



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TEMPLADORA DE CHOCOLATE CON  
CAPACIDAD DE HASTA 5KG CON UN SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE  
TEMPERATURA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del**

**Título de Ingeniero en Mecatrónica**

**AUTORES:**

**BRYAN ANDRÉS CRUZ GUAMÁN**

**JASSUO STEVEN DELGADO VILLALBA**

**TUTOR: RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA**

Quito – Ecuador

**2023**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan Andrés Cruz Guamán con documento de identificación N° 1720968849 y Jassuo Steven Delgado Villalba con documento de identificación N° 1726157249 , manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 26 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Bryan Andrés Cruz Guamán

1720968849



---

Jassuo Steven Delgado Villalba

1726157249

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

Nosotros, Bryan Andrés Cruz Guamán, con documento de identificación N° 1720968849 y Jassuo Steven Delgado Villalba, con documento de identificación N° 1726157249 , expresamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana, la titularidad sobre los derechos patrimoniales, en virtud de que somos los autores del Dispositivo Tecnológico: “Diseño y construcción de una máquina templadora de chocolate con capacidad de hasta 5kg con un sistema de control digital de temperatura” , el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Bryan Andrés Cruz Guamán

1720968849



---

Jassuo Steven Delgado Villalba

1726157249

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **René Patricio Quitiaquez Sarsoza** con documento de identificación N° 1710597269 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TEMPLADORA DE CHOCOLATE CON CAPACIDAD DE HASTA 5KG CON UN SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE TEMPERATURA** realizado por, **Bryan Andrés Cruz Guamán** con documento de identificación N° 1720968849 y **Jassuo Steven Delgado Villalba** con documento de identificación N° 1726157249 , obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivos Tecnológicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza MSc.

1710597269

## AGRADECIMIENTO

A mi querida familia, que siempre ha estado a mi lado en las buenas y en las malas, les doy las gracias por su amor incondicional, su paciencia y su comprensión. Sin ustedes, nada de esto hubiera sido posible. A mi madre Patricia Villalba y a mi padre Gerardo Delgado, les dedico este trabajo como una muestra de mi gratitud y admiración por todo lo que han hecho por mí.

A mi amigo y colega de tesis, que ha sido un gran compañero de aventuras académicas, le agradezco por su colaboración, su amistad y su confianza. Juntos hemos superado muchos obstáculos y hemos aprendido mucho el uno del otro. Este logro es también tuyo.

A los ingenieros que me han guiado y asesorado durante mi formación profesional, les expreso mi más sincero reconocimiento por su sabiduría, su experiencia y su generosidad. Gracias por compartir sus conocimientos, sus consejos y sus oportunidades conmigo.

A la universidad que me ha acogido y me ha brindado una educación de calidad, le manifiesto mi respeto y mi orgullo por pertenecer a esta institución. Gracias por ofrecerme las herramientas, los recursos y los desafíos necesarios para desarrollar mis habilidades y competencias como ingeniero.

Con humildad y alegría.

*Jassuo Delgado*

## AGRADECIMIENTO

A mi querida familia dentro y fuera del país, pero en especial a mi tía Loly, tío Milton, prima Paulina, hermana Belén, Renata, Sarahí, tía Mireya, Alexandra, abuelitas y Nayeli mi novia.

A mi amigo de tesis Jassuo Delgado, que, gracias a su verdadera amistad y compañerismo, hemos culminado esta meta.

A los ingenieros y a mi universidad, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su mentoría y apoyo. Sus enseñanzas y consejos han sido fundamentales en mi desarrollo profesional. Agradezco a mi universidad por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos en ingeniería. Su influencia ha sido invaluable en mi trayectoria.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su confianza y apoyo incondicional. Su amor, apoyo y creencia en mí han sido fundamentales en mi vida. Agradezco su presencia constante, su guía y su aliento en cada paso del camino.

Los llevo en mi corazón con gratitud eterna.

Con amor y agradecimiento,

*Bryan Cruz*

## DEDICATORIA

A mi madre Patricia Villalba,

En este día especial, quiero expresar mi amor y gratitud por tu apoyo incondicional durante mi carrera académica. Tu aliento constante ha sido fundamental para lograr esta tesis. Gracias por creer en mí y por ser mi mayor admiradora. Tu presencia cariñosa y dedicación han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia. Celebramos juntos este logro, porque esta tesis también es tuya. Eres mi ejemplo de fortaleza y resiliencia, y cada paso que doy refleja tus enseñanzas y tu amor infinito. Gracias por ser mi madre, confidente e inspiración. Te agradezco de todo corazón.

A mi padre Gerardo Delgado,

Quiero expresar mi gratitud y amor hacia ti por tu apoyo incondicional en mi tesis. Tu ejemplo de perseverancia ha sido fundamental en mi camino. Siempre has estado a mi lado, brindándome aliento y motivación. Tu dedicación y sacrificio han sido ejemplares, y gracias a ti he aprendido el valor del compromiso y la disciplina. Hoy dedico mi éxito a ti y agradezco tu amor incondicional. Te amo y este trabajo es un tributo a tu legado.

*Jassuo Delgado*

## DEDICATORIA

A mi padre Luis Cruz,

En este momento crucial de mi vida académica, quiero expresar mi agradecimiento y dedicarte este logro. Has sido un padre excepcional, brindándome amor, apoyo y sabias palabras. Tu ejemplo de perseverancia y sacrificio ha sido una inspiración constante. Tu trabajo arduo me ha enseñado el valor del esfuerzo y la importancia de nunca rendirse. Tus palabras de aliento y confianza en mí me han dado la fuerza para superar desafíos. Agradezco todo lo que has hecho por mí.

A mi madre Maribel Guamán,

Tu ejemplo de dedicación y que nunca es tarde para aprender, ha sido la base de este logro. estoy profundamente agradecido por todo lo que has hecho por mí. Cada página escrita lleva impreso tu amor y deseo de verte orgullosa. Gracias por ser mi guía y apoyo. Todo lo que he logrado y lograré llevará siempre tu nombre en mi corazón.

*Bryan Cruz*



## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVI
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT .....	XVIII
Planteamiento del Problema.....	XIX
Justificación.....	XX
OBJETIVOS.....	XXI
OBJETIVO GENERAL .....	XXI
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	XXI
HIPÓTESIS DEL PROYECTO O LA INVESTIGACIÓN .....	XXIII
ALCANCE DEL PROYECTO O LA INVESTIGACIÓN .....	XXIII
CAPÍTULO 1 .....	25
1.1 Historia del chocolate.....	25
1.1.1. Datos del cacao en el Ecuador.....	25
1.1.2. Tipos de cacao en Ecuador .....	27
1.1.3 Producción del Chocolate.....	28
1.1.4 Tipos de chocolate que se templan en las PYMES de Ecuador .....	31
1.1.5 Templado del Chocolate.....	32
1.3 Fundamentación de la investigación.....	36

1.4	Diseño de la investigación.....	36
1.4.1.	Planificación.....	36
1.5	Aspectos teóricos fundamentales.....	38
1.6	Conclusión del capítulo .....	38
CAPÍTULO 2 .....		39
2.1.	Diagrama Causa - Efecto.....	39
2.2.	Operacionalización de las variables.....	40
2.2.1.	Temperatura del chocolate.....	41
2.2.2.	Humedad ambiente.....	42
2.2.3.	Flujo de aire.....	42
2.2.4.	Velocidad del disco giratorio:.....	43
2.2.5.	Nivel de inventario de chocolate:.....	45
2.3.	Análisis de alternativas.....	47
2.3.1.	Alternativa 1 .....	47
2.3.2.	Alternativa 2.....	47
2.3.3.	Alternativa 3.....	48
2.3.4.	Alternativa 4.....	48
2.4.	Cuadros comparativos de Selección de alternativas.....	49
2.4.1.	Sistema de calificación.....	49
2.4.2.	Evaluación de las alternativas .....	50
2.5.	Técnicas e instrumentos.....	52
2.5.1.	Técnicas.....	52
2.5.2.	Instrumentos .....	59
2.6.	Conclusiones del capítulo.....	65

CAPÍTULO 3 .....	66
3.1. Descripción de la situación actual .....	66
3.2. Cálculos y Selección.....	68
3.2.1. Material para la estructura.....	68
3.2.2. Estructura de la bandeja .....	70
3.2.3. Estructura del disco y sistema giratorio .....	71
3.2.4. Estructura del sistema de calentamiento .....	74
3.2.5. Soldadura de la maquina .....	76
3.3. Simulaciones del proceso .....	78
3.3.1. Simulación estructural.....	78
3.3.2. Simulación del control .....	79
3.5. Diagrama de Flujo .....	87
3.6. Conclusiones del capítulo.....	88
CAPÍTULO 4 .....	89
4.1. Comprobación de la hipótesis.....	89
4.2. Manual de Operación y mantenimiento.....	89
4.3. Análisis de costos de la implementación del proyecto .....	94
4.4. Justificación de costos .....	96
4.5. Análisis económico.....	97
4.6. Conclusiones del capítulo.....	99
Conclusiones y Recomendaciones .....	100
Referencias .....	102
Anexos.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Representación circular porcentual de la producción total en las tres regiones del país en el año 2020 [2].....	26
Figura. 2 Representación circular porcentual de las exportaciones en las tres regiones del país en el año 2020 [2].....	27
Figura. 3 Aspecto cacao nacional [3] .....	27
Figura. 4 Aspecto de cacao CCN-51 [3].....	28
Figura. 5 Proceso de producción para obtener el chocolate.....	30
Figura. 6 Cacao y chocolate en diferentes actos [6].....	31
Figura. 7 Método de siembra [11] .....	32
Figura. 8 Método del bloque [12].....	33
Figura. 9 Método del mármol [13].....	33
Figura. 10 Máquina templadora de chocolate industrial [14] .....	34
Figura. 11 Fases del templado del chocolate [14] .....	34
Figura. 12 Moldeado y enfriamiento del chocolate [13].....	35
Figura. 13 Planificación .....	37
Figura. 14 Diagrama de Ishikawa sobre los problemas y las posibles soluciones del proyecto. ...	39
Figura. 15 Grafica de evolución del coeficiente de resistencia aerodinámica para un cilindro [27] .....	45
Figura. 16 Molécula a una temperatura fija y la molécula cuando escala la temperatura [22].....	45
Figura. 17 Temperadora fundidora manual de chocolate [30]. .....	47
Figura. 18 Templadora automática de chocolate T6 [31].....	47
Figura. 19 Templadora de chocolate Plus EX ® [32]. .....	48
Figura. 20 Cuenco para templar chocolate (mini) [33]. .....	48
Figura. 21 Diagrama de proceso y teorías del control de temperatura del Templado del chocolate [34], [15].....	52
Figura. 22 Control PID digital. Los bloques que sirven de conexión entre el microcontrolador y el sistema son un DAC y un ADC[37].....	53
Figura. 23 Salida de la curva sigmoideal en Matlab .....	54

Figura. 24 Ziegler-Nichols lazo abierto[38].....	54
Figura. 25 Salida oscilatoria en Matlab.....	55
Figura. 26 Ziegler-Nichols lazo cerrado[38].....	55
Figura. 27 Representación de la regulación de temperatura con el control PID (Temperatura vs Tiempo), con un SP de 20°C [40].....	56
Figura. 28 Elaboración de análisis de datos y aprendizaje automático aplicado a IoT con el propósito de desarrollar una máquina templadora de chocolate. [41].....	56
Figura. 29 Diagrama de bloques del control remoto Anywhere desde móvil, interfaz de humedad y temperatura[42]. .....	57
Figura. 30 Capas de la arquitectura fundamentales IoT[43][30].....	57
Figura. 31 AWS, GNU/Linux, Protocolos de comunicación y Base de datos (imagen de Umaker). .....	58
Figura. 32 Control PID, representado en bloques la entrada, ganancias (kp, ki, kd), función de transferencia de la planta, y salida (scope)[48]. .....	59
Figura. 33 Ejemplos de resistencias eléctricas tubulares [52].....	61
Figura. 34 Acoplamiento del sistema de refrigeración usando celdas Peltier[54] .....	62
Figura. 35 Relay optoacoplador 2 canales y Relay eléctrico de estado sólido [49], [50] .....	62
Figura. 36 Tipos de motores, motorreductor y motor a pasos Nema17 [57].....	63
Figura. 37 Microcontroladores ES32 y Arduino [58], [59].....	64
Figura. 38 Pantalla touch HMI [60] .....	64
Figura. 39 UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)[61].....	65
Figura. 40 Situación actual.....	67
Figura. 41 Vista explosionada de la máquina templadora de chocolate.....	69
Figura. 42 Dimensiones de la bandeja.....	70
Figura. 43 Motorreductor .....	72
Figura. 44 Coeficientes de arrastramiento para esferas, discos y cilindros[65].....	73
Figura. 45 Propiedades físicas de la bandeja en SolidWorks .....	76
Figura. 46 Características de la soldadura TIG.[66] .....	77
Figura. 47 Perfiles cuadrado de 5/8 pulg. con uniones de soldadura.....	78
Figura. 48 Simulación térmica en Solidworks .....	78

Figura. 49 Simulación del análisis estático de la celda de carga que sostiene la plancha, sometida a una fuerza de 50[N].....	79
Figura. 50 Base de datos de los sensores DHT22, RTD Tipo K y celda de carga (Peso), en phpMyAdmin. ....	80
Figura. 51 Función de transferencia del sistema cuando se aplica 1 polo y 0 ceros .....	81
Figura. 52 Salida del modelo.....	81
Figura. 53 Grafica del plano de los polos y ceros del sistema. ....	82
Figura. 54 Respuesta transitoria .....	82
Figura. 55 Sintonización de la señal PID y sus respectivas ganancias $k_p$ , $k_i$ , $k_d$ .....	83
Figura. 56 Código de Matlab con la función original, lazo abierto, lazo cerrado y las ganancias para el control PID .....	84
Figura. 57 Grafica comparativa de la planta original vs planta con el control PID. ....	84
Figura. 58 Construcción de bloques en lazo abierto en simulink para la comparación de los controles P, PI, PID. ....	85
Figura. 59 Graficas comparativas de los controles P, PI y PID, en lazo abierto. ....	85
Figura. 60 Esquema electrónico de la máquina diseñado en Proteus.....	86
Figura. 61 Diagrama de flujo de proceso funcional de la máquina.....	87
Figura. 62 Diseño de máquina templadora y sus partes para el mantenimiento. ....	90
Figura. 63 VAN y TIR, en un ciclo de vida de 5 años.....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información técnica del chocolate sucedáneo .....	31
Tabla 2 Causa - efecto para el diseño y construcción de la máquina. ....	36
Tabla 3 Comparativa de las alternativas según sus características técnicas.....	49
Tabla 4 Tipos de parámetros que se estudiarán para la valoración de los criterios de estudio con sus respectivas características.....	49
Tabla 5 Proceso evaluativo de las alternativas. ....	50
Tabla 6 Cuadro comparativo para la sección de alternativa.....	51
Tabla 7 Tipos de sensores [49]–[51].....	60
Tabla 8 Propiedades Físicas y Mecánicas AISI 304[64] .....	69
Tabla 9 Especificaciones técnicas de la bandeja .....	70
Tabla 10 Especificaciones técnicas del disco .....	71
Tabla 11 Características técnicas del motorreductor .....	72
Tabla 12 Especificaciones del sistema de calentamiento .....	75
Tabla 13 Parámetros de la soldadura TIG [67].....	77
Tabla 14 Mantenimiento semanal.....	91
Tabla 15 Mantenimiento mensual .....	92
Tabla 16 Mantenimiento anual.....	93
Tabla 17 Costos de estructura.....	94
Tabla 18 Costos electrónicos.....	94
Tabla 19 Costos eléctricos .....	95
Tabla 20 Costos indirectos .....	95
Tabla 21 Costo de la maquinaria. ....	96
Tabla 22 Costos imprevistos.....	96
Tabla 23 Periodo de recuperación de la inversión.....	97

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Código node red en Arduino IDE para la placa ESP-32 Dev kit .....	109
ANEXO 2. Programación en bloques en la Node red en tiempo real y en base de datos de phpMyAdmin con visualización de datos es Dashboard.....	113
ANEXO 3. Construcción e implementación de máquina.....	116
ANEXO 4 Diseños de las Interfaces gráficas en la pantalla Nextion 2,8'. .....	121
ANEXO 5 Datasheet de componentes electrónicos.....	122
ANEXO 6. Esquema electrónico de la máquina con sus componentes .....	123
ANEXO 7 Planos de la máquina.....	124



## RESUMEN

El proyecto presenta una máquina templadora de chocolate con tecnología IoT, que mejora la producción, control y calidad del chocolate. Se ha detectado que las máquinas convencionales tienen problemas de producción insuficiente y falta de control, lo que afecta la calidad y eficiencia del proceso de templado. El objetivo es diseñar e implementar una máquina templadora de chocolate que incorpore tecnología IoT, que permite la interconexión de dispositivos y sensores para el monitoreo en tiempo real, la recopilación de datos y la automatización del proceso de templado. Se ha realizado una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con el proceso de templado de chocolate, la tecnología IoT aplicada a maquinarias alimentarias y los principios de control y semi automatización. Se han seguido diferentes etapas de investigación y desarrollo, incluyendo la selección de materiales apropiados y la construcción, según normativas y estándares de seguridad e higiene. Se han utilizado software para el diseño, simulación y optimización del proceso de templado. Los resultados obtenidos muestran mejoras con respecto a su templado y calidad final, así como un aumento en la capacidad de producción y un control más preciso y eficiente del manual ya que no cuenta con un proceso semi automatizado que ayude a controlarlo. Esto se debe a la implementación de sensores de temperatura, humedad y nivel, así como actuadores y controladores adecuados.

**Palabras claves:** máquina templadora de chocolate, IoT, producción, control, calidad. capacidad de producción.

## ABSTRACT

The project presents a chocolate tempering machine with IoT technology, which improves the production, control and quality of chocolate. Conventional machines have been detected to have problems of insufficient production and lack of control, which affects the quality and efficiency of the tempering process. The goal is to design and implement a chocolate tempering machine incorporating IoT technology, which enables the interconnection of devices and sensors for real-time monitoring, data collection and automation of the tempering process. A review of the scientific and technical literature related to the chocolate tempering process, IoT technology applied to food machinery and the principles of control and semi-automation has been carried out. Different stages of research and development have been followed, including the selection of appropriate materials and construction, according to regulations and standards of safety and hygiene. Software has been used for the design, simulation and optimization of the tempering process. The results obtained show improvements with respect to its tempering and final quality, as well as an increase in production capacity and a more precise and efficient control of the manual since it does not have a semi-automated process that helps control it. This is due to the implementation of temperature, humidity and level sensors, as well as suitable actuators and controllers.

Keywords: chocolate tempering machine, IoT, production, control, quality. production capacity.

## **Planteamiento del Problema**

En Ecuador, el chocolate tiene una gran importancia económica y cultural, ya que es uno de los principales productores y exportadores de cacao del mundo. Sin embargo, las máquinas templadoras de chocolate son escasas en el país, debido al alto costo y la dificultad de importarlas. Esto afecta a las pequeñas y medianas empresas (PYMES) que se dedican a la producción de dulces a base de chocolate semielaborado, ya que no pueden ofrecer un producto de alta calidad y competitivo en el mercado.

Para realizar el templado del chocolate se pueden utilizar diferentes métodos, como el baño maría, la siembra o el mármol, pero estos requieren de mucha habilidad y precisión. Por eso, existen máquinas templadoras de chocolate que facilitan este proceso y garantizan un resultado óptimo. Estas máquinas son capaces de controlar la temperatura del chocolate y mantenerlo en la zona de cristalización durante el tiempo necesario evitando que el chocolate se blanquee o se derrita fácilmente.

## **Justificación**

Como se vió en el planteamiento del problema, la importancia económica y cultural del chocolate que existe en nuestro país es alta, por lo que un sistema que pueda ofrecer una solución práctica y económica para este proceso es indispensable lo que renovarí la calidad de los productos elaborados, aumentando la productividad y la rentabilidad de las PYMES en el sector chocolatero.

Un sistema de templado para diferentes tipos de chocolate con capacidad máxima de 5kg permitirá obtener productos de excelente calidad en el menor tiempo posible, optimizando el uso de recursos para evitar el desperdicio, esta debe ser de fácil uso y limpieza de tal forma que pueda ser manipulada de forma sencilla y un precio que sea accesible comparado con las existentes en el mercado.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una máquina templadora de chocolate con capacidad de hasta 5 Kg con un sistema de control digital de temperatura.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información de máquinas templadoras de chocolate establecidas en el mercado actual para el aprovechamiento de las ventajas de los diseños existentes.
- Diseñar la estructura de acuerdo con los elementos que constituyen la máquina de templado de chocolate para la obtención de referencias dimensionales al momento de fabricación de cada elemento.
- Construir el equipo con los elementos adecuados y el control digital de temperatura acorde a cada tipo de chocolate para que el producto se conserve adecuadamente.
- Validar el desempeño del sistema mediante pruebas de campo para la comprobación del funcionamiento correcto del equipo.

## **METODOLOGÍA**

Se busca diseñar y desarrollar una máquina templadora de chocolate semi automatizada. Se llevará a cabo la construcción de un prototipo y se realizarán pruebas para evaluar su funcionalidad y rendimiento en comparación con el templado manual de chocolate, por lo cual se llevará a cabo las siguientes tres fases:

### **Cualitativa**

Se hará un estudio de mercado para identificar las necesidades y preferencias de los clientes potenciales, así como las características y ventajas de las máquinas existentes.

### **Cuantitativa**

Se medirán los parámetros físicos y químicos del chocolate, como la viscosidad, la cristalización y la temperatura óptima para cada tipo.

### **Experimental**

Se diseñará y construirá un prototipo de la máquina, que incluirá un sistema de control digital de temperatura basado en sensores y actuadores. Se realizarán pruebas de funcionamiento y rendimiento con los diferentes tipos de chocolate.

## **HIPÓTESIS DEL PROYECTO O LA INVESTIGACIÓN**

La implementación de una máquina templadora de chocolate automatizada mejorará la consistencia y calidad del chocolate templado, reducirá los tiempos de ciclo del proceso y aumentará la eficiencia de producción en comparación con el templado manual de chocolate.

## **ALCANCE DEL PROYECTO O LA INVESTIGACIÓN**

El alcance del proyecto establece los límites y las indicaciones de los resultados esperados por lo que podría incluir los siguientes aspectos, el desarrollo de un prototipo de máquina templadora de chocolate semi automatizada incluye el diseño y construcción del dispositivo, la implementación de sistemas de calentamiento y enfriamiento controlados, el desarrollo de un mecanismo de giro controlado, y la integración de un sistema de control semi automatizado. Se realizarán pruebas y evaluaciones comparativas con el templado manual de chocolate, analizando la consistencia y calidad del chocolate templado por la máquina. Además, se evaluará la eficiencia y rendimiento del proceso de templado semi automatizado, identificando posibles mejoras y recomendaciones para futuras iteraciones del diseño, después de todas las etapas de desarrollo se finalizará con la entrega del equipo, lo que condiciona el método y los recursos utilizados.

En el caso de la máquina templadora de chocolate semi automatizada, el alcance abarcará desde el diseño y construcción del prototipo hasta las pruebas y evaluación de su funcionalidad y rendimiento, con el objetivo de mejorar la consistencia y calidad del chocolate templado y la eficiencia del proceso.

- 1) Los materiales deben poder limpiarse y mantenerse de manera efectiva para prevenir la contaminación cruzada y garantizar la higiene en la producción de alimentos.
- 2) Los materiales deben estar adecuadamente etiquetados con información relevante, como la composición del material, las condiciones de uso permitidas y cualquier restricción aplicable.

# CAPÍTULO 1

## Marco Contextual Y Teórico

En este capítulo introductorio, se presenta una visión general del chocolate, desde sus materias primas y componentes hasta sus diferentes variedades. También se describe el proceso de elaboración del chocolate, con especial énfasis en el templado, que es el tema central de este trabajo. La máquina templadora utiliza un sistema semi automático que asegura la calidad y consistencia del producto final. A continuación, se explicará el funcionamiento de la máquina, los beneficios que aporta y los desafíos que implica su desarrollo.

### 1.1 Historia del chocolate

Según Pilar A & Ramírez V. [1] en el artículo, El cacao: ayer, hoy y siempre en el desarrollo socioeconómico y cultural del mundo, mencionan que el chocolate es originario de Mesoamérica y su consumo se remonta a al menos 4.000 años atrás. Sus habitantes consideraban al chocolate una bebida sagrada que era utilizada en ceremonias religiosas y como medicina. Los Aztecas creían que el cacao tenía propiedades afrodisíacas y lo utilizaban en sus rituales de cortejo.

El cacao es una planta originaria de América que fue descubierta por los españoles en el siglo XVI [1]. Ellos lo llevaron a Europa y le agregaron azúcar y especias para hacer una bebida llamada chocolate. El chocolate se hizo muy popular en Europa y luego en todo el mundo. En el siglo XIX, se creó la primera barra de chocolate sólido, gracias a una máquina que molía el cacao. La barra de chocolate era una mixtura de pasta de cacao, azúcar y manteca de cacao, y la hizo la empresa británica J.S. Fry & Sons [1].

#### 1.1.1. Datos del cacao en el Ecuador

En Ecuador es un producto muy importante que según García B. et Al. [2] en el artículo The Cacao production chain in Ecuador: Resilience in the different production actors, concluyen que el país destaca como uno de los principales productores de cacao a nivel mundial y es reconocido por su



chocolate de excelencia. En la actualidad, se concentra aquí más del 70% de la producción global de cacao fino de aroma, lo que le sitúa como líder mundial en la producción de este tipo de cacao.[3].

Existen dos ejemplares de cacao que se originan y exportan en Ecuador: el Nacional, que se produce en la Sierra con un 35%, y el CCN-51, que es más resistente y se produce en la Costa un 60% y en el Oriente un 5% [2]

La costa lidera la producción total dentro del Ecuador con un 60% con respecto a las otras regiones mencionadas anteriormente, en la siguiente representación circular podemos observar la producción total en cada región. Figura. 1

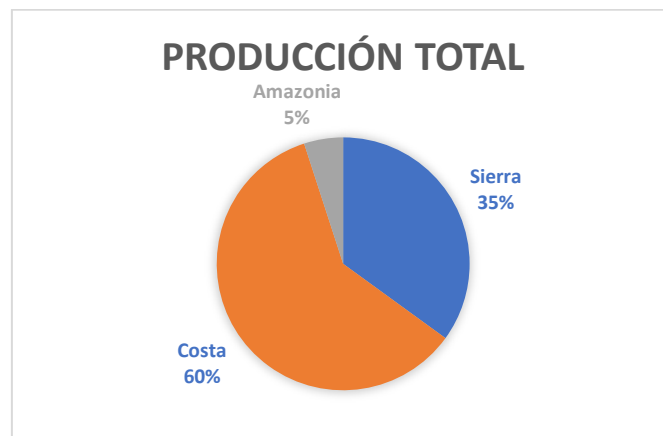


Figura. 1 Representación circular porcentual de la producción total en las tres regiones del país en el año 2020 [2].

La costa es la que mayor exportación tiene dentro del Ecuador con un 70% a diferencia de las otras regiones como lo podemos observar en la Figura. 2 donde se detalla con una representación circular.



Figura. 2 Representación circular porcentual de las exportaciones en las tres regiones del país en el año 2020 [2].

Ecuador es uno de los principales productores de cacao del mundo, con una producción estimada de 365 mil toneladas en el año 2020/2021 [2]. Con el objetivo de alcanzar una producción de 500 mil toneladas para el año 2025, se plantea que 400 mil toneladas corresponderán a cacao en grano, 80 mil toneladas a cacao semielaborado, y 20 mil toneladas a chocolate.[2].

### 1.1.2. Tipos de cacao en Ecuador

Ecuador al ser un principal productor, produce una amplia variedad de cacao de alta calidad que se diferencian por su sabor, aroma y características físicas.

- **Cacao Nacional:** Se cultiva principalmente en la región de la Sierra [3]. El cacao se destaca por presentar una mazorca de color verde en su estado tierno, y a medida que madura, su tonalidad cambia a amarillo. Su forma se asemeja a la de una papaya, con un escote estrecho, y se presenta de manera bastante redondeada, como se puede ver en Figura. 3.



Figura. 3 Aspecto cacao nacional [3]

- **Cacao CCN-51:** Es una variedad híbrida ver en la Figura. 4 desarrollada en Ecuador por el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP). Es valorado por su alta productividad y resistencia a enfermedades, y se cultiva principalmente en la región de la Costa [3].



Figura. 4 Aspecto de cacao CCN-51 [3]

### 1.1.3 Producción del Chocolate

Elaborar chocolate implica la utilización de las semillas del cacao como materia prima, y su composición puede variar al agregar distintos ingredientes, lo que otorga diferentes sabores y calidades dependiendo del tipo de chocolate deseado [4]. Las fases que integran en el proceso de elaboración del chocolate son:

- 1) **Adquisición de la materia prima;** Se adquiere el cacao de productores o proveedores especializados. El cacao es la materia prima básica para la producción de chocolate.
- 2) **Secado del cacao;** El cacao se somete a un proceso de secado para reducir la humedad y estabilizar los granos. Esto se realiza mediante la exposición al sol o mediante secadoras industriales.
- 3) **Selección;** Los granos de cacao secos se seleccionan cuidadosamente para eliminar cualquier grano defectuoso o impureza.
- 4) **Tostado;** Los granos de cacao seleccionados se tuestan en hornos para desarrollar sus sabores y aromas característicos. El tueste también elimina la humedad restante y esteriliza los granos.

- 5) **Descascarillado;** Después del tostado, los granos de cacao se trituran para separar las cáscaras externas del interior.
- 6) **Molido;** Se muelen en molinos para obtener una pasta espesa llamada "licor de cacao". Esta pasta contiene manteca de cacao y sólidos de cacao.
- 7) **Conchado;** El licor de cacao se somete a un proceso llamado conchado, que consiste en calentar y mezclar el licor de cacao para mejorar su textura y sabor.
- 8) **Atemperado;** La masa de chocolate se somete a un proceso de atemperado, en el que se controla cuidadosamente la temperatura para cristalizar la manteca de cacao y lograr un chocolate brillante y estable.
- 9) **Moldeado;** El chocolate atemperado se vierte en moldes para darle la forma deseada, ya sea tabletas, bombones u otras presentaciones.
- 10) **Enfriamiento;** Los moldes con el chocolate se enfrían a una temperatura controlada para que el chocolate se solidifique y tome su forma definitiva.
- 11) **Embalaje;** Una vez que el chocolate se ha enfriado y solidificado, se desmolda y se prepara para el embalaje.
- 12) **Sellado y etiquetado;** Se sella y etiqueta el producto final, asegurándose de que cumpla con los requisitos de seguridad e información para el consumidor.
- 13) **Almacenamiento;** El chocolate empacado se almacena en condiciones adecuadas para mantener su calidad y frescura hasta su distribución y venta.

Este proceso de producción del chocolate garantiza la calidad y el sabor característico de este delicioso producto, desde la ganancia de la materia prima hasta su presentación final en el mercado, ver en la Figura. 5.



Figura. 5 Proceso de producción para obtener el chocolate.

La Asociación artesanal es una empresa dedicada a la producción de chocolate de eficacia a partir de los granos de cacao que compra a los agricultores locales [5]. El resultado es un chocolate delicioso y nutritivo que se moldea, enfría y envasa para su distribución ver en la Figura. 6. El proceso de fabricación se fundamenta en la cuidadosa elección de las semillas del cacao fino de aroma de mayor calidad, lo cual proporciona al producto un sabor y aroma excepcionales, dotándolo de características únicas.

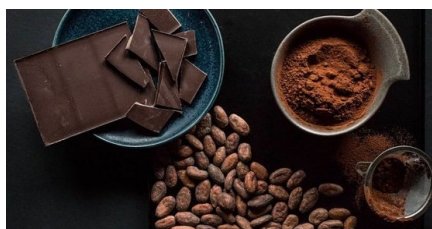


Figura. 6 Cacao y chocolate en diferentes actos [6]

#### 1.1.4 Tipos de chocolate que se templan en las PYMES de Ecuador

##### Chocolate sucedáneo

El chocolate de cobertura es un tipo de chocolate que se utiliza para decorar o cubrir otros productos de repostería. Es la mezcla de pasta de cacao que está por debajo del 35% de cacao y que no está mezclado con manteca de cacao, si no con grasas de origen vegetal, ya sean hidrogenadas o no, pero que contiene menos cacao o grasa vegetal. Este tipo de chocolate tiene una textura más suave y brillante que el chocolate puro, pero también es menos saludable y más barato. El chocolate de cobertura se puede encontrar en diferentes colores y sabores, como blanco, negro, con leche, con frutos secos, etc. [7].

A continuación, se presenta en la Tabla 1 la información disponible sobre el chocolate sucedáneo, incluyendo los porcentajes aproximados de componentes y la densidad para el caso específico del chocolate sucedáneo con manteca de palma.

Tabla 1 Información técnica del chocolate sucedáneo

Componente	Porcentaje	Densidad
Grasas vegetales	30% - 50%	1.0 g/cm <sup>3</sup> - 1.2 g/cm <sup>3</sup>
Azúcares	40% - 60%	-
Sólidos de cacao	10% - 20%	-

Es importante destacar que la densidad proporcionada es solo un rango aproximado y puede variar según la marca y la formulación específica del chocolate sucedáneo con manteca de palma.

## Tipos de chocolate sucedáneo

- **Chocolate sucedáneo con leche:** 20% de pasta de cacao, 20% de leche en polvo, 40% de azúcar y 20% de grasa vegetal [8].
- **Chocolate sucedáneo blanco:** 5% de pasta de cacao, 14% de leche en polvo, 55% de azúcar y 26% de grasa vegetal [8].
- **Chocolate sucedáneo negro:** 15% de pasta de cacao, 55% de azúcar y 30% de grasa vegetal [8].

### 1.1.5 Templado del Chocolate

#### Artesanalmente

Templar el chocolate es un proceso que consiste en calentar y enfriar el chocolate de forma controlada para obtener una textura brillante, crujiente y uniforme [9]. Existen varios métodos para templar el chocolate de forma artesanal, pero los más comunes son el método de siembra, el método del bloque y el método del mármol [10].

El método de siembra es el más fácil y rápido de realizar. Se trata de fundir tres cuartas partes del chocolate al baño maría, sin superar los 45°C para el chocolate negro o los 40°C para el chocolate con leche o blanco, ver en la Figura. 7. Luego se añade el cuarto restante del chocolate finamente picado o rallado, que actúa como semilla para formar los cristales estables de la manteca de cacao [11].



Figura. 7 Método de siembra [11]

El método del bloque es otro método sencillo pero que requiere más tiempo y un bloque grande de chocolate templado. Se trata de añadir un bloque de chocolate templado al chocolate fundido y

remover hasta que el chocolate se enfríe a la temperatura adecuada. Luego se retira el bloque y se reserva para otro uso[12], ver en la Figura. 8.



Figura. 8 Método del bloque [12]

El método del mármol es un método más complejo pero que ofrece buenos resultados. Se trata de verter la mitad o dos tercios del chocolate fundido sobre una superficie de mármol limpia y seca. Se extiende y se raspa con una espátula metálica hasta que empiece a espesar y se enfríe a la temperatura deseada. Luego se devuelve el chocolate al bol con el resto del chocolate fundido y se mezcla hasta obtener una consistencia homogénea [13], ver en la Figura. 9.



Figura. 9 Método del mármol [13]

## **Industrialmente**

El templado industrial es el proceso de calentar y enfriar el chocolate de forma controlada y semi automatizada para obtener una estructura cristalina estable en la manteca de cacao. El chocolate templado industrial tiene un acabado liso, brillante y firme, y es resistente al calor y a la humedad. El templado industrial es necesario para producir chocolate en grandes cantidades y con alta calidad y uniformidad [14]. Estas máquinas suelen tener un sistema de calentamiento, enfriamiento y



agitación que permite regular la temperatura y el movimiento del chocolate fundido, ver en Figura. 10. Algunas máquinas también tienen un sistema de dosificación que permite añadir otros ingredientes al chocolate, como leche en polvo, azúcar o emulsionantes [15]. Las máquinas temperadoras industriales pueden ser continuas o discontinuas, según el flujo de producción que requieran.



Figura. 10 Máquina templadora de chocolate industrial [14]

Las fases se pueden realizar con diferentes métodos, ver en la Figura. 11, como el método de siembra, el método del bloque o el método del mármol [10]. También se pueden usar máquinas temperadoras que semi automatizan el proceso y facilitan el control de la temperatura y el movimiento del chocolate [14].

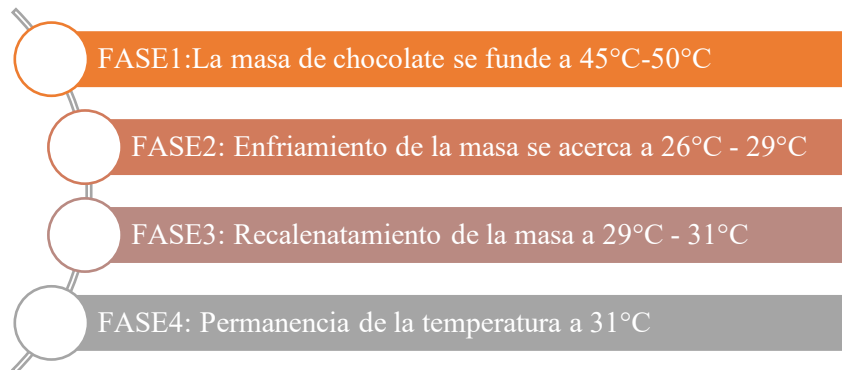


Figura. 11 Fases del templado del chocolate [14]

El moldeo y el enfriamiento del chocolate son dos procesos que se realizan después del templado para dar forma y consistencia al chocolate [13], ver en la Figura. 12.



Figura. 12 Moldeado y enfriamiento del chocolate [13]

## 1.2 Antecedentes del Proyecto

El templado adecuado del chocolate en la industria alimentaria es esencial para garantizar su calidad. Se logra mediante la formación de cristales de grasa de cacao en una estructura estable, lo que proporciona una textura suave, un brillo atractivo y una buena estabilidad a temperatura ambiente [16]. Históricamente, el templado del chocolate se realizaba manualmente, lo que requería habilidades y experiencia. Sin embargo, este método era propenso a errores humanos y variaciones en los resultados [17].

Con el crecimiento de la demanda y la necesidad de mejorar la eficiencia y calidad, surgieron las máquinas templadoras de chocolate. Estas máquinas permiten un control preciso de la temperatura, el enfriamiento y la agitación, asegurando una cristalización uniforme y resultados consistentes [16]. En el mercado actual, existen diferentes tipos de máquinas templadoras de chocolate, desde equipos simples utilizados en pequeñas empresas hasta sistemas automatizados de alta capacidad en la producción a gran escala. Estos dispositivos utilizan tecnología avanzada, como sensores de temperatura, mecanismos de agitación precisos, sistemas de calentamiento y enfriamiento controlados [18].

La investigación en el campo de las máquinas templadoras de chocolate se centra en el desarrollo y mejora de estos dispositivos, incluyendo la optimización de los parámetros de templado, la eficiencia energética, el monitoreo y la regulación automática de variables, así como la evaluación de la calidad del chocolate obtenido [19].

### 1.3 Fundamentación de la investigación

Las causas principales y secundarias que influyen en el efecto o problema central, en este caso serían el diseño y construcción de la máquina, como se puede estimar en la Tabla 2.

Tabla 2 Causa - efecto para el diseño y construcción de la máquina.

<b>Causa</b>	<b>Efecto</b>
Diseño del sistema de calentamiento y enfriamiento	Consistencia y calidad del chocolate templado
Mecanismo de agitación controlada	Eficiencia y rendimiento del proceso de templado
Sistema de control automatizado	Tiempo de ciclo del proceso
Selección de materiales y componentes	Costos de producción
Capacidades técnicas y conocimientos del equipo de desarrollo	Competitividad en el mercado
Limitaciones de presupuesto y recursos	Satisfacción del cliente
Requisitos y demandas del mercado	Rentabilidad del proyecto

### 1.4 Diseño de la investigación

Al diseñar y desarrollar una máquina templadora de chocolate semi automatizada que garantice resultados consistentes y de alta calidad, realizará una planificación, para un óptimo proceso en la construcción de la máquina.

#### 1.4.1. Planificación

En el proceso de investigación se revisaron los procesos de templado de chocolate existentes y se analizaron estudios previos sobre máquinas semi automatizadas para este propósito, junto con las necesidades de los fabricantes de chocolate.

A partir de ahí, se diseñó un sistema de calentamiento y enfriamiento controlado, se construyó y probó un prototipo, se evaluó la calidad del chocolate templado y se optimizó el diseño según los resultados y la retroalimentación obtenida. Finalmente, se documentaron todos los procesos y se prepararon informes, presentaciones y una guía para los usuarios, ver en la Figura. 13.

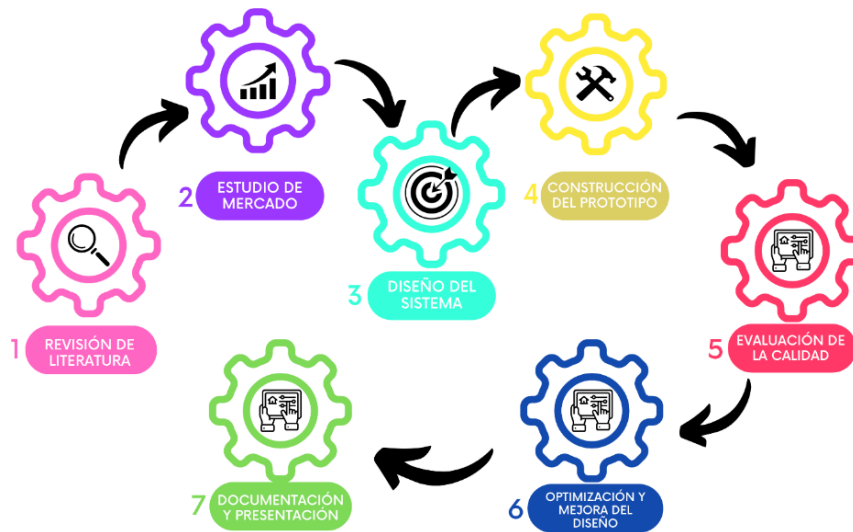


Figura. 13 Planificación

### El proyecto se desarrollará en cuatro fases:

- 1) **Fase teórica:** Se recopilará y analizará la información bibliográfica y normativa sobre el chocolate y su manejo. Se definirán los requisitos y especificaciones del sistema de control digital de temperatura.
- 2) **Fase de diseño:** Se utilizará el software de diseño adecuado para modelar la estructura y los componentes de la máquina. Se seleccionarán los materiales y los proveedores más adecuados para su fabricación.
- 3) **Fase de implementación:** Se fabricará la estructura y se ensamblarán los componentes de la máquina. Se programará el sistema de control digital de temperatura.
- 4) **Fase de pruebas:** Se verificará el correcto funcionamiento y la seguridad de la máquina. Se medirá la precisión y la estabilidad del control digital de temperatura con diferentes tipos de chocolate. Se evaluará la satisfacción de los usuarios con el producto final.

### **1.5 Aspectos teóricos fundamentales**

Para lograr un buen templado del chocolate, se requiere una máquina que cumpla con ciertos requisitos técnicos esenciales. Entre ellos se encuentran un sistema que permita calentar y enfriar el chocolate de manera eficaz, un control exacto de la temperatura en cada etapa del proceso, una agitación regulada que evite la formación de grumos o burbujas, un sistema de extracción que facilite la limpieza y el vaciado de la máquina[20], permitiendo además reciclar el chocolate sobrante o cambiar de tipo de chocolate según la demanda, controles y opciones de semi automatización que optimicen el rendimiento y la calidad del producto, así como un diseño higiénico y facilidades de mantenimiento que garanticen la seguridad alimentaria y la durabilidad de la máquina. El templado de chocolate es un proceso esencial para obtener un producto de alta calidad. Consiste en varias etapas clave que involucran el manejo de las propiedades físicas y químicas del chocolate. Estas son las fases de fusión, enfriamiento y agitación del chocolate, y la formación y estabilización de los cristales de grasa de cacao.

### **1.6 Conclusión del capítulo**

Estos conocimientos son esenciales para diseñar y fabricar una máquina templadora de chocolate que satisfaga las necesidades de producción y calidad en la industria del chocolate. La propuesta debe de ser más eficiente que los métodos tradicionales, ya que reduce el tiempo de templado y ofrece una solución innovadora para la industria chocolatera.

## CAPÍTULO 2

### Metodología de la Investigación

En este capítulo, se utilizará el diagrama de Ishikawa (espina de pescado), para analizar las causas y efectos relacionados con una máquina templadora de chocolate. Se buscará identificar las variables operacionalizadas que influyen en el proceso de templado en base al entorno IoT, se investigarán los diferentes modelos de máquinas templadoras disponibles en el mercado y se analizarán sus características. Con el cuadro comparativo de las alternativas con los criterios de valoración de la maquina y se seleccionará la mejor opción, que cumpla con las necesidades de las PYMES. Además, se describirán las técnicas e instrumentos utilizados en el análisis y se presentarán las conclusiones obtenidas.

#### 2.1. Diagrama Causa - Efecto

En este apartado se analizarán las causas o problemas que posiblemente pueden intervenir al momento de crear la máquina como se puede ver en la Figura. 14, y posteriormente se podrá encontrar una posible solución o efecto.

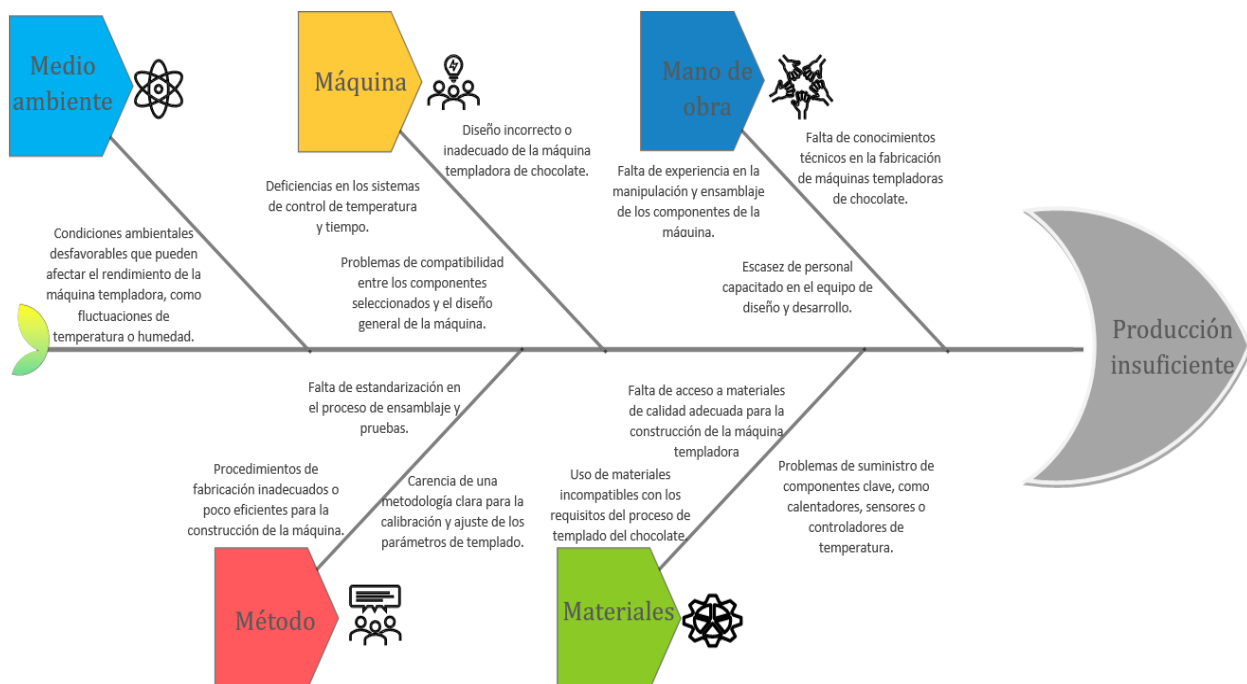


Figura. 14 Diagrama de Ishikawa sobre los problemas y las posibles soluciones del proyecto.

El efecto principal podría ser:

Producción insuficiente:

- Incapacidad para alcanzar la capacidad de producción deseada.
- Tiempos de producción prolongados debido a limitaciones de la máquina.
- Incapacidad para satisfacer la demanda del mercado debido a la baja capacidad de la máquina.

Este efecto principal se puede colocar en la cabeza del diagrama de Ishikawa, y se pueden identificar las causas raíz en las ramas principales del diagrama. Algunas posibles sub-causas que podrían contribuir a este efecto incluyen:

- Capacidad limitada de la máquina templadora (Máquina).
- Diseño ineficiente de la máquina (Máquina).
- Falta de conocimientos técnicos en la fabricación de máquinas templadoras de chocolate (Mano de obra).
- Problemas en el control de temperatura durante el proceso de templado (Materiales).
- Materiales de baja calidad utilizados en la construcción de la máquina (Materiales).

Una posible solución al efecto de la producción insuficiente de una máquina templadora de chocolate es la implementación de técnicas de planificación y programación de la producción, respaldadas por la compilación y el análisis de antecedentes en tiempo real a través de sensores IoT. Esto permitirá optimizar los procesos de producción, mejorar la eficiencia y evitar la escasez de producción.

## **2.2.Operacionalización de las variables**

En este trabajo se pretende operacionalizar las variables relacionadas con el proceso de producción de chocolate, teniendo en cuenta los factores que influyen en su calidad y rendimiento. Las variables que se han identificado son: temperatura del chocolate, humedad ambiente, flujo de aire, velocidad del disco giratorio, nivel de inventario del chocolate, rendimiento y mantenimiento predictivo. Estas variables se clasifican en independientes y dependientes, según su relación causal.

A continuación, se presenta la definición conceptual y estratégico de cada variable, así como su escala de medición y la técnica de recogida de datos que se utilizará.

### 2.2.1. Temperatura del chocolate

La temperatura del chocolate es fundamental para lograr el templado adecuado. Mediante sensores de temperatura conectados al IoT, se puede monitorear y controlar de forma precisa la temperatura del chocolate durante todo el proceso. Liu et. Al., [21] en el artículo A temporal adaptive access mechanism for data fusion in an IoT environment, en este artículo investigan la fusión de datos y las aplicaciones basadas en sensores de temperatura en el IoT.

Un aspecto fundamental de la elaboración del chocolate es el control de la temperatura, ya que influye en la calidad y el sabor del producto final. Para lograr una correcta cristalización de la manteca de cacao, se debe seguir una curva de enfriamiento específica que depende del tipo de chocolate. Es importante tener en cuenta que la capacidad calorífica del chocolate puede variar dependiendo de su composición y otros factores, como el grado de agitación, la humedad relativa y la presión atmosférica[22]. La capacidad calorífica que importe de calor que se necesita para realzar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado. Conocer este valor permite calcular mediante la ecuación ( 1 ), la cantidad de energía que se requiere para fundir, templar y enfriar el chocolate, así como optimizar el proceso y evitar el desperdicio. Según algunos estudios, la capacidad calorífica del chocolate oscila entre 1,5 y 2,5 kJ/kg·K[22], siendo mayor para el chocolate blanco y menor para el chocolate negro.

$$\Delta Q = m * c * \Delta T \quad (1)$$

Donde:

$c$  = capacidad calorífica [kJ/kg·°C]

$Q$  = cantidad de calor absorbida o liberada por la sustancia [kJ]

$m$  = masa de la sustancia [kg]

$\Delta T$  = cambio de temperatura experimentado por la sustancia [°C]



### 2.2.2. Humedad ambiente

La humedad ambiental puede afectar el proceso de templado del chocolate. Con sensores de humedad conectados al IoT, se puede supervisar la humedad en tiempo real y ajustar el proceso según sea necesario para mantener las condiciones óptimas[23], [24].

La Humedad referente se define como el porcentaje (%) de la presión de vapor presente en el aire en relación con su máxima capacidad a una determinada temperatura. Se trata de la forma más común de cuantificar el contenido de humedad en el ambiente[24].

Por otro lado, es importante destacar que la humedad referente no está relacionada con los líquidos utilizados en procesos productivos, sino con la cantidad de agua en forma de vapor presente en el aire, comparada con la máxima cantidad de agua que puede sostenerse a esa temperatura específica[24].

- La humedad relativa se divide en tres rangos distintos:
- Alta humedad: se encuentra en el rango del 70% al 100%.
- Media humedad: abarca el intervalo del 40% al 70%.
- Baja humedad: oscila entre el 0% y el 40%.

### 2.2.3. Flujo de aire

Se utilizará para enfriar y solidificar el chocolate en algunas máquinas templadoras. Mediante el control del flujo de aire con actuadores conectados al IoT, se puede ajustar la velocidad y la dirección del flujo para una refrigeración uniforme. Gubbi J. et. Al., [25] en el artículo Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, contextualizan el uso de sensores IoT en el monitoreo del flujo de aire, mostrando cómo se integran en un sistema más amplio de Internet de las cosas.

La resistencia aerodinámica, es la fuerza que se enfrenta a la tendencia de un objeto a través de un fluido, en este caso, el aire. En el contexto de la máquina templadora de chocolate, la fuerza de arrastre puede ser relevante al considerar el flujo de aire alrededor del chocolate durante el proceso de enfriamiento. En el caso de la máquina templadora de chocolate, la fuerza de arrastre, ver en la ecuación ( 2 ) puede ser un factor a considerar al diseñar el sistema de enfriamiento.

$$F_d = 0.5 * \rho * v^2 * C_d * A \quad (2)$$

Donde:

$F_d$  = fuerza de arrastre [N]

$\rho$  = densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = velocidad del flujo de aire [m/s]

$C_d$  = coeficiente de arrastre, que depende de la forma y la rugosidad del objeto

$A$  = área de referencia del objeto expuesto al flujo de aire

#### 2.2.4. Velocidad del disco giratorio:

Si la máquina templadora utiliza un disco giratorio, la velocidad de esta puede ser controlada a través del IoT (Internet of Things). Esto permite regular la velocidad de desplazamiento del chocolate para la distribución uniforme, el enfriamiento, la solidificación y la formación de la estructura cristalina adecuada. Wang Y. et. Al., [26] en el artículo, Applications of reinforcement learning for building energy efficiency control: A review, proponen un enfoque basado en IoT y aprendizaje profundo por refuerzo para el control inteligente de la velocidad de los ventiladores con el objetivo de conservar energía.

La velocidad angular en el disco giratorio de una máquina templadora de chocolate No es lo mismo en todos los casos, sino que depende de diferentes aspectos, como el diseño y las especificaciones de la máquina. La velocidad tangencial es importante en la máquina templadora de chocolate, ya que afecta directamente el tiempo de contacto entre el chocolate y la superficie del disco. Una mayor velocidad tangencial implica un contacto más rápido y prolongado entre el chocolate y el disco, como se puede ver en la ecuación ( 3 ) lo que ayuda a facilitar la transferencia de calor y a lograr un templado adecuado.

$$v = \omega * r d \quad (3)$$

Donde:

$v$  = velocidad tangencial [m/s]

$\omega$  = velocidad angular [rpm]

$r_d$  = radio del disco [m]

En el contexto de la máquina templadora de chocolate, el número de Reynolds puede ser relevante al considerar el flujo del aire alrededor de la superficie del chocolate. Esto es especialmente importante en aplicaciones donde se utiliza aire como medio de enfriamiento para el templado del chocolate.

El número de Reynolds ayuda a determinar si el flujo de aire alrededor del chocolate es laminar o turbulento, para ello usaremos su fórmula la cual podemos observar en la ecuación ( 4 ). En términos generales, el flujo se clasifica como laminar cuando el número de Reynolds es menor a 2000 y como turbulento cuando es mayor a 4000[27]. En el rango de 2000 a 4000, como se puede ver en la Figura. 15 el flujo puede ser de transición y puede presentar características tanto laminar como turbulento.

$$Re = \frac{(\rho * V * r_d)}{\mu} \quad (4)$$

Donde:

Re = número de Reynolds

$\rho$  = densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = velocidad tangencial del fluido [m/s]

$r_d$  = longitud característica del objeto o radio del disco [m]

$\mu$  = viscosidad dinámica del fluido [Pa·s]

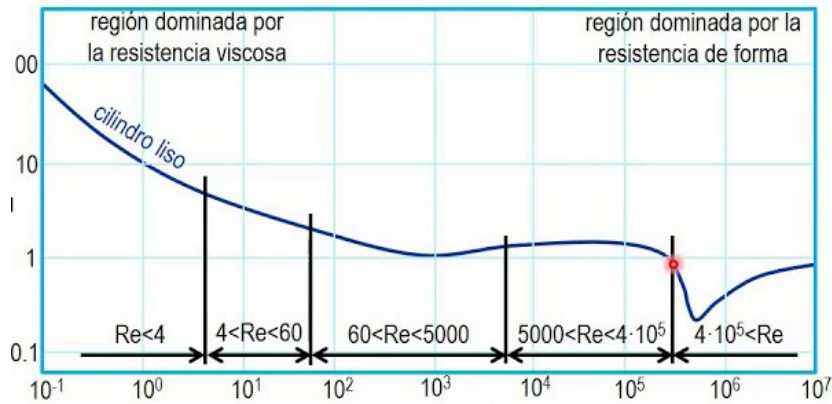


Figura. 15 Gráfica de evolución del coeficiente de resistencia aerodinámica para un cilindro [27]

### 2.2.5. Nivel de inventario de chocolate:

Con sensores de nivel conectados al IoT, se puede monitorear el nivel de chocolate en tiempo real. Esto ayuda a prevenir la escasez de chocolate durante el proceso de templado y permite una planificación adecuada para reabastecer el inventario[28].

Cuando el chocolate se encuentra a una temperatura más alta, las moléculas de grasa presentes en su estructura se mueven con mayor agitación y ocupan más espacio [22]. Esto lleva a que la densidad del chocolate disminuya, ya que hay menos masa por unidad de volumen debido a la expansión de las moléculas de grasa[29]. Por otro lado, al enfriar el chocolate, las moléculas de grasa tienden a compactarse, lo que disminuye el volumen ocupado por el chocolate, ver en la Figura. 16. En este caso, la densidad del chocolate aumenta, ya que se concentra más masa en el mismo volumen debido a la contracción de las moléculas de grasa[29].

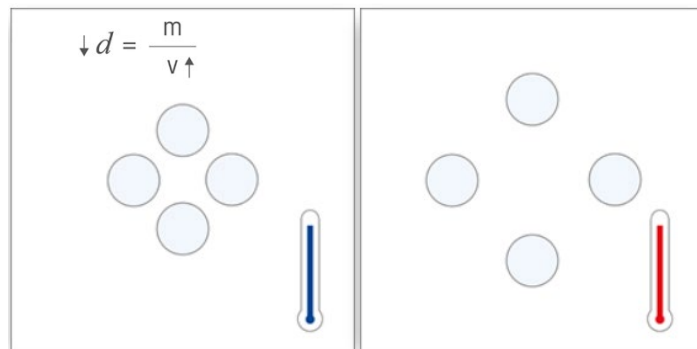


Figura. 16 Molécula a una temperatura fija y la molécula cuando escala la temperatura [22].

El almacenamiento de inventario del chocolate durante el proceso en la bandeja es de suma importancia para saber cuál va a ser su capacidad de llenado o altura máximas. La bandeja cuenta con una forma de tronco de pirámide rectangular de la cual se puede determinar su volumen como se puede ver en la ecuación ( 5 ).

$$v_b = \frac{h_{max}}{3} * (A_B + A_b + \sqrt{A_B * A_b}) \quad (5)$$

Despejando la altura máxima de la bandeja, ver en la ecuación ( 6 ).

$$h_{max} = \frac{3v_b}{(A_B + A_b + \sqrt{A_B * A_b})} \quad (6)$$

Donde:

$V_b$ =volumen interno de la bandeja [ $m^3$ ]

$A_B$ =área superior de tronco rectangular piramidal [ $m^2$ ]

$A_b$ =área inferior de tronco rectangular piramidal [ $m^2$ ]

$h_{max}$ =altura máxima necesaria [m]

La densidad del chocolate es un factor crucial para determinar el volumen de la bandeja interna en este contexto. Podemos utilizar una ecuación ( 7 ) específica para relacionar la densidad, la masa y el volumen del chocolate.

$$v_b = \frac{m_b}{\rho_{ch}} \quad (7)$$

Donde:

$\rho_{ch}$ =densidad del chocolate promedio [ $kg/m^3$ ]

$V_b$ =volumen interno de la bandeja [ $m^3$ ]

$m_b$ =capacidad en masa de la bandeja [kg]

## 2.3. Análisis de alternativas

### 2.3.1. Alternativa 1

La Temperadora manual de chocolate tiene una capacidad de 10 kg cuenta con un panel de control digital donde se puede visualizar la temperatura, utiliza un modo de temperado manual a través de la rueda de grado alimenticio como se puede ver en la Figura. 17, que cumple la función de recoger del chocolate que se está atemperando de manera uniforme. Esta alternativa cuenta con una estructura metálica de acero inoxidable 304 y una cubierta de vidrio templado [30].



Figura. 17 Temperadora fundidora manual de chocolate [30].

### 2.3.2. Alternativa 2

La Templadora automática de chocolate T6, utiliza un sistema de fusión del chocolate se basa en la inducción de calor, lo cual garantiza una precisión óptima en el proceso y minimiza el consumo energético. Además, incorpora un sistema de enfriamiento automático mediante gas para el tornillo sinfín, lo que agiliza el proceso de enfriamiento. La capacidad del recipiente es de 6 kg, y está provisto de una batidora que mantiene el chocolate fluido y uniforme [31]. La máquina se controla por medio de un PLC y una pantalla táctil como se puede ver en la Figura. 18 .



Figura. 18 Templadora automática de chocolate T6 [31].

### 2.3.3. Alternativa 3

La Templadora de chocolate Plus EX ®, es una de las más actuales en el mercado, cuenta con un tornillo Arquímedes extraíble y panel de control digital [32]. Asimismo, el equipo está equipado con un dispensador volumétrico controlado mediante pedal, lo que permite regular el flujo del chocolate de manera precisa. También incluye una mesa vibratoria calefactada a baja tensión, diseñada para prevenir que el chocolate se endurezca durante el proceso, ver Figura. 19.



Figura. 19 Templadora de chocolate Plus EX ® [32].

### 2.3.4. Alternativa 4

El cuenco para templar chocolate (mini), es ideal para pequeñas cantidades de chocolate o para diferentes tipos de chocolate, brindando un atemperado suave y económico [33]. El dispositivo tiene un termostato digital que le permite ajustar la temperatura deseada con precisión. El tazón tiene una capacidad de 5 litros y se puede extraer fácilmente para limpiarlo o cambiar el chocolate ver Figura. 20.



Figura. 20 Cuenco para templar chocolate (mini) [33].

## 2.4. Cuadros comparativos de Selección de alternativas

En la siguiente Tabla 3 se puede comparar las 4 alternativas:

Tabla 3 Comparativa de las alternativas según sus características técnicas.

CARACTERISTICAS	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4
<b>Peso [Kg]</b>	5	12	90	5
<b>Capacidad [Kg]</b>	10	6	24	7,5
<b>Energía [Watt]</b>	300	400	1200	300
<b>Material</b>	AISI 304	AISI 430	AISI 430	AISI 304
<b>Dimensiones [mm]</b>	470x510x482	600x570x1220	1470x490x1000	325x176x150
<b>Precio Total [\$]</b>	1500	3000	7000	700

### 2.4.1. Sistema de calificación

Los parámetros de la Tabla 4 que se van a evaluar son criterios de valorización y se seleccionara la alternativa que mejor satisfaga las necesidades PYMES.

Tabla 4 Tipos de parámetros que se estudiaran para la valoración de los criterios de estudio con sus respectivas características.

PARAMETROS	CRITERIOS
<b>TÉCNICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operación y mantenimiento</li> <li>- Capacidad y flexibilidad</li> </ul>
<b>ECONÓMICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de implementación</li> <li>- Eficiencia y productividad</li> <li>- Consumo de energía y recursos</li> </ul>
<b>AMBIENTALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiencia energética</li> </ul>
<b>SOCIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumplimiento de normativas</li> <li>- Impacto en la comunidad</li> </ul>

Estos criterios de valorización son útiles para comparar y elegir la máquina más adecuada. Los indicadores de equivalencias dependen del tipo de criterio como se puede ver en la Tabla 5.



Tabla 5 Proceso evaluativo de las alternativas.

Ítems	Criterios	Indicadores de equivalencia		
		0 - 1	2 - 3	4 - 5
1	Operación y mantenimiento	Difícil	Normal	Fácil
2	Capacidad y flexibilidad	Grande	Mediano	Pequeño
3	Costo de implementación	Costoso	Normal	Económico
4	Eficiencia y productividad	Bajo	Normal	Alto
5	Consumo de energía y recursos	Bajo	Normal	Alto
6	Eficiencia energética	Alto	Normal	Bajo
7	Cumplimiento de la normativa	Incumple	-	Cumple
8	Impacto a la comunidad	Bajo	Normal	Alto

Estos criterios ayudan a evaluar y tomar decisiones informadas al seleccionar la máquina templadora de chocolate donde a cada parámetro se asigna un peso relativo según su importancia en la decisión. Es importante adaptarlos a las necesidades y valores específicos del proyecto.

#### 2.4.2. Evaluación de las alternativas

Con los criterios establecidos y sus respectivos rangos de equivalencia se mostrará en este apartado las calificaciones que se dará a las diferentes alternativas, ver Tabla 6, según el indicador de equivalencia de la Tabla 5.

Tabla 6 Cuadro comparativo para la sección de alternativa.

Ítem	Criterios	Calificación			
		Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4
1	Operación y mantenimiento	4	2	1	5
2	Capacidad y flexibilidad	2	4	5	3
3	Costo de Implementación	4	2	1	4
4	Eficiencia y productividad	3	3	4	3
5	Consumo de energía y recursos	2	3	3	2
6	Eficiencia energética	4	2	1	4
7	Cumplimiento de la normativa	4	4	4	5
8	Impacto a la comunidad	4	4	1	4
<b>Sumatoria</b>		<b>27</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
<b>Índice Porcentual</b>		<b>67,5%</b>	<b>60%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>

Los resultados que se obtuvieron en la Tabla 6 de las alternativas son favorables ya que ninguna de estas, baja del 50% y según el índice porcentual de la sumatoria de los criterios analizados, la alternativa que más se acopla a las especificaciones que se requieren para el PYMES, es la alternativa 4 que es el cuenco para templar chocolate (mini) con un índice porcentual de 75%.

La alternativa 4 es fácil de operar y su mantenimiento es sencillo para el usuario, así mismo el costo-beneficio de la máquina es factible y asequible, los elementos para construcción ya sea importando o comprando localmente los materiales no resulta muy costoso y no se requiere de equipos para su construcción.

## 2.5. Técnicas e instrumentos

Para abordar el problema de la fabricación de una máquina templadora de chocolate con un entorno basado en IoT, es importante considerar las siguientes formulaciones y teorías específicas:

### 2.5.1. Técnicas

#### Proceso de templado:

El proceso de templado del chocolate consiste en la cristalización controlada de la manteca de cacao presente en el chocolate. [34]. Se pueden utilizar diferentes teorías y modelos, como la teoría del enfriamiento controlado y la teoría de la nucleación y crecimiento de cristales, para comprender y optimizar este proceso como se muestra en la Figura. 21.

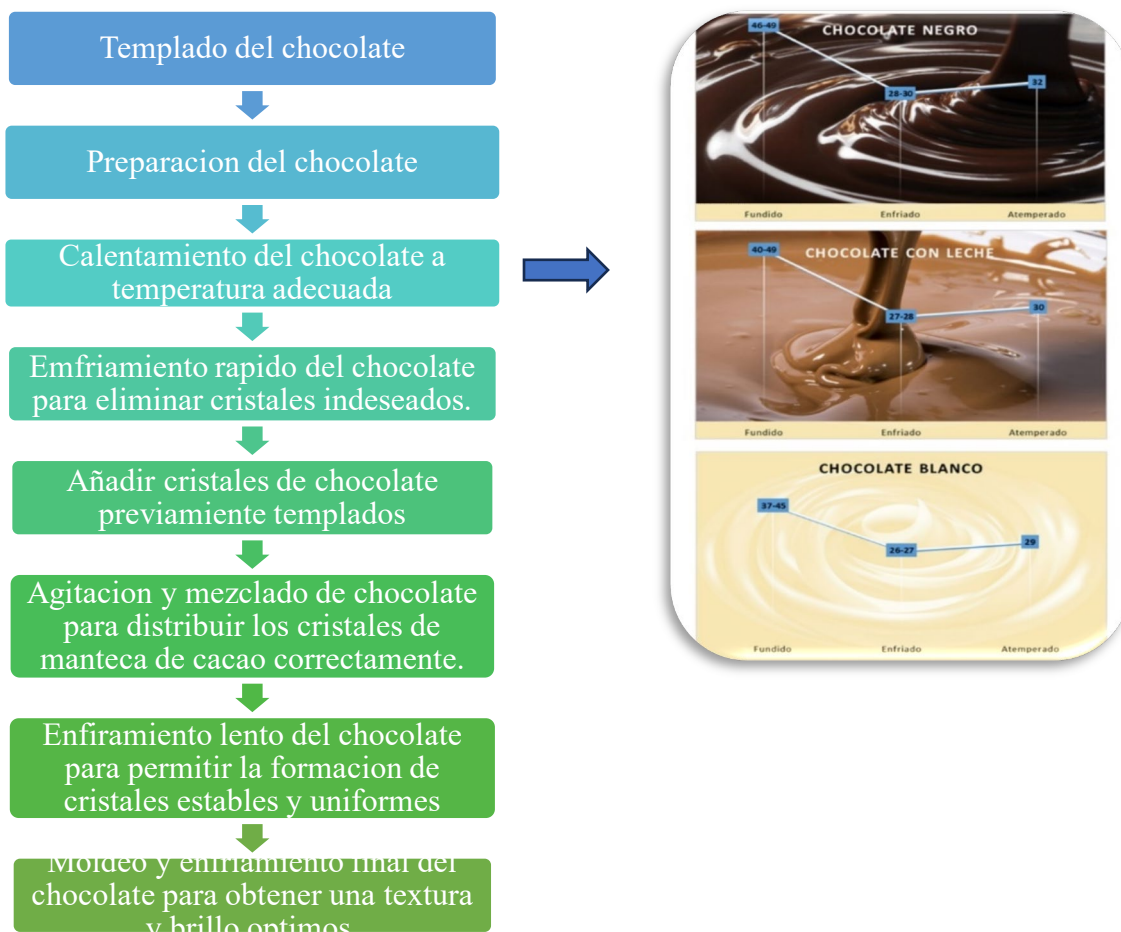


Figura. 21 Diagrama de proceso y teorías del control de temperatura del Templado del chocolate [34], [15]

Según un estudio Ruiz M. Caballero. et. Al. [35] en el artículo Influencia de la cristalización de la manteca de cacao en las propiedades sensoriales y fisicoquímicas de una cobertura de chocolate con leche, donde identifican que la mayor admisión se presenta en chocolates sofisticados a 34°C en donde la manteca de cacao demuestra cristales tipo V [35].

### Control y monitoreo de variables:

En un entorno IoT, es esencial implementar sistemas de control y monitoreo de variables críticas para el proceso de templado. Esto implica utilizar técnicas de control automático, como el control PID (proporcional-integral-derivativo) como se puede ver en la Figura. 22, para regular la temperatura y otras variables relevantes [36].

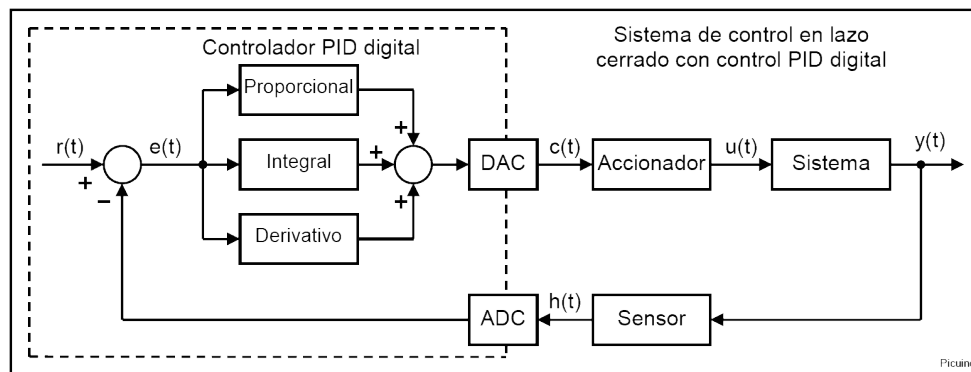


Figura. 22 Control PID digital. Los bloques que sirven de conexión entre el microcontrolador y el sistema son un DAC y un ADC[37].

El método Ziegler-Nichols ofrece ajustar o "sintonizar" un controlador PID de manera empírica, sin requerir conocimiento previo de las ecuaciones de la planta o del sistema bajo control[38]. Las reglas de ajuste propuestas por Ziegler y Nichols, publicadas en 1942, se han convertido en uno de los métodos de sintonización más ampliamente reconocidos y empleados[38].

Estas reglas de ajuste buscan lograr una respuesta al escalón en el sistema realimentado con un sobreimpulso máximo del 25%, un valor robusto que proporciona características deseables de rapidez y estabilidad para la mayoría de los sistemas[39].

El método de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID permite establecer las ganancias proporcional, integral y derivativa utilizando la respuesta del sistema en lazo abierto o en lazo cerrado[39]. Cada uno de estos enfoques se adapta mejor a un tipo particular de sistema.

### 1) Método Ziegler-Nichols en lazo abierto

En esta técnica, se aplica un escalón unitario como entrada a la planta y, a partir de la respuesta obtenida en la salida, se determinan los parámetros del controlador PID[38]. Sin embargo, es importante destacar que para utilizar este método, la respuesta de la planta debe tener una forma curva S o sigmoideal ver en la Figura. 23, lo que significa que no debe haber impulsos en lazo abierto[38]. La forma de la curva S está influenciada por dos factores principales: el retardo en el tiempo ( $L$ ) y la constante de tiempo ( $\tau$ ) de la planta[38]. Estos factores definen la función de transferencia que describe la relación entre la entrada y la salida del sistema.

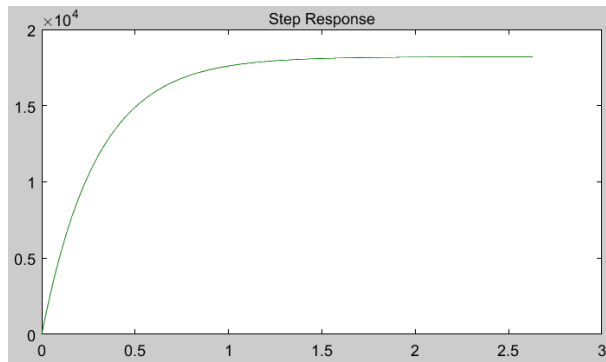


Figura. 23 Salida de la curva sigmoideal en Matlab

Según, Ziegler y Nichols propusieron un ajuste del PID de acuerdo con la Figura. 24.

	$K_p$	$T_i$	$T_d$
$P$	$\frac{\tau}{K \cdot L}$	$\infty$	0
$PI$	$0.9 \frac{\tau}{K \cdot L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
$PID$	$1.2 \frac{\tau}{K \cdot L}$	$2 \cdot L$	$0.5 \cdot d$

Figura. 24 Ziegler-Nichols lazo abierto[38]

### 2) Método Ziegler-Nichols en lazo cerrado

Para comenzar el proceso de sintonización, inicialmente ajustamos los parámetros integral y derivativo a cero, y procedemos a aumentar gradualmente el parámetro proporcional[38].

Este incremento se realiza de manera lenta y constante hasta que se obtiene una respuesta oscilatoria con amplitud constante. En el instante en que logramos que la respuesta oscile con una amplitud estable ver en la Figura. 25, la ganancia en ese punto se denomina "ganancia crítica" ( $K_u$ )[38]. A partir del gráfico obtenido, podemos extraer el "periodo crítico" ( $P_u$ ) o bien, calcularlo a través de la "frecuencia crítica" ( $\omega_u$ ), utilizando la fórmula  $P_u = 2\pi/\omega_u$ [38].

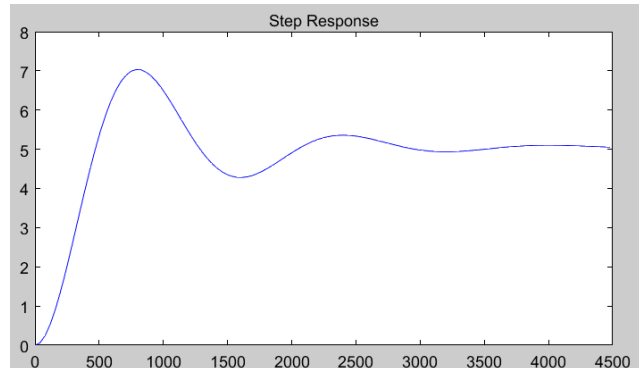


Figura. 25 Salida oscilatoria en Matlab

Con estos parámetros, se encontrarán los valores de las constantes del PID, de la Figura. 26

	$K_p$	$T_i$	$T_d$
$P$	$0.5K_u$	$\infty$	0
$PI$	$0.45K_u$	$\frac{P_u}{1.2}$	0
$PID$	$0.6K_u$	$0.5P_u$	$0.125P_u$

Figura. 26 Ziegler-Nichols lazo cerrado[38]

La teoría del control automático proporciona los fundamentos para diseñar y ajustar los sistemas de control en función de las necesidades específicas del proceso de templado. Depende de los ciclos de tiempo para lograr una óptima estabilización de la temperatura, cuando se tiene un menor tiempo de estabilización se puede decir que el diseño de control PID es factible para la planta, como se puede ver Figura. 27.

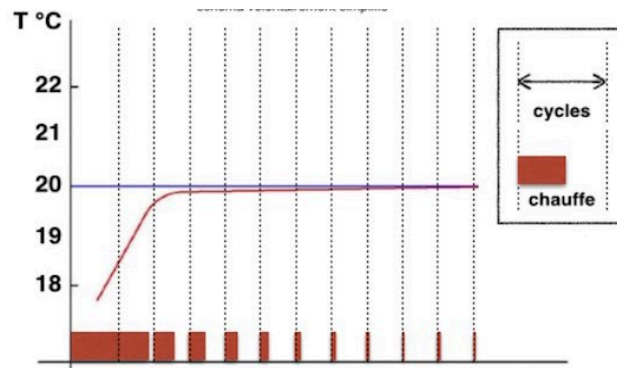


Figura. 27 Representación de la regulación de temperatura con el control PID (Temperatura vs Tiempo), con un SP de 20°C [40].

### Análisis de datos y aprendizaje automático:

La recopilación de datos en tiempo real a través del IoT ofrece la oportunidad de Los métodos de análisis de datos y aprendizaje automático [41] con el propósito de obtener datos significativos y de relevancia, se lleva a cabo un proceso de extracción de información de alta valía. El uso de algoritmos de análisis de datos, como el análisis de series temporales y la detección de anomalías como se puede ver en la Figura. 28, puede ayudar a identificar patrones, predecir posibles problemas y optimizar el proceso de fabricación.

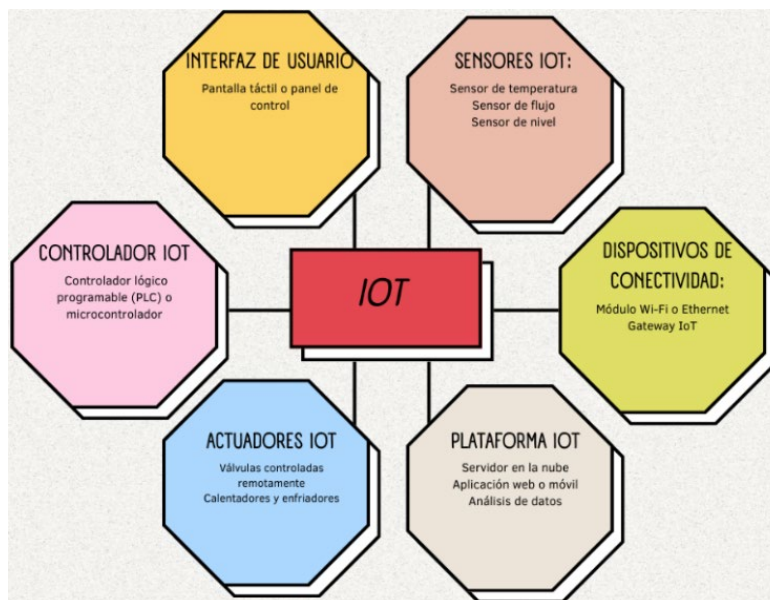


Figura. 28 Elaboración de análisis de datos y aprendizaje automático aplicado a IoT con el propósito de desarrollar una máquina templadora de chocolate. [41]

Una plataforma de IoT proporciona la infraestructura necesaria para conectar y gestionar los dispositivos IoT utilizados en la máquina templadora de chocolate. Esto implica la interacción con los sensores y actuadores mediante canales de comunicación específicos, como se puede apreciar en la Figura. 29, procesamiento de datos, almacenamiento y visualización de los mismos.

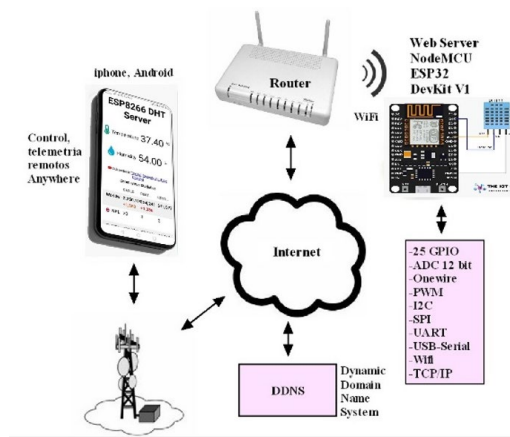


Figura. 29 Diagrama de bloques del control remoto Anywhere desde móvil, interfaz de humedad y temperatura[42].

La Figura. 30 es la arquitectura del sistema que se ha diseñado para este proyecto, acatando el modelo de arquitectura en capas para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) propuesto por Cardozo et al. [41] en el artículo An Architecture Proposal to Distributed Sensing in Internet of Things, donde se basan en cuatro componentes principales como se puede ver en la Figura. 30.

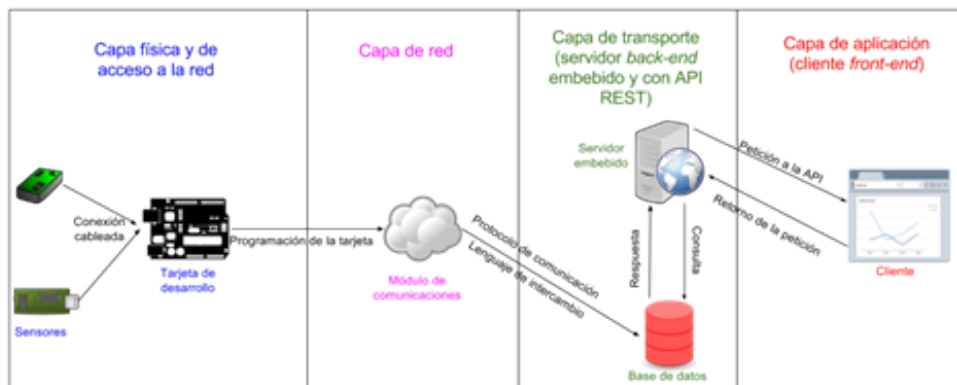


Figura. 30 Capas de la arquitectura fundamentales IoT[43][30].



La integración de un microcontrolador programado mediante el lenguaje Arduino IDE permite recopilar de manera automatizada y en tiempo real[44], a través de sensores de alta precisión, los datos de temperatura, durante el proceso de templado del chocolate en la máquina. Estos datos son transmitidos mediante protocolos de comunicación, como MQTT, hacia la plataforma Node-RED, instalada en un servidor Ubuntu alojado en AWS[45], ver en la Figura. 31.

Una vez recibidos los datos en Node-RED, se procede a procesarlos y almacenarlos de forma organizada en una base de datos alojada en phpMyAdmin[46]. Node-RED opera mediante flujos de trabajo que incluyen nodos específicos para manipular y guardar los datos con total eficiencia y seguridad.

Mediante la implementación de Node-RED, se diseña y construye un dashboard altamente personalizado con visualizaciones gráficas, tablas dinámicas y otros elementos interactivos que permiten una comprensión detallada y completa del proceso de templado del chocolate. Dicho dashboard posibilita el acceso remoto desde cualquier dispositivo con conexión a Internet, a través de una IP generada por AWS y asignada al servidor Ubuntu[45].

La plataforma resultante ofrece, por ende, una gestión exhaustiva y automatizada de la máquina templadora de chocolate, brindando a los usuarios la capacidad de acceder en tiempo real a los datos más relevantes, así como la opción de realizar ajustes y comandos remotos para optimizar la eficiencia y calidad del proceso de templado.

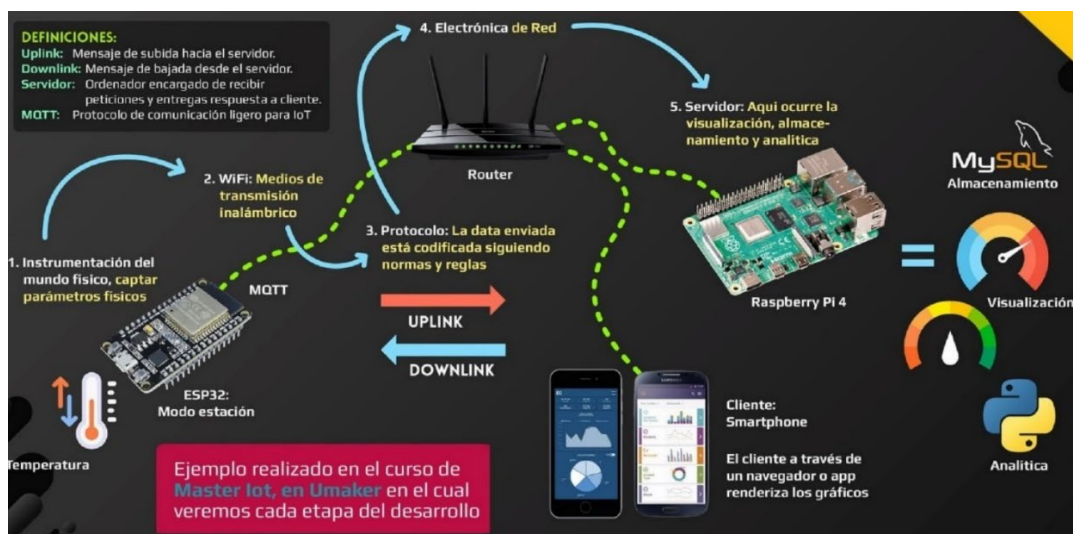


Figura. 31 AWS, GNU/Linux, Protocolos de comunicación y Base de datos (imagen de Umaker).

## Modelado y simulación:

El uso de técnicas de modelado y simulación computacional permite comprender y visualizar el comportamiento del proceso de templado antes de implementarlo en la máquina real. La ingeniería de sistemas basada en modelos y el desarrollo ágil de software como; Simulink, una herramienta de MATLAB [47], para crear y simular modelos de sistemas que incluyan componentes físicos, software integrado y algoritmos como se puede, ver la Figura. 32. Por otro lado, SolidWorks es una poderosa herramienta de diseño y simulación 3D ampliamente utilizada en ingeniería mecánica. Se puede emplear para crear un modelo 3D detallado de la máquina templadora, incluyendo sus componentes mecánicos, estructurales y térmicos.

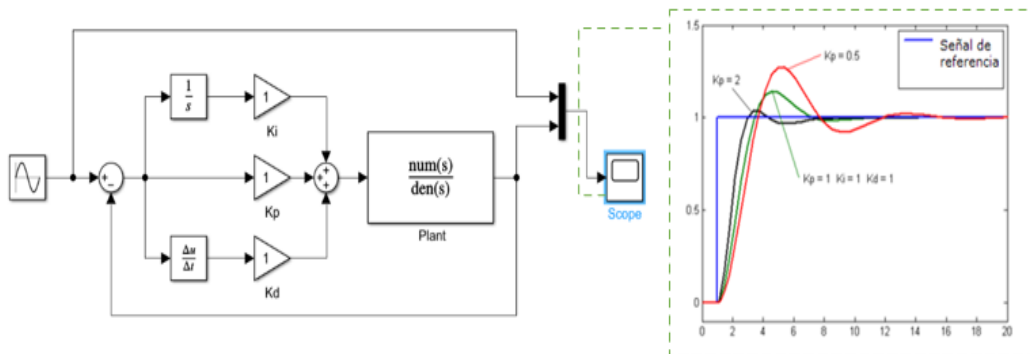


Figura. 32 Control PID, representado en bloques la entrada, ganancias ( $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ ), función de transferencia de la planta, y salida (scope)[48].

### 2.5.2. Instrumentos

Se pueden utilizar varios instrumentos para facilitar el proceso y aprovechar las capacidades del entorno IoT. A continuación, se presentan algunos instrumentos comunes utilizados en esta aplicación:

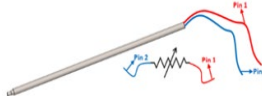
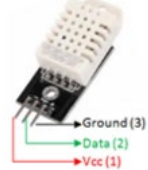
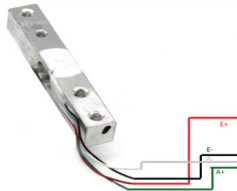

**Sensores;** son fundamentales para monitorear y controlar el proceso de templado. Los sensores con los que se trabajaran son de temperatura, humedad y fuerza, estos deben cumplir con ciertas características para garantizar un funcionamiento eficiente y preciso del proceso de templado. Algunas de estas características son:

- ✓ Precisión
- ✓ Sensibilidad

- ✓ Rango de medición
- ✓ Estabilidad
- ✓ Tiempo de respuesta
- ✓ Resistencia al entorno
- ✓ Tensión de alimentación
- ✓ Consumo de corriente

Los sensores deben estar en contacto directo con el líquido, de tal manera que se sumerjan y no alteren o contaminen el chocolate, existen diferentes tipos de sensores que cumplen con los requisitos requeridos como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7 Tipos de sensores [49]–[51]

SENSORES	TIPOS	NOMBRES	CONEXIÓN
<b>TEMPERATURA</b>	Digital	Termopar Tipo 'k'	
<b>HUMEDAD</b>	Digital	DHT22	
<b>FUERZA</b>	Célula de carga	CZL635	
<b>EFECTO HALL</b>	Digital	KY - 024	

**Actuadores;** Los actuadores son dispositivos utilizados para controlar y ajustar las variables del proceso. Algunos de los actuadores que se utilizarán son resistencias, disipadores de enfriamiento y motores eléctricos, por otro lado, el relay, aunque técnicamente no es un actuador, es un

dispositivo muy común que se utiliza en la automatización y control de sistemas, incluyendo máquinas templadoras de chocolate. A continuación, se presentan algunas características importantes que los actuadores deben cumplir en una máquina templadora de chocolate:

- ✓ Capacidad de respuesta
- ✓ Precisión
- ✓ Potencia
- ✓ Fiabilidad
- ✓ Compatibilidad con entorno de alimentación

En el contexto de una máquina templadora de chocolate, los relés pueden ser utilizados para controlar el encendido y apagado de los elementos de calentamiento, como las resistencias eléctricas tubulares como se puede ver en la Figura. 33.



Figura. 33 Ejemplos de resistencias eléctricas tubulares [52]

Si se conoce la cantidad de energía realizada por la máquina en un determinado intervalo de tiempo, se puede utilizar la ecuación anterior para calcular la potencia requerida para realizar ese trabajo con la ecuación ( 8 ).

$$P = \frac{W}{t} \quad ( 8 )$$

Donde:

P = potencia [W]

W = trabajo realizado [J]

t = tiempo [s]

En el caso del enfriamiento de una máquina, la celda Peltier se utiliza para extraer el calor del sistema y mantener una temperatura controlada, ver en la Figura. 34. Cuando se aplica una corriente eléctrica a la celda, se genera un gradiente de temperatura, lo que permite que el calor se transfiera desde el lado caliente al lado frío de la celda [53]. Esto proporciona un enfriamiento efectivo en la máquina y ayuda a mantenerla en condiciones óptimas de temperatura.

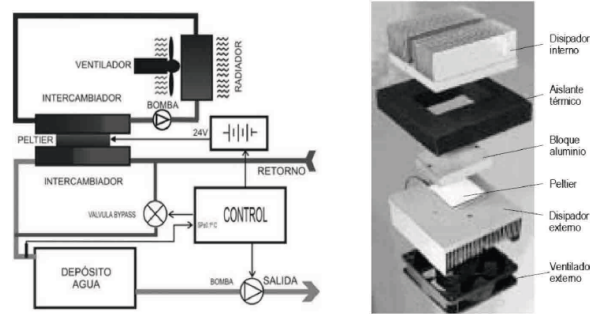


Figura. 34 Acoplamiento del sistema de refrigeración usando celdas Peltier[54]

Los relés pueden ser controlados mediante señales procedentes de microcontroladores, PLCs, y proveen una interfaz segura y confiable entre los sistemas de control de baja potencia y los componentes de alta potencia. Se identifican dos tipos de relé que se pueden considerar, como se puede ver en la Figura. 35.

➤ Eléctrico

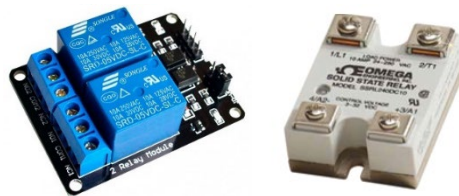


Figura. 35 Relay optoacoplador 2 canales y Relay eléctrico de estado sólido [49], [50]

Tanto los motores eléctricos como los motores a pasos pueden ser utilizados para impulsar el disco giratorio en una máquina templadora de chocolate. La elección del tipo de motor dependerá de los requisitos específicos del sistema y las características de funcionamiento deseadas, ver en la Figura. 36.



Figura. 36 Tipos de motores, motorreductor y motor a pasos Nema17 [57]

El cálculo del torque requerido para el motor depende de varios factores, como el peso del disco giratorio, el radio del disco y la aceleración deseada. El torque necesario para superar la resistencia al movimiento se puede calcular utilizando la siguiente fórmula de la ecuación ( 9 ).

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (9)$$

Donde:

P = potencia efectiva [watt]

T = torque es el valor del par motor [N.m]

$\omega$  = velocidad angular [rad/s]

La potencia efectiva, también conocida como potencia útil o potencia real, se refiere a la potencia real entregada por un dispositivo o sistema. En el caso de un motor eléctrico utilizado en una máquina templadora de chocolate, la potencia efectiva ver se puede calcular utilizando la siguiente fórmula de la ecuación ( 10 ).

$$P = v * Fd \quad (10)$$

Donde:

P = potencia efectiva [watt]

v = velocidad tangencial [m/s]

Fd = fuerza de arrastre [N]

**Microcontrolador;** Son dispositivos electrónicos programables utilizados para controlar y semi automatizar procesos industriales, ver en la Figura. 37. Se pueden emplear en una máquina

templadora de chocolate para coordinar el funcionamiento de los sensores, actuadores y otros componentes. Algunas características que deben cumplir:

- ✓ Precisión de control
- ✓ Sensibilidad y velocidad de respuesta
- ✓ Funcionalidad del control PID
- ✓ Interfaces de comunicación
- ✓ Programabilidad y configurabilidad

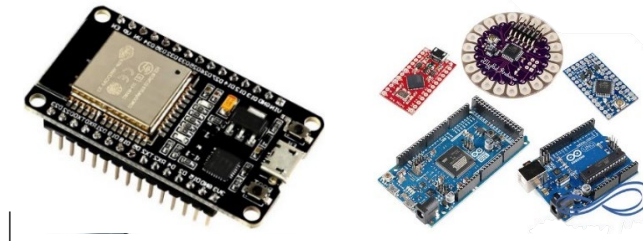


Figura. 37 Microcontroladores ES32 y Arduino [58], [59]

**Dispositivos de visualización;** Estos dispositivos permiten mostrar información relevante sobre el proceso de templado y proporcionar retroalimentación visual al operador HMI, ver en la Figura.

38. Aquí hay algunas características que deben cumplir:

- ✓ Claridad y legibilidad
- ✓ Interfaz intuitiva
- ✓ Actualización en tiempo real
- ✓ Robustez u durabilidad

La información visual del proceso de templado de chocolate, como la temperatura actual, el estado de los componentes, gráficos de tendencias, alarmas, entre otros. Estas pueden ser:

- Pantallas táctiles



Figura. 38 Pantalla touch HMI [60]

**Fuente de alimentación;** Se ha incorporado una UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida) con salidas de 12V y 5V DC, ver en la Figura. 39, para limitar y estabilizar el suministro de energía a los elementos clave del proyecto[61], como el motorreductor, la celda Peltier, los sensores, pantalla touch y el microcontrolador. Las características que deben cumplir la fuente de alimentación son:

- ✓ Estabilidad del suministro eléctrico
- ✓ Protección contra sobrecargas y cortocircuitos
- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Compatibilidad con dispositivos electrónicos

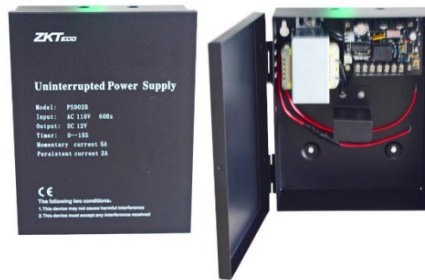


Figura. 39 UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)[61]

## 2.6. Conclusiones del capítulo

Este capítulo presenta un análisis de las causas que afectan la producción de chocolate en la máquina templadora, usando un diagrama de Ishikawa. Se propone una solución basada en la planificación y programación de la producción, apoyada por el uso de sensores IoT que recolectan y analizan datos en tiempo real. Se evalúan las diferentes alternativas de máquinas templadoras disponibles en el mercado, y se seleccionó la alternativa 4 por ser la que mejor se adapta a las necesidades de las PYMES. Se describen los instrumentos, técnicas y aspectos clave para lograr un proceso de templado eficiente, controlado y adaptable, que permita optimizar la producción de chocolate de alta calidad.



## CAPÍTULO 3

### **Análisis e Interpretación de Resultados**

El objetivo de este capítulo es presentar los aspectos claves que se han tenido en cuenta para fabricar una máquina templadora de chocolate. Estos aspectos son: el diseño de la máquina, que se fundamenta en examinar la situación presente y en los requisitos del sector; los cálculos y la selección de los componentes, que se realizan de acuerdo a las especificaciones técnicas y funcionales; los materiales de la estructura, que se eligen en función de las propiedades mecánicas y térmicas; y las simulaciones del proceso, que se emplean para verificar el comportamiento de la máquina y el resultado del templado. Todos estos factores son esenciales para garantizar la eficiencia y la fiabilidad de la máquina templadora de chocolate, así como para cumplir con los estándares de calidad y producción en el sector chocolatero.

#### **3.1.Descripción de la situación actual**

Un problema que se ha identificado en la línea de producción de chocolate es que la máquina templadora de chocolate puede estar funcionando por debajo de su potencial esto se debe a la capacidad de la bandeja seleccionada, los factores que inciden en el desempeño y la excelencia del producto final. Por lo que la máquina no alcanza la capacidad de producción deseada, produciendo una acumulación de chocolate en el interior, lo que dificulta el flujo y el control de la temperatura. Esto puede provocar que el chocolate se cristalice de forma irregular, lo que se traduce en un aspecto opaco, una sensación arenosa y una menor durabilidad. Para evitar este problema, se cambiará el modelo de la bandeja por una con más capacidad de almacenamiento de chocolate además se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de la máquina templadora de chocolate, revisando periódicamente el estado de las resistencias, los ventiladores y los sensores. Asimismo, la optimización del rendimiento y la calidad de la máquina requiere el ajuste adecuado de su velocidad, considerando el tipo y la cantidad de chocolate que está siendo procesado, para asegurar una distribución uniforme y una correcta cristalización.

Para que los componentes de la máquina templadora funcionen correctamente, es necesario conectarla a una fuente de alimentación eléctrica regulable, donde sus salidas de voltaje estén entre

los 5V a 24V DC y de corriente estén desde los 0,4 A hasta los 6 A, para cada componente es recomendable verificar los datos técnicos del fabricante. Si se utiliza una fuente de alimentación inadecuada, se puede dañar los componentes o afectar a la calidad del chocolate durante su funcionamiento. Por lo tanto, se recomienda verificar las características eléctricas de la máquina y de la fuente de alimentación antes de su uso.

Los materiales utilizados en la construcción de la máquina templadora de chocolate, como el acero inoxidable, los componentes electrónicos, los sensores, los actuadores, entre otros, pueden representar un costo significativo. La selección de materiales de alta calidad y durabilidad puede aumentar el costo inicial de fabricación.

Es relevante destacar que el costo de fabricación se encuentra sujeto a variaciones que dependen de factores como las dimensiones, complejidad, especificaciones y requerimientos específicos, así como las condiciones del mercado y la ubicación geográfica. Un análisis pormenorizado de los costos y una aproximación estratégica pueden conllevar a la reducción de los costos de fabricación y a mejorar la viabilidad económica del proyecto en cuestión, ver en la Figura. 40.

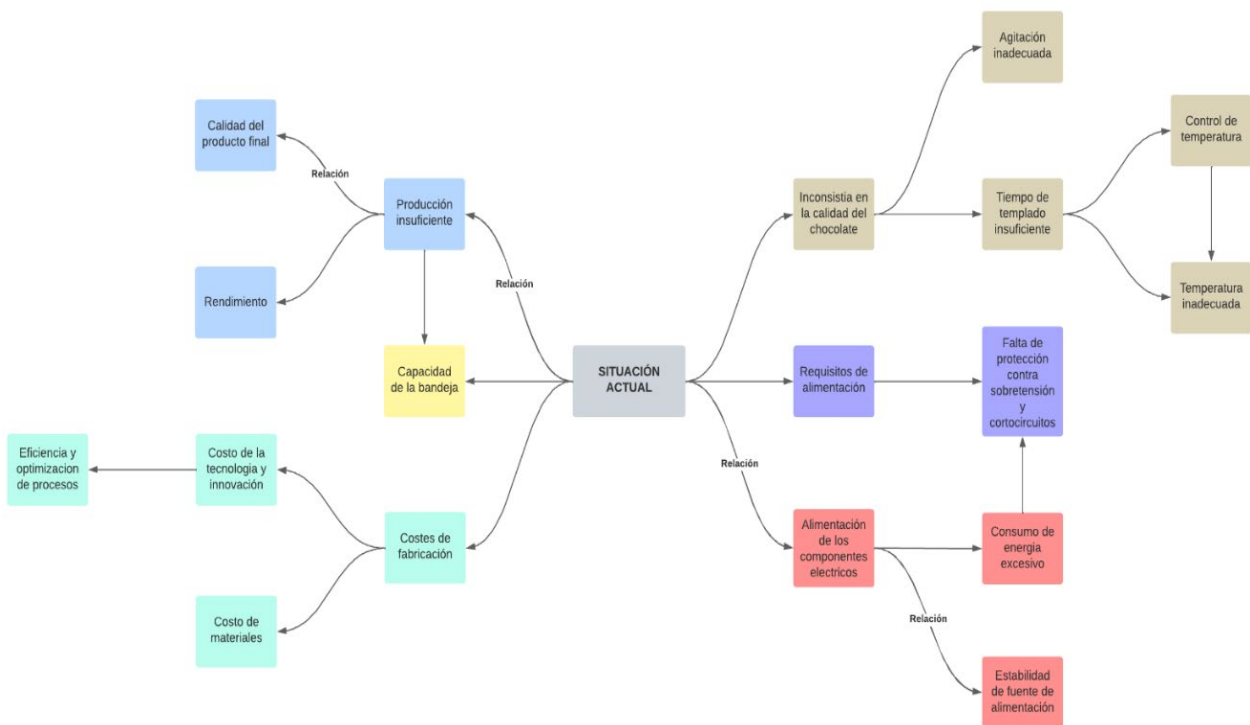


Figura. 40 Situación actual

### **3.2.Cálculos y Selección**

En el diseño de la máquina templadora de chocolate se debe tener en cuenta los siguientes cálculos: estructura, sistema giratorio, almacenamiento del producto, sistema del control de temperatura, sistema de calentamiento y sistema de enfriamiento.

#### **3.2.1. Material para la estructura**

En la industria del chocolate, es fundamental contar con materiales metálicos que cumplan las normativas de solubilidad que permita obtener un producto de calidad y consistencia. La máquina templadora consiste en una estructura metálica que alberga un sistema de calentamiento y enfriamiento controlado del chocolate, así como un mecanismo de agitación y dosificación, como se puede ver en la Figura. 41.

La norma ISO 14159 define los criterios necesarios para los materiales utilizados en la industria alimentaria que estén en contacto con alimentos. [62]. A continuación, se detallan algunos de los principales aspectos abordados por esta normativa:

- 1) Los materiales deben ser compatibles con los alimentos y no deben transferir sustancias no deseadas que puedan afectar la seguridad o la calidad de los alimentos.
- 2) Los materiales deben tener propiedades físicas y químicas adecuadas para el entorno alimentario, incluyendo resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, estabilidad térmica y resistencia a la degradación.
- 3) Los materiales no deben presentar riesgos para la salud humana cuando están en contacto con alimentos. Esto implica que no deben contener sustancias tóxicas o migrar sustancias en cantidades que superen los límites aceptables.
- 4) Los materiales deben poder limpiarse y mantenerse de manera efectiva para prevenir la contaminación cruzada y garantizar la higiene en la producción de alimentos.
- 5) Los materiales deben estar adecuadamente etiquetados con información relevante, como la composición del material, las condiciones de uso permitidas y cualquier restricción aplicable.

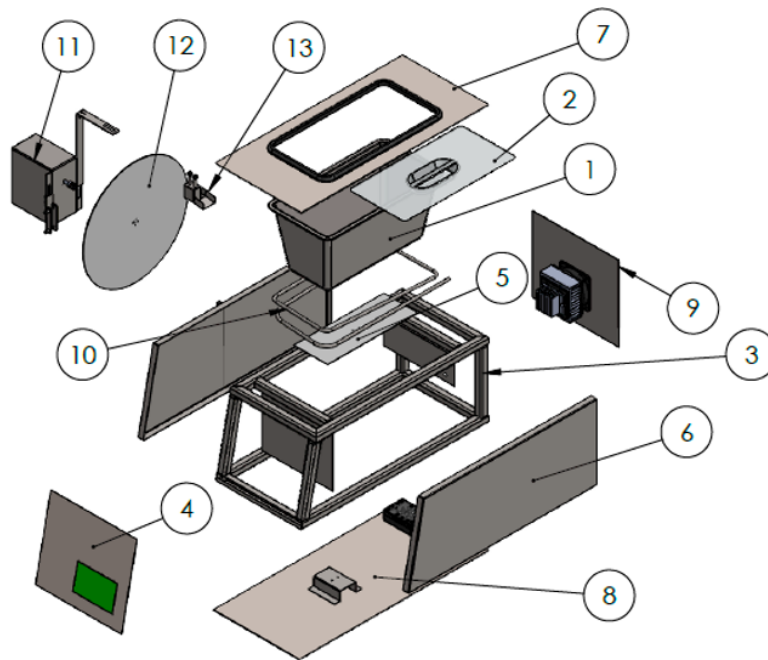


Figura. 41 Vista explosionada de la máquina templadora de chocolate

**Acero inoxidable austenítico AISI 304:** Se destaca por su alta resistencia a la corrosión y su notable resistencia mecánica [63]. Es ideal para aplicaciones en las que el chocolate entra en contacto directo con el metal, ya que evita la contaminación y la oxidación del producto, ver en la Tabla 8. Además, es fácil de limpiar y mantener.

Tabla 8 Propiedades Físicas y Mecánicas AISI 304[64]

<b>PROPIEDADES MECANICAS</b>	
<b>Módulo de elasticidad [GPa]</b>	193
<b>Dureza Max. Brinell (HB)</b>	160
<b>Porcentaje de elongación</b>	40
<b>Resistencia a la fluencia (Sy)</b>	206
<b>[MPa]</b>	
<b>Resistencia a la tensión (Su)</b>	510
<b>[MPa]</b>	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
<b>Densidad [g/cm<sup>3</sup>]</b>	8
<b>Punto de fusión (°C)</b>	1400 - 1450

### 3.2.2. Estructura de la bandeja

Para empezar con el diseño de la máquina, se adquirió la bandeja ya fabricada con las dimensiones ya establecidas por el fabricante, de esta manera se tratará de adecuarla al diseño de la estructura. La capacidad es de hasta los 5kg de líquido que según la fabricante específica con las dimensiones externas de 17x32x10 [cm], por otro lado, en la Tabla 9 se especifican las características las dimensiones internas.

Tabla 9 Especificaciones técnicas de la bandeja

Datos de la bandeja	Especificación
Altura	0,0995 [m]
Parte interna superior	0,150x0,297 [m]
Parte interna inferior	0,130x0,282 [m]
Espesor	0,6 [mm]
Peso	0,3[kg]
Capacidad	5 [kg]
Material	Acero inoxidable 304

En la ecuación ( 7 ), se calculará la capacidad volumétrica interna de la bandeja y se trabajará con la densidad promedio del chocolate de  $\rho_{ch}=1290[\text{kg}/\text{m}^3]$ .

$$v_b = \frac{5 [\text{kg}]}{1290 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} \quad ( 11 )$$

$$vb = 0,00387 [\text{m}^3]$$

Mediante las medidas acotadas de los planos de la bandeja de la Figura. 42, se encontrarán las áreas de rectangulares de las aristas superiores e inferiores.

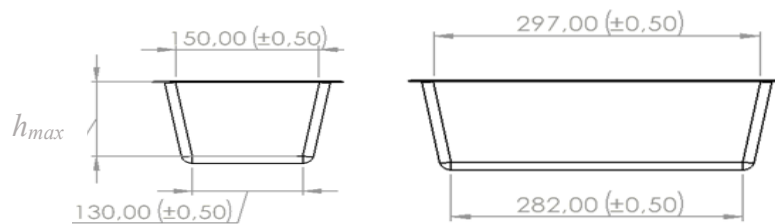


Figura. 42 Dimensiones de la bandeja

$$A_b = 0,04455[m^2] \approx 0,045[m^2]$$

$$A_b = 0,03666[m^2] \approx 0,037[m^2]$$
( 12 )

Posterior se reemplazará el valor de las ecuaciones ( 11 ) y ( 12 ) en la ecuación ( 5 ), para determinar la altura máxima con la que se podrá trabajar durante el proceso del templado del chocolate.

$$h_{max} = \frac{3 * 0,00387 [m^3]}{(0,045[m^2] + 0,037[m^2] + \sqrt{0,045[m^2] * 0,037[m^2]})}$$
(13)

$$h_{max} = 0,0945 [m]$$

La altura máxima con la que se trabajará en la bandeja será de aproximadamente de los 9,5 [cm], este dato será importante para facilitar la maniobrabilidad del chocolate al momento de su fundición, también se evitará que el producto salpique durante el proceso del templado.

### 3.2.3. Estructura del disco y sistema giratorio

El chocolate tiene diferentes valores de viscosidad en el tiempo en el que dura el proceso de fundición y templado, por lo que es un fluido no newtoniano. Se seleccionará un motor reductor de alto torque con una caja reductora y de esta sobresalga un eje que conectará con el disco de acero con un diámetro que permita que haga el mayor contacto posible con la mayoría de chocolate para que de esta manera cumpla la función de templado mecánico, considerando que durante el proceso no debe salpicar en el contorno de la estructura o componentes externo como la pantalla. Considerando estas situaciones se opta por trabajar con un radio  $r_d=0,14[m]$ , de tal manera que no choque con los laterales de la bandeja  $L=0,297 [m]$ , las especificaciones se detallan en la Tabla 10.

Tabla 10 Especificaciones técnicas del disco

<b>Datos del disco</b>	<b>Especificación</b>
Diámetro	0,28 [m]
Espesor	1,5 [mm]
Peso	240 [kg]
Material	Acero AISI 304

El motor con caja reductora trabaja con velocidades bajas como se puede ver en la Figura. 43, está entre los rangos de 40 – 80 [rpm], esto dependerá del voltaje que se suministre, en la Tabla 11 se detallan las características técnicas.



Figura. 43 Motorreductor

Tabla 11 Características técnicas del motorreductor

<b>Datos del disco</b>		<b>Especificación</b>
Diámetro del eje		5 [mm]
Dimensiones		0,10x0,06x0,08 [m]
Peso		0,49 [kg]
Velocidades		40 – 80 [RPM]
Voltaje	de	12 – 24 [V]
alimentación		
Torque		24 [kg-cm]

Con la ecuación ( 3 ), la velocidad tangencial del disco. Como punto de partida, se recomienda trabajar a 40 [RPM], lo que equivale aproximadamente a 4,189 [rad/s]. Proporcionando una rotación suficiente para facilitar la distribución y el enfriamiento del chocolate, sin generar problemas de agitación excesiva.

$$v = 4,189 \left[ \frac{rad}{s} \right] * 0,14[m] \quad (14)$$

$$v = 0,586 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Se determinará el número de Reynolds para el chocolate fundido, con la mínima temperatura típica de enfriamiento suele estar en  $T_{min} = 26[^\circ\text{C}]$  rango de la Figura. 12, donde su viscosidad aparente del chocolate es de  $\mu = 0,6 [\text{Pa}\cdot\text{s}]$  y con la ecuación ( 4 ), se calculará el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\left( 1290 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 0,586 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * 0,14[\text{m}] \right)}{0,6[\text{Pa}\cdot\text{s}]} \quad (15)$$

$$Re = 176,386$$

El flujo es laminar ya que el número de Reynolds calculado es menor a 2000, para de esta manera se seleccionar el coeficiente de arrastre de que se indica en la Figura. 44, es de aproximadamente de  $C_d=1,08$ .

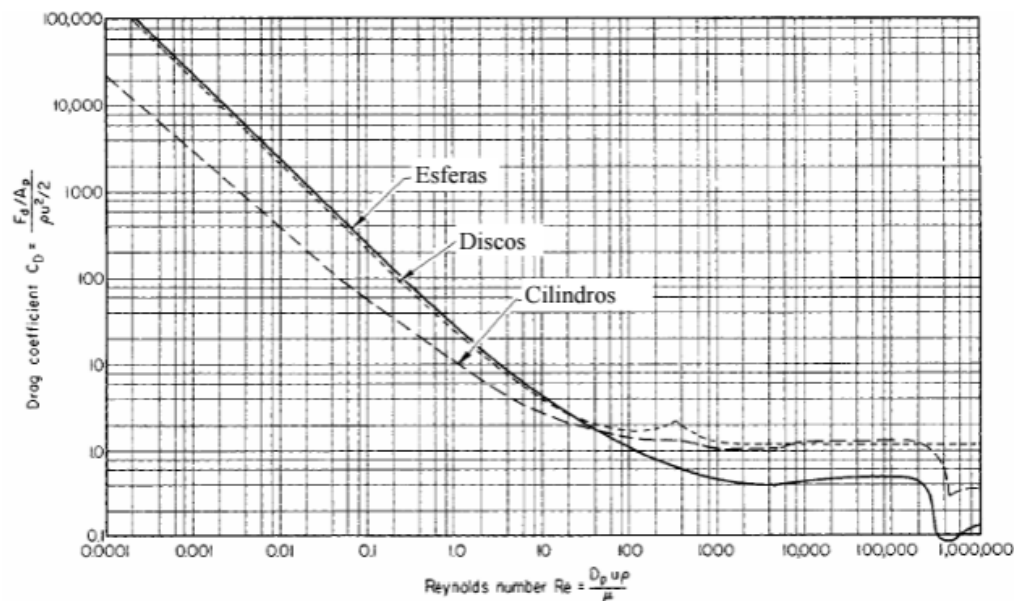


Figura. 44 Coeficientes de arrastramiento para esferas, discos y cilindros[65]

El área de disco calculado en la ecuación ( 16 ).

$$\begin{aligned} A &= 2(\pi * r d^2) \\ A &= 2(\pi * (0,14[\text{m}])^2) \\ A &= 0,12[\text{m}^2] \end{aligned} \quad (16)$$

Para calcular la fuerza de arrastre se utilizará la ecuación ( 2 ), esta fuerza es necesaria para empujar el flujo del chocolate.



$$Fd = 0.5 * 1290 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \left( 0,586 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2 * 1,08 * 0,12[m^2] \quad (17)$$

$$Fd = 28,7[N]$$

Con la fuerza de arrastre determinada se procederá a calcular la potencia efectiva y el torque necesario para mover el disco y el chocolate que a este se adhiera. Para estimar la potencia efectiva necesaria para mantener el movimiento del disco y el chocolate, con la ecuación ( 10 ).

$$P = 0,586 \left[ \frac{m}{s} \right] * 28,7[N] \quad (18)$$

$$P = 16,65[Watt]$$

El torque se puede expresar como el producto de la fuerza de arrastre y el brazo de palanca, que es la distancia existente entre el punto de aplicación de la fuerza y el eje de rotación. Esta relación matemática permite calcular y entender cómo se manifiesta el efecto rotacional o la tendencia a generar rotación, se basa en la ecuación ( 9 ).

$$T = \frac{16,65[Watt]}{4,189 \left[ \frac{rad}{s} \right]} = 3,97 [N.m] \quad (19)$$

Un aspecto importante a considerar es que los valores obtenidos son estimaciones y no reflejan la realidad exacta de la máquina y sus componentes. El torque teórico es el que se debería aplicar según los cálculos, pero en el proyecto se usó un motorreductor con un torque de 24 [kg-cm] que equivale a 2,35 [N.m], ya que en la práctica el motorreductor funcionaba de manera óptima.

#### 3.2.4. Estructura del sistema de calentamiento

En el sistema de calentamiento de la máquina es fundamental ya que es una de sus principales funciones el templado del chocolate, para determinar la potencia de este sistema de calentamiento se utilizarán las siguientes especificaciones de la Tabla 12.

Tabla 12 Especificaciones del sistema de calentamiento

Tipo de variable	Nombre	Especificaciones
m	Capacidad	5 [kg]
c	Calor específico de chocolate	0,56 [kcal/kg°C]
To	Temperatura inicial	26 [°C]
Tf	Temperatura final	40 [°C]
t	Tiempo estimado de calentamiento	8 [min]

Mediante la ecuación ( 1 ), se calculará la cantidad de calor que necesita el chocolate mientras está en el proceso de templado.

$$\Delta Q = 5[kg] * 0,56 \left[ \frac{kcal}{kg^{\circ}C} \right] * (40 - 26)[^{\circ}C] \quad (20)$$

$$\Delta Q = 39,2[kcal]$$

Con la variación de la cantidad de calor necesaria, se transformará a energía para obtener la potencia de la resistencia tubular de la ecuación ( 8 ) que se necesita para fundir y mantenerla al temple al chocolate en base al dependiendo del tiempo estimado. Para la transformación de la energía se empleará que en 1[kcal] = 4186 [J], de tal manera que en 39,2 [kcal] se obtiene 164091,2 [J] y el tiempo estimado en segundos es de 480 [s].

$$P = \frac{164091,2[J]}{480[s]} = 341,85 [W] \quad (21)$$

Para la transferencia de calor de la bandeja, se trabaja con la conductividad térmica del acero inoxidable AISI 304 de  $k=14,9[W/m K]$ . Este valor se considera constante y no depende de la temperatura. La bandeja tiene una forma rectangular con dimensiones que se especifican en la Figura. 45.

Se supone que la superficie superior e inferior de la bandeja están en contacto con el aire y que el flujo de calor. Mediante la ecuación ( 22 ), que se considera la resistencia térmica de chocolate, que mediante SolidWorks como se puede ver en la Figura. 45, se detalla el área de la bandeja y un espesor  $l = 6 \times 10^{-4} [m]$

$$Rt_{ch} = \frac{l}{k * A}$$

$$Rt_{ch} = \frac{6x10^{-4}[m]}{14,9 \left[ \frac{W}{m} K \right] * 0.312448489[m^2]} \quad (22)$$

$$Rt_{ch} = 1,3x10^{-4}[K/W]$$



Figura. 45 Propiedades físicas de la bandeja en SolidWorks

### 3.2.5. Soldadura de la maquina

El uso de soldadura TIG puede proporcionar una unión más limpia y de mayor calidad en comparación con otros métodos de soldadura[66], ver en la Figura. 46. Esto se debe a que el gas inerte proporciona una protección efectiva contra la formación de escoria y la contaminación del metal fundido, lo que resulta en una soldadura más fuerte y con menos defectos.

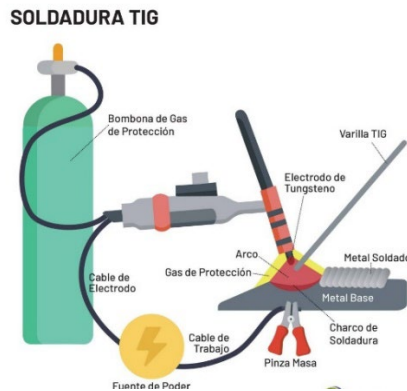


Figura. 46 Características de la soldadura TIG.[66]

En el contexto de la máquina templadora de chocolate, la elección de la soldadura TIG para unir los perfiles cuadrados de 5/8 pulgadas puede garantizar una unión sólida y confiable en la estructura[67]. Es importante asegurarse de ajustar correctamente los parámetros de soldadura, como la corriente, el voltaje y la velocidad de alimentación del material de aporte, para lograr una soldadura de alta calidad que cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad de la estructura, ver en la Tabla 13.

Tabla 13 Parámetros de la soldadura TIG [67].

PARAMETROS	CHAPA
Tensión	12 V
Corriente	75 A
Propagación	192 mm/min
Caudal	5 lt/min
Aporte térmico	28 Kj/cm
Temperatura de precalentamiento	100 °C
Diámetro del electrodo	1,6 mm

Se analizó el tipo de unión necesario para cada conexión en la estructura. Las opciones comunes incluyen la unión a tope (junta de esquina), la unión a solape (junta en T) o la unión a tope con bisel, ver en la Figura. 47. Cada tipo de unión presenta consideraciones de diseño y resistencia específicas[68].

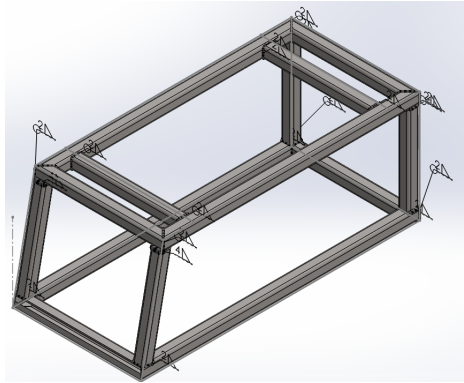


Figura. 47 Perfiles cuadrado de 5/8 pulg. con uniones de soldadura.

### 3.3. Simulaciones del proceso

#### 3.3.1. Simulación estructural

Mediante la simulación térmica, es posible analizar la transferencia de calor dentro de la máquina, identificar posibles puntos calientes o zonas de acumulación de calor, evaluar la eficiencia del sistema de enfriamiento y determinar las condiciones de funcionamiento óptimas para garantizar un templado adecuado del chocolate. Al aplicar la potencia de calentamiento calculada en la ecuación ( 21 ) , se pueden obtener resultados precisos y cuantitativos sobre la temperatura alcanzada en diferentes partes de la máquina, ver en la Figura. 48. Esto ayuda a comprender cómo se distribuye el calor y a identificar posibles puntos calientes o áreas de acumulación de calor.

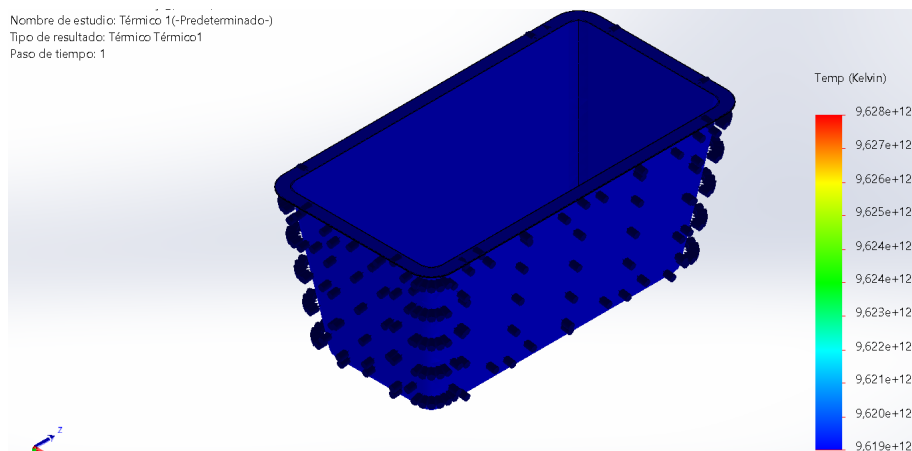


Figura. 48 Simulación térmica en Solidworks

La simulación de análisis estático en SolidWorks evalúa el comportamiento estructural de una plancha sostenida por una celda de carga bajo una carga puntual de 50N, ver en la Figura. 49. Se creará un modelo 3D con puntos fijos y se utiliza el método de elementos finitos para analizar tensiones y deformaciones. Los resultados obtenidos se pueden evidenciar de como existe una deformación en los extremos de la plancha y con un límite elástico de  $2,068 \times 10^8$  [N/m<sup>2</sup>].

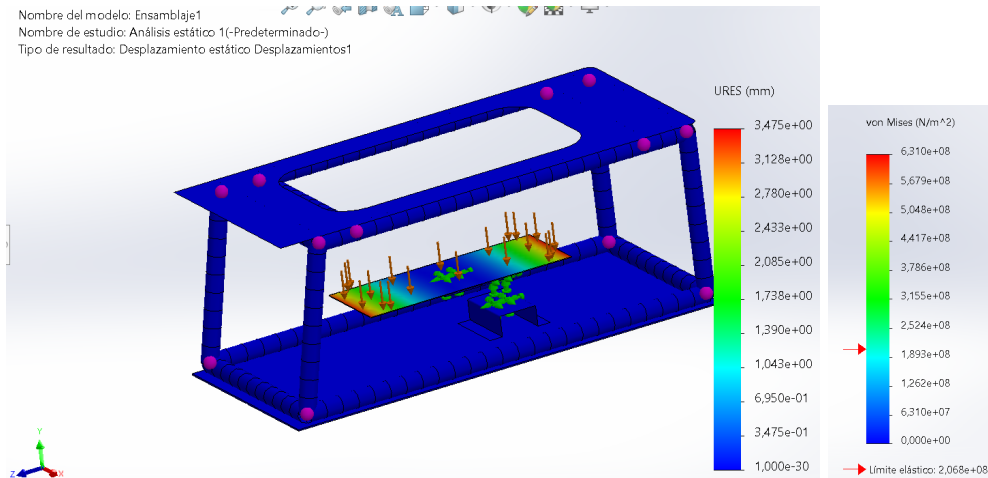


Figura. 49 Simulación del análisis estático de la celda de carga que sostiene la plancha, sometida a una fuerza de 50[N]

### 3.3.2. Simulación del control

En este proceso, se utilizan sensores conectados a una ESP32 DEVKITV1 para medir la temperatura de la planta. Se toman datos de tiempo en un intervalo de 2 segundos, desde 0 hasta 384 segundos, mientras la temperatura inicial varía desde 20°C hasta 71°C. Estos datos son enviados y almacenados en una base de datos gestionada por phpMyAdmin, ver en la Figura. 50. Luego, los datos se exportan a Excel para posteriormente ser importados a Matlab.

Mediante análisis y modelado en Matlab, se busca obtener la función de transferencia de la planta (resistencia tubular) que describe la relación entre la temperatura y el tiempo, permitiendo un estudio detallado y simulaciones para diferentes condiciones de operación.

Mostrando filas 0 - 24 (total de 6355, La consulta tardó 0.0004 segundos.)

SELECT \* FROM `MAQUINA\_TEMPLADORA`

Perfilando [ Editar en línea ] [ Editar ] [ Explicar SQL ] [ Crear código PHP ] [ Actualizar ]

Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Sort by key: Ninguna

	id	TIEMPO	TEMPERATURA	HUMEDAD	TERMOCUPLA	PESO
<input type="checkbox"/>	1001	2023-07-20 18:14:47	21	48	19.75	1.71
<input type="checkbox"/>	1002	2023-07-20 18:14:49	21	48	19.5	1.71
<input type="checkbox"/>	1003	2023-07-20 18:14:52	21	48	20.25	1.71
<input type="checkbox"/>	1004	2023-07-20 18:14:54	21	48	20.25	1.71
<input type="checkbox"/>	1005	2023-07-20 18:14:56	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1006	2023-07-20 18:14:58	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1007	2023-07-20 18:15:00	21	48	20	1.71
<input type="checkbox"/>	1008	2023-07-20 18:15:03	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1009	2023-07-20 18:15:05	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1010	2023-07-20 18:15:07	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1011	2023-07-20 18:15:09	21	48	20.5	1.7
<input type="checkbox"/>	1012	2023-07-20 18:15:11	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1013	2023-07-20 18:15:13	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1014	2023-07-20 18:15:16	21	48	19.75	1.7
<input type="checkbox"/>	1015	2023-07-20 18:15:18	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1016	2023-07-20 18:15:20	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1017	2023-07-20 18:15:22	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1018	2023-07-20 18:15:24	21	48	20.25	1.7
<input type="checkbox"/>	1019	2023-07-20 18:15:27	21	48	20	1.69
<input type="checkbox"/>	1020	2023-07-20 18:15:29	21	48	19.5	1.69
<input type="checkbox"/>	1021	2023-07-20 18:15:31	21	48	19.5	1.7
<input type="checkbox"/>	1022	2023-07-20 18:15:33	21	48	20	1.69
<input type="checkbox"/>	1023	2023-07-20 18:15:35	21	48	20	1.7
<input type="checkbox"/>	1024	2023-07-20 18:15:38	21	48	20.75	1.69
<input type="checkbox"/>	1025	2023-07-20 18:15:40	21	48	20	1.69

Seleccionar todo | Para los elementos que están marcados: Editar Copiar Borrar Exportar

Figura. 50 Base de datos de los sensores DHT22, RTD Tipo K y celda de carga (Peso), en phpMyAdmin.

A través de la herramienta IDENT, se realizó la extracción de la función de transferencia de la planta. Dicha función representa la relación entre la entrada y la salida del sistema, lo cual posibilita un análisis del comportamiento dinámico y la estabilidad del mismo. Este proceso de obtención de la función de transferencia de la ecuación ( 23 ), permitirá un mejor entendimiento, ver en la Figura. 51. En este caso, se utilizaron 1 polo y 0 ceros para obtener la función de transferencia, que resultó en una salida del modelo de 89.6, ver la Figura. 52. Esto significa que el modelo matemático obtenido describe cómo el sistema se comporta y responde a distintos estímulos, lo que brinda una

visión más detallada de su dinámica y permite realizar análisis más precisos para su control y optimización.

```

From input "u1" to output "y1":
  0.02322
-----
  s + 0.003171
Name: tf18
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 1   Number of zeros: 0
  Number of free coefficients: 2
  
```

Figura. 51 Función de transferencia del sistema cuando se aplica 1 polo y 0 ceros

$$tf = \frac{0,02322}{s + 0,003171} \quad (23)$$

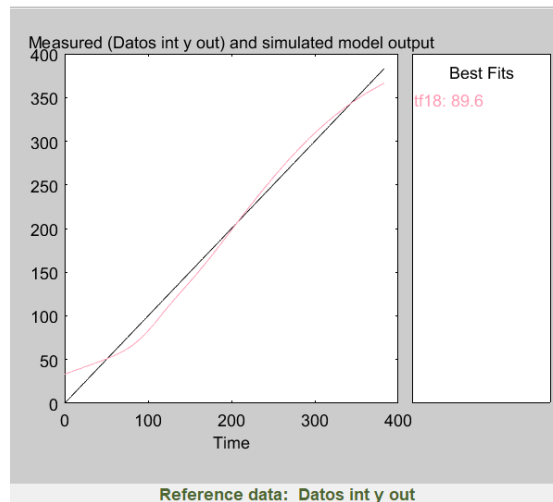


Figura. 52 Salida del modelo

El polo de la función de transferencia se encuentra en la parte negativa del plano complejo, esto generalmente indica que el sistema es estable, ver en la Figura. 53. La ubicación del polo en la parte negativa implica que su parte real es menor que cero, lo que asegura que las oscilaciones en



la respuesta transitoria serán amortiguadas y el sistema eventualmente alcanzará su estado de equilibrio de manera estable.

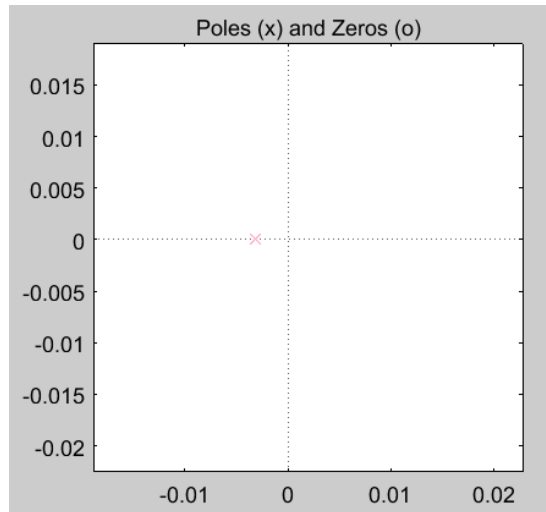


Figura. 53 Grafica del plano de los polos y ceros del sistema.

La respuesta transitoria del sistema se refiere al comportamiento del sistema en el tiempo después de que se le ha aplicado una perturbación o cambio en la entrada, ver en la Figura. 54. Esta respuesta transitoria muestra cómo el sistema alcanza un estado de equilibrio después de la perturbación.

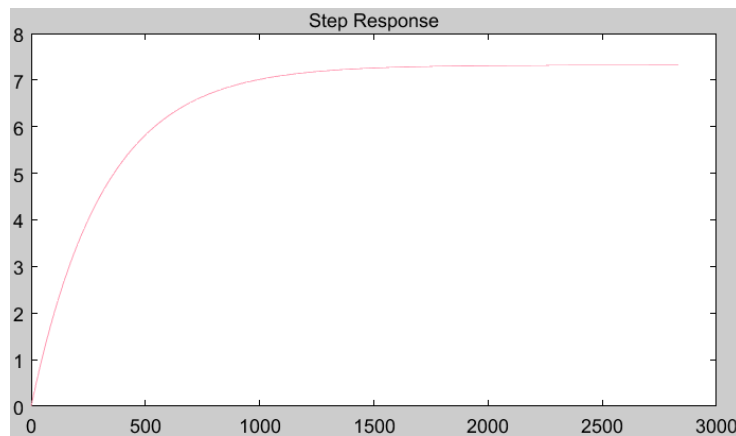


Figura. 54 Respuesta transitoria

El PID Tuner es una herramienta que permite ajustar los parámetros del controlador PID de forma rápida y eficiente. Para sintonizar el PID se utilizó el PID Tuner siguiendo los siguientes pasos:

primero, se seleccionó el tipo de respuesta deseada (rápida, media o lenta); segundo, se ejecutó la simulación del sistema con el PID Tuner; tercero, se observaron los resultados en la Figura. 55 y se modificaron los parámetros si era necesario.

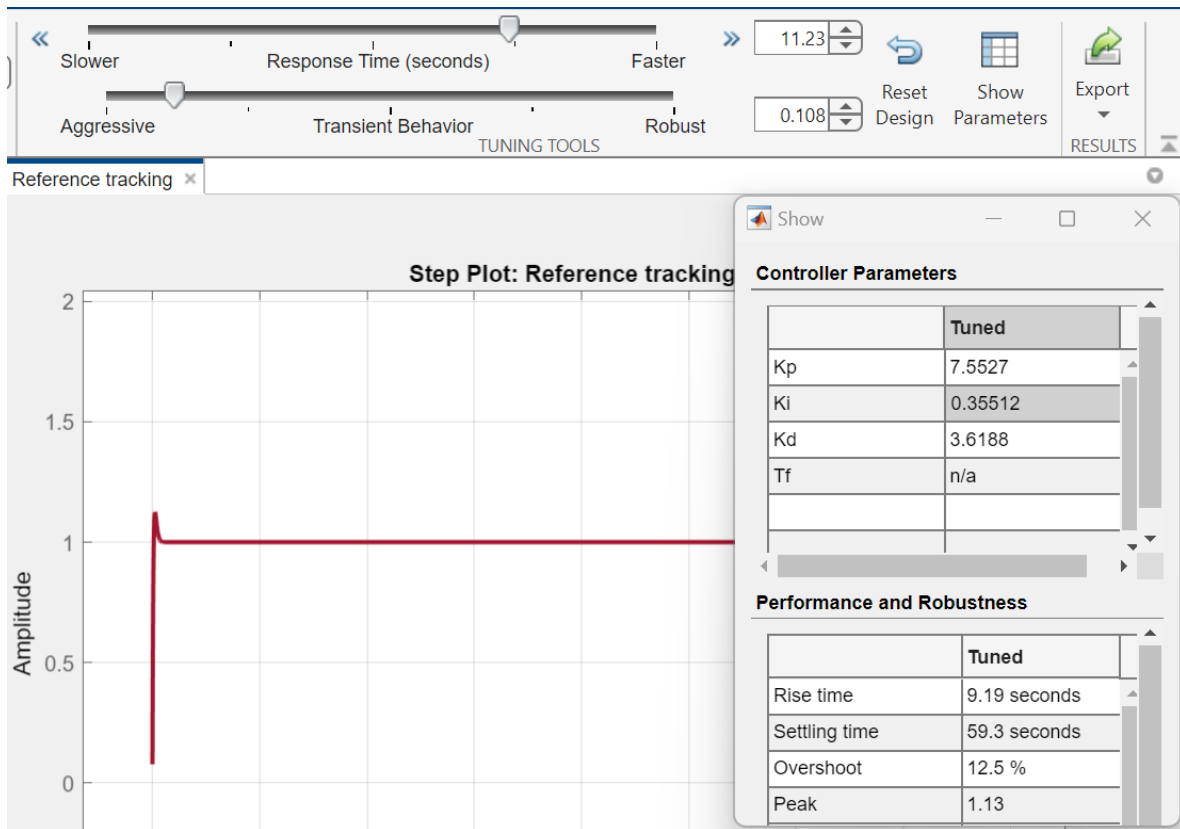


Figura. 55 Sintonización de la señal PID y sus respectivas ganancias  $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$

El proceso de sintonización del PID consistió en ajustar las ganancias para obtener un buen desempeño de la planta. Se utilizaron criterios de calidad como el Settling time, el Rise time y el Overshoot para evaluar la respuesta del sistema. Los parámetros se variaron hasta lograr que estos criterios estuvieran en rangos mínimos, lo que indica una mayor estabilidad de la planta.

En el código de MATLAB de la Figura. 56, se realiza el análisis de control PID para un sistema de temperatura. Primero, muestra la respuesta del sistema en lazo abierto y en lazo cerrado con la planta original. Luego, define los parámetros del controlador PID y muestra la respuesta del sistema en lazo abierto con el controlador PID aplicado en lazo cerrado. Esto permite evaluar el rendimiento del sistema con y sin controlador PID y comparar los resultados obtenidos, ver en la Figura. 57.

```

plot(Tiempo, Temperatura)
title('GRAFICO TEMPERATURA vs TIEMPO')
ylabel('Temperatura [°C]')
xlabel('Tiempo [s]')
%grid on
%LAZO ABIERTO
G1=tf18*0.137
step(G1)
%LAZO CERRADO
G2=feedback(tf18,1)
step(G1,G2)
kp18=7.5527;
ki18=0.355;
kd18=3.6188;
PID=tf([kd18 kp18 ki18],[1 0])
CPDID=feedback(PID*tf18,1)
step(CPDID,G1)
title('control PID')

```

Figura. 56 Código de Matlab con la función original, lazo abierto, lazo cerrado y las ganancias para el control PID

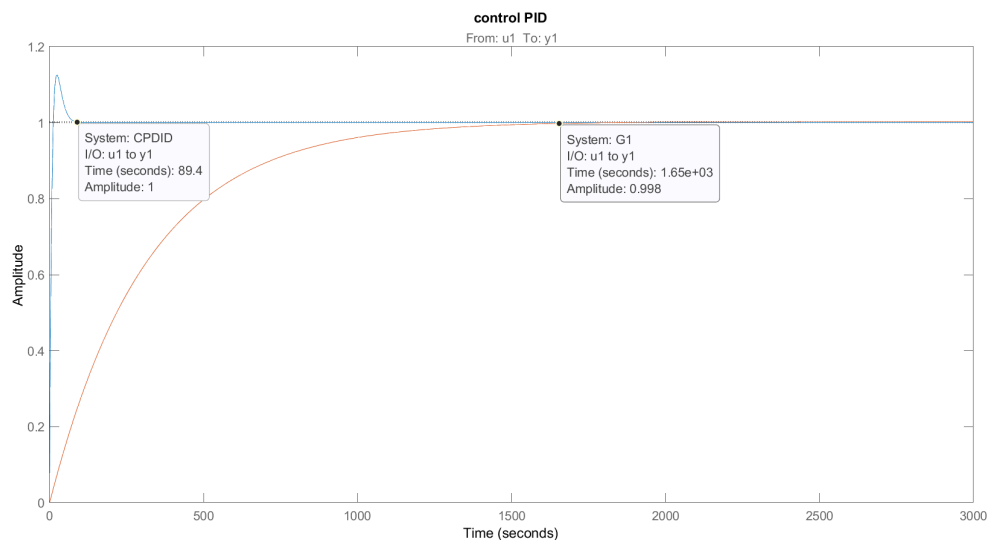


Figura. 57 Grafica comparativa de la planta original vs planta con el control PID.

La leyenda muestra claramente qué curva corresponde a cada controlador (P, PI y PID). La reducción de las ganancias con el factor de 0.95 puede ayudar a mejorar la estabilización del sistema ver en la Figura. 59, evitando oscilaciones excesivas o comportamientos inestables, ver en la Figura. 57. Al analizar las respuestas, se puede determinar cuál controlador proporciona un mejor rendimiento en términos de tiempo de establecimiento.

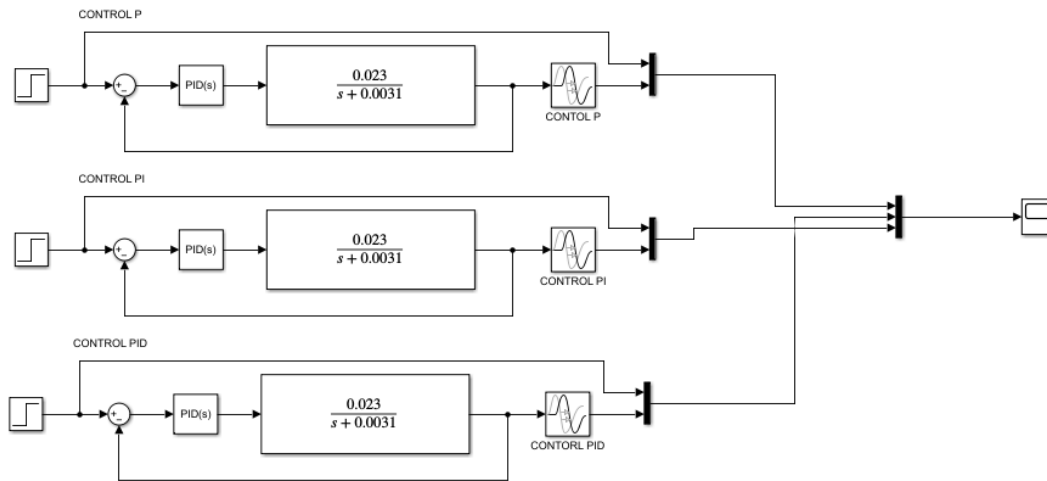


Figura. 58 Construcción de bloques en lazo abierto en simulink para la comparación de los controles P, PI, PID.

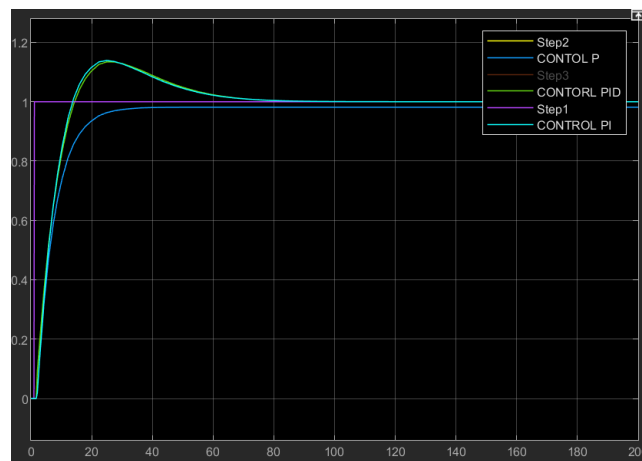


Figura. 59 Graficas comparativas de los controles P, PI y PID, en lazo abierto.

### 3.4. Plano eléctrico de la máquina

En este plano podemos visualizar un esquema electrónico de todos los componentes usados para la construcción, realizado con el software Proteus, ver en la Figura. 60.

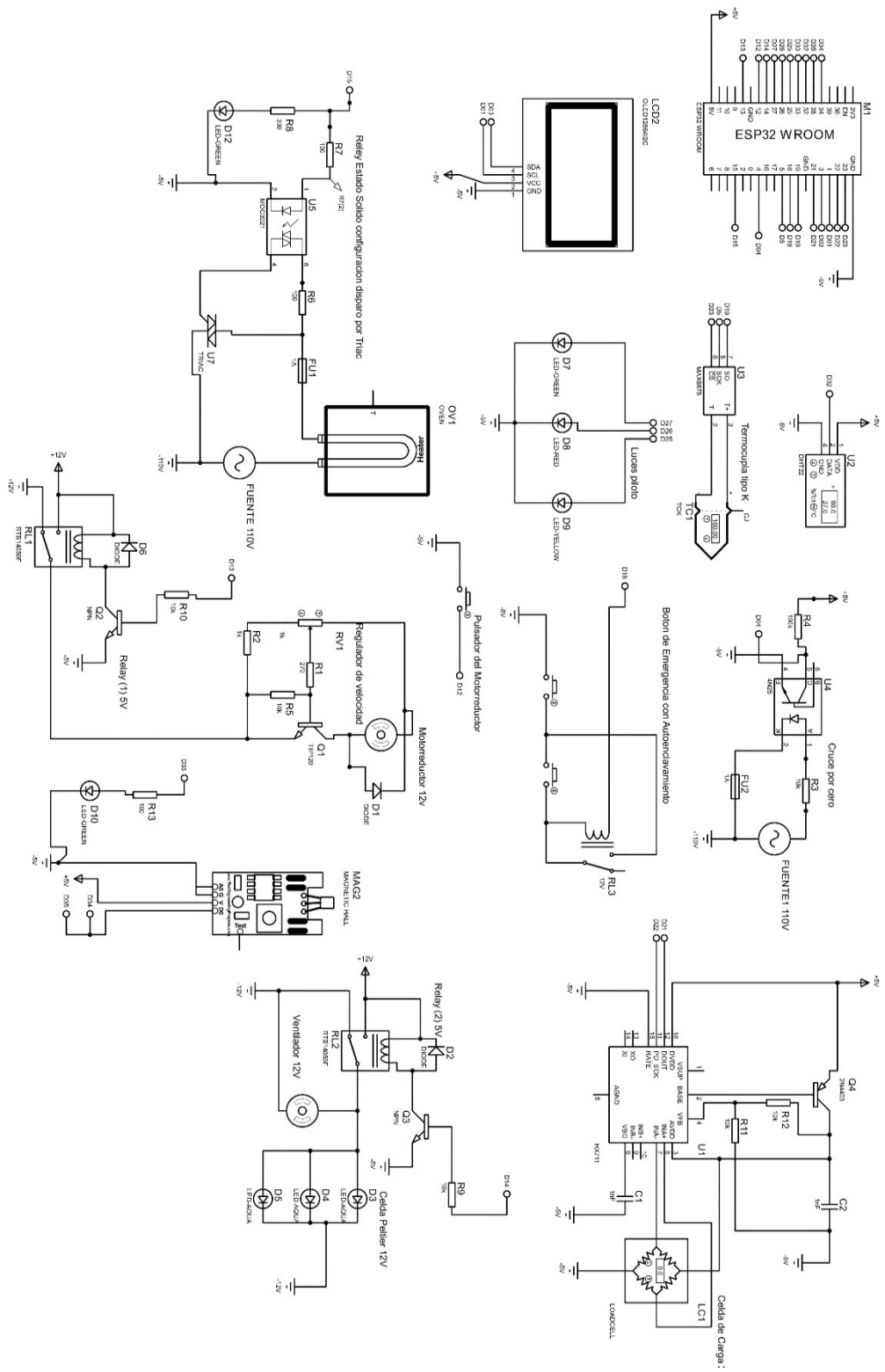


Figura. 60 Esquema electrónico de la máquina diseñado en Proteus

### 3.5. Diagrama de Flujo

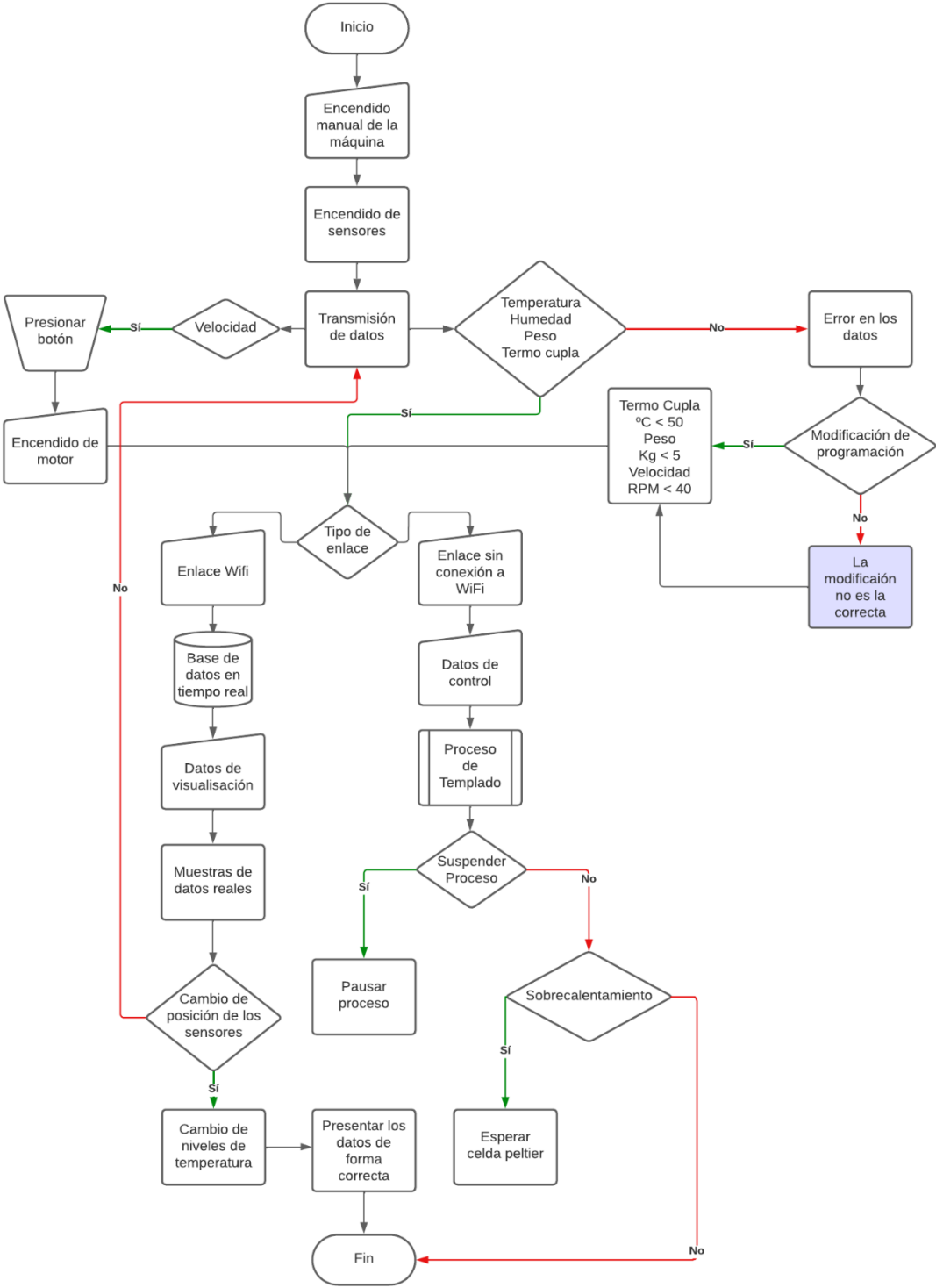


Figura. 61 Diagrama de flujo de proceso funcional de la máquina

### **3.6. Conclusiones del capítulo**

El objetivo de este capítulo es diseñar y simular una máquina templadora de chocolate que resuelva los problemas identificados en la situación actual, como la baja producción, el alto costo, la inestabilidad eléctrica y la mala calidad del chocolate. Para ello, se estudiaron los principios de funcionamiento de la máquina, como el proceso de templado y los factores que influyen en el chocolate.

Se realizaron cálculos y selección de materiales, teniendo en cuenta la conductividad térmica del acero inoxidable, la resistencia eléctrica y las características térmicas del material. Estos cálculos permitieron definir el espesor de la lámina de acero, así como los sensores, actuadores y elementos de calentamiento adecuados.

Se utilizó SolidWorks para simular el sistema de calentamiento y analizar la distribución de calor y la temperatura en la máquina.

Se usó MATLAB para simular el control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) que regula la variable controlada en el valor deseado. Estas simulaciones aportaron información relevante para optimizar el diseño y asegurar un proceso de templado eficaz y controlado.

## **CAPÍTULO 4**

### **Análisis Económico**

En el presente capítulo se realizará un análisis económico de la máquina templadora de chocolate semi automatizada. Se abordarán diversos aspectos relacionados con los costos de implementación del proyecto, la justificación de dichos costos y se evaluará la viabilidad económica del mismo. Además, se realizará una comprobación de la hipótesis planteada y se evaluará el impacto ambiental del proyecto. Por último, se presentará un manual de operación y mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina templadora.

Durante el análisis, se procederá a calcular indicadores financieros clave, tales como el periodo de recuperación de la inversión, la tasa interna de retorno y el valor actual neto. Estos cálculos permitirán evaluar la rentabilidad del proyecto y determinar si es viable desde un enfoque económico. De esta manera, se tomarán decisiones informadas sobre la viabilidad del proyecto y se podrán considerar medidas estratégicas para asegurar el éxito financiero del mismo.

#### **4.1. Comprobación de la hipótesis**

Ha sido exitosa, ya que, mediante pruebas rigurosas y comparaciones entre el método manual y el uso de la máquina, se ha demostrado que la máquina efectivamente mejora la consistencia y calidad del chocolate templado. Los resultados obtenidos han mostrado una textura más uniforme, un brillo atractivo y una mayor resistencia al quiebre en el chocolate templado con la máquina. Esto confirma que la hipótesis planteada se cumple, respaldando la eficacia y funcionalidad de la máquina en la resolución del problema, por ende, proporciona una sólida base para la implementación y adopción de la máquina templadora automatizada en la industria del chocolate.

#### **4.2. Manual de Operación y mantenimiento**

Manual de Operación de la Máquina Templadora de Chocolate semi automatizada.

1. Conecte la máquina al tomacorriente, la cual está localizada en la parte trasera de la máquina.



2. Presione el botón de ON/OFF para encender la máquina.
3. Esperar a que en la pantalla touch nos deje seleccionar la opción que deseemos y quitar la tapa.
4. Luego de seleccionar la opción y haber colocado el chocolate en la bandeja, encender el disco giratorio y empezará el proceso de templado.
5. Si desea comprobar el tiempo que lleva el proceso, lo puede monitorear desde su celular.
6. Luego de terminar el proceso se emitirá un aviso en el celular, para extraer el chocolate.
7. Una vez que el proceso termina de extraer, procedemos a limpiar o cambiar la bandeja, el menú se vuelve a activar. Si desea se puede volver a realizar un nuevo templado.
8. Finalmente, para apagar la máquina debe presionar el botón ON/OFF, posteriormente procedemos a desconectar del enchufe.
9. Para obtener un buen templado dejar el tiempo establecido por el fabricante.
10. Tener siempre con buena higiene la máquina ya que se trata de alimentos para el ser humano.
11. Al detectar alguna anomalía en la máquina, comuníquese con el fabricante.
12. El prototipo requiere un mantenimiento preventivo trimestral.

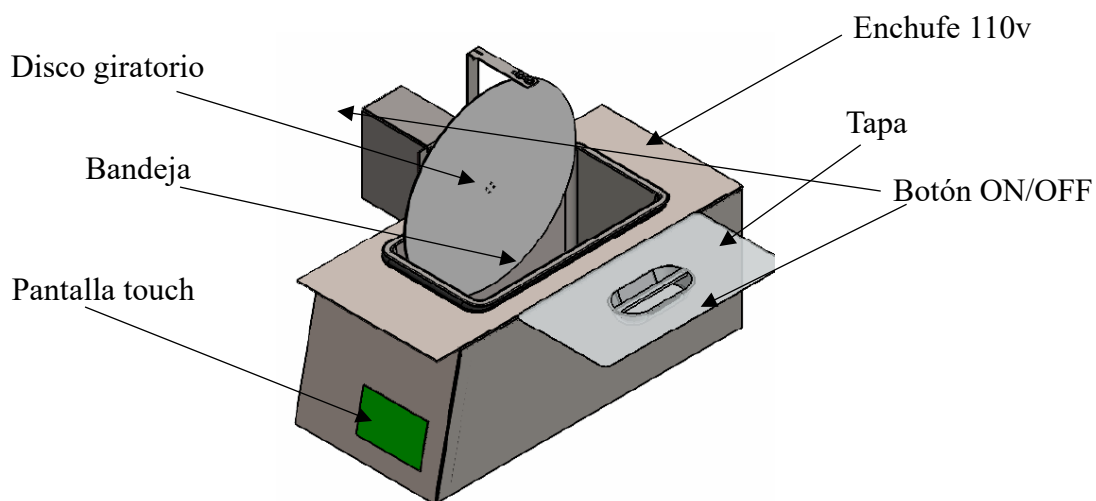


Figura. 62 Diseño de máquina templadora y sus partes para el mantenimiento.

Es importante llevar a cabo estas actividades de mantenimiento de forma regular para asegurar el buen funcionamiento de la máquina templadora de chocolate y prevenir posibles problemas o averías, ver en la Tabla 14.

Tabla 14 Mantenimiento semanal

<b>Actividad de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Descripción</b>
Limpieza exterior	Semanal	Limpie la superficie exterior de la máquina con un paño suave y limpio para eliminar el polvo y los residuos.
Inspección de cables	Semanal	Verifique visualmente los cables de alimentación y conexión para asegurarse de que estén en buen estado.
Limpieza de componentes y partes	Semanal	Limpie cuidadosamente la pantalla touch, también el disco giratorio, el depósito de chocolate y las partes móviles.
Verificación de temperatura	Semanal	Utilice un termómetro de precisión para medir la temperatura en diferentes puntos de la máquina.
Lubricación de partes móviles	Semanal	Aplique lubricante adecuado a las partes móviles de la máquina, como engranajes o ejes.

Es importante seguir este programa de mantenimiento mensual ver en la Tabla 15, para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina templadora de chocolate y maximizar su vida útil. La limpieza regular y la atención a los componentes clave contribuirán a mantener altos estándares de calidad en la producción de chocolate y minimizarán el riesgo de averías o interrupciones en la operación.

Tabla 15 Mantenimiento mensual

Mes	Tarea de Mantenimiento	Descripción de la Tarea	Responsable
1	Limpieza general	Limpieza exhaustiva de todas las superficies y componentes de la máquina.	Operador
1	Inspección de cables y conexiones	Verificación de cables y conexiones eléctricas.	Técnico
2	Revisión de sensores	Calibración de los sensores de temperatura y humedad.	Técnico
3	Lubricación de partes móviles	Aplicación de lubricante en las partes móviles de la máquina.	Operador
4	Inspección de resistencias	Verificación de las resistencias de calentamiento.	Técnico
5	Verificación del entorno IoT	Comprobación de los datos y compatibilidad con la nube.	Operador
6	Revisión de sistemas de seguridad	Comprobación de paradas de emergencia y sistemas de apagado automático.	Técnico
7	Inspección de componentes eléctricos	Verificación de componentes eléctricos para detectar posibles desgastes.	Técnico
10	Evaluación general del equipo	Realizar una evaluación general de la máquina para identificar posibles mejoras o ajustes que puedan incrementar su eficiencia y rendimiento.	Operador/Técnico

En la Tabla 16 de mantenimiento anual proporciona una guía para llevar a cabo las tareas de mantenimiento necesarias para mantener en óptimas condiciones de funcionamiento la máquina templadora de chocolate. Se recomienda seguir el plan de mantenimiento establecido y registrar todas las actividades realizadas, así como cualquier observación o hallazgo relevante.

Tabla 16 Mantenimiento anual

<b>Act. Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Responsable</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Limpieza general de la máquina</b>	Mensual	Operario	Limpiar cuidadosamente todas las superficies y componentes.
<b>Verificación de conexiones eléctricas</b>	Semestral	Técnico de mantenimiento	Revisar y apretar todas las conexiones eléctricas.
<b>Inspección y limpieza de sensores</b>	Anual	Técnico de mantenimiento	Verificar el estado y la limpieza de los sensores utilizados.
<b>Lubricación de componentes móviles</b>	Trimestral	Operario	Aplicar lubricante al motor reductor para prolongar su vida útil.
<b>Verificación de calibración de temperatura</b>	Anual	Técnico de mantenimiento	Comprobar la precisión de los sensores de temperatura.
<b>Evaluación de desgaste de componentes</b>	Anual	Técnico de mantenimiento	Inspeccionar los sensores, resistencia eléctrica y reemplazar si lo requieren.
<b>Capacitación y entrenamiento</b>	Según necesidad	Técnico de mantenimiento	Brindar capacitación periódica al personal encargado.

### 4.3. Análisis de costos de la implementación del proyecto

Los costos directos en el proyecto de desarrollo de la máquina templadora de chocolate semi automatizada, en las siguientes Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19, donde se detallan los costos.

Tabla 17 Costos de estructura

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio [USD]</b>
Tubo cuadrado 5/8 de acero inoxidable 304 (7m)	1	16,05
Plancha de AISI 304 con espesor de 0.6 mm (1x1m)	1	10
Plancha de AISI 304 con espesor de 1.5 mm (1x1m)	1	10
Bandeja 32x17x10	1	14,5
Soportes de máquina	4	4
Tornillos autoperforantes	100	1,2
Acople para motor	1	2,5
Tornillos M5, tuercas y arandelas	1	2,4
<b>Total [USD]</b>		<b>60,65</b>

Tabla 18 Costos electrónicos

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio [USD]</b>
Pantalla LCD touch	1	30
ESP32 y Shield expansor	1	15,5
Tubo termo retráctil	1	7
Kit de celda célula peltier I12706 para enfriamiento	1	20
Sensor de temperatura y humedad DHT22, RTD y HALL	1	13
Relé de estado sólido más disipador de calor	1	14
Sensor de peso	1	7
Controlador de velocidad	1	15
Luz piloto V/R/A	1	1,95
<b>Total [USD]</b>		<b>123,45</b>

Tabla 19 Costos eléctricos

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio [USD]</b>
Resistencia eléctrica	1	30
Transformador de fuente de poder más conversor de voltaje	1	15
Cable de timbre 5mts	1	2,5
Fusibles 5 Amp	3	1,5
Botón pare de emergencia	1	2,4
Interruptor 15A/220V	2	1,7
Borneras	12	2
Taype negro	1	1
Estilete	1	0,9
Enchufe 3P/15A COOPER	1	2,5
Cable de poder concéntrico 2x14 3mts	1	0,45
Cable de poder concéntrico 2x12 1m	1	2,1
Brida	1	2
<b>Total [USD]</b>		<b>64,05</b>

Dentro de los gastos indirectos se incluyen aquellos gastos que no se pueden atribuir directamente a un componente o actividad específica del proyecto, pero que son necesarios para su realización y funcionamiento, en la Tabla 20, se detallan los costos.

Tabla 20 Costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Precio [USD]</b>
Diseño	50
Mano de obra	200
<b>Total [USD]</b>	<b>250</b>

Entre estos gastos se encuentra el costo de la maquinaria, que corresponde al valor de adquisición o prestación del servicio de la maquinaria, ver en Tabla 21, esto dependerá del tiempo que se utilizó.

Tabla 21 Costo de la maquinaria.

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo [min]</b>	<b>Precio [USD]</b>
Taladro	-	35
Amoladora	-	40
Soldadora TIG[\$4/min]	5	20
Cortadora laser de metal[\$2/min]	10	20
Dobladora [\$1/min]	5	5
<b>TOTAL</b>		<b>115</b>

Los costos imprevistos, también conocidos como costos contingentes, son aquellos gastos que surgen de manera imprevista durante la ejecución de un proyecto y que no estaban contemplados en el presupuesto inicial como se detalla en la Tabla 22.

Tabla 22 Costos imprevistos

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio [USD]</b>
Bandeja 32x17x15	1	10,5
Motor reductor	1	30
<b>Total [USD]</b>		<b>40,5</b>

La construcción de la máquina templadora de chocolate semi automatizada tuvo un costo total, de **653,65 USD**.

#### **4.4. Justificación de costos**

Esta estrategia se fundamenta en varios aspectos esenciales. En primer lugar, se prevé un aumento significativo en la eficiencia y productividad del proceso de templado, lo que resultará en una disminución de los costos de mano de obra y del tiempo de producción. Asimismo, se anticipa una mejora en la calidad del producto final, lo que conducirá a una mayor satisfacción del cliente y abrirá oportunidades para la expansión del mercado.

La semi automatización también permitirá reducir desperdicios, optimizando el uso de ingredientes y generando ahorros a largo plazo. Además, la máquina ofrecerá mayor capacidad, adaptándose a las demandas del mercado sin costos adicionales significativos. Por último, asegurará el cumplimiento de normativas y regulaciones, evitando multas y daños a la reputación de la empresa. En conjunto, estos aspectos respaldan la inversión en la máquina templadora de chocolate semi automatizada como una medida rentable y estratégica para el negocio.

#### 4.5. Análisis económico

Un período de recuperación más corto indica una mayor rentabilidad y viabilidad financiera. Sin embargo, debe evaluarse en conjunto con otros indicadores financieros para obtener una visión completa del rendimiento del proyecto, en la siguiente Tabla 23, se observa que la inversión se recupera al tercer año con una recuperación inicial de \$210 vendiendo tres máquinas. Sin embargo, el valor del MAE (Máxima Adversidad Esperada) sugiere que el proyecto también tiene un alto riesgo, ya que representa la mayor pérdida potencial que podría sufrir.

Tabla 23 Periodo de recuperación de la inversión

<b>MAE</b>	<b>\$439,29</b>					
<b>Valores Actuales</b>						
<b>Acumulados de</b>						
<b>Flujo de caja</b>	<b>\$-1.161</b>	<b>\$-755</b>	<b>\$-284</b>	<b>\$210</b>	<b>\$699</b>	<b>\$1.183</b>

Si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada, y el VAN es positivo, se considera que la inversión es rentable. Ambas medidas son herramientas valiosas en la toma de decisiones financieras y permiten comparar diferentes proyectos de inversión. Estos valores serán reflejados en la Figura. 63 VAN y TIR, con un ciclo de vida de 5 años.



n	0	1	2	3	4	5
Estructura	\$ -	\$ 60,66	\$ 121,30	\$ 181,96	\$ 242,60	\$ 303,25
Electricos	\$ -	\$ 64,05	\$ 128,10	\$ 192,15	\$ 256,20	\$ 320,25
Electronicos	\$ -	\$ 123,45	\$ 246,90	\$ 370,35	\$ 493,80	\$ 617,25
Impresivos	\$ -	\$ 40,50	\$ 40,50	\$ 40,50	\$ 40,50	\$ 40,50
Otros 5%	\$ -	\$ 14,43	\$ 26,84	\$ 39,25	\$ 51,66	\$ 64,06
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>0</b>	<b>303,0825</b>	<b>583,64</b>	<b>824,20</b>	<b>1,084,76</b>	<b>1,345,31</b>
<b>VARIABLES</b>						
<b>COSTOS FIJOS</b>	0	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
<b>COSTOS OPERAL</b>	\$ -	\$ 553,08	\$ 813,64	\$ 1,074,20	\$ 1,334,76	\$ 1,595,31
Margen Operacional		\$ 553,08	\$ 813,64	\$ 1,074,20	\$ 1,334,76	\$ 1,595,31
Depreciación		600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Utilidad antes de impuestos		-46,9	219,6	474,2	734,8	995,3
Impuestos a la renta		-5,6307	25,6368	56,9037	88,1706	119,4375
<b>Utilidad después de impuestos</b>		<b>-41,3</b>	<b>188,0</b>	<b>417,3</b>	<b>646,6</b>	<b>875,9</b>
Depreciación		600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Patente		\$550,00				
Maquinaria		\$115,00				
Diseño		\$50,00				
Mano de obra		\$200,00				
Cumplimiento Normat		\$100,00				
Publicidad		\$35				
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>\$1,050,00</b>	0	0	0	0	0
Capital de Trabajo	111	52	52	52	52	0
Valor residual Capital de Trabajo	-781	507	736	965	1194	1476
<b>FLUJO NETO DE</b>	<b>-781</b>	<b>507</b>	<b>736</b>	<b>965</b>	<b>1194</b>	<b>1476</b>
Valores Actuales de	-580	405	633	950	1190	1474
VA	\$-1,161	\$405	\$447	\$494	\$489	\$484
VAN	\$-1,163					
VMA	\$2,343,30	\$1,182,68				
TIR	60,1%					

<b>Costos Fijos</b>	<b>250</b>
Servicios básicos	150
Otros	100

Costos operacionales	\$ -	\$ 553,08	\$ 813,64	\$ 1,074,20	\$ 1,334,76	\$ 1,595,31
Necesidades de Capital de Trabajo		\$ 110,62	\$ 162,73	\$ 214,84	\$ 266,95	\$ 319,06
<b>Necesidades Incrementales de Capital de</b>	<b>\$ 110,62</b>	<b>\$ 52,11</b>	<b>\$ 52,11</b>	<b>\$ 52,11</b>	<b>\$ 52,11</b>	<b>\$ 52,11</b>
Valor residual de Capital de Trabajo						\$ 319,06

<b>Depreciación</b>	<b>600,00</b>
Años a depreciar	2
Valor descho	400
Costo tecnologico	1600

Total Produccion	5
Tasa de descuento	0,25

Figura. 63 VAN y TIR, con un ciclo de vida de 5 años.

Con una TIR del 60,1% y un VAN de \$1,183, se puede concluir que el proyecto es muy rentable. Estos resultados indican que la inversión inicial será recuperada en un corto período de tiempo y que el proyecto generará beneficios significativos a lo largo de su vida útil. Es una señal positiva para los inversores y muestra que el proyecto es financieramente sólido y prometedor.

#### **4.6. Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se exploraron diversos aspectos relacionados con el estudio económico del proyecto de la máquina templadora de chocolate semi automatizada. Se abordaron aspectos como el tiempo requerido para recuperar la inversión, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). Se hizo hincapié en la importancia de evaluar estos indicadores financieros para determinar si el proyecto es viable y rentable. Asimismo, se destacó la necesidad de tener en cuenta los distintos tipos de costos, como los directos, indirectos e imprevistos, y de justificar adecuadamente los gastos asociados al proyecto.

## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

La presente investigación ha demostrado la factibilidad de diseñar y optimizar una máquina templadora de chocolate con tecnología IoT, que permite controlar y monitorear el proceso de templado de forma remota y semi automatizada. Se ha logrado cumplir con los objetivos planteados, tanto en el aspecto técnico como en el económico, obteniendo una máquina funcional y rentable. La máquina templadora de chocolate con tecnología IoT representa una innovación en el campo de la industria chocolatera, ya que ofrece una solución práctica y eficiente para mejorar la calidad y productividad del chocolate.

La combinación de la alternativa 4 de la figura 20 con la implementación de técnicas de IoT para la planificación y programación de la producción es una estrategia prometedora para superar los desafíos de producción insuficiente en una máquina templadora de chocolate. Esta propuesta tiene el potencial de mejorar significativamente la productividad, calidad y rentabilidad de la producción de chocolate, lo que beneficiará tanto a los fabricantes como a los consumidores.

La máquina templadora de chocolate con tecnología IoT ha sido diseñada y optimizada mediante cálculos y simulaciones en SolidWorks para garantizar su adecuado funcionamiento. Al analizar los cálculos de torque necesario para el disco giratorio, se determinó que el motorreductor adquirido con un torque del 59% del requerido, aún puede proporcionar el movimiento necesario para el chocolate líquido. Además, la potencia de la resistencia eléctrica se ha sobredimensionado significativamente, alcanzando un 134% de la potencia requerida.

Según el análisis económico efectuado, se ha comprobado que el proyecto es viable desde el punto de vista financiero. Se espera que la inversión inicial se recupere en un lapso de 36 meses. Además, se ha calculado una tasa interna de retorno (TIR) del 60,1%, lo que indica una alta rentabilidad. Asimismo, el valor actual neto (VAN) resulta positivo, con una cifra de \$1,183, lo que sugiere que el proyecto generará beneficios económicos.

## **Recomendaciones**

Continuar monitoreando y mejorando constantemente la eficiencia y calidad del proceso de templado mediante la recopilación de datos y el análisis de indicadores clave de rendimiento.

Realizar capacitaciones periódicas para el personal encargado de operar y mantener la máquina, asegurando que estén actualizados en las mejores prácticas de operación y seguridad.

Establecer un programa de mantenimiento preventivo regular para garantizar el óptimo funcionamiento de la máquina a lo largo del tiempo, evitando tiempos de inactividad no planificados.

Explorar oportunidades de mejora continua en la semi automatización del proceso de templado, como la incorporación de sensores y tecnologías avanzadas para un control aún más preciso de la temperatura y otros parámetros.

Revisar de forma regular la rentabilidad del proyecto y efectuar análisis actualizados de los costos, con el propósito de detectar áreas de optimización y maximizar las ganancias financieras. Asimismo, permanecer alerta ante las tendencias del mercado y las cambiantes exigencias de los clientes, para adaptarse adecuadamente y conservar la ventaja competitiva.

## Referencias

- [1] A. Pilar and E. Ramírez Villar, “EL CACAO: AYER, HOY Y SIEMPRE EN EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL DEL MUNDO, NORTE DE SANTANDER Y CÚCUTA COCOA: YESTERDAY, TODAY AND ALWAYS IN THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT AND CULTURAL WORLD OF NORTE DE SANTANDER AND CÚCUTA Resumen Noviembre 2013 Edición 6 Pág. 76-83.” [Online]. Available: [http://www.edualter.org/material/explotacion/unidad5\\_2.htm](http://www.edualter.org/material/explotacion/unidad5_2.htm)
- [2] A. R. García-Briones, B. F. Pico-Pico, and R. E. Jaimez, “The Cacao production chain in Ecuador: Resilience in the different production actors,” *Novasinergia*, vol. 2021, no. 2, pp. 152–172, doi: 10.37135/ns.01.08.10.
- [3] “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.”
- [4] OSCAR CHECA, “GASTRONOMÍA. Pasión por el chocolate | Revista Viajeros.” <https://www.revistaviajeros.es/viajes-con-sabor/turismo-gastronomico/gastronomia-pasion-por-el-chocolate> (accessed Jun. 04, 2023).
- [5] G. R. Navas Espín, D. Peña Suarez, N. D. Silva Álvarez, and M. P. Mayorga Díaz, “Costos de producción y la determinación de precios del chocolate de la asociación ‘Las Delicias del Triunfo’,” *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2021, doi: 10.46377/dilemas.v9i.3027.
- [6] M. García, “Un chocolate para cada cosa,” *Ediciones EL PAÍS S.L*, Feb. 23, 2020. [https://elpais.com/gastronomia/el-comidista/2020/02/13/articulo/1581608987\\_299042.html](https://elpais.com/gastronomia/el-comidista/2020/02/13/articulo/1581608987_299042.html) (accessed Jun. 04, 2023).
- [7] “2020-REFORMULACIÓN”.
- [8] MARÍA JOSÉ, “REPOSTERÍA CREATIVA.” <https://www.tartasdelunallena.com/8-cosas-que-debes-saber-sucedaneos-de-chocolate-y-donuts-decorados-de-animales/> (accessed Jun. 18, 2023).

- [9] D. Cedillo, A. Ramirez, and L. Olguín, “Elaboracion de trufas de chocolate y su caracterizacion,” *Depto. de Ingeniería Bioquímica E.N.C.B I.P.N. Prol. de Carpio y Plan de Ayala*, vol. 75, 2018.
- [10] S. Thumma, “3 simple chocolate tempering methods you gotta know,” *Chocovira Chocolates*, Jun. 13, 2020. <https://www.chocovira.in/chocolate-tempering/> (accessed Jun. 05, 2023).
- [11] Y. Y. B. HERNANDEZ, M. A. H. C. LUCERO, and L. G. R. SILVA, “ELABORACION DE TRUFAS DE CHOCOLATE APARTIR DE CACAO ORGANICO UTILIZANDO SABORES NATURALES, EN EL MUNICIPIO DE SAN,” 2016.
- [12] Corporación Financiera Nacional, “Elaboración de cacao, chocolate y producción de confitería,” *Ficha Sectorial*, 2017.
- [13] J. Veliz, R. Tapia, L. Arguello, and O. Mendoza, “Elaboracion Y Comercializacion De Productos a Base De Chocolate,” *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 2357, no. 11, 2015.
- [14] Rigel L. Liendo, “Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos,” *Tecnología Postcosecha*, 2005.
- [15] Aasted, “Experts in chocolate tempering machines.” <https://www.aasted.eu/equipment/tempering> (accessed Jun. 05, 2023).
- [16] D. Cedillo, A. Ramirez, and L. Olguín, “Elaboracion de trufas de chocolate y su caracterizacion,” *Depto. de Ingeniería Bioquímica E.N.C.B I.P.N. Prol. de Carpio y Plan de Ayala*, vol. 75, 2018.
- [17] “¿Cómo hacer el templado manual del chocolate? Chocolates Artesanos Isabel.” <https://chocolatesartesanosisabel.com/templado-manual-del-chocolate/> (accessed Jun. 05, 2023).
- [18] “Templadora de chocolate - Todos los fabricantes industriales.” <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/templadora-chocolate-96174.html> (accessed Jun. 05, 2023).

- [19] “Fabricante de máquinas templadoras de chocolate y proveedor de templadoras de chocolate - Papa Industrial.” <http://www.papapastrymachine.com/chocolate-machine/chocolate-tempering-machine.html> (accessed Jun. 05, 2023).
- [20] Rigel L. Liendo, “Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos,” *Tecnología Postcosecha*, 2005.
- [21] J. Xu *et al.*, “A temporal adaptive access mechanism for data fusion in an IoT environment,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 12, Dec. 2018, doi: 10.3390/s18124205.
- [22] C. Romano and C. López, “Capacidad calorífica y temperatura de Debye: cálculos y mediciones,” *Capacidad calorífica y temperatura de Debye*, vol. 1, 2001.
- [23] C. Rodríguez, “Sensores De Humedad,” *Advances in Advertising Research (Vol. III)*, 2018.
- [24] E. Martines, “Definiciones de humedad y su equivalencia,” *Centro Nacional de Metrología, División de Termometría*, 2017.
- [25] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions.” [Online]. Available: [www.buyya.com](http://www.buyya.com).
- [26] Q. Fu, Z. Han, J. Chen, Y. Lu, H. Wu, and Y. Wang, “Applications of reinforcement learning for building energy efficiency control: A review,” *Journal of Building Engineering*, vol. 50, p. 104165, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.104165.
- [27] J. Sebastián, V. Mera, Y. Alfonso, and S. Castillo, “BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS”.
- [28] N. A. Zapata Montoya, M. A. Quiroz, J. E. López Muñoz, O. N. Patiño Toro, and J. Valencia Arias, “Tendencias en producción científica en el uso del Internet de las Cosas en servicios de restaurantes. Un enfoque bibliométrico,” *Revista En-contexto*, vol. 10, no. 17, 2022, doi: 10.53995/23463279.1166.
- [29] A. B. Roper Lara, “Grasas saturadas,” *Universidad Miguel Hernández*, 2013.
- [30] EW México, “TEMPERADORA FUNDIDORA MANUAL DE CHOCOLATE TABLE TOP 10K,” Mexico, 2018. Accessed: May 04, 2023. [Online]. Available: [Temperadora fundidora manual de chocolate table top 10k. \(2018, October 23\). EW México; EW México](#)

Food Equipment. <https://ew-mexico.com/portfolio-type/temperadora-fundidora-manual-de-chocolate-table-top/>

- [31] SEMMco Chocolate Machine China, “T6 automatic chocolate tempering machine.” <https://www.chocolateok.com/t6-automatic-chocolate-tempering-machine/> (accessed May 05, 2023).
- [32] SELMI, “Templadora de chocolate - plus EX ®,” 2014. <https://www.directindustry.es/prod/selmi/product-96755-1538077.html> (accessed May 05, 2023).
- [33] KADZAMA, “Chocolate tempering bowl (mini).” <https://kadzama.com/c/equipment/chocolate-tempering-bowl-mini/> (accessed May 05, 2023).
- [34] Cocinista, “Cocinista.es,” Jun. 18, 2018. <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/reposteria/atemperado-del-chocolate.html> (accessed May 27, 2023).
- [35] R. M. J Y Caballero P and M. O. Yohana, “Infl uencia de la cristalizacion de la manteca de cacao en las propiedades sensoriales y físico-químicas de una cobertura de chocolate con leche Infl uence of the crystallization of the cocoa butter in the physicochemical and sensory properties of a chocolate milk covered.”
- [36] “Controlador PID - Control Automático - Picuino,” *Picuino.com*. <https://www.picuino.com/es/control-pid.html> (accessed May 28, 2023).
- [37] “Controlador PID digital - Control Automático,” *Picuino.com*. <https://www.picuino.com/es/control-pid-digital.html> (accessed May 28, 2023).
- [38] V. V. Patel, “Ziegler-Nichols Tuning Method: Understanding the PID Controller,” *Resonance*, vol. 25, no. 10, 2020, doi: 10.1007/s12045-020-1058-z.
- [39] Udb, “Controladores tipo P, PI y PID,” *sISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO. GUIA 6*, vol. 1, 2014.



- [40] Manuel. Pascual, “Termostatos inteligentes con control PID o cómo mantener tu casa caliente sin dejarte el sueldo,” *Domótica Doméstica*, Aug. 04, 2016. <http://www.domoticadomestica.com/termostatos-inteligentes-control-pid/> (accessed May 27, 2023).
- [41] “Sarabia - Arquitectura de análisis de datos generados por el internet de las cosas IoT en tiempo ...”.
- [42] “NODEMCU-ESP32-SERVIDOR-WEB-CONTROL-REMOTO-TELEMETRIA-ANYWHERE,” *Puntoflotante.net*. <https://www.puntoflotante.net/NODEMCU-ESP32-SERVIDOR-WEB-CONTROL-REMOTO-ANYWHERE.htm> (accessed May 28, 2023).
- [43] L. D. C. A. T. D. Alexei Ochoa Duarte, “Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire.,” Jan. 2018, Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/3783/378360709016/html/#fn3>
- [44] N. ABEKIRI, A. RACHDY, M. AJAAMOUM, B. NASSIRI, L. ELMAHNI, and Y. OUBAIL, “Platform for hands-on remote labs based on the ESP32 and NOD-red,” *Sci Afr*, vol. 19, 2023, doi: 10.1016/j.sciaf.2022.e01502.
- [45] Amazon Web Services, “AWS Well-Architected Framework,” *AWS Press*, no. July, 2019.
- [46] “phpMyAdmin,” in *The Definitive Guide to MySQL5*, 2006. doi: 10.1007/978-1-4302-0071-0\_6.
- [47] “Ingeniería de sistemas basada en modelos (MBSE),” *Mathworks.com*. <https://la.mathworks.com/solutions/model-based-systems-engineering.html> (accessed May 28, 2023).
- [48] “Follow a constantly varying input signal with a PID Controller,” *Stack Overflow*. <https://stackoverflow.com/questions/72463988/follow-a-constantly-varying-input-signal-with-a-pid-controller> (accessed May 28, 2023).
- [49] “PT100 RTD sensor,” *Components101*, Accessed: Jun. 02, 2023. [Online]. Available: <https://components101.com/sensors/pt100-rtd-temperature-sensor>

- [50] “DHT22 – temperature and humidity sensor,” *Components101*. <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet> (accessed Jun. 02, 2023).
- [51] Dynamo Electronics, “Sensor de nivel de agua o lluvia,” *DynamoElectronics*. <https://dynamoelectronics.com/tienda/sensor-de-nivel-de-agua/> (accessed Jun. 02, 2023).
- [52] Polimex, “Resistencias Tubulares – Polimex,” *Polimex.mx*. <https://www.polimex.mx/resistencias-tubulares/> (accessed Jun. 02, 2023).
- [53] A. Sandoval, E. Espinosa, and J. Barahona, “Celdas Peltier: Una alternativa para sistemas de enfriamiento con base en semiconductor,” ... *de la Mixteca. Tomado de: http:// ...*, 2007.
- [54] C. Rubio Ramírez, G. M. Lizarazo, and E. V. Duarte, “CAMPO DE LA REFRIGERACIÓN Y SUS PRINCIPALES APLICACIONES 1 THERMOELECTRICITY: USE OF PELTIER CELLS IN THE REFRIGERATION FIELD AND ITS MAIN USES TERMOELECTRICIDADE: USO DAS CELAS PELTIER NO CAMPO DA REFERIGERAÇÃO E SEUS PRINCIPAIS APLICATIVOS.”
- [55] Electrical, “Relé electromagnético de potencia NNC71J,” *Electrical-relay.es*. <http://electrical-relay.es/2018/1-3-19-nnc71j-electromagnetic-power-relay.html> (accessed Jun. 02, 2023).
- [56] Omega, “Relés de Estado Sólido,” *Omega.com*. [https://es.omega.com/temperature/pdf/SSRL240\\_660.pdf](https://es.omega.com/temperature/pdf/SSRL240_660.pdf) (accessed Jun. 02, 2023).
- [57] “Motores Electricos. Accionamiento de Maquinas. 30 Tipos de Motores,” *Paraninfo*, 2010. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/tipos-de-motores-electricos.html> (accessed Jun. 26, 2023).
- [58] N. Molina Vuistaz, N. O. Nieva, and A. Martínez, “Controlador lógico programable para soluciones de automatización y control en la pequeña y mediana empresa,” *ReDDI: Revista Digital del Departamento de Ingeniería*, vol. 2, no. 2, 2017, doi: 10.54789/reddi.2.2.4.
- [59] E. Díaz Ronceros, “Relevancia de la ejecución experimental de proyectos con microcontroladores en el aprendizaje de la ingeniería electrónica,” *Educación*, vol. 29, no. 56, 2020, doi: 10.18800/educacion.202001.003.

- [60] AUTYCOM, “HMI Siemens: tipos de paneles de operador SIMATIC,” *Autycom*, Jun. 07, 2019. <https://www.autycom.com/hmi-siemens-tipos-de-paneles-de-operador-simatic/> (accessed Jun. 17, 2023).
- [61] F. G. Parra, J. A. Obregón Merchán, and C. A. Hernandez Suarez, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA, CON VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LCD,” *Redes de Ingeniería*, vol. 4, no. 1, 2013, doi: 10.14483/2248762x.6425.
- [62] H. Omura, T. Fukuda, K. Futsuhara, and N. Sugiivoto, “A study of risk assessment method containing hygiene aspect and safety aspect,” *Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C*, vol. 77, no. 774, 2011, doi: 10.1299/kikaic.77.505.
- [63] M. F. Ashby *et al.*, “Materials Selection in Mechanical Design.” [Online]. Available: <http://books.elsevier.com>
- [64] Ferrocortes, “Acero Inoxidable,” 2017. <https://www.ferrocortes.com.co/acero-inoxidable/> (accessed May 06, 2023).
- [65] O. A. Morales Contreras, J. A. Paz González, E. Hernández Martínez, M. Cortes Rodríguez, and G. Luna Serrano, “Coeficiente de arrastre de modelos circulares y cuadrados instalados en túnel de viento de ECITEC,” *REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS*, vol. 1, no. 2, 2018, doi: 10.37636/recit.v125864.
- [66] K. G. Reyes and L. F. Gala, “Proceso de Soldadura TIG,” *Fondo Social Europeo*, 2016.
- [67] W.A., “Proceso de Soldadura TIG (GTAW),” *WEST ARCO*, 2021.
- [68] R. V. Marques and R. J. Modenesi, “Características del arco de soldadura TIG en diferentes atmósferas. I parte,” *Revista de Metalurgia*, vol. 35, no. 5, 1999, doi: 10.3989/revmetalm.1999.v35.i5.637.