenimiento, simplemente se sumergen en la solución y se comparan con la escala de colores.

Portabilidad: Son ligeras y portátiles, lo que permite llevarlas y utilizarlas en campo.

Costo: Son económicas y accesibles, lo que las hace ideales para aplicaciones donde se necesita realizar muchas mediciones.



Figura 11 Cinta Métrica de pH Link

<https://shorturl.at/4RuAh>

2.2.5.11 Relé Arduino

Un relé es básicamente un interruptor operado eléctricamente. Tiene un electroimán que, al recibir una corriente eléctrica, cierra (o abre) un circuito independiente. Esto permite que una señal débil de Arduino controle dispositivos que requieren más corriente y voltaje de lo que el microcontrolador puede manejar directamente. (Songle Relay, 2000)

Características de los módulos de relé para Arduino son:

Canales de Relé: Pueden tener uno o más relés en un solo módulo (1, 2, 4, 8 canales).

Voltaje de Operación: Generalmente, los módulos de relé para Arduino operan a 5V DC.

Corriente de Operación: El relé requiere una corriente baja para ser activado, normalmente menos de 100 mA.

Capacidad de Conmutación: La mayoría de los relés pueden manejar hasta 250V AC y 10A de corriente, o 30V DC y 10A.

Indicadores LED: Los módulos suelen tener LEDs que indican el estado del relé (encendido o apagado).

Aislamiento Optoacoplador: Algunos módulos de relé incluyen optoacopladores para proporcionar un mejor aislamiento entre el Arduino y el circuito de alta potencia.

(Songle Relay, 2000)



Figura 12 Modulo Relé Arduino Link

<https://shorturl.at/NWRsO>

2.2.5.12 Resistencia de Calor Tipo Cartucho

Las resistencias de calor tipo cartucho son dispositivos eléctricos diseñados para generar calor de manera controlada y eficiente. Se caracterizan por su forma cilíndrica y están construidas para ser insertadas en orificios o cavidades dentro de bloques de metal u otros materiales, donde se necesita una fuente de calor concentrada. (JM INDUSTRIAL, 2016)

Características:

Alta Densidad de Potencia: Estas resistencias pueden generar una gran cantidad de calor en un espacio reducido, lo que las hace ideales para aplicaciones que requieren altas temperaturas en áreas confinadas.

Durabilidad: Están diseñadas para soportar condiciones de operación severas, incluyendo vibraciones, altas temperaturas, y ciclos térmicos frecuentes, lo que les confiere una larga vida útil.

Materiales de Construcción: Generalmente están construidas con un tubo exterior de acero inoxidable o incoloy, que protege los elementos calefactores internos y garantiza la transferencia de calor eficiente.

Versatilidad: Pueden ser fabricadas en una variedad de diámetros y longitudes para adaptarse a diversas aplicaciones, con opciones de personalización en cuanto a la tensión, potencia y tipo de conexión.

Precisión: Ofrecen un control preciso de la temperatura, esencial para procesos que requieren un calentamiento controlado y uniforme.

(JM INDUSTRIAL, 2016)



Figura 13 Resistencia de Calor Tipo Cartucho Link
<https://shorturl.at/jI7Fc>

2.2.5.13 Controlador DRV8825

El controlador DVR8825 es un componente crucial en los sistemas de control de motores paso a paso. Este controlador es ampliamente utilizado en aplicaciones de robótica, CNC y automatización industrial. Su principal función es actuar como interfaz entre el microcontrolador y el motor, permitiendo un control preciso del movimiento y la velocidad. (Texas Instruments, 2010)

El controlador DVR8825 se destaca por su capacidad para manejar corrientes de motor más altas y proporcionar un rendimiento suave y silencioso. Con la función de microstepping, este controlador permite una alta resolución en los movimientos del motor, lo que resulta en una mayor

precisión en la posición y el control del mismo. Además, ofrece protección contra el sobrecalentamiento y protección de corriente, lo que garantiza un funcionamiento seguro y confiable. (Texas Instruments, 2010)

Características del controlador DVR8825:

Alto rendimiento: el controlador DVR8825 puede manejar corrientes de motor más altas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren una mayor potencia.

Microstepping: este controlador ofrece la función de microstepping, lo que permite un control más preciso y suave de los movimientos del motor, mejorando la precisión en la posición.

Protección integrada: el DVR8825 cuenta con protección contra el sobrecalentamiento y protección de corriente, lo que garantiza un funcionamiento seguro y confiable del motor.

Interfaz sencilla: este controlador tiene una interfaz de conexión simple, lo que facilita su integración con microcontroladores y otros dispositivos.

Rendimiento silencioso: gracias a su diseño y tecnología avanzados, el controlador DVR8825 ofrece un rendimiento silencioso, reduciendo el ruido durante el funcionamiento del motor.

(Texas Instruments, 2010)



Figura 14 Controlador

DRV8825. Link

<https://shorturl.at/zDO34>

2.2.5.14 Shield Driver DRV8825

Compatible con controladores de motor paso a paso A4988 y DRV8825.

Diseñado para trabajar con plataformas Arduino y otras microcontroladoras.

Soporte para múltiples ejes:

Hasta 4 motores paso a paso (X, Y, Z, y un eje extra) pueden ser controlados simultáneamente.

Ranuras disponibles para la instalación de hasta 4 módulos A4988 o DRV8825.

Alimentación:

Rango de voltaje: 12V - 36V (depende del controlador utilizado).

Terminales de tornillo para la conexión de la fuente de alimentación.

Control de señales:

Pines de control de señal claramente marcados para STEP y DIR.

Pines ENABLE para habilitar o deshabilitar cada controlador individualmente.

Ajuste de corriente:

Potenciómetros en los módulos A4988/DRV8825 permiten ajustar la corriente de los motores paso a paso.

Jumpers en el shield para seleccionar la resolución de micro pasos (1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 en el caso del DRV8825).

Compatibilidad con conexiones adicionales:

Pines de expansión para conectar finales de carrera y otros periféricos.

Pines I2C para la comunicación con otros dispositivos.

Disipación de calor:

Espacio disponible para instalar disipadores de calor en los controladores para mejorar la disipación térmica.

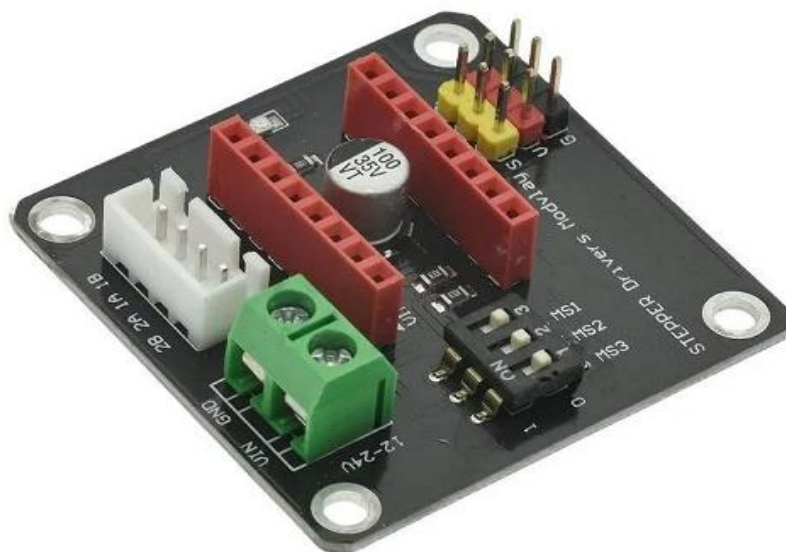


Figura 15 Shield Driver DRV8825 Link <https://shorturl.at/mweZJ>

2.2.5.15 Ventilador 12v

Características del Ventilador

Voltaje de operación: 12V DC

Corriente nominal: 2.2A

Dimensiones: 60x60x38mm

Tipo de rodamiento: Rodamiento de bolas, lo que generalmente permite una mayor vida útil y operación más silenciosa.

Flujo de aire: Aproximadamente entre 60 y 90 CFM (pies cúbicos por minuto).

Velocidad de rotación: Varía entre 6000 y 8000 RPM.

Conectores: Generalmente de 2 o 3 pines, donde el tercer pin puede ser usado para señal de tacómetro (detectar la velocidad de rotación).

Ruido: Nivel de ruido de entre 30 a 50 dBA dependiendo de la velocidad y diseño específico.

Temperatura de operación: -10°C a 70°C (estimado).



Figura 16 Ventilador 12v-2.2A Link <https://shorturl.at/aPngB>

2.3 Definición de Conceptos

2.3.1 Definición Nominal de Variables

2.3.1.1 Eficacia

La eficacia se define como el porcentaje que indica cuán exacto o preciso es el desempeño del sistema de control de temperatura y pH durante el proceso de fermentación del café. Este porcentaje refleja la capacidad del sistema para mantener las variables dentro de los rangos establecidos, garantizando que el proceso de fermentación se realice bajo las condiciones óptimas para producir un café de alta calidad.

2.3.1.2 Temperatura

Esta variable medirá el rango de temperaturas dentro del tanque donde se llevará a cabo la fermentación del café. Su función es determinar cuál es la temperatura ideal para que el proceso de fermentación se desarrolle de manera óptima, asegurando que las condiciones internas del tanque se mantengan dentro de los límites que favorecen la actividad de los microorganismos y enzimas involucrados en la fermentación.

2.3.1.3 pH

Esta variable medirá la escala de pH en la que se encuentra el fermento de café durante el proceso de fermentación. Su propósito es determinar cuál es la escala de pH ideal para este proceso, asegurando que el pH se mantenga dentro de los límites óptimos que favorecen la actividad microbiana y la calidad del producto final.

2.3.2 Definición operativa de variables

2.3.2.1 Eficacia

$$Eficacia (\%) = \left(\frac{\# \text{ registros correctos} \times 100}{\# \text{ total registros}} \right) \quad (1)$$

En este caso la eficacia del sistema de control se determina en función de dos variables: la temperatura y el pH. Se ha establecido que cada una de estas variables contribuye en un 50% a la eficacia total del sistema. Por lo tanto, la combinación de la eficacia de ambas variables resulta en el 100% de la eficacia del sistema de control, según se indica en la siguiente fórmula:

$$Eficacia (100\%) = 0.5 * Eficacia Temperatura + 0.5 * Eficacia pH \quad (2)$$

2.3.2.2 Temperatura

El instrumento medirá el rango de temperatura en el que se encuentra el fermento dentro del tanque de fermentación del café. Este instrumento es fundamental para asegurar que la

temperatura se mantenga en el rango óptimo durante el proceso de fermentación. Los datos se recopilan automáticamente y se presentan de manera digital, lo que permite un monitoreo continuo y preciso de la temperatura.

2.3.2.3 pH

Este instrumento medirá la escala en la que se encuentra el fermento dentro del tanque durante el proceso de fermentación del café. Su función es determinar con precisión la escala de pH en la que debe mantenerse el fermento. El instrumento proporciona los datos automáticamente de manera digital, permitiendo un monitoreo continuo y preciso que facilita que las condiciones se mantengan dentro de los parámetros óptimos para la fermentación.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis de investigación

La eficacia del sistema de control de fermentación en función de la temperatura y pH es superior al 90%

2.4.2 Hipótesis nula

La eficacia del sistema de control de fermentación en función de la temperatura y pH no es superior al 90%

2.4.3 Hipótesis alternativa

La eficacia del sistema de control de fermentación en función de la temperatura y pH es superior al 80%

3. Metodología

3.1 Paradigma

Desde el punto de vista epistemológico y metodológico el paradigma que orienta la investigación cuantitativa es el positivismo, termino instituido por el filósofo francés Auguste Comte (1.798 a 1.857) (Quijano Vodniza, 2009).

Esta investigación es positivista, puesto que su finalidad es explicar, predecir o controlar fenómenos. Dentro de este contexto, se busca controlar la temperatura y pH en el proceso de la fermentación del café, alcanzando los valores ideales de éste, mediante un sistema de control de fermentación del café, el cual se implementó consultando en antecedentes y realizando finitas pruebas en diversos ambientes.

3.2 Enfoque

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, dado que las variables asociadas al objeto de investigación se miden numéricamente, por lo tanto, los resultados obtenidos permitirán determinar la efectividad del sistema de control de fermentación en función de la temperatura y pH del café.

3.3 Método

Al ser esta investigación cuantitativa, el método que se utilizó es científico, o también conocido como método empírico-analítico (Quijano Vodniza, 2009), ya que busca encontrar la efectividad del sistema de control de fermentación del café, con el fin de validar o rechazar las hipótesis planteadas y resolver así este problema de investigación definido.

3.4 Tipo de diseño

La investigación es de tipo descriptiva, pues la finalidad es determinar la eficacia del sistema de control, teniendo en cuenta las condiciones ideales de la temperatura y pH, para así aplicarlo en las zonas cafeteras.

3.5 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación se define como experimento puro porque es un método preciso para lograr comprobar la hipótesis debido al comparar las diversas pruebas y experimentos realizadas ante los diferentes cambios de temperatura y pH en el proceso de fermentación de café, al realizar el experimento se replicará a partir de 2 pruebas en adelante hasta obtener la mejor respuesta del sistema de control.

| | | |
|------------|----------|-----------|
| RG1 | X | O1 |
| RG2 | - | O2 |

RG1: Grano de café en tanque

RG2: Grano de café en tanque

X: Sistema de control de la fermentación del café.

-: Fermentado tradicional

O1=O2: Error en temperatura y pH del grano de café

3.6 Universo

El universo del café es finito y cuantificable, lo que permite el desarrollo de un sistema de control efectivo para la fermentación. Este sistema tiene como objetivo optimizar la calidad del café al regular de manera precisa los parámetros de temperatura y pH durante el proceso de fermentación. Al implementar este enfoque sistemático, se puede evaluar la eficacia del control frente a los métodos empíricos tradicionalmente utilizados. La comparación de resultados permitirá no solo determinar la mejora en la calidad del producto final, sino también establecer un marco de referencia que apoye a los caficultores en la adopción de prácticas más eficientes y científicas en su producción.

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Encuestas y entrevistas: La información recolectada por estas técnicas serán utilizadas para el reconocimiento de los diferentes métodos o procesos y control de la fermentación del café de la

zona cafetera de Santa Bárbara, Sandoná, Nariño y San Antonio, Buesaco, Nariño con el fin del desarrollo y calibración del sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café.

Observación directa: Esta será realizada en la finca cafetera ubicada en Santa Bárbara, Sandoná, Nariño y San Antonio, Buesaco, Nariño. La información recolectada de las variables temperatura y pH será obtenida por medio de los componentes que se tienen en la empresa Innovakit SAS y con los componentes que se implementará al sistema de control, con los cuales se hará la comparación de los datos obtenidos con el fin de evolucionar y calibrar el sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café.

La información recolectada va a ser guardada con el fin de diseñar el firmware para dar el cumplimiento del objetivo general del sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café.

3.8 Validez

La técnica de recolección de información es válida, ya que el espacio o entorno donde se desarrolla el análisis e implementación del sistema se tiene fácil acceso, permitiendo el desarrollo de la investigación.

4. Resultados

4.1 Identificar los Requerimientos del Proceso de Fermentación del Café.

Se realizó una revisión de las referencias bibliográficas y la información brindada por los caficultores acerca del comportamiento del café en el proceso de la fermentación en cuanto a la temperatura y pH. Además, se hizo una encuesta al dueño-caficultor de la finca ubicada en el corregimiento de San Antonio (Buesaco) y en el corregimiento de Santa Bárbara (Sandóná) del Departamento de Nariño.

En la encuesta realizada a los caficultores-dueños de las fincas (Tabla 2), se tomó en cuenta los siguientes parámetros: Temperatura mínima, temperatura promedio, temperatura máxima, pH mínimo, pH promedio, pH máximo, semilla, tipo de fermentación, tiempo de fermentación y herramienta de fermentación.

Tabla 2 Respuestas de la Encuesta Realizada

| Parámetros | Finca 1 | Finca 2 |
|-----------------------------|------------------|-------------------|
| Temperatura Máxima | 22°C | 22°C |
| Temperatura Promedio | 20°C | 20°C |
| Temperatura Mínima | 18°C | 18°C |
| pH Máximo | Sin Conocimiento | Sin Conocimiento |
| pH Promedio | Sin Conocimiento | Sin Conocimiento |
| pH Mínimo | Sin Conocimiento | Sin Conocimiento |
| Semilla | Caturra-Castilla | Variedad Colombia |
| Tipo de Fermentación | Aerobia Seco | Aerobia Seco |
| Tiempo de Fermentación | 16-18 Horas | 18-20 Horas |
| Herramienta de Fermentación | Fermaestro | Fermaestro |

En el proceso de fermentación del café, las variables claves que se estudiaron son la temperatura y el pH. La temperatura es la primera variable que no se mantiene constante ni lineal. Según la información obtenida, la temperatura ambiente y la temperatura de la capa superior de la masa de café durante la fermentación suelen ser similares, con un margen de error de entre 0°C y 2°C como máximo. Sin embargo, en las capas medias e inferiores de la masa de café, la diferencia con la temperatura ambiente puede ser igual o superior a los 3°C.

El pH es la segunda variable importante, según la literatura disponible, ya que los caficultores generalmente no monitorizan este parámetro, el pH comienza en un rango de ± 5 a ± 6 y desciende hasta un rango de 3 a 4 a medida que avanza la fermentación. Este descenso indica una reducción gradual del pH a lo largo del tiempo, aunque no se ha determinado si el pH fluctúa de manera similar a la temperatura en intervalos de tiempo. Por lo tanto, no se puede clasificar la variabilidad del pH como alta, media o baja, ya que su comportamiento no está completamente documentado o comprendido.

Además, en este proceso se consideró la valiosa experiencia de los caficultores, quienes, con más de 20 años en la práctica, proporcionaron recomendaciones cruciales para el proceso de fermentación. Un factor clave es conocer la variedad de semilla utilizada, ya que cada semilla requiere un tratamiento específico y riguroso en su manipulación. A continuación, se destacan varias recomendaciones: mantener la máquina despulpadora calibrada y en óptimas condiciones, garantizar la limpieza del área de trabajo, los tanques de fermentación y las herramientas tanto antes como después de cada proceso.

Para la presente investigación, se utilizaron 5 kilos de masa de café despulpado (Anexo C, Figura 67), una cantidad proporcionada por los propietarios de las fincas para realizar las pruebas requeridas para la implementación del sistema de control de temperatura y pH el proceso de fermentación. Esta cantidad representa aproximadamente 30 kilos de café en cereza (Anexo C, Figura 65), lo que equivale a la cosecha de entre 4 y 6 surcos de café plantados en un área de 8 a 10 metros cuadrados (Anexo C, Figura 63). Esta cantidad de café es significativa y representa el esfuerzo y el trabajo de los caficultores al momento de la cosecha. A medida que se avanza en los procesos posteriores a la fermentación, los 5 kilos de café despulpado se reducen a aproximadamente 1 kilo (Anexo C, Figura 73), que es la cantidad necesaria para realizar la prueba de taza. Esta prueba es un análisis adicional (Anexo B) y secundario que, aunque no involucra directamente el diseño, la configuración y el control de las variables del presente sistema de control, es crucial para determinar si el proceso de fermentación se realizó correctamente. Se realiza esta prueba porque es el único proceso que se está alterando o modificando en comparación con los procedimientos normalmente utilizados. Además, la prueba de taza permite evaluar las propiedades y características organolépticas adquiridas durante la fermentación, proporcionando un factor de la calidad final del café (Anexo B).

Una vez determinada la cantidad de café brindada para el proceso de fermentación, la cual equivale a 5 kilogramos de café en grano, se procedió a buscar un tanque adecuado para llevar a cabo este proceso (Figura 17). La búsqueda se enfocó en encontrar un tanque que pudiera contener cómodamente los 5 kilogramos de café sin riesgo de desbordamiento y que permitiera un manejo adecuado durante la fermentación. Como se muestra en la siguiente figura



Figura 17 Modelo de Tanques para la Fermentación. (a) Tanque con vacío medio (b) Tanque con vacío bajo (c) Tanque con vacío alto

Después de evaluar varias opciones de tanques, se seleccionó un tanque con una capacidad de 10 litros (Figura 18). Este tanque resultó ser ideal, ya que permite que los 5 kilogramos de café en grano se almacenen perfectamente, asegurando que haya suficiente espacio para la expansión natural de los granos durante el proceso de fermentación sin que se derrame. Además, el tanque deja un espacio libre de aproximadamente 5 centímetros desde la superficie del café hasta el borde del tanque, lo que facilita la manipulación y previene posibles derrames durante el proceso.



Figura 18 Tanque Ideal de 10 Litros para Almacenar 5Kg de Café en Grano Link <https://shorturl.at/rulUI>

En el marco de nuestra investigación, se estableció parámetros específicos para el sistema de control de fermentación del café, con el objetivo de obtener la mayor eficacia del sistema de control y así optimizar la calidad del producto final. La temperatura se mantenga entre un mínimo de 20°C y un máximo de 22°C, un rango considerado ideal para favorecer la actividad de las levaduras y bacterias beneficiosas. Además, hemos determinado que el pH en su estado inicial a la escala natural de sí mismo y en su transcurso la escala mínima sea de 5. En caso de que no se registren cambios significativos, se debe realizar un ajuste y deducir la escala mínima del pH a 4. Estos parámetros son esenciales para garantizar un proceso de fermentación eficiente, que contribuya a resaltar las características organolépticas del café y a mejorar su calidad en el mercado.

4.2 Construcción de Prototipo para el Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café.

Para determinar los valores óptimos o *set points* de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café, se integraron dos fuentes clave de información: el conocimiento empírico de los caficultores, basado en años de experiencia en el manejo de sus cultivos, y la información científica recopilada en los antecedentes. Este enfoque permitió establecer rangos óptimos

adaptados tanto a las prácticas tradicionales como a las recomendaciones técnicas. Así, se definió que la temperatura ideal debía mantenerse entre 20°C y 22°C, mientras que el pH no debía descender por debajo de 4, ya que fuera de estos rangos podrían generarse defectos en el proceso de fermentación, afectando la calidad final del café.

Con base en estos parámetros, se seleccionó un sistema de control *on/off* debido a su capacidad para regular eficazmente estas variables sin incurrir en la complejidad técnica. Este enfoque permite mantener las condiciones dentro de los rangos establecidos de manera simple y eficiente, lo que lo hace accesible para los caficultores y adaptable a las condiciones específicas de las fincas cafeteras. La elección del sistema también responde a la necesidad de ofrecer una solución práctica que respete las tradiciones locales mientras incorpora elementos de control que optimicen el proceso de fermentación.

4.2.1 Diseño de Prototipo

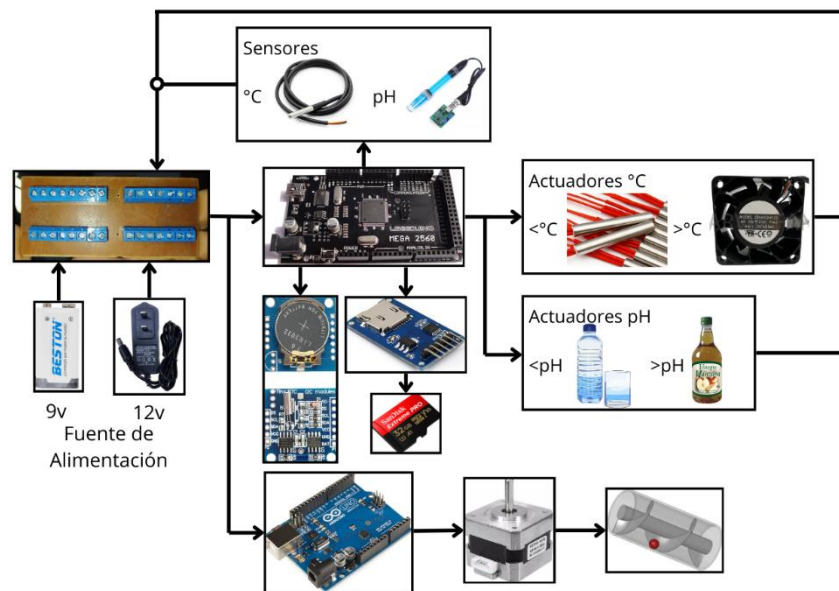


Figura 19 Diseño General del Prototipo

La Figura 19 presenta el diseño general del prototipo del sistema de control de temperatura y pH empleado en el proceso de fermentación del café. El sistema cuenta con dos fuentes de alimentación, una de 9V y otra de 12V, conectadas a una placa principal que distribuye la energía en dos circuitos independientes para alimentar los componentes del sistema.

Se destacan dos microcontroladores: un Arduino Mega 2560 y un Arduino Uno. El Arduino Mega 2560 se encarga de la gestión de los sensores y actuadores principales, incluyendo:

- ✓ **Sensores:**
 - Sensor de temperatura DS18B20.
 - Sensor de pH E201C.
- ✓ **Actuadores para el control de temperatura:**
 - Ventilador de 12V.
 - Calentador PTC.
- ✓ **Actuadores para el control de pH:**
 - Dispensador de agua de calidad (tratada con ozono).
 - Dosificador de vinagre de manzana.
- ✓ **Módulos adicionales:**
 - Módulo RTC DS1307 para la gestión de fecha y hora.
 - Módulo de almacenamiento microSD para registrar los datos recolectados por los sensores.

El Arduino Uno se emplea exclusivamente para controlar el motor NEMA 17, el cual acciona el tornillo de Arquímedes durante el proceso de fermentación.

4.2.1.1 Placas de Conexión

Se hace uso del programa de PROTEUS 8 PROFESSIONAL para hacer el diseño de las placas de conexión para los sensores de temperatura, módulo RTC 1307 y módulo MICRO_SD, debido a que no cuentan con una placa propia en comparación a las placas de conexión para el sensor de pH y controladores del ventilador, calentador y motor quienes ya cuentan con una placa propia.

4.2.1.1.1 Alimentación de 9v y 12V

En la figura 20-21-22, se encuentra la placa de conexión de alimentación de 5v y 12v donde están los puertos de alimentación positiva en la sección J1 y J2 y los puertos de alimentación negativa en la sección J3 y J4. Donde se conectan todas las placas de circuito, sensores y actuadores que forman parte del sistema de control.

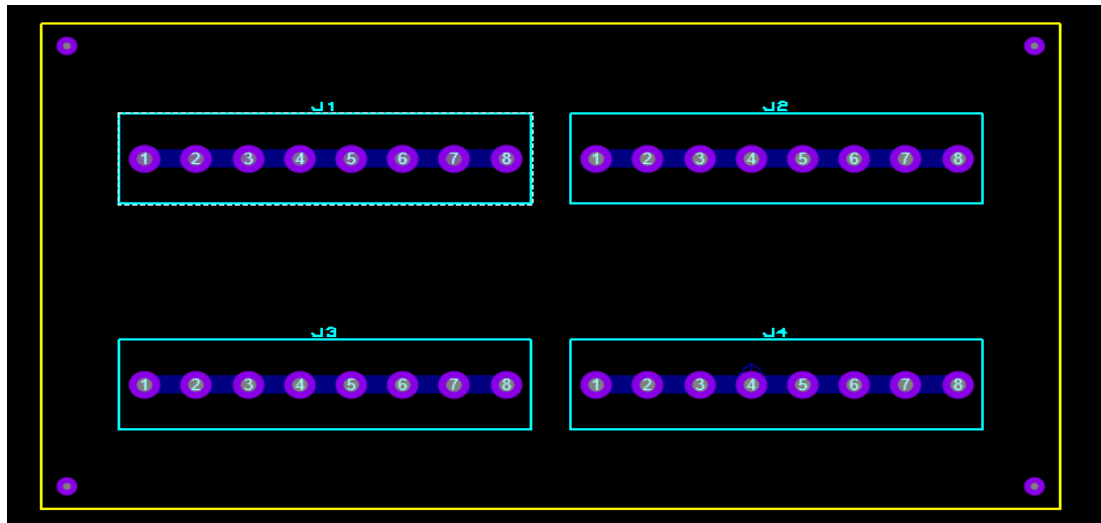


Figura 20 Placa de Conexión de Alimentación 5v y 12V

Placa con vista Posterior de la alimentación de 9v y 12v

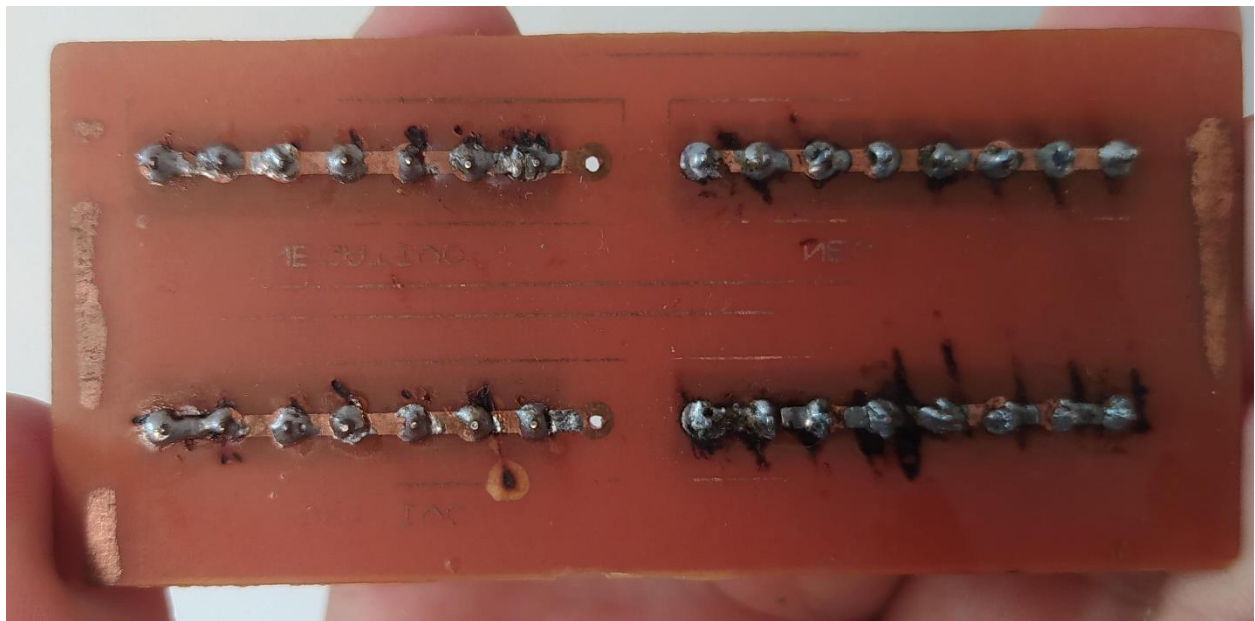


Figura 21 vista Posterior de la alimentación de 9v y 12v

Placa con vista Frontal de la alimentación de 9v y 12v,

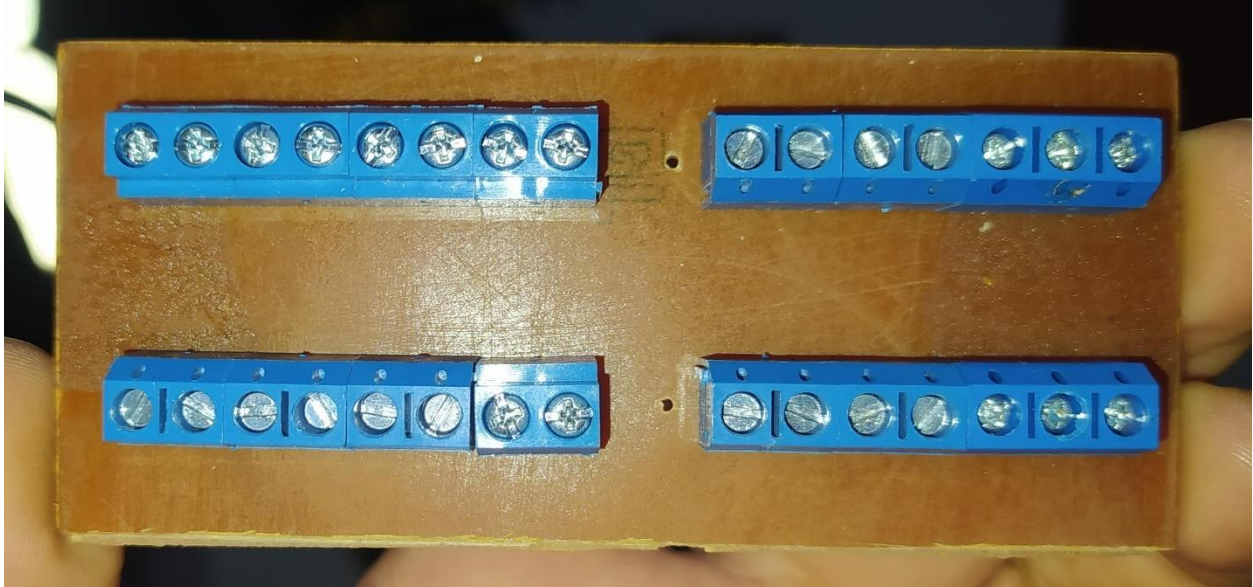


Figura 22 vista Frontal de la alimentación de 9v y 12v

4.2.1.1.2 Sensores de Temperatura - DS18B20

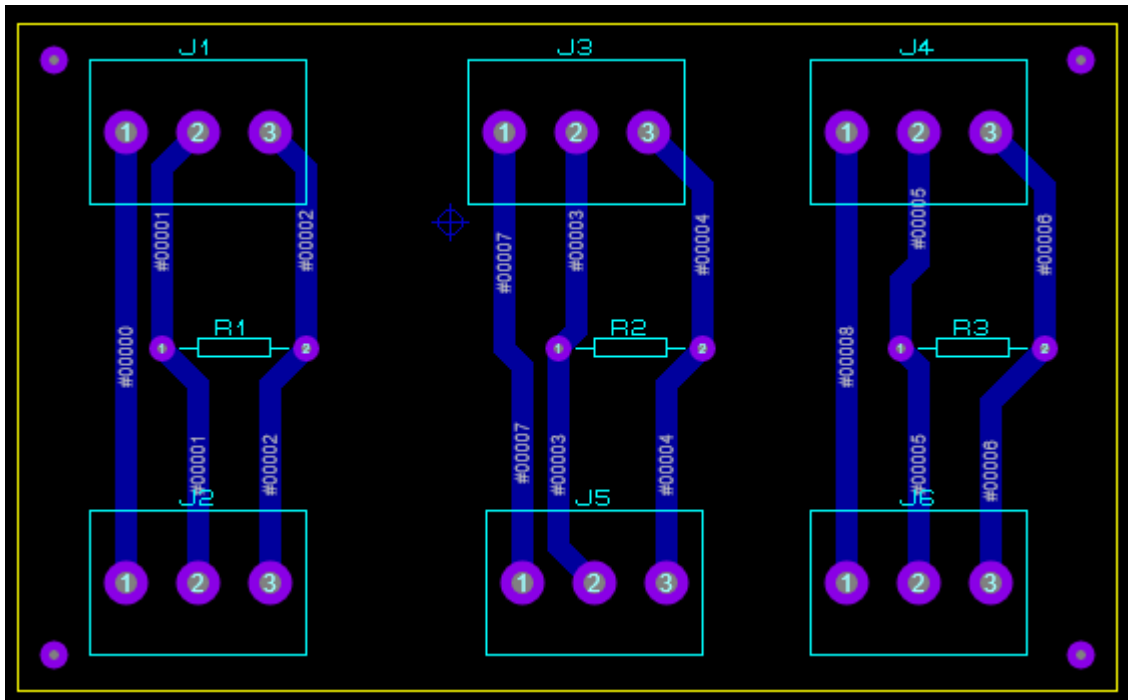


Figura 23 Placa de Sensores de Temperatura - DS18B20

En la figura 23-24-25, se encuentra la placa de los sensores DS18B20 donde están los puertos de alimentación en la sección de J1-J3-J4 en la posición 1 y 3, los puertos de entrada en la

sección J2-J5-J6 en la posición 1 y 3 la alimentación al sensor; en la posición 2 la señal del sensor y los puertos de salida hacia el arduino en una parte de la sección J1-J3-J4 en el puesto 2. Con el fin de censar y tomar los datos de la temperatura en la que se encuentra la masa de café en el proceso de fermentación.

Placa con vista Frontal de los sensores DS18B20,

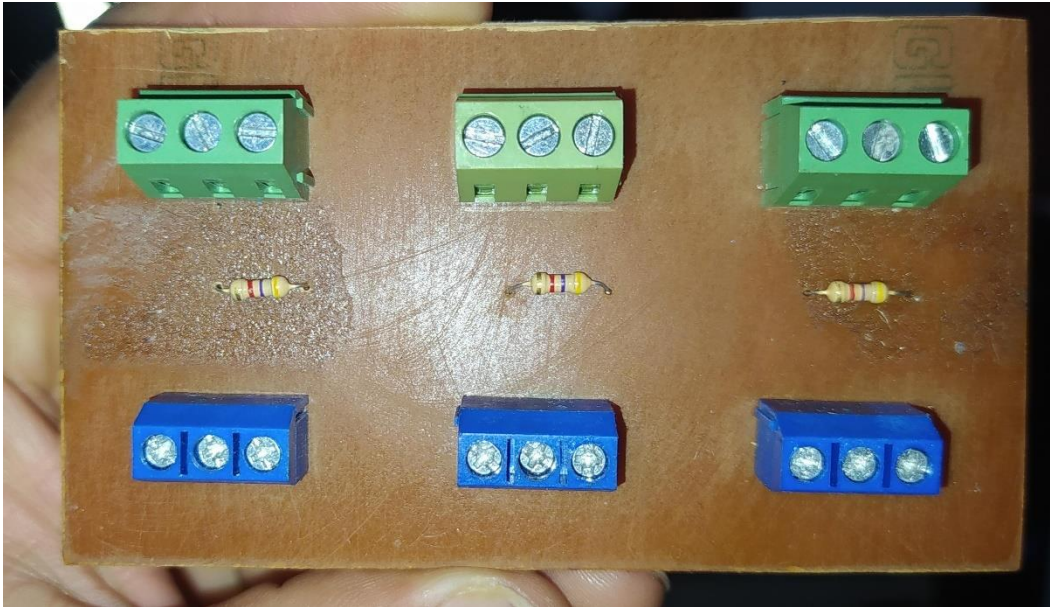


Figura 24 vista Frontal de los sensores DS18B20

Placa con vista Posterior de los sensores DS18B20,



Figura 25 vista Posterior de los sensores DS18B20

4.2.1.1.3 Modulo MICRO SD

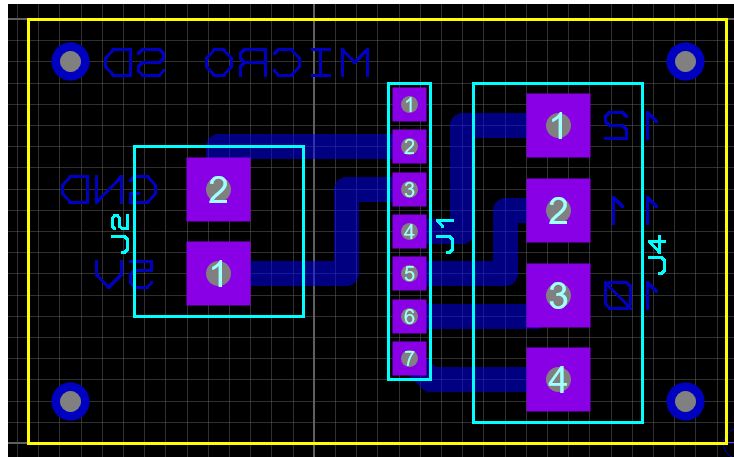


Figura 26 Placa del Módulo Micro SD

En la figura 26-27-28, se encuentra la placa de modulo MICRO SD donde están los puertos de alimentación en la sección de J2, los puertos de entrada del módulo en la sección de J1 y los puertos de salida hacia el arduino en la sección J4. Con el fin de guardar toda la información recolectada de temperatura, pH y fecha y hora.

Placa con vista Frontal del módulo Micro SD,

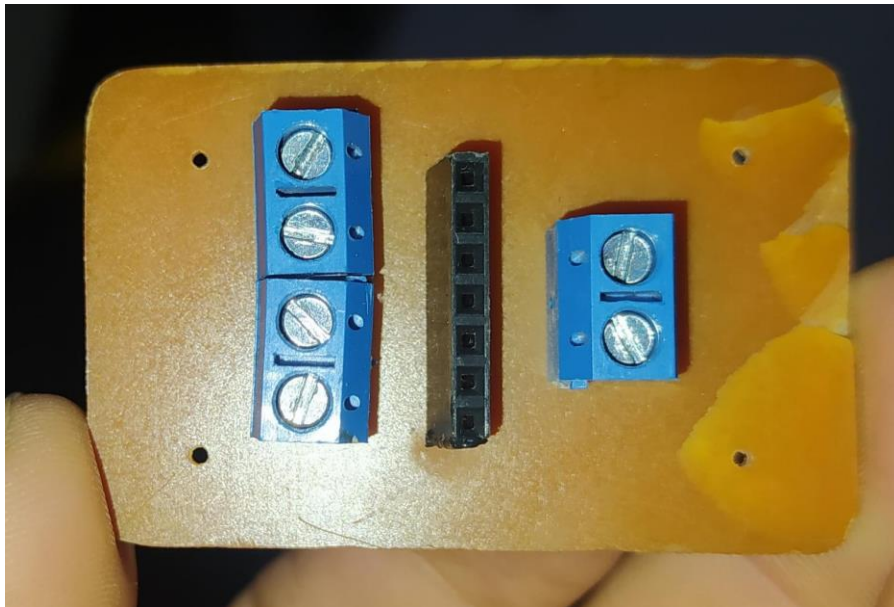


Figura 27 vista Frontal del módulo Micro SD

Placa con vista Posterior del módulo Micro SD,

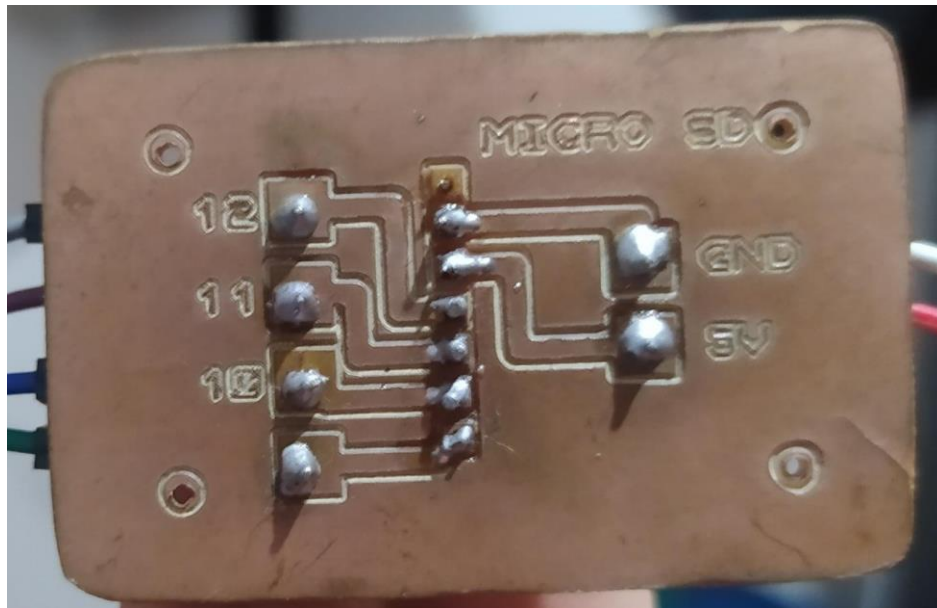


Figura 28 vista Posterior del módulo Micro SD

4.2.1.2 Tornillo de Arquímedes

Para asegurar una fermentación uniforme y controlar de manera efectiva la temperatura y el pH en la masa de café durante el proceso, se tomó como modelo el tornillo de Arquímedes (Figura 29) el cual se lo construye con tubos de PVC, ya que es un material que no altera el proceso de fermentación del café (Figura 30).

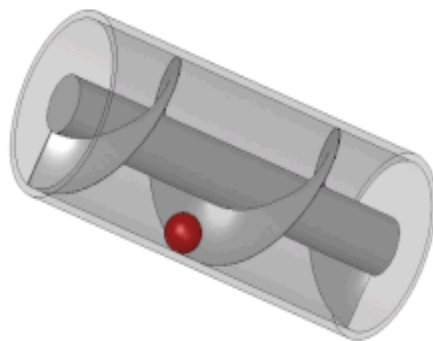


Figura 29 Modelo guía de Tornillo de Arquímedes

El propósito de este tornillo de Arquímedes es para mezclar la masa de café durante la fermentación, asegurando que el café que se encuentra en la parte inferior del tanque sea elevado hacia la superficie. Este movimiento continuo de abajo hacia arriba permite que toda la masa de café se mantenga homogénea. De esta manera, se garantiza que todos los granos de café estén expuestos a condiciones uniformes.



Figura 30 Tornillo de Arquímedes Real

4.2.2 Acoplamiento de Materiales

4.2.2.1 Módulo para el Sensor de pH



Figura 31 Placa del Módulo para el Sensor de pH Link <https://shorturl.at/4ZXpN>

En la figura 31, se encuentra la placa del módulo para el sensor de pH donde están los puertos de alimentación y salida hacia el arduino en la sección izquierda, y el puerto de entrada

del sensor de pH en la sección derecha. Con el fin de sensar y tomar los datos de pH en el que se encuentra la masa de café en el proceso de fermentación.

4.2.2.2 Modulo Relé Arduino

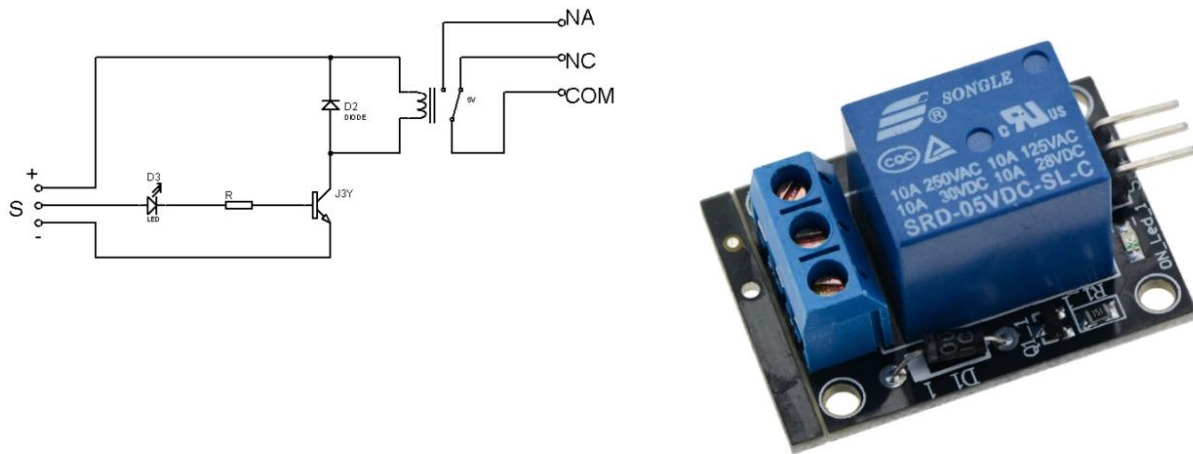


Figura 32 Placa del Relé Arduino Link <https://shorturl.at/olmV0>

En la figura 32, se encuentra la placa del módulo relé de arduino donde están los puertos de alimentación y salida hacia el arduino en la sección derecha, y el puerto de entrada de los elementos como el ventilador y calentador en la sección izquierda. Con el fin de actuar como un swich de encendido y apagado para cada elemento.

4.2.3 Instalación de Componentes

Se procedió a instalar los sensores de temperatura (DS18B20) (Figura 33) a una distancia de 7 centímetros de cada sensor con el fin de separar las temperaturas en alto, medio y bajo; sensor de pH (E201C) (Figura 34) a una distancia de 14 centímetros en el tanque a utilizar para el control (Figura 35)

Sensores de Temperatura - DS18B20,



Figura 33 Ubicación de Sensores de Temperatura DS18B20

Sensor de pH de Arduino – E-201C



Figura 34 Ubicación de Sensor de pH de Arduino E201C

Vista interna del tanque donde se observa la ubicación de los sensores de temperatura y pH

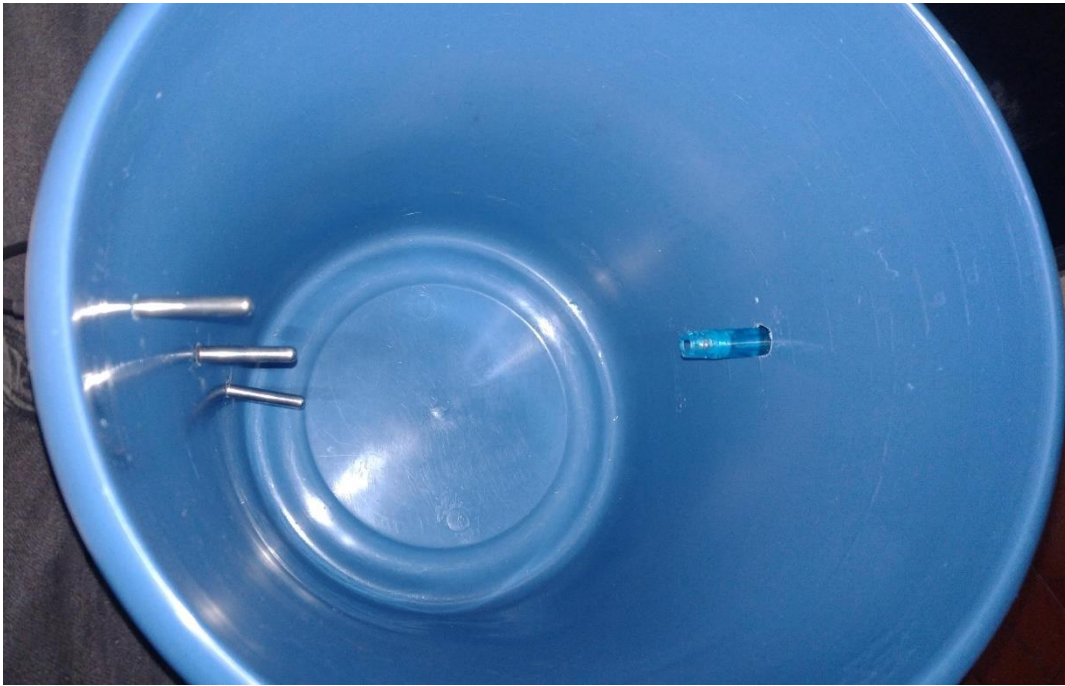


Figura 35 Ubicación interna de los sensores temperatura y pH

Enseguida se hizo la instalación de los elementos que ayudaran a controlar las variables de temperatura y pH. Para el control de la temperatura se utilizó un ventilador de 12 voltios cuya la función del enfriamiento y calentadores PTC de 12 voltios cuya función del calentamiento (Figura 36). El sistema cuenta con un ventilador ubicado en la parte superior del tanque, sin contacto con la masa de café, cuyo propósito es introducir aire hacia el interior del tanque para enfriar la masa. Además, se han instalado calentadores PTC en diferentes puntos del tanque, en contacto directo con la masa de café, para generar calor y aumentar la temperatura de manera controlada.

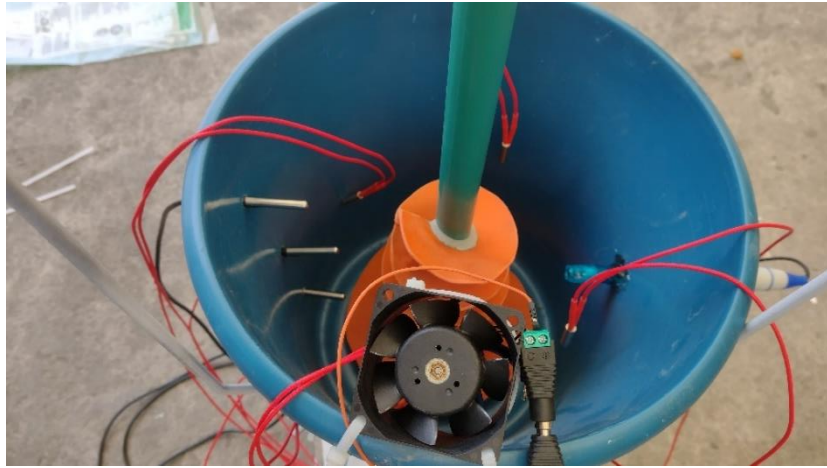


Figura 36 Ubicación de ventilador y calentadores PTC

Para el control del pH en el medio se utilizó agua de calidad (Ozono) la cual cuenta con un pH neutro (7) en función de aumentar el pH y el vinagre de cocina con sabor a frutas la cual cuenta con un pH ácido (3) en función de disminuir el pH (Figura 37). En este proceso no se tiene evidencia de componente eléctrico o electrónico, debido que se ve necesario realizar pruebas de ensayo y error manualmente para encontrar la cantidad de líquido necesario a usar para poder definir correctamente la válvula de flujo para el control.



Figura 37 Vinagre de Manzana y Agua de Calidad (Ozono)

Para finalizar se instaló un motor paso a paso de referencia NEMA 17 (Figura 38) el cual cuenta con la capacidad de mover masas solidas de 5 a 8 kilogramos, este motor se lo ubico en la parte inferior externa del tanque. Adicionalmente, se añadió el tornillo de Arquímedes para generar movimiento desde la parte inferior hacia la parte superior, cuya función es mezclar la masa de café y sea homogénea, el cual se lo ubico en la parte interna del tanque que va unido al motor.

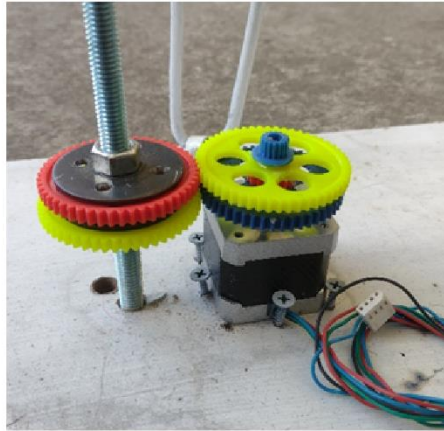


Figura 38 Motor Nema 17 acoplado con los engranajes

4.3 Construcción del Firmware para el Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café.

4.3.1 Diseño de Firmware

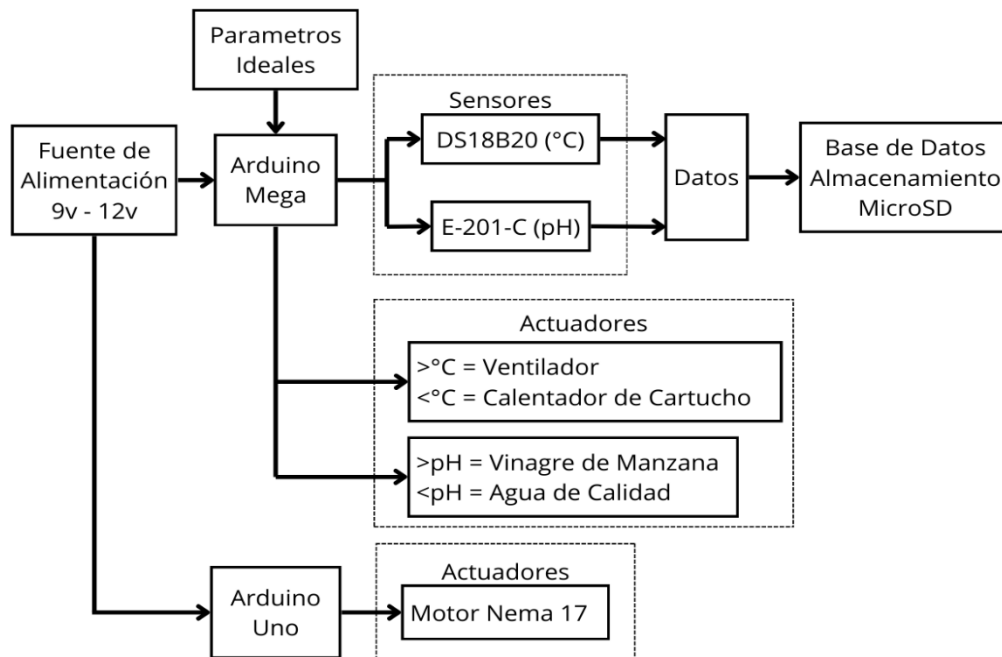


Figura 39 Diseño General del Firmware del prototipo

Para este proceso se implementó dos diagramas de organizacionales tanto para la temperatura y el pH, con el fin de llevar un orden de los parámetros para estudiar el comportamiento del café.

Temperatura,



Figura 40 Diagrama organizacional de la interacción de la temperatura para el comportamiento del café en el proceso de fermentación

La Figura 40 nos indica un diagrama organizacional que representa la interacción de la temperatura al microcontrolador arduino mega. Inicialmente, el arduino mega se conecta con los sensores de temperatura para que enseguida el arduino mega recepcione a través de una señal digital, un valor numérico representando los grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), este valor se muestra, se registra y se almacena meticulosamente en una base de datos, junto con la fecha y hora proporcionadas por un módulo de reloj RTC DS1307, lo cual ocurre a intervalos de 5 minutos. Posteriormente, estos datos se archivan en el módulo micro SD para su respectivo análisis del comportamiento de la temperatura en el proceso de fermentación del café.

pH,



Figura 41 Diagrama organizacional de la interacción del pH para el comportamiento del café en el proceso de fermentación

La Figura 41 nos indica un diagrama organizacional que representa la interacción del pH al microcontrolador arduino mega. Inicialmente, el arduino mega se conecta con el sensor de pH para que enseguida el arduino mega recepcione a través de una señal analógica, la cual se somete a una codificación para ser convertida a un valor digital, este valor numérico está representando en que escala de pH se encuentra, este valor se muestra, se registra y se almacena meticulosamente en una base de datos, junto con la fecha y hora proporcionadas por un módulo de reloj RTC DS1307, lo cual ocurre a intervalos de 5 minutos. Posteriormente, estos datos se archivan en el módulo micro SD para su respectivo análisis del comportamiento del pH en el proceso de fermentación del café.

Para lograr una buena construcción del software del sistema de control de temperatura y pH en el proceso de la fermentación, se implementó otros dos diagramas de flujo, con el fin de llevar un orden en el sistema de control para la temperatura y pH, de la siguiente manera

Temperatura,



Figura 42 Diagrama organizacional de la interacción de la temperatura en el sistema de control

La Figura 42 nos indica un diagrama organizacional que representa la interacción de la temperatura al microcontrolador Arduino Mega. Inicialmente, el arduino mega se conecta con los sensores de temperatura para que enseguida el Arduino Mega recepcione a través de una señal digital, un valor numérico representando los grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), este valor se muestra y se compara con los parámetros establecidos en el Arduino Mega, en cuanto se detecte que la temperatura disminuye o aumenta a los parámetros establecidos el Arduino Mega dará una orden para ejecutar el actuador respectivo según sea el caso, enseguida realiza un bucle de todo el proceso, se registra los valores y se almacena meticulosamente en una base de datos, junto con la fecha y hora proporcionadas por un módulo de reloj RTC DS1307, lo cual ocurre a intervalos de 5 minutos. Posteriormente, estos datos se archivan en el módulo micro SD para su respectivo análisis del sistema de control de temperatura en el proceso de fermentación del café.

pH,



Figura 43 Diagrama organizacional de la interacción del pH en el sistema de control

La Figura 43 nos indica un diagrama organizacional que representa la interacción del pH al microcontrolador Arduino mega. Inicialmente, el Arduino mega se conecta con el sensor de pH para que enseguida el Arduino mega recepcione a través de una señal analógica, la cual se somete a una codificación para ser convertida a un valor digital, este valor numérico está representando en que escala de pH se encuentra, este valor se muestra y se compara con los parámetros establecidos en el Arduino Mega, en cuanto se detecte que el pH disminuye o aumente a los parámetros establecidos el Arduino Mega dará una orden para ejecutar el actuador respectivo según sea el caso, enseguida realiza un bucle de todo el proceso, se registra los valores y se almacena meticulosamente en una base de datos, junto con la fecha y hora proporcionadas por un módulo de reloj RTC DS1307, lo cual ocurre a intervalos de 5 minutos. Posteriormente, estos datos se archivan en el módulo micro SD para su respectivo análisis del comportamiento del pH en el proceso de fermentación del café.

Para el sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café con fines demostrativos, explicativos y fácil entendimiento, se implementó diagramas de bloques por separado donde se puede mostrar el código del funcionamiento

Temperatura,

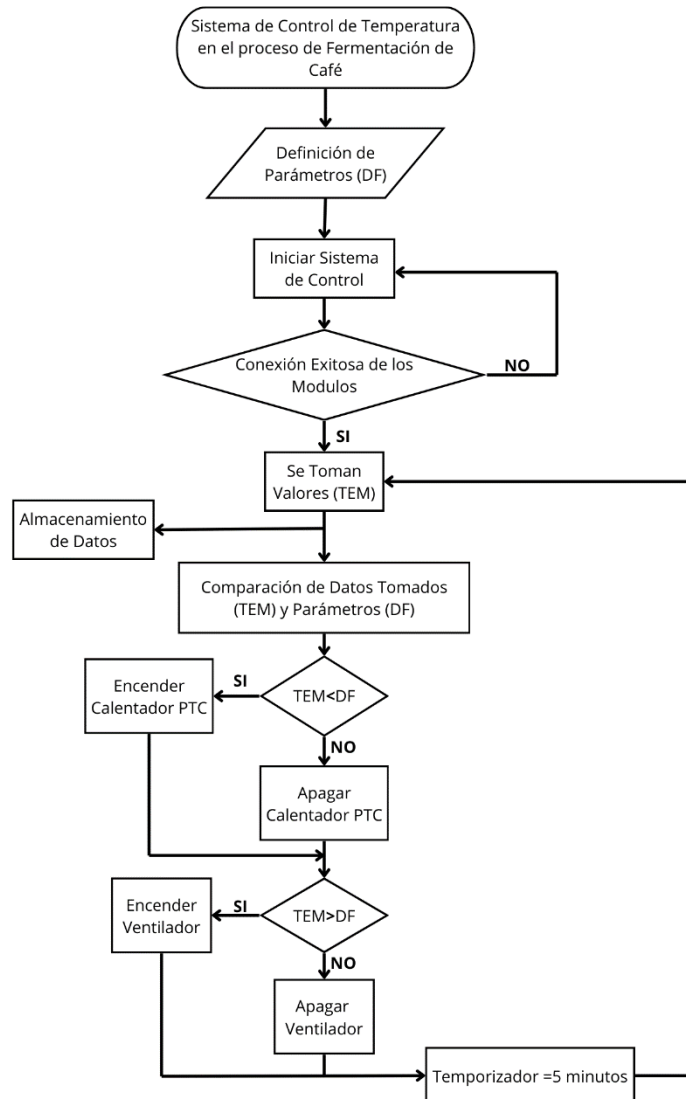


Figura 44 Diagrama de bloques del Funcionamiento del sistema de control de temperatura

La Figura 44 nos indica un diagrama de bloques que nos representa el funcionamiento del sistema de control de la temperatura en el proceso de fermentación del café, en este sistema se establece los parámetros a controlar, se inicia el programa para que enseguida se verifique primero los módulos si están correctamente conectados, si la respuesta es negativa el programa se reiniciara hasta que los módulos se encuentren correctamente conectados; si la respuesta es positiva el programa empezara a censar y a tomar valores de los sensores de temperatura para que enseguida guarde los datos en la micro sd y realice la comparación de los datos tomados y los parámetros

definidos después se despliegan diferentes probabilidades tales como si la temperatura es mayor a los parámetros definidos se enciende el ventilador; si la temperatura es menor a los parámetros definidos se enciende el calentador PTC; si la temperatura es igual o está dentro de los parámetros definidos el ventilador y el calentador PTC estarán apagados. Este ciclo se repite cada 5 minutos hasta que la herramienta del Fermaestro demuestre que el proceso de fermentación ha finalizado.

pH,

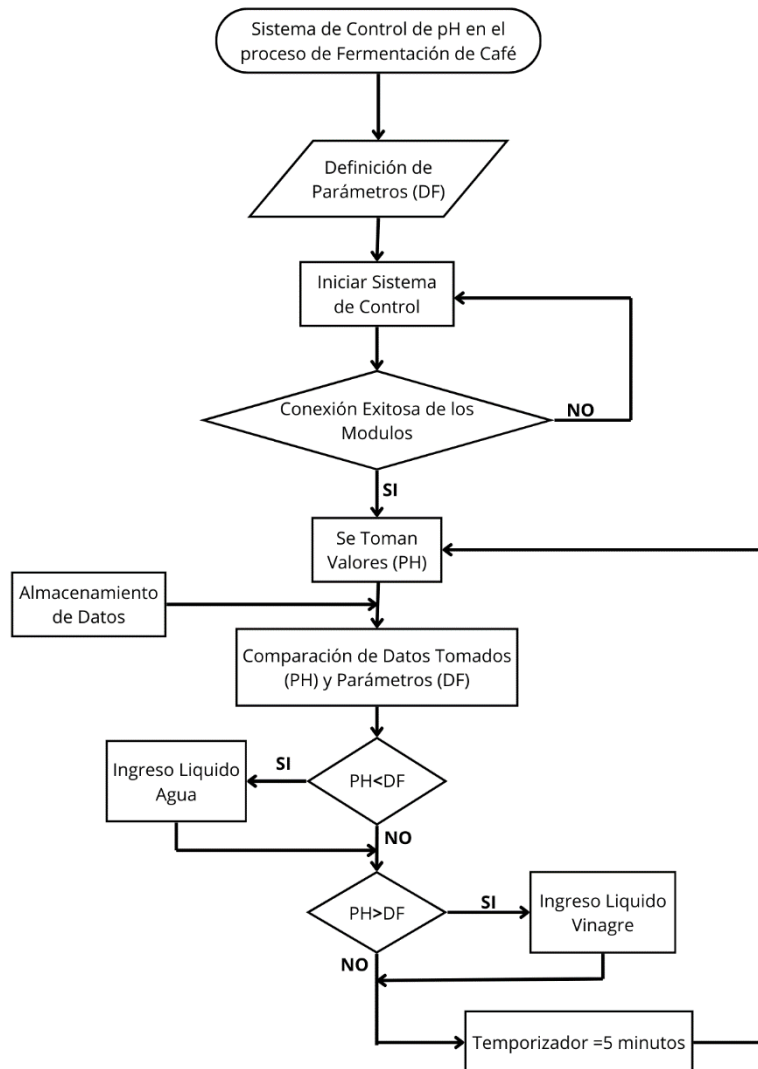


Figura 45 Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de control del pH

La Figura 45 nos indica un diagrama de bloques que nos representa el funcionamiento del sistema de control del pH en el proceso de fermentación del café, en este sistema se establece los parámetros a controlar, se inicia el programa para que enseguida se verifique primero los módulos si están correctamente conectados, si la respuesta es negativa el programa se reiniciara hasta que los módulos se encuentren correctamente conectados; si la respuesta es positiva el programa empezara a censar y a tomar valores del sensor de pH para que enseguida guarde los datos en la micro sd y realice la comparación de los datos tomados y los parámetros definidos después se despliegan diferentes probabilidades tales como si el pH es mayor a los parámetros definidos se introduce liquido de vinagre de manzana; si el pH es menor a los parámetros definidos se introduce liquido de agua de calidad. Este ciclo se repite cada 6 minutos hasta que la herramienta del Fermaestro demuestre que el proceso de fermentación ha finalizado.

Motor,

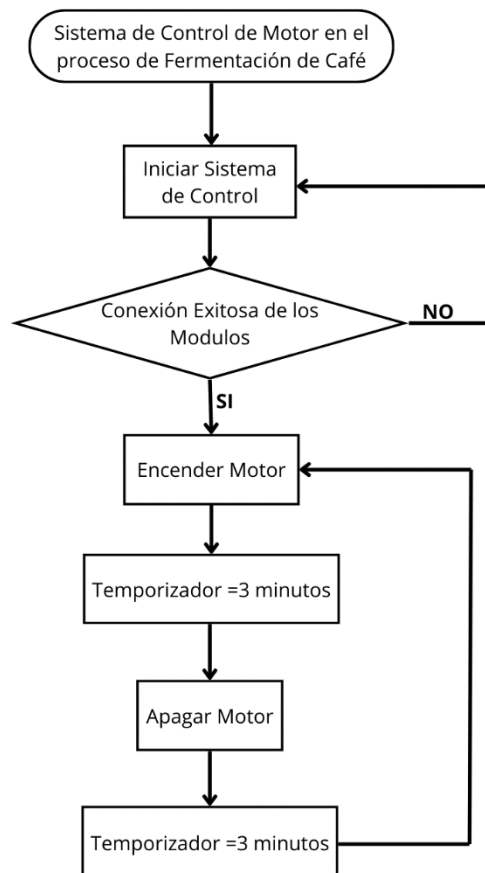


Figura 46 Diagrama de bloques del funcionamiento del motor

La Figura 46 nos indica un diagrama de bloques que nos representa el funcionamiento del sistema de control del movimiento del motor en el proceso de fermentación del café, se inicia el programa para que enseguida se verifique primero los módulos si están correctamente conectados, si la respuesta es negativa el programa se reiniciara hasta que los módulos se encuentren correctamente conectados; si la respuesta es positiva el motor se encenderá por un lapso de tiempo de 3 minutos y enseguida se apagara por un lapso de tiempo de 3 minutos. Este ciclo se repite hasta que la herramienta del Fermaestro demuestre que el proceso de fermentación ha finalizado.

4.4 Analizar y Evaluar el Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café.

Para llevar a cabo este proyecto, se realizaron diversas pruebas y recolección de datos en diferentes etapas del proceso de fermentación del café. Estos pasos iniciales fueron fundamentales para establecer un marco de referencia y obtener información valiosa sobre el comportamiento del café bajo distintas condiciones. El análisis de los resultados que se presenta a continuación se centra en evaluar la eficacia del sistema implementado

4.4.1 Toma de datos

4.4.1.1 Sin Sistema de Control (Anexo A, Prueba 1)

Inicialmente, se realizó un análisis detallado del comportamiento del café en la finca de la señorita Marcela, ubicada en San Antonio, Buesaco, donde se observó el comportamiento natural del proceso de fermentación sin la intervención de un sistema de control, en el cual se tomaron datos de temperatura y pH minuto a minuto. Este proceso de fermentación tuvo una duración total de 18 horas y 45 minutos, lo que resultó en un total de 1,125 datos registrados.

El objetivo de este análisis fue observar y documentar cómo varían la temperatura y el pH del café durante el proceso de fermentación. Para ello, se presentaron dos gráficas: una que muestra el comportamiento de la temperatura donde se tuvo la temperatura superior, medio e inferior de la masa de café y la segunda del pH en función del tiempo.

Temperatura,

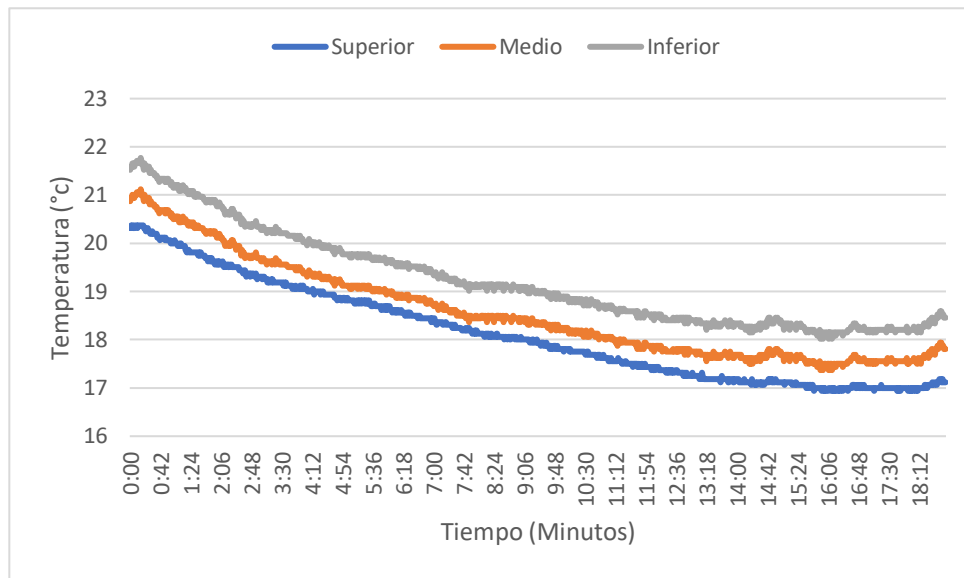


Figura 47 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba del comportamiento del café en el proceso de fermentación

pH,

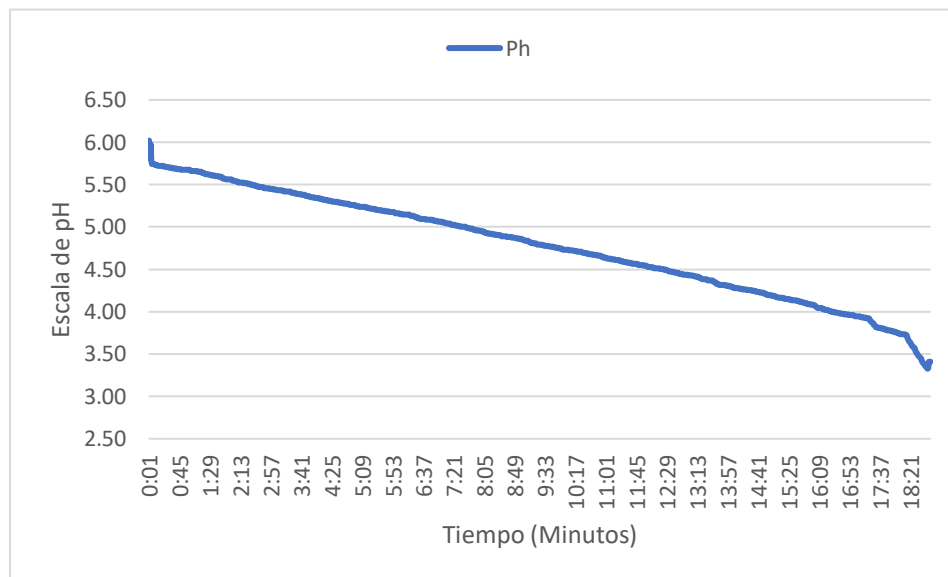


Figura 48 Grafica de pH vs tiempo de la prueba del comportamiento del café en el proceso de fermentación

A partir de este diagnóstico, se procedió a realizar una primera prueba comparativa en la finca del señor Herman, ubicada en Santa Bárbara, Sandoná. En la cual se evaluó el proceso de fermentación con y sin el sistema de control implementado.

4.4.1.2 Prueba #1 Con y Sin Sistema de Control (Anexo A, Prueba 2,2A,2B)

La prueba con el sistema de control se dividió en dos partes:

Parte A: Esta fase del experimento tuvo una duración de 18 horas, durante las cuales se tomaron datos en intervalos de 5 minutos. Esto resultó en un total de 216 datos para cada variable.

Temperatura,

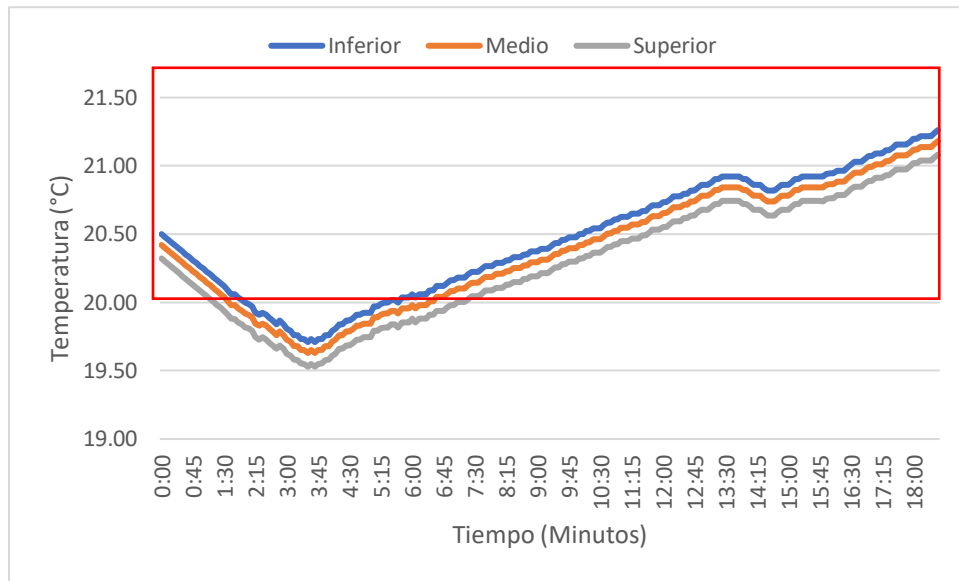


Figura 49 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba 1-a con sistema de control

pH,

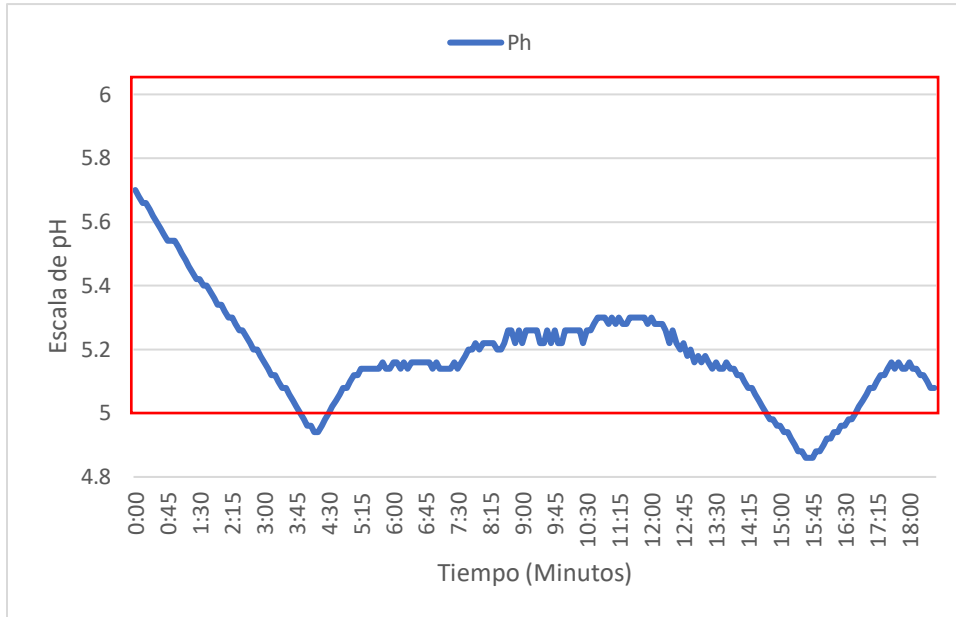


Figura 50 Grafica del pH vs tiempo de la prueba 1-a con sistema de control

Parte B: En esta fase, el tiempo de fermentación fue de 16 horas y 15 minutos, con la misma frecuencia de toma de datos cada 5 minutos. En este caso, se obtuvieron 195 datos para cada variable.

Temperatura,

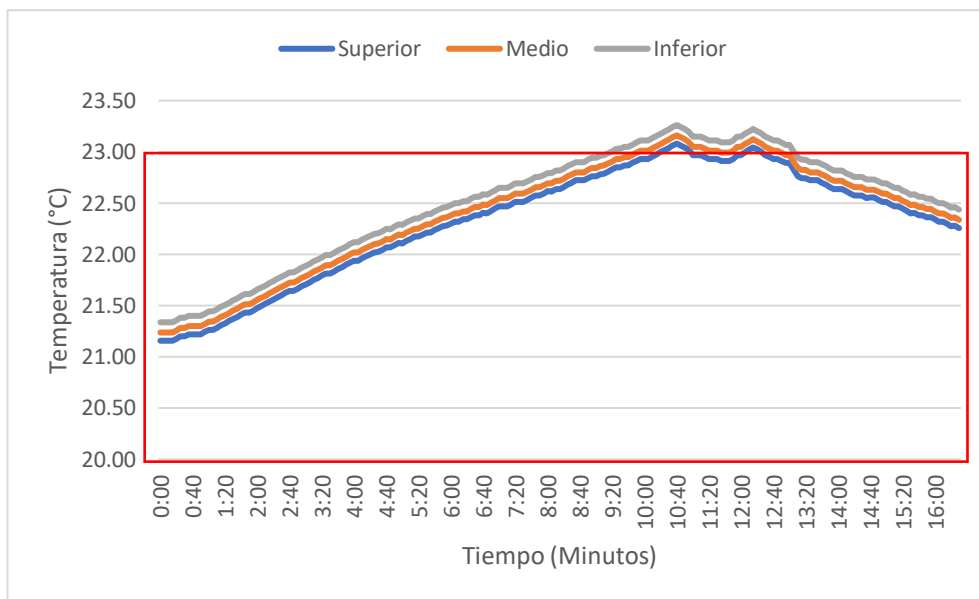


Figura 51 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba 1-b con sistema de control

pH,

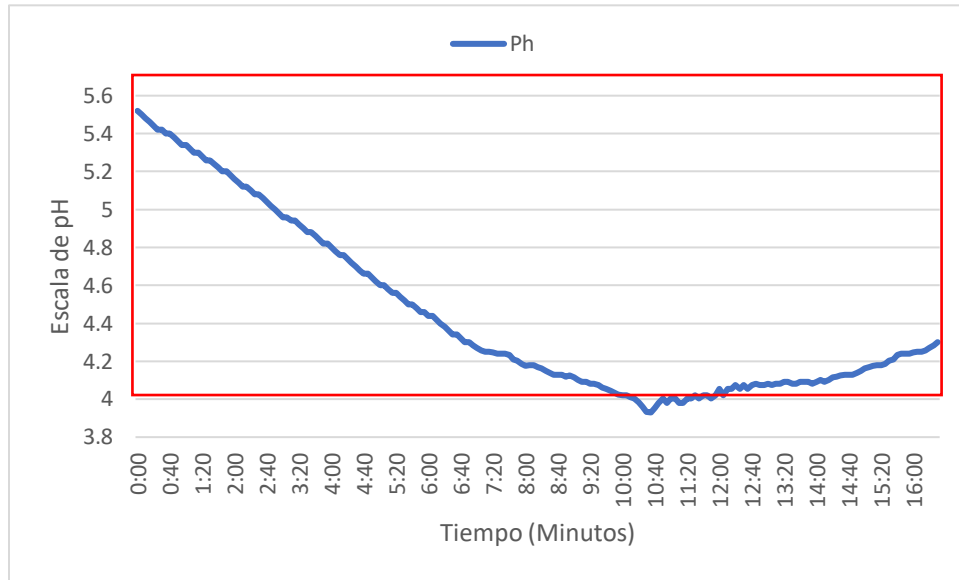


Figura 52 Grafica de pH vs tiempo de la prueba 1-b con sistema de control

Por otro lado, la prueba sin el sistema de control se realizó con un tiempo de fermentación de 18 horas, registrando datos cada 5 minutos, lo que resultó en 216 datos para cada variable.

Temperatura,

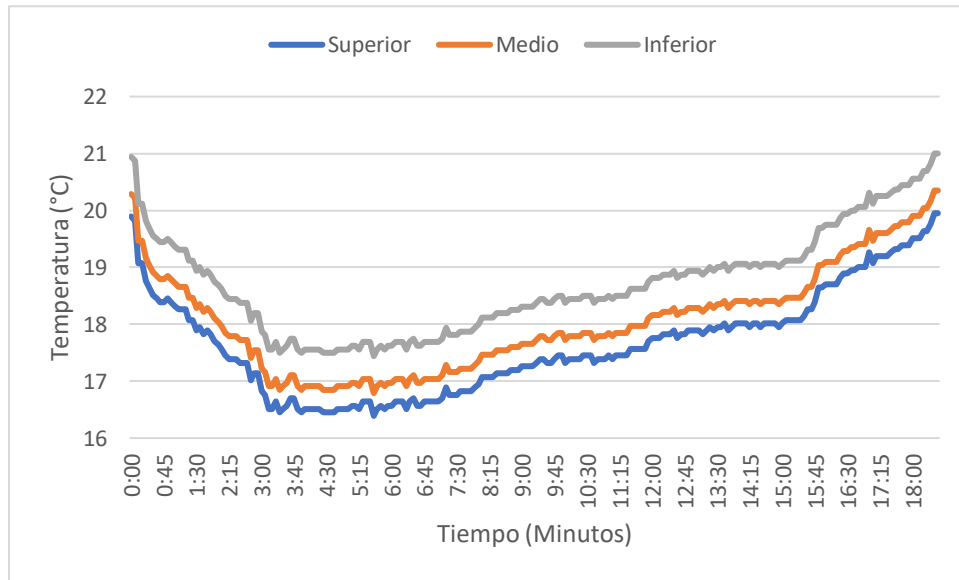


Figura 53 Grafica de temperatura vs tiempo de la prueba 1 sin el sistema de control

pH,

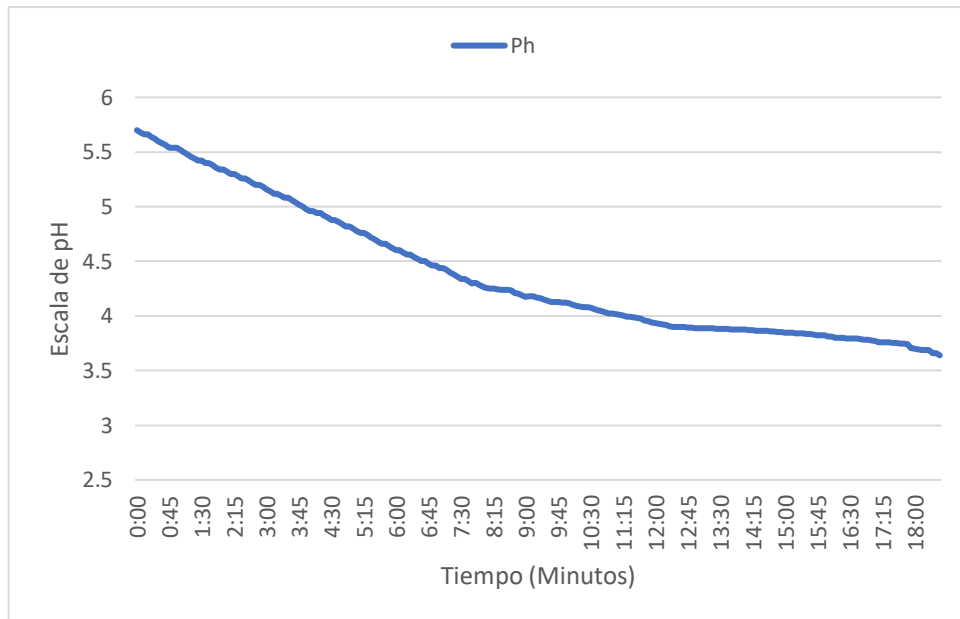


Figura 54 Grafica del pH vs tiempo de la prueba 1 sin el sistema de control

Posteriormente, se llevó a cabo una segunda prueba en la finca la señorita Marcela ubicada en San Antonio, Buesaco.

4.4.1.3 Prueba #2 Con y Sin Sistema de Control (Anexo A, Prueba 3,3A)

Con el mismo enfoque comparativo en el proceso de fermentación del café tanto con el sistema de control implementado como sin él.

Prueba con Sistema de Control: Esta prueba tuvo una duración de 17 horas y 35 minutos. Se tomaron datos en intervalos de 5 minutos, resultando en un total de 211 datos para cada una de las variables.

Temperatura,

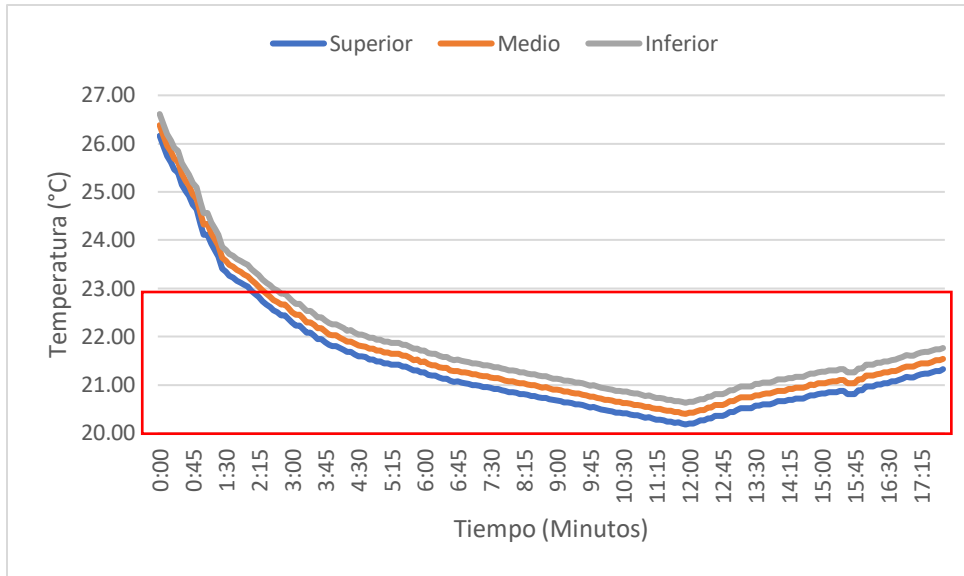


Figura 55 Grafica de Temperatura vs Tiempo de la Prueba #2 con Sistema de Control

pH,

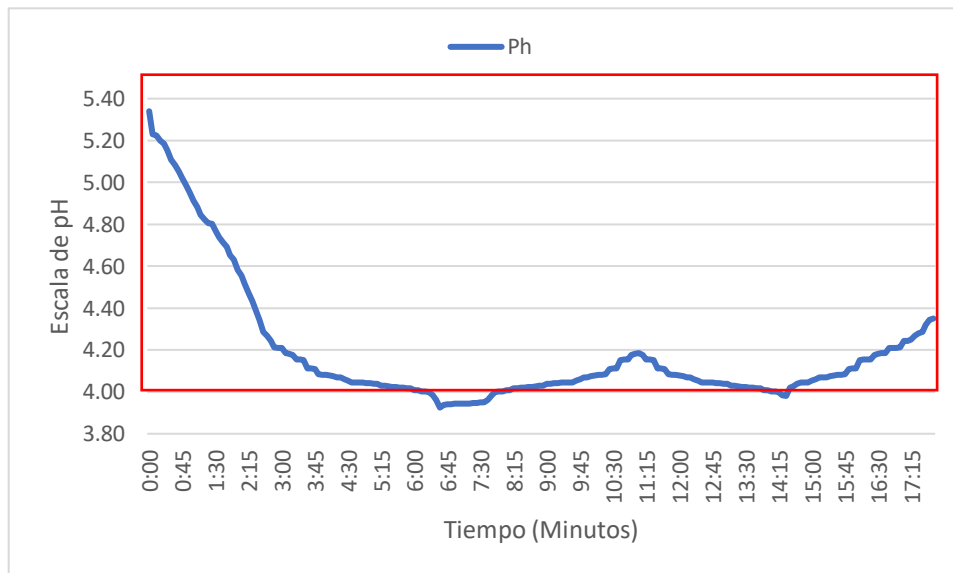


Figura 56 Grafica de pH vs Tiempo de la Prueba #2 con Sistema de Control

Prueba sin Sistema de Control: En esta fase, el tiempo de fermentación fue de 19 horas y 55 minutos, con la misma frecuencia de toma de datos cada 5 minutos, lo que resultó en un total de 239 datos para cada variable.

Temperatura,

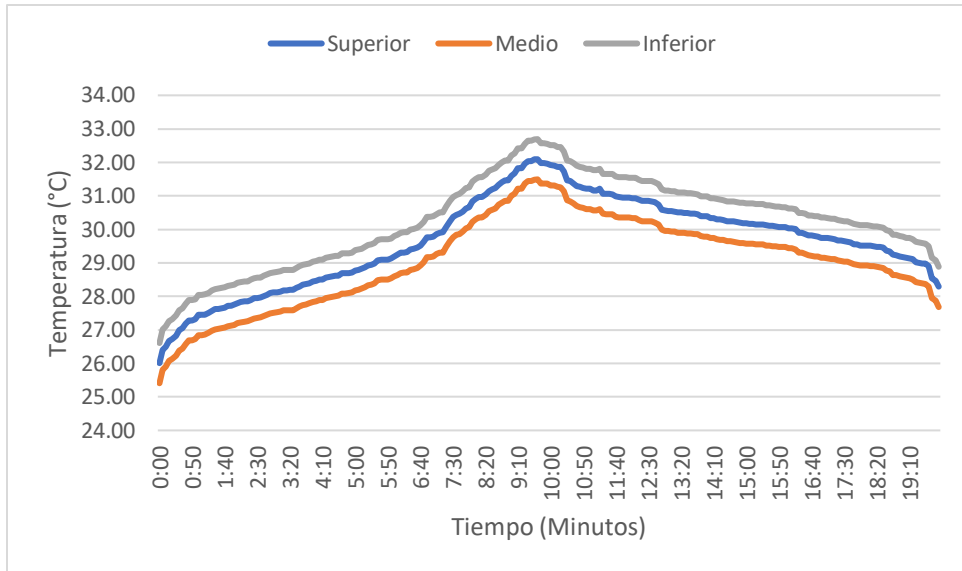


Figura 57 Grafica de Temperatura vs Tiempo de la Prueba #2 Sin Sistema de Control

pH,

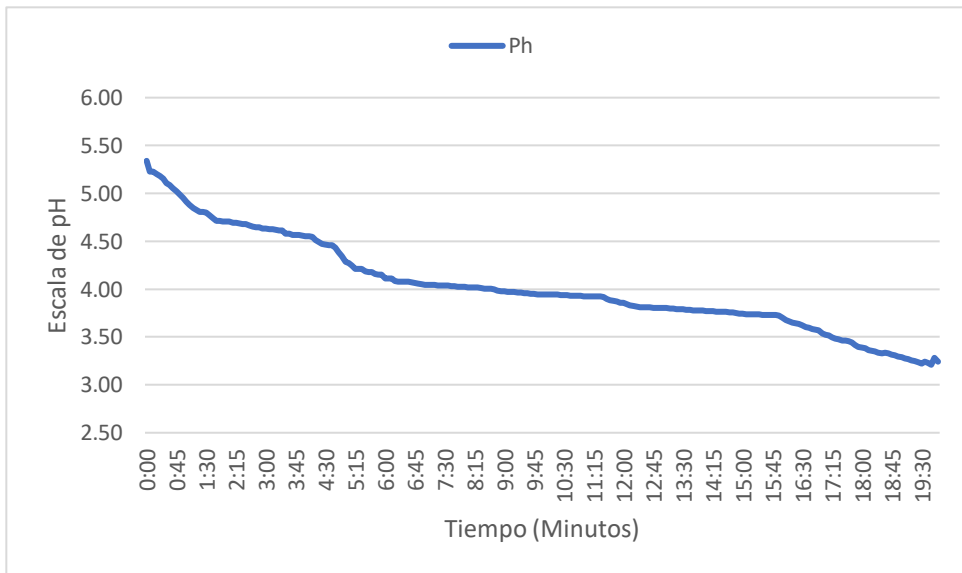


Figura 58 Grafica de pH vs Tiempo de la Prueba #2 Sin Sistema de Control

4.4.2 Análisis de los Datos

En el análisis de los datos recolectados durante el proceso de fermentación del café, se observó que la temperatura y el pH presentan comportamientos característicos que son esenciales para entender la dinámica de la fermentación. La curva de temperatura mostró una tendencia variable, con fluctuaciones ascendentes y descendentes a lo largo del tiempo. Por otro lado, la curva de pH siguió un patrón descendente consistente, lo cual es coherente con los antecedentes de estudios previos.

Los cambios observados en ambas variables validan la decisión de tomar mediciones a intervalos de 5 minutos durante las pruebas. Este intervalo de tiempo es adecuado para capturar las variaciones importantes sin perder detalles críticos del proceso.

Un hallazgo significativo fue que, a una temperatura de aproximadamente 20°C, el pH comenzó a mostrar descensos notables. Sin embargo, cuando la temperatura descendió, el pH presentó cambios más lentos, manteniéndose casi estable. Este comportamiento sugiere que la temperatura tiene un impacto directo en la tasa de descenso del pH, siendo más pronunciado en condiciones de temperatura más alta. A pesar de esta estabilidad en temperaturas más bajas, se confirmó que la curva del pH sigue el patrón esperado, comenzando en una escala entre 5.5 y 6, y finalizando entre 3 y 4, como lo indican los antecedentes del proceso de fermentación del café.

Además, se observó que el pH comienza a mostrar cambios significativos a partir de las 3 a 4 horas de iniciado el proceso de fermentación. Posteriormente, alrededor de las 4 horas, se notaron cambios más pronunciados, especialmente cuando la temperatura experimentó un aumento tras un período de estabilidad o descenso. Finalmente, se destacó que la determinación del punto ideal de fermentación depende del criterio del fermaestro, una herramienta clave que indica cuándo el proceso ha alcanzado su punto óptimo de fermentación.

En base a estos resultados, se determinó que la temperatura ideal para las pruebas con el sistema de control debería mantenerse entre 20°C y 22°C, con el fin de conocer las consecuencias. Sin embargo, el valor ideal del pH sigue siendo incierto, por lo que se decidió permitir que el pH fluctúe de manera natural, sin dejar que descienda por debajo de 5, con el fin de conocer las consecuencias.

4.4.2.1 Prueba #1 – Con y Sin el Sistema de Control

Se llevó a cabo una primera prueba con y sin el sistema de control con el objetivo de evaluar la eficacia del sistema implementado en el control de la temperatura y el pH durante el proceso de

fermentación del café. Ambas pruebas se iniciaron simultáneamente, teniendo la temperatura natural aproximadamente en 21°C y permitiendo que el pH fluctuara de manera natural sin descender por debajo de la escala de pH de 5.

Durante las primeras 3 a 4 horas en el proceso de fermentación, se observó que, en la prueba sin sistema de control, la temperatura comenzó a descender de manera continua. En cambio, el sistema de control con los calentadores PTC mostró una respuesta efectiva, estabilizando la temperatura dentro del rango deseado en un tiempo aproximadamente de 15 minutos. Los calentadores evitaron caídas adicionales de temperatura, lo que permitió mantener el proceso dentro de los parámetros establecidos, mientras que, en la prueba sin control, la temperatura se mantuvo por debajo del umbral deseado hasta finalizar el proceso de la fermentación del café.

En cuanto al pH, durante las primeras 3 a 4 horas, comenzó a descender significativamente, superando el valor límite establecido hasta una escala de pH de 4,94 en la prueba con el sistema de control. Para corregir esto, se suministraron 12 onzas (equivalentes a 350 ml) de agua de calidad, lo que provocó un aumento rápido del pH en un tiempo aproximadamente de 15 minutos. Este valor se mantuvo dentro de los parámetros establecidos durante un tiempo aproximadamente de 9 horas antes de comenzar a descender nuevamente hasta una escala de pH de 4,86. En este punto, se redujo la cantidad de líquido a 6 onzas (equivalentes a 180 ml) de agua de calidad, pero la respuesta fue más lenta, tomando un tiempo aproximadamente de 40 minutos para estabilizarse, y la duración de este efecto fue menor, ya que el pH comenzó a descender nuevamente después de 2 horas aunque manteniéndose dentro de los parámetros establecidos.

Al finalizar el proceso de fermentación del café en la prueba sin el sistema de control, también se pausó y se monitoreó la prueba con control, observando que la fermentación no había comenzado y que el pH se mantenía estable. Esto llevó a la conclusión de que, si el pH no desciende lo suficiente, el café no iniciará adecuadamente su proceso de fermentación, por lo que se decidió reiniciar el proceso de fermentación manteniendo la temperatura en los rangos y cambiando el rango del pH para que no descienda a 4.

En la continuación del proceso de fermentación del café, se la denominó "Prueba 1-B", se observó que la temperatura comenzó a ascender linealmente, hasta que superó los parámetros establecidos hasta llegar a una temperatura de 23,26 °C después de 10 horas de haber iniciado el proceso de fermentación. Aunque la respuesta fue más lenta, tomando un tiempo aproximadamente de 3 horas, se logró estabilizar la temperatura dentro del rango deseado, lo que puede atribuirse a

la fuerte variación pico de temperatura de la región durante esas horas. En cuanto al pH, durante esta etapa, se observó un descenso marcado a medida que la temperatura aumentaba. Cuando la temperatura se salió de los parámetros establecidos, el pH descendió por debajo del valor deseado hasta llegar a una escala de pH de 3,93, por lo que se suministraron 8 onzas (equivalentes a 240 ml) de agua de calidad, logrando una corrección efectiva dentro de los parámetros establecidos en un tiempo aproximadamente de 15 minutos.

Finalmente, el proceso de fermentación controlada finalizó tras 16 horas y 15 minutos, como lo indicó la herramienta del fermaestro. Esto, sumado al tiempo anterior, resultó en un total de 34 horas y 15 minutos para la prueba con sistema de control, en comparación con las 18 horas de la prueba sin control.

4.4.2.2 Prueba #2 – Con y Sin el Sistema de Control

Se llevó a cabo la segunda prueba, se inició simultáneamente el proceso de fermentación del café con y sin el sistema de control, comenzando con una temperatura inicial de aproximadamente 26°C y permitiendo que el pH fluctuara de manera natural haciendo una corrección en la cual no vaya a descender por debajo de la escala de pH de 4. Durante la prueba sin el sistema de control, se observó que la temperatura ascendió continuamente con el paso del tiempo. En cambio, la prueba con el sistema de control mostró un descenso en la temperatura, dado que el valor inicial no se encontraba dentro de los parámetros establecidos. El sistema de control respondió de manera efectiva, logrando estabilizar la temperatura dentro del rango deseado en un tiempo de aproximadamente 4 horas. Esta respuesta fue más lenta debido a que la prueba se llevó a cabo en una zona con un clima más cálido, lo que dificultó el enfriamiento rápido. Sin embargo, una vez alcanzados los parámetros adecuados, la temperatura se mantuvo estable durante aproximadamente 7 horas antes de volver a ascender, aunque permaneciendo dentro del rango deseado.

En cuanto al pH, se observó un rápido descenso, lo que se atribuye a la alta temperatura inicial con respecto a los parámetros establecidos. Durante las primeras 2 horas, el pH, que comenzó alrededor de 5,3, descendió rápidamente por debajo de los límites establecidos llegando a 3,94. Para corregir esto, se suministraron 4 onzas (equivalentes a 120 ml) de agua, lo que resultó en una respuesta lenta pero efectiva, logrando estabilizar el pH dentro de los parámetros en un tiempo aproximadamente de 2 horas. Posteriormente, el pH se mantuvo estable y dentro de los parámetros establecidos durante aproximadamente 5 horas antes de comenzar a descender

nuevamente hasta llegar a la escala de pH de 3,98. Este descenso coincidió con un nuevo aumento de la temperatura, lo que llevó a suministrar 8 onzas (equivalentes a 240 ml) de agua. En esta ocasión, se observó una respuesta inmediata, regresando a los parámetros establecidos en aproximadamente 20 minutos y manteniéndose estable con un ascenso promedio dentro de los parámetros establecidos.

Al monitorear el proceso de fermentación del café, la herramienta del fermaestro indicó que el proceso de fermentación había concluido en 17 horas y 35 minutos en la prueba con el sistema de control. En cambio, la prueba sin el sistema de control continuó, con el proceso de fermentación finalizando a las 19 horas y 55 minutos, según lo indicado también por la herramienta del fermaestro.

4.4.3 Evaluación de los Datos

Para evaluar la eficacia del sistema de control de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café, se llevó a cabo un análisis comparativo entre las pruebas realizadas con y sin el sistema de control. El objetivo principal de esta evaluación es determinar la capacidad del sistema para mantener los parámetros de temperatura y pH dentro de los rangos óptimos establecidos y analizar su impacto en la calidad y tiempo de fermentación del café.

Se inició el proceso de fermentación en condiciones controladas y no controladas simultáneamente, permitiendo una evaluación directa de los resultados obtenidos. A lo largo del experimento, se monitorearon continuamente las variaciones de temperatura y pH, registrando los datos en intervalos regulares para un análisis detallado. Esta evaluación se la determino con la fórmula de la eficacia, en la cual se la dividió en 2 partes donde el 50% es de la temperatura y el otro 50% es del pH, que al sumar estos porcentajes determina el porcentaje total de la eficacia del sistema de control. Esta evaluación permitirá determinar no solo la precisión del sistema de control, sino también su influencia en la eficacia del proceso de fermentación.

Al evaluar la eficacia del sistema de control en el proceso de fermentación del café, se considera principalmente la herramienta del "fermaestro," que determina la finalización del proceso de fermentación tanto con cómo sin el sistema de control. Esta herramienta es fundamental para evaluar la eficacia del sistema de control, ya que ofrece un punto de referencia claro sobre el proceso de fermentación cuando ha finalizado. Además, se contempló una prueba adicional como referencia secundaria: la prueba de taza. Esta prueba es para verificar aún más si el proceso de

fermentación se llevó a cabo correctamente, lo que permite validar la eficacia del sistema de control. La prueba de taza se realizó tanto para las muestras con el sistema de control como para aquellas sin él, lo que proporciona una comparación integral del desempeño del sistema de control en garantizar el proceso de fermentación óptimo.

4.4.3.1 Prueba #1 con y sin el sistema de control

Después de analizar los datos obtenidos durante la primera prueba, se pudo observar que el sistema de control implementado responde de manera eficiente a las variaciones de temperatura y pH, ajustando estas variables dentro de los parámetros previamente establecidos. Sin embargo, es importante destacar que esta primera prueba se dividió en dos partes, denominadas prueba 1-A y prueba 1-B, lo que permitió evaluar la eficacia del sistema de control en diferentes escenarios.

En la prueba 1-A, no se evidenciaron cambios significativos en el proceso de fermentación, lo que llevó a determinar que, si bien el sistema de control fue eficiente en la regulación de temperatura y pH, no logró cumplir con el objetivo de completar el proceso de fermentación. Por lo tanto, esta fase se considera una prueba fallida en términos de la fermentación, aunque el sistema de control funcionó correctamente en la gestión de las variables.

En la prueba 1-A del proceso de fermentación del café, se registraron datos de temperatura y pH a lo largo de 18 horas. Para la temperatura, se recopilaron un total de 651 datos divididos en tres niveles: inferior, medio y superior. De estos, 165 datos se encontraban fuera de los parámetros deseados, mientras que 486 datos estuvieron controlados y dentro del rango establecido. En cuanto al pH, se tomaron 217 mediciones, de las cuales 31 no cumplieron con los parámetros ideales, y 186 se mantuvieron dentro de los límites esperados. Estos datos específicos pueden ser consultados y verificados en la sección de anexos.

Por otro lado, en la prueba 1-B, se observaron cambios claros en el proceso de fermentación, lo que permitió confirmar que el sistema de control en el proceso de fermentación no solo fue eficaz en la regulación de las variables, sino que también facilitó la culminación exitosa del proceso de fermentación. Esta fase se cataloga como una prueba exitosa con el sistema de control.

En la prueba 1-B del proceso de fermentación del café, se realizó un seguimiento durante 16 horas con 15 minutos, recolectando 196 datos de temperatura y pH. Para la temperatura, se obtuvieron un total de 588 registros en los niveles inferior, medio y superior. De estos, 107 valores se encontraron fuera de los parámetros deseados, mientras que 481 estuvieron dentro de los límites

establecidos y controlados. En cuanto al pH, se recopilaron 196 mediciones en total; 9 de estas no cumplieron con los parámetros esperados, y 187 se mantuvieron controladas y dentro del rango ideal. Los detalles completos de estos datos se pueden consultar en la sección de anexos.

Para evaluar cuantitativamente la eficacia del sistema de control, se aplicó la fórmula de la eficacia. Los resultados mostraron una eficacia del 40,9% en la regulación de la temperatura y del 47,7% en la regulación del pH, lo que da una eficacia total del 88,6%. Este resultado supera la hipótesis alternativa de la investigación, que establecía un umbral de eficacia del 80%, confirmando así que el sistema de control cumple con los criterios de planteados en el estudio. consolidando su eficacia en el proceso de fermentación del café en comparación que para cumplir con éxito la hipótesis de investigación planteada en el estudio faltó 1,4%.

$$Eficacia\ Temperatura = \left(\frac{481 \times 100}{588} \right) \quad (3)$$

$$Eficacia\ Temperatura = 81,8 \quad (4)$$

$$Eficacia\ pH = \left(\frac{187 \times 100}{196} \right) \quad (5)$$

$$Eficacia\ pH = 95,4 \quad (6)$$

$$Eficacia\ (100\%) = 0,5 * 81,1 + 0,5 * 95,4 \quad (7)$$

$$Eficacia\ Prueba\ 1 - B = 88,6 \quad (8)$$

4.4.3.2 Prueba #2 con y sin el sistema de control

Después de analizar los datos obtenidos durante la segunda prueba, se observó que el sistema de control implementado respondió de manera eficaz a las variaciones de temperatura y pH, ajustando estas variables dentro de los parámetros establecidos. Durante esta prueba, se evidenciaron cambios significativos en el proceso de fermentación, lo que permitió concluir que el sistema de control no solo fue eficiente en la regulación de las variables, sino que también facilitó la culminación exitosa del proceso de fermentación. Por lo tanto, esta fase se considera una prueba exitosa con el sistema de control.

En esta prueba del proceso de fermentación del café, se llevó a cabo un monitoreo durante un periodo de 17 horas y 35 minutos, recolectando un total de 212 datos para las variables de temperatura y pH. En cuanto a la temperatura, se registraron 636 mediciones en los niveles inferior, medio y superior; de estas, 85 estuvieron fuera de los parámetros establecidos, mientras que 551 valores se mantuvieron dentro del rango controlado y deseado. Para el pH, se recolectaron 212 registros en total, de los cuales 17 se salieron de los parámetros ideales y 195 permanecieron dentro

del rango controlado. Todos estos datos se encuentran detallados y disponibles para su revisión en la sección de anexos.

Para evaluar cuantitativamente la eficacia del sistema de control en el proceso de fermentación del café, se aplicó la fórmula correspondiente. Los resultados indicaron una eficacia del 43,31% en la regulación de la temperatura y del 45,99% en la regulación del pH. Al sumar estos valores, se obtiene una eficacia total del 89,3%. Este resultado supera la hipótesis alternativa de la investigación, que establecía un umbral de eficacia del 80%. Esto confirma que el sistema de control cumple con los criterios planteados en el estudio, consolidando su eficacia en el proceso de fermentación del café en comparación con la anterior prueba que son 0,7% faltante para lograr cumplir con éxito la hipótesis de investigación planteados en el estudio.

$$Eficacia\ Temperatura = \left(\frac{551 \times 100}{636} \right) \quad (9)$$

$$Eficacia\ Temperatura = 86,63 \quad (10)$$

$$Eficacia\ pH = \left(\frac{195 \times 100}{212} \right) \quad (11)$$

$$Eficacia\ pH = 91,98 \quad (12)$$

$$Eficacia\ (100\%) = 0.5 * 86,63 + 0.5 * 91,98 \quad (13)$$

$$Eficacia\ (100\%) = 89,3 \quad (14)$$

Basado en la información anteriormente, el sistema de control de las variables de temperatura y pH en el proceso de fermentación del café ha demostrado su eficacia en las dos pruebas realizadas, cumpliendo exitosamente con la hipótesis alternativa planteada en el estudio. En particular, se destaca que, gracias a las correcciones implementadas para la segunda prueba, el sistema de control se ha acercado aún más al cumplimiento de la hipótesis de investigación planteado en el estudio. En la primera prueba 1-B, el sistema presentó un faltante del 1,4%, mientras que, en la segunda prueba, el faltante se redujo a un 0,7%. Esta tendencia sugiere que las variables controladas están cumpliendo con sus funciones de manera efectiva.

CONCLUSIONES

El desempeño del sistema de control de temperatura y pH desarrollado para el proceso de fermentación del café demostró ser eficaz, alcanzando niveles de regulación significativos en las pruebas realizadas (prueba #1-A, prueba #1-B y prueba #2). El sistema logró mantener las variables dentro de los rangos definidos, con una eficacia que osciló entre el 88,6% y el 89,3%. Si bien estos resultados están ligeramente por debajo de la hipótesis de investigación, que establece una meta del 90%, el sistema mostró un desempeño prometedor, especialmente en la prueba #2, donde el déficit fue de tan solo un 0,7%. Esto sugiere que con ajustes adicionales y optimizaciones específicas, el sistema podría alcanzar y superar los niveles esperados de eficacia.

Además, se evidenció que las condiciones ambientales, como las variaciones climáticas de temperatura, tienen un impacto directo en el desempeño del sistema, lo que afecta indirectamente el control del pH. Este hallazgo resalta la importancia de diseñar sistemas de control más adaptativos y robustos, capaces de responder dinámicamente a cambios en el entorno. La integración de sensores de mayor precisión, actuadores más sensibles y la implementación de técnicas de control avanzado, como sistemas proporcionales integrales derivativos (PID) o algoritmos predictivos, podría ser fundamental para mejorar aún más la eficacia del sistema.

En términos de calidad del café, los resultados fueron positivos y consistentes con los estándares esperados, evidenciándose un mantenimiento en la calidad en general y, en algunos casos, incluso una mejora en los puntajes obtenidos en las pruebas de taza. Aunque se observaron pequeñas variaciones entre las pruebas, esto puede atribuirse a factores inherentes al proceso de fermentación, reforzando la idea de que la intervención del sistema de control contribuyó a estabilizar y optimizar esta etapa crítica.

Es importante destacar que, durante todo el tratamiento del café, se aplicaron los mismos estándares de rigor y cuidado que los caficultores ya emplean, asegurando la comparabilidad de los resultados. Sin embargo, la introducción del sistema de control de temperatura y pH permitió un manejo más preciso y controlado durante la fermentación, lo cual parece haber influido positivamente en la calidad del producto final.

Finalmente, este trabajo subraya la relevancia de contar con tecnologías accesibles y eficientes que puedan ser implementadas en fincas de diferentes capacidades de producción. A futuro, se recomienda continuar con la investigación y el desarrollo del sistema, incluyendo pruebas en diferentes regiones cafetaleras, para validar su desempeño bajo distintas condiciones

ambientales y ampliar su impacto en la industria cafetera. Esto no solo contribuirá al mejoramiento continuo del proceso de fermentación, sino que también fortalecerá la competitividad del café colombiano en el mercado internacional.

RECOMENDACIONES

Se recomienda explorar la implementación de un sistema de control predictivo que anticipe los cambios en las variables de temperatura y pH, ajustando el control antes de que las desviaciones afecten significativamente el proceso de fermentación, asegurando así que el proceso de fermentación de café mantenga las mismas características u otro tipo sistema de control que ayude a cumplir o superar la hipótesis de la investigación.

Es esencial realizar una calibración más precisa de los sensores utilizados o reemplazados a mayor calidad para medir la temperatura y el pH. Esto podría reducir las variaciones en los datos recolectados y mejorar la capacidad del sistema para mantener las condiciones ideales durante todo el proceso de fermentación.

Para mejorar la eficacia del sistema de control, se recomienda cambiar el material del recipiente donde se almacena la masa de café durante la fermentación, sustituyendo los plásticos por materiales más adecuados, como acero inoxidable u otros que sean inertes y no reactivos. Esto ayuda a evitar la absorción de olores o sabores indeseados y a asegurar un ambiente higiénico. Como otra recomendación, es realizar el proceso de fermentación en un cuarto aislado, para reducir la influencia de las variaciones externas de temperatura y humedad que puedan afectar la estabilidad y eficacia del proceso de fermentación del café. También se recomienda la integración de actuadores de alta precisión, que permitan ajustes más finos y rápidos en respuesta a los cambios en las variables críticas.

Se sugiere implementar un sistema de monitoreo continuo que no solo registre los datos de temperatura y pH, sino que también realice un análisis en tiempo real para detectar patrones o anomalías que puedan indicar la necesidad de ajustes en el control, asegurando así el proceso de fermentación.

Es recomendable realizar evaluaciones regulares del sistema de control, ajustando los parámetros de operación según sea necesario. Además, la capacitación continua del personal en el manejo y ajuste del sistema garantizará que se mantengan los estándares de calidad y se mejore la eficacia del proceso de fermentación.

REFERENCIAS

- Arduino. (2024). *Product Reference Manual Arduino MEGA 2560 Rev 3*. 1–17.
- Becerra Suarez, J. C., & Amado Espinosa, S. (2018). Desarrollo de un sistema de control de temperatura y monitoreo de ph y humedad del proceso spin coating. *Universidad Autónoma De Occidente*, 1–137.
- Cecilia Montoya Restrepo, E., & Jaramillo Robledo, Á. (2016). Efecto De La Temperatura En La Producción De Café. *Cenicafé*, 67(2), 58–65.
- Córdoba Castro, N. M., & Guerrero Fajardo, J. esteban. (2016). Caracterización De Los Procesos Tradicionales De Fermentación De Café En El Departamento De Nariño. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 75. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)75-83](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)75-83)
- Delgado Iparraguirre, A. (2021). *Efecto de la fermentación aeróbica y anaeróbica sobre la calidad organoléptica del café (coffea arabica.) de las variedades catimor y marsellesa*.
- Diana Lineth Medina Cruz. (2019). *Evaluación de Procesos de Fermentación Natural (coffea arábica)*.
- EBay. (2013). Micro SD Card Card Adapter Reader Module for Arduino. *Data Sheet*, 1–2.
- e-Gizmo Mechatronix Central. (2017). *PH Sensor E-201-C* (pp. 1–8).
- Electric, S. (2010). *Nema17-phase stepper motor. mm*, 1–2.
- Farnell. (2013). Arduino Uno Datasheet. *Datasheets*, 1–4.
- Figueroa Melendez, Ancizar; Castro Vasquez, C. A. (2021). *Sis. de Control de temperatura para el proceso de fermentacion de mucilago de cafe.pdf*.
- García-García, J. F., Guerra Elizarraraz, M., Sosa-Morales, M. E., Gómez-Salazar, J. A., & Cerón-García, A. (2019). *Caracterización colorimétrica y propiedades fisicoquímicas en bebidas a base de café soluble*. 4, 907–913.
- Gloria Inés Puerta Quintero. (2010). *Fundamentos de proceso de fermentación en el beneficio del café*.
- Inés, G., Quintero, P., Paola, J., & Usaquén, P. (2018). *Physical and Sensory Quality of Coffee Grown in the Coffee Cultural Landscape of Colombia in Caldas Calidad Física Y Sensorial Del Café Cultivado En El Paisaje Cultural Cafetero De Colombia En Caldas*. 69(1), 16–31.
- Jaramillo, R. A. (2005). La agroclimatología del cafeto. In *Clima andino y café en Colombia* (pp. 149–157).

- JC Medical Supplies. (2020). *TERMÓMETRO DIGITAL TP101*. 240.
- JM INDUSTRIAL. (2016). Resistencias calefactoras. *Industry & Technology*.
- Legiscomex, F. (2022). *Cifras de exportación de café colombiano en el 2020*.
- Maxim Integrated. (2015a). DS 1307 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock. *Maxim Integrated*, 1–14.
- Maxim Integrated. (2015b). *Ds18B20*. 92(1 (35)), 1–20.
- MS Schippers. (2018). *MaxiMini Thermometer*. 11–12.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*.
- Parra, N. R. (n.d.). *De Cultivo*. 142–145.
- Peñuela-Martínez, A. E., Sanz-Uribe, J. R., & Pabón-Usaquen, J. P. (2012). Método para identificar el momento final de la fermentación de mucílago de café. *Cenicafé*, 63(1), 120–131.
- Puerta, G., & Echeverry, J. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. *Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica Fondo Nacional Del Café*, 12.
- Puerta Quintero, G. I. (2012). Factores, Procesos Y Controles En La Fermentación Del Café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1(422), 1–12.
- Ribeiro, L. S., Ribeiro, D. E., Evangelista, S. R., Miguel, M. G. da C. P., Pinheiro, A. C. M., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2017). Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.008>
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH as a growth factor in plants. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 101–105.
- Songle Relay. (2000). *Power Relay SRD-5VDC-SL-C datasheet*. 1–2.
- Texas Instruments. (2010). *DRV8825 Datasheet*. 33.

ANEXO A

Las tablas de datos de temperatura y pH de las pruebas realizadas, se encuentran en un archivo por separado de Excel en drive, que se lo puede visualizar únicamente con los enlaces siguientes:

Temperatura,

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1izIEEjZa6AqASjSFIEjg708qx5dYFqRw/edit?usp=sharing&ouid=107214527814553058148&rtpof=true&sd=true>

pH,

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1SzPx9Ci5FKkz-OHysO2SW5tELCg5OcMp/edit?usp=sharing&ouid=107214527814553058148&rtpof=true&sd=true>

Dentro del archivo se van a encontrar con varias hojas de cálculo de las cuales están denominadas de la siguiente manera,

Prueba 1, es la que corresponde a primera prueba realiza sin el sistema de control

Prueba 2, es la que corresponde a la primera prueba realiza sin el sistema de control

Prueba 2-A, es la que corresponde a la primera prueba realizada con el sistema de control

Prueba 2-B, es la que corresponde a la primera prueba realizada con el sistema de control

Prueba 3, es la que corresponde a la segunda prueba realizada sin el sistema de control

Prueba 3-A, es la que corresponde a la segunda prueba realizada con el sistema de control

ANEXO C



Figura 63 Zona Cafetera y Surco de Café



Figura 64 Recolección de Café



Figura 65 Selección de Café en Cereza



Figura 66 Despulpado de Café en Cereza



Figura 67 Café en Baba para Fermentar



Figura 68 Detección de Finalización de Fermentacion usando el Fermaestro



Figura 69 Lavado de Café Después de Fermentarse

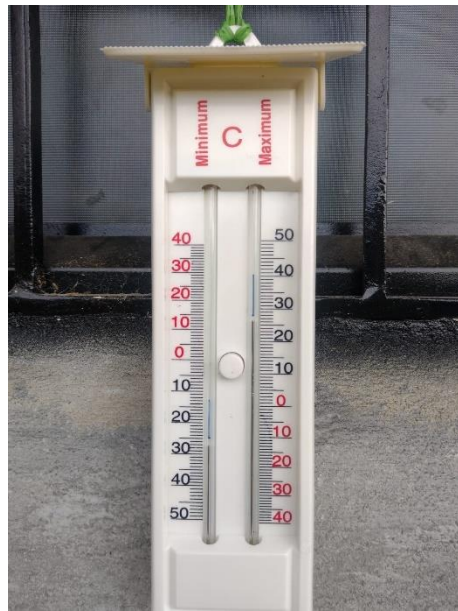
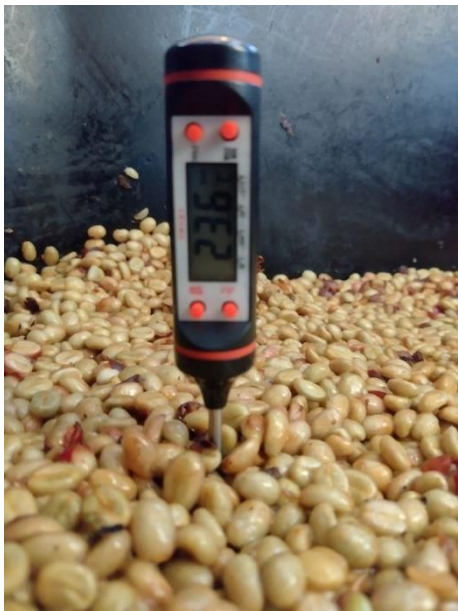


Figura 70 Uso de Detección de Temperatura



Figura 71 Uso de Detección de pH



Figura 72 Secado de Café



Figura 73 Uso Final de Café para Prueba de Taza

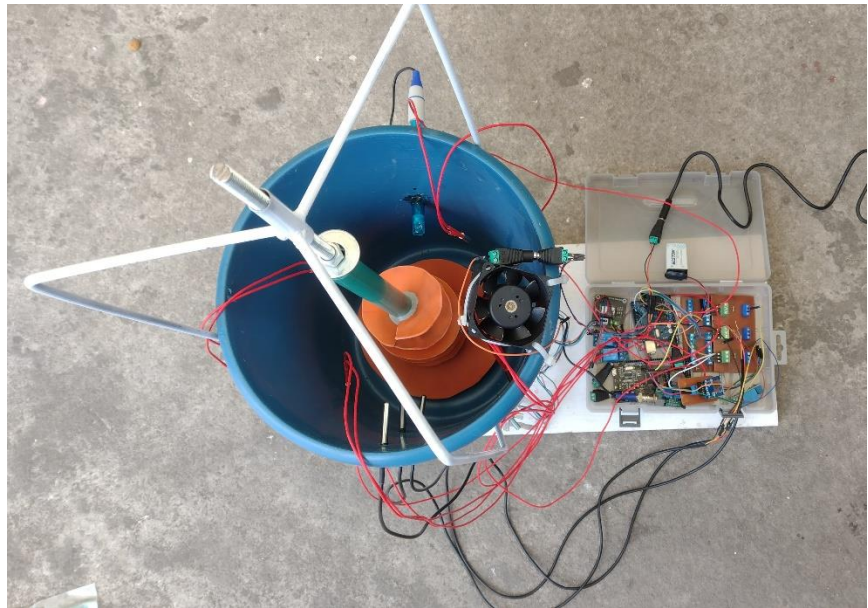


Figura 74 Prototipo Final del Sistema de Control

ANEXO D



Figura 75 Cosecha de Yuca a Cambio de Café

ANEXO E

En el siguiente enlace se encuentra los códigos utilizados

<https://docs.google.com/document/d/1uKnz-woJvggiu8Htu0UMCgW-MC2FASlqGH831u7ZMZo/edit?usp=sharing>



UNIVERSIDAD
CESMAG

NIT. 800.109.387-7
TOLUANA MINERACI3N

**CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O
TRABAJO DE APLICACI3N – ASESOR(A)**

C3DIGO: AAC-BL-FR-032

VERSI3N: 1

FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 6 de Marzo 2025

Biblioteca

REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.

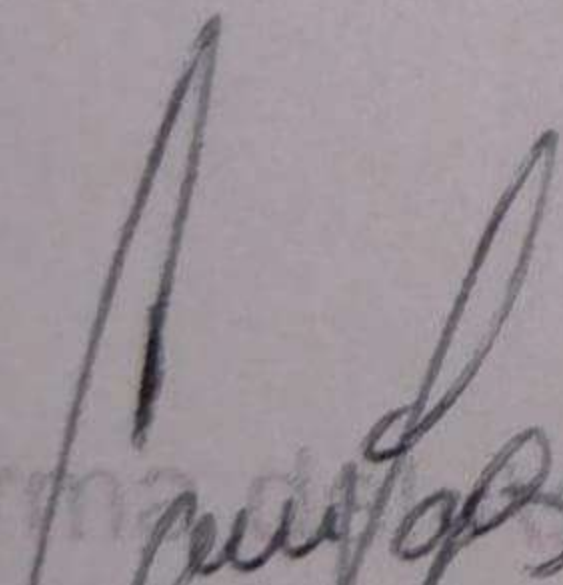
Universidad CESMAG

Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicaci3n denominado SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y PH EN EL PROCESO DE FERMENTACI3N DEL CAF3, presentado por el autor SANTIAGO ANDRES TIMANA GUERRERO del Programa Acad3mico INGENIERIA ELECTRONICA al correo electr3nico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, gu3a de presentaci3n de Trabajos de Grado o de Aplicaci3n, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,


(Firma del asesor)

CAMILO ARTURO LAGOS MORA

12997039

Ingenier3a Electr3nica

3008198104

calagos@unicesmag.edu.co



UNIVERSIDAD
CESMAG

NIT. 800.109.387-7
VIGILADA MINEDUCACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAC-BL-FR-031

VERSIÓN: 1

FECHA: 09/JUN/2022

| INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES) | |
|--|--|
| Nombres y apellidos del autor: SANTIAGO ANDRES TIMANA GUERRERO | Documento de identidad: 1004214847 |
| Correo electrónico: satg21072000@gmail.com | Número de contacto: 3156955746 |
| Nombres y apellidos del autor: N/A | Documento de identidad: N/A |
| Correo electrónico: N/A | Número de contacto: N/A |
| Nombres y apellidos del autor: N/A | Documento de identidad: N/A |
| Correo electrónico: N/A | Número de contacto: N/A |
| Nombres y apellidos del autor: N/A | Documento de identidad: N/A |
| Correo electrónico: N/A | Número de contacto: N/A |
| Nombres y apellidos del asesor: CAMILO ARTURO LAGOS MORA | Documento de identidad: 12997039 |
| Correo electrónico: calagos@unicesmag.edu.co | Número de contacto: 3008198104 |
| Título del trabajo de grado: Sistema de Control de Temperatura y pH en el Proceso de Fermentación del Café | |
| Facultad y Programa Académico: Ingeniería – Ingeniería Electrónica | |

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.



UNIVERSIDAD
CESMAG

NIT: 800.109.387-7
VIGILADA MINEDUCACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAC-BL-FR-031

VERSIÓN: 1

FECHA: 09/JUN/2022

- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 6 días del mes de 3 del año 2025

| | |
|---|-----------------------|
| | N/A |
| Firma del autor: | Firma del autor |
| Nombre del autor: Santiago Andrés Timaná Guerrero | Nombre del autor: N/A |
| N/A | N/A |
| Firma del autor | Firma del autor |
| Nombre del autor: N/A | Nombre del autor: N/A |
| Nombre del asesor: Camilo Arturo Lagos Mora | |