



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIEROS EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
AUTOMÁTICO DE LA MÁQUINA TEMPLADORA DE CHOCOLATE PARA LA
EMPRESA INDUSTRIA ECUATORIANA DE DULCES INEDULCES**

AUTORES: CRUZ JÁCOME, GALO ANDRÉS

ESPARZA GALLEGOS, ALEX MARCELO

DIRECTOR: ING. ORTÍZ TUCÁN, HUGO. MS

SANGOLQUÍ

2019



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LA MÁQUINA TEMPLADORA DE CHOCOLATE PARA LA EMPRESA INDUSTRIA ECUATORIANA DE DULCES INEDULCES” fue realizado por los señores **Cruz Jácome, Galo Andrés y Esparza Gallegos, Alex Marcelo** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, Julio de 2019

Firma:

Ing. Hugo Ortiz Tulcán.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros **Cruz Jácome, Galo Andrés y Esparza Gallegos, Alex Marcelo**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Diseño e implementación del sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate para la empresa Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES**” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Julio de 2019

Firma:

Cruz Galo

C.C. 0201848611

Firma

Esparza Alex

C.C. 0605115898



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros **Cruz Jácome, Galo Andrés** y **Esparza Gallegos, Alex Marcelo**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño e implementación del sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate para la empresa Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad

Sangolquí, Julio de 2019

Firma:

Cruz Galo

C.C. 0201848611

Firma

Esparza Alex

C.C. 0605115898

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre que a pesar de mis caídas ha sido un apoyo incondicional, que haciendo muchos esfuerzos me ha ayudado a cumplir este objetivo y culminar esta etapa de mi vida.

A mi motor, mi hija, que desde el primer momento me da la fuerza necesaria para seguir adelante con este sueño y me da cada día una razón para seguir adelante por darle lo que ella se merece.

A mi hermano que siempre ha estado conmigo, dándome apoyo y ayuda cuando estaba a su alcance.

A mi ángel, mi padre, que desde el cielo me guía, me cuida y vela por mí.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a toda mi familia, a mis padres y mis hermanos que siempre me brindaron su apoyo y amor incondicional, en los buenos y malos momentos.

A mi madre Dolores por ser una mujer ejemplar, un pilar fundamental en mi vida, siempre la primera en brindarme palabras de aliento cuando más lo necesitaba, mi amiga incondicional que siempre creyó en mi sin importar las circunstancias que esté pasando.

A mi padre Marcelo por ser un hombre que con su ejemplo me guía por el camino del bien, sus sabios concejos y su experiencia de vida que me motiva para ser una mejor persona cada día, por siempre apoyarme en las todas las decisiones que tome.

A mis hermanos Danny, Estefanía y Andrea que con sus ocurrencias y bromas siempre me sacan una sonrisa y alegran los días aun cuando las cosas no transcurran con normalidad, a mi sobrina April que llevo a mi vida para alegrarla y con su presencia hacer de todos los días algo diferente.

Alex Marcelo Esparza Gallegos

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por haberme dado vida, salud y fuerza para cumplir este objetivo y parte de mi vida.

A mi madre que a pesar de la distancia siempre estuvo pendiente de mí brindándome su apoyo y cariño, y sobre todo por no dejarme solo cuando más lo necesitaba.

A mi hermano y compañero desde que empecé este sueño ha estado a mi lado con sus consejos y conocimiento.

A Katty, la mujer que me dio el mayor motivo para conseguir adelante, y desde que formó parte de mi vida ha sido mi apoyo y fuerza, a pesar de las circunstancias que nos puso la vida se ha mantenido constante conmigo.

A mi Sofía que con cada ocurrencia me saca una sonrisa y me devuelve las ganas de luchar por un mejor futuro con y para ella.

A mi familia que de una u otra manera han estado presentes haciéndome sentir su cariño y apoyo con sus consejos y críticas para seguir adelante.

A la empresa INEDULCES y su gerente Osmani Rodríguez por darnos la confianza y el apoyo así como al Dr. Marcow Rodríguez que nos dirigió y motivo para sacar adelante este proyecto.

A mi amigo y compañero Alex por haber formado un buen equipo de trabajo para culminar con éxito el desarrollo de este proyecto.

Galo Andrés Cruz Jácome

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por haberme dado la salud, amor y sabiduría para culminar esta etapa importante en mi vida con el mayor de los éxitos.

A mis padres porque con sus esfuerzos y sacrificios he logrado terminar esta etapa de mi vida y por siempre brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos Danny, Estefanía y Andrea por siempre haber confiado en mí porque son mi fuente de inspiración y me impulsan a ser cada día mejor y poder ser un ejemplo a seguir por ellos.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” por haberme aceptado y formado durante todos estos años de carrera universitaria y gracias a todos sus docentes que me brindaron todos sus conocimientos para lograr ser un excelente profesional.

Agradezco a la empresa INDUSTRIA ECUATORIANA DE DULCES INDULCES S.A y a su gerente, además al Dr. Marcow Rodríguez, por haber confiado en el proyecto, en la capacidad de nosotros y brindarnos todo el apoyo para culminar con el proyecto.

A mi amigo Galo Cruz por haber formado un gran equipo de trabajo y culminar con éxito el desarrollo de este proyecto.

Alex Marcelo Esparza Gallegos

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia	2
1.3 Alcance	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5 Descripción general del proyecto	5
2. MARCO REFERENCIAL	7
2.1. Automatización de sistemas de producción	7
2.1.1. Definición de Automatización.....	7
2.1.2. Sistemas de producción.....	8
2.1.3. Tipos de automatización según la tasa y variabilidad de producción.....	9
2.1.4. Automatización en la industria alimenticia	12
2.2. Chocolate	13
3. DISEÑO	22

3.1.	Requisitos.....	22
3.2.	Estructura mecánica	25
3.2.1.	Ergonomía de la máquina templadora de chocolate.....	25
3.2.2.	Dimensionamiento de olla para mezcla	26
3.2.3.	Dimensionamiento de sistema de calentamiento	31
3.2.4.	Dimensionamiento de la estructura de la máquina.....	32
3.2.5.	Tornillo de Arquímedes o tornillo sin fin	33
3.3.	Diseño de subsistemas de instrumentación y control	34
3.3.1.	Sensores	35
3.3.2.	Actuadores de sistema de calentamiento.....	37
3.3.3.	Controlador	39
3.3.4.	Diseño de técnica de control	43
3.3.5.	Interfaces de operación	52
3.3.6.	Dimensionamiento de motores.....	54
3.4.	Diseño de subsistema eléctrico	61
4.	DESARROLLO DE SOFTWARE	66
4.1.	Lógica de control.....	66
4.2.	HMI	68

4.2.1.	Pantalla principal.....	69
4.2.2.	Pantalla Templado	70
4.2.3.	Pantalla Moldeado	71
4.2.4.	Pantalla Lavado	73
5.	IMPLEMENTACIÓN	74
6.	PROTOCOLO DE PRUEBAS	78
6.1.	Pruebas mecánicas	78
6.1.1.	Capacidad de la olla	79
6.1.2.	Verificación de sellos mecánicos	79
6.2.	Pruebas eléctricas y electrónicas.....	79
6.2.1.	Funcionamiento del sensor de temperatura	80
6.2.2.	Verificación de velocidad del agitador	80
6.2.3.	Validación de velocidad del sistema de realimentación medido en hertzios	80
6.3.	Pruebas de funcionamiento de la máquina	80
6.3.1.	Trabajo continuo.....	81
6.3.2.	Funcionamiento de la etapa de templado.....	81
6.3.3.	Funcionamiento de la etapa de moldeado	81

6.3.4.	Funcionamiento de la etapa de lavado	81
6.3.5.	Eficiencia de la máquina templadora de chocolate.....	82
6.4.	Conclusiones de las pruebas.....	82
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
7.1.	CONCLUSIONES	83
7.2.	RECOMENDACIONES.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especificaciones técnicas de la olla</i>	29
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas del agitador</i>	30
Tabla 3 <i>Datos para cálculo de potencia del sistema de calentamiento</i>	31
Tabla 4 <i>Especificaciones técnicas de la estructura de la máquina</i>	33
Tabla 5 <i>Especificaciones técnicas del tornillo sin fin</i>	34
Tabla 6 <i>Especificaciones técnicas del sensor</i>	36
Tabla 7 <i>Especificaciones técnicas del transmisor</i>	37
Tabla 8 <i>Especificaciones técnicas de actuador de sistema de calentamiento</i>	38
Tabla 9 <i>Lista señales y tipo de entrada del proceso</i>	40
Tabla 10 <i>Lista señales y tipo de salida del proceso</i>	41
Tabla 11 <i>Especificaciones técnicas del controlador</i>	42
Tabla 12 <i>Especificaciones técnicas de módulo en entradas analógicas</i>	42
Tabla 13 <i>Controladores utilizados en los procesos industriales</i>	44
Tabla 14 <i>Parámetros de controladores PID según el método de oscilación de Ziegler-Nichols</i> ..	50
Tabla 15 <i>Especificaciones técnicas de panel HMI</i>	54
Tabla 16 <i>Especificaciones técnicas de motor para el agitador</i>	56
Tabla 17 <i>Especificaciones técnicas de guardamotor</i>	57
Tabla 18 <i>Especificaciones técnicas de contactor</i>	58
Tabla 19 <i>Especificaciones técnicas de motor del tornillo sin fin</i>	60
Tabla 20 <i>Especificaciones técnicas de variador de frecuencia</i>	61
Tabla 21 <i>Estándares de Breaker</i>	63
Tabla 22 <i>Especificaciones técnicas de fuente de alimentación</i>	65

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Esquema general del proyecto.....	6
<i>Figura 2.</i> Correlación entre tasas y variabilidad de producción	9
<i>Figura 3.</i> Distribuciones de planta.....	11
<i>Figura 4.</i> Cultivación del cacao	14
<i>Figura 5.</i> Desgrane del cacao.....	15
<i>Figura 6.</i> Fermentación del cacao <i>Figura 7.</i> Secado del cacao	16
<i>Figura 8.</i> Trituración de pepa de cacao <i>Figura 9.</i> Torrefacción del cacao	16
<i>Figura 10.</i> Molienda del cacao <i>Figura 11.</i> Refinación del chocolate.....	17
<i>Figura 12.</i> Conchado del chocolate	18
<i>Figura 13.</i> Etapas del templado	20
<i>Figura 14.</i> Moldeado y empaquetado	21
<i>Figura 15.</i> Plancha acero inoxidable AISI 304.....	23
<i>Figura 16.</i> Funcionamiento sistema de realimentación	24
<i>Figura 17.</i> Curva de temperatura del proceso de templado del chocolate	24
<i>Figura 18.</i> Ergonomía para trabajo de pie	26
<i>Figura 19.</i> Diseño de la olla.....	27
<i>Figura 20.</i> Orificio base inferior.....	28
<i>Figura 21.</i> Tipos de agitadores por viscosidad	30
<i>Figura 22.</i> Estructura de máquina templadora.....	32
<i>Figura 23.</i> Funcionamiento tornillo de Arquímedes.....	33
<i>Figura 24.</i> Sensor RTD (PT100) <i>Figura 25.</i> Transmisor 4-20mA	36
<i>Figura 26.</i> Relé de estado sólido.....	38

<i>Figura 27.</i> PLC y módulo de entradas análogas	41
<i>Figura 28.</i> Señal PRBS	45
<i>Figura 29.</i> Función de transferencia Ident	46
<i>Figura 30.</i> Comparación entre modelo estimado y modelo real de la planta	46
<i>Figura 31.</i> Esquema básico de control.....	47
<i>Figura 32.</i> Curva de reacción esperada de la planta en lazo abierto.....	48
<i>Figura 33.</i> Respuesta al escalón de la planta en lazo abierto.....	48
<i>Figura 34.</i> Oscilación sostenida ideal	49
<i>Figura 35.</i> Oscilación sostenida de la planta	49
<i>Figura 36.</i> Función de transferencia controlador.....	50
<i>Figura 37.</i> Esquema controlador y planta.....	50
<i>Figura 38.</i> Respuesta al escalón.....	51
<i>Figura 39.</i> Simulación del proceso de la máquina templadora de chocolate.....	52
<i>Figura 40.</i> Panel HMI.....	53
<i>Figura 41.</i> Guardamotor	57
<i>Figura 42.</i> Contactor	57
<i>Figura 43.</i> Variador de frecuencia	60
<i>Figura 44.</i> Breaker principal.....	62
<i>Figura 45.</i> Fuente de alimentación 24 VDC	64
<i>Figura 46.</i> Esquema pantalla principal	69
<i>Figura 47.</i> Pantalla principal HMI.....	70
<i>Figura 48.</i> Esquema pantalla templado.....	70
<i>Figura 49.</i> Pantalla Templado HMI.....	71

<i>Figura 50.</i> Esquema pantalla moldeado.....	71
<i>Figura 51.</i> Pantalla Moldeado HMI.....	72
<i>Figura 52.</i> Esquema pantalla lavado.....	73
<i>Figura 53.</i> Pantalla Lavado HMI.....	73
<i>Figura 54.</i> Funcionamiento de material eléctrico y electrónico.....	74
<i>Figura 55.</i> Fijación de elementos y cableado parte de potencia.....	75
<i>Figura 56.</i> Cableado señales de control.....	75
<i>Figura 57.</i> Tablero de control.....	76
<i>Figura 58.</i> Fijación de motores y sistema de realimentación.....	76
<i>Figura 59.</i> Sellos mecánicos, matrimonios y ejes.....	77

RESUMEN

En esta era de industrialización, la revolución tecnológica y la automatización está reduciendo rápidamente la necesidad de que la mano humana de asista a la maquinaria. En cuanto al escenario industrial actual, el nacimiento de nuevos productos y marcas privadas está aumentando considerablemente la competencia entre las industrias. Para cumplir con la meta de entrega oportuna del producto, la producción automatizada de alta tecnología es esencial. El concepto de automatización es tan versátil que puede traer un desarrollo radical en casi todos los campos. Teniendo en cuenta los requisitos actuales, este proyecto presenta el diseño y la implementación de un sistema de control automático de la máquina de templadora de chocolate para la empresa Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES. Primero se desarrolla el diseño de la olla, el sistema de agitación de chocolate y el sistema de realimentación. Luego, el diseño del controlador PID para mantener la temperatura dentro de los parámetros operativos de las 3 etapas de trabajo (templado, moldeado y lavado). Para el funcionamiento de la máquina se utiliza un HMI que permite la selección del proceso y supervisar la temperatura. Finalmente, se realiza un protocolo de pruebas para verificar y validar el funcionamiento correcto de la máquina.

PALABRAS CLAVE:

- **MÁQUINA TEMPLADORA DE CHOCOLATE**
- **AGITADOR**
- **CÁLCULO DE MOTORES**
- **SISTEMA DE REALIMENTACIÓN DE CHOCOLATE**
- **PROTOCOLO DE PRUEBAS**

ABSTRACT

In this era of industrialization, technological revolution and automation is fast shrinking the need of humans to assist machinery. Looking at the current industrial scenario, birth of new products and private brands is sharply raising the competition among industries. In order to hold out the promise of timely delivery of product, high tech automated production is essential. The concept of automation is so versatile that it can bring radical development in almost every field. Keeping view of present requirements, this project presents the design and the implement of an automatic control system for the chocolate tempering machine of the company Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES. First show the design of the pot, the chocolate stirring system and the feedback system. Then the design of PID controller to maintain the temperature within the operating parameters of 3 working stages (tempering, molding and washing). Then for the operation of machine an HMI is used which allows the selection of the process and supervise the temperature. Finally a test protocol is performed in order to verify and validate the correct operation of the machine.

KEYWORDS:

- **CHOCOLATE TEMPERATURE MACHINE**
- **CHOCOLATE STIRRING SYSTEM**
- **CALCULATION OF ELECTRIC MOTORS**
- **CHOCOLATE FEEDBACK SYSTEM**
- **TEST PROTOCOL**

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En el este capítulo se detalla los antecedentes más importantes de la empresa Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES en el proceso de fabricación de productos de chocolate. Además se especifica la justificación e importancia para el desarrollo del proyecto. Se redacta el alcance que tendrá el proyecto y se define los objetivos que permitan desarrollar el proyecto titulado “Diseño e implementación del sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate para la empresa Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES”

1.1 Antecedentes

Industria Ecuatoriana de Dulces (INEDULCES) es una empresa innovadora desde 1997 en el ámbito del chocolate de exportación, la cual se enfoca en la fabricación de frutas cubiertas de chocolate, teniendo su materia prima directamente de los productores de cacao de la costa ecuatoriana. Como parte de su visión a futuro desea agregar nuevos elementos a su línea de productos para lo cual es necesario un nuevo proceso de templado de chocolate.

Una vez realizado el proceso de refinación de cacao y mezcla de ingredientes para la fabricación del producto, es necesario el proceso de templado, el cual necesita ciertas especificaciones como: consistencia, proporción de ingredientes a utilizar y medidas de control para que el producto sea de la calidad deseada.

En la actualidad INEDULCES fabrica frutos cubiertos con chocolates, en su afán de crecer ha intentado fabricar barras de chocolate de manera manual, sin embargo, no se ha logrado ya que el proceso de templado no se lo está controlando de la manera adecuada, teniendo como resultado producto que no cumple con la calidad necesaria para la exportación del mismo.

1.2 Justificación e Importancia

El proyecto se enmarca dentro de los lineamientos gubernamentales del Plan Nacional de Desarrollo “Toda una Vida” el cual en uno de sus objetivos indica: “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria”. Debido a que con la implementación de la máquina templadora se obtendrán nuevos productos con una calidad de exportación, asegurando el crecimiento de las empresas nacionales.

La principal razón para realizar el proyecto es mejorar el proceso de productos de chocolate en la empresa INEDULCES, y a través de la implementación del sistema de control automático de la máquina templadora obtener nuevos productos de mejor calidad. Ya que la empresa intento realizar un templado de chocolate de manera manual, obteniendo un producto que no cumplía con sus estándares de calidad, por lo cual deciden realizar esta implementación.

La fiabilidad es otro de los factores primordiales por lo cual se desea implementar dicha máquina, ya que en la actualidad no realizan productos en los que intervenga el templado de chocolate.

La aplicación de conocimientos adquiridos en la trayectoria estudiantil permitirá la implementación de la máquina, en especial los conocimientos adquiridos en PLC, Control Industrial e Instrumentación Industrial.

La implementación de la máquina templadora es de vital importancia para el crecimiento de la empresa INEDULCES, ya que gracias a este proceso su catálogo de productos crecerá, pudiendo así, ampliar su competencia frente a otras marcas.

1.3 Alcance

El presente proyecto incluye el diseño e implementación del sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate. El funcionamiento de la máquina templadora consiste en realizar la mezcla de ingredientes a una velocidad fija y temperatura controlada por un tiempo definido, la misma que consta de un sistema de retroalimentación de la materia prima. El sistema constará de entradas digitales para accionamientos y seguridad, sensores de temperatura, y salidas para operación de motor eléctrico, sistema de enfriamiento, y resistencia para calentamiento. El proyecto se dividirá en cinco partes:

- a) Diseño de la estructura mecánica de la máquina templadora. - Aquí se realizará el diseño de la estructura mecánica, con la ayuda de los técnicos de la empresa INEDULCES cumpliendo las consideraciones en fabricación de maquinaria para industria alimenticia, para su posterior construcción.
- b) Diseño del sistema de control y automatización y dimensionamiento de materiales. - Para esto se definirá la técnica de control que se utilizará, se establecerá también una interfaz

de usuario siguiendo la guía GEDIS. En esta parte se realizará un análisis y selección del controlador a utilizarse. El programa del controlador se desarrollará en base a las variables mencionadas anteriormente. Una vez culminado el diseño se procederá a dimensionar los elementos de potencia y control del sistema. Al finalizar esta etapa se tendrá el programa del controlador y el respectivo diseño eléctrico y electrónico planificado para el control y automatización del sistema.

- c) Simulaciones. - Corresponde a las simulaciones del control de la máquina templadora mediante las señales de activación y las señales de control a utilizar, así como los tiempos deseados en el proceso.
- d) Montaje. - Una vez hechas las simulaciones se procederá con la implementación del sistema de control automático, así como la etapa de potencia.
- e) Pruebas. - En esta última etapa una vez implementado el sistema de control automático en la máquina templadora se planteará un sistema de pruebas tanto con carga como sin ella, para verificar el correcto funcionamiento de la misma, en el cual se realizarán reajustes y correcciones para que su funcionamiento sea acorde con lo deseado.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar e implementar el sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate para la empresa Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Incrementar la seguridad en la fabricación de productos en el que intervenga el templado del chocolate mediante la implementación de un sistema automatizado.
- Obtener un sistema de control automático confiable acatando la normativa industrial respectiva.
- Aumentar la producción cumpliendo los estándares de calidad de la empresa a través del diseño e implementación de un sistema de instrumentación electrónica y de control automático.
- Facilitar la operación del sistema automático mediante el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y supervisión utilizando un interfaz humano máquina (HMI).
- Validar el desempeño del sistema una vez implementado el control mediante pruebas de funcionamiento.

1.5 Descripción general del proyecto

El proyecto en general consiste en el diseño del sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate, el cual consiste en controlar de manera automática el proceso de templado de chocolate, además de proporcionar un sistema de realimentación que facilite el moldeado del producto final. Para ello se utiliza el siguiente esquema:

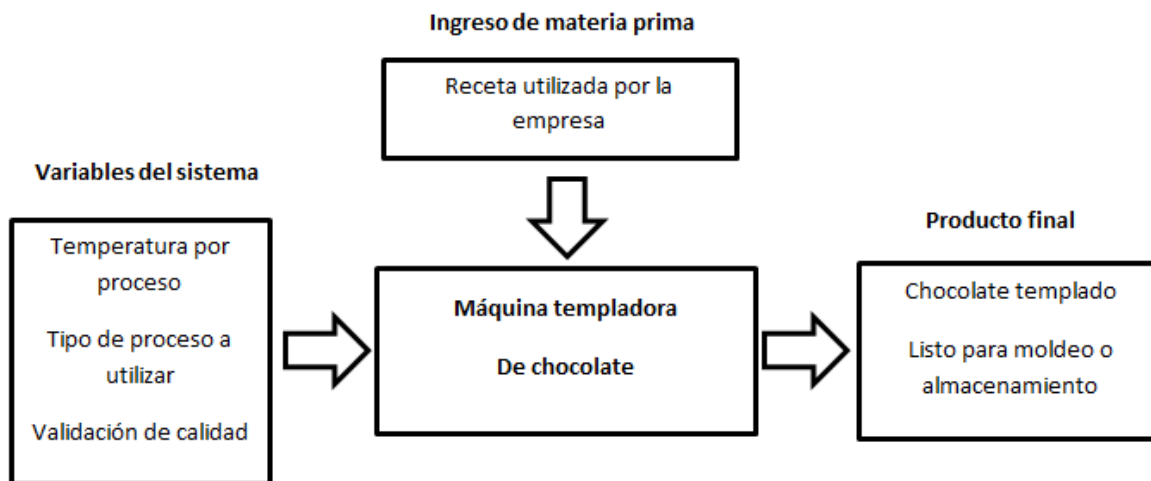


Figura 1. Esquema general del proyecto

La propuesta del proyecto maneja y controla 3 tipos de proceso que dispone la máquina como lo son: templado de chocolate, moldeo y limpieza de la máquina. Teniendo en cuenta que para su funcionamiento se debe abastecerla de materia prima, con el fin de obtener un chocolate templado de buena calidad validado por el personal de producción, considerando las variables del sistema, como se muestra en la *Figura 1*.

CAPÍTULO 2

2. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentan fundamentos teóricos que son parte del desarrollo del proyecto, los cuales son: proceso de fabricación de productos de chocolate, automatización de sistemas de producción industrial, dentro de cada uno de los temas mencionados anteriormente se analizan los parámetros que son utilizados dentro del proceso de fabricación de chocolate; por último se presentan los diversos tipos de sistemas automáticos utilizados en la industria.

2.1. Automatización de sistemas de producción

2.1.1. Definición de Automatización

Tecnologías asociadas con la aplicación de sistemas de tipo mecánico, electrónico y basado en ordenador, a la operación y control de la producción. (Gómez, 2004)

Tecnologías involucradas

- Máquinas herramientas para el proceso de piezas.
- Máquinas de ensamblaje.
- Robots industriales.
- Sistemas de movimiento y almacenaje automático del material.
- Sistemas de inspección para el control de calidad.
- Sistemas realimentados y control por computadora.
- Sistemas basados en ordenador para planificación, adquisición de datos y soporte para la toma de decisiones. (Gómez, 2004)

2.1.2. Sistemas de producción

- Se clasifican en
 - Partes discretas
 - Flujo de material
- Se dividen en dos partes:
 - Infraestructura
 - Planta
 - Maquinaria de producción
 - Maquinaria de mecanizado
 - Equipamiento de inspección
 - Ordenadores que controlan el proceso
 - Distribuciones en planta: Agrupaciones lógicas
 - Celda única, línea, clusters...
 - Sistemas de apoyo a la fabricación
- Tasas de producción
 - Baja: 1 a 100 uds/año
 - Media: 100 a 10000 uds/año
 - Alta: 10000 uds/año a millones
- Variabilidad de la producción: diferencias en estilo, función, forma.
Número de variaciones al año.
 - Variaciones “duras” o “blandas”, según el número de componentes en común entre las variantes como muestra la **Figura 2**. (Gómez, 2004).

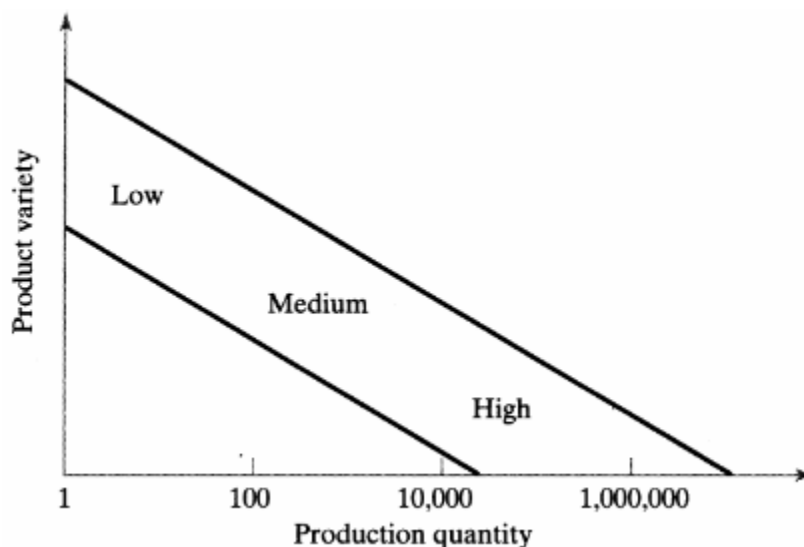


Figura 2. Correlación entre tasas y variabilidad de producción
Fuente: (Gómez, 2004)

2.1.3. Tipos de automatización según la tasa y variabilidad de producción

En el sector industrial se distinguen 3 tipos de automatización según el grado de producción y las necesidades de la empresa, como se puede ver en la **Figura 3**:

- **Automatización fija:** diseñada para la manufactura a gran escala: se utiliza una máquina o equipos especializado para producir una parte de un producto o el producto en sí mismo, es una secuencia fija y continua. Este tipo de automatización es ideal en la fabricación en grandes volúmenes de productos que tienen un ciclo de vida largo, un diseño invariable y una amplia demanda de los consumidores. Sus principales limitaciones son el alto costo de la inversión inicial y la poca flexibilidad del equipo para adaptarse a los cambios del producto. (CCMA, 2018)
- **Automatización programable:** adecuada para un volumen de producción más pequeño, segmentado por lotes. Permite cambiar o reprogramar la secuencia de operación, por

medio de un software, para incluir las variaciones del producto. Entre los equipos más usados para este tipo de automatización se encuentran las máquinas de control numérico, los robots y los controladores lógicos programables. (CCMA, 2018)

- **Automatización flexible:** Pensada para un nivel de producción medio. Es la ampliación de la automatización programable. Reduce el tiempo de programación del equipo y permite alternar la elaboración de dos productos (en serie) al mezclar diferentes variables. La flexibilidad se refiere a la capacidad de los equipos para admitir los cambios en el diseño y configuración del producto, reduciendo así los costos para las compañías. (CCMA, 2018)

Ventajas de la automatización industrial

- Disminuye los costos de fabricación
- Aumenta la eficiencia del proceso productivo
- Agiliza la respuesta a las demandas del mercado
- Reemplaza al hombre en trabajos de gran esfuerzo que ponen en peligro su integridad física
- Favorece la competitividad empresarial
- Mejora la seguridad de los procesos y la calidad del producto
- Permite hacer un control de calidad más exacto (CCMA, 2018)

Desventajas de la automatización industrial

- Genera dependencia tecnológica
- Requiere una gran inversión inicial

- Falta de personal capacitado para el manejo de los equipos
- Susceptibilidad a la obsolescencia tecnológica
- Resistencia de los operarios al cambio (CCMA, 2018)

Uno de los principales retos de la implementación de los sistemas automátats en las industrias es equilibrar el trabajo que realizan los equipos computarizados y robots, con el trabajo que ejecutan los operarios.

Si bien la tecnología ayuda a optimizar los procesos y releva al hombre de algunas tareas, no lo reemplaza por completo. El error es asociar la automatización industrial con el desempleo, pues la presencia humana es necesaria para la gestión, supervisión y control de los procesos productivos. (CCMA, 2018)

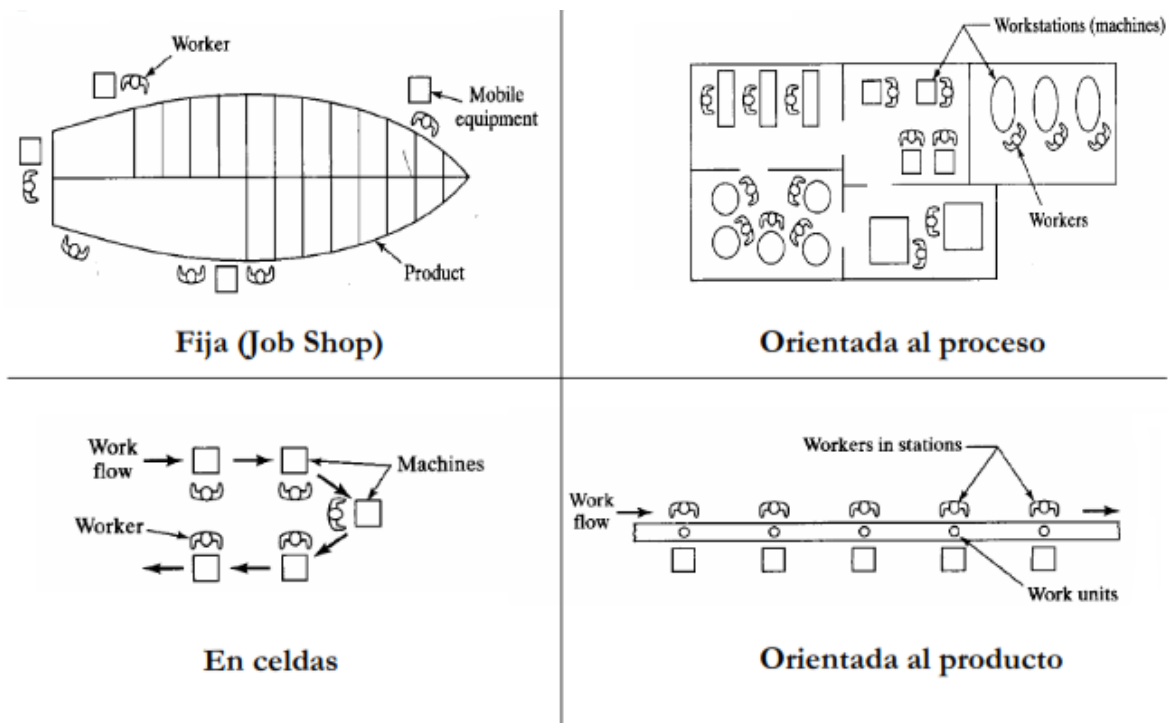


Figura 3. Distribuciones de planta
Fuente: (Gómez, 2004)

2.1.4. Automatización en la industria alimenticia

La automatización ayuda a enfrentar los procesos de tareas repetitivas, incrementando los niveles de eficiencia y reduciendo los costos en la industria de la manufactura. La tecnología es cada vez más accesible y adaptable a las necesidades de la industria de alimentos. Los procesadores de alimentos están comenzando a aprovechar las ventajas de las nuevas soluciones para dar respuesta a las demandas de los desafíos de producción actuales.

Ahorros significativos

Usar soluciones de automatización en las instalaciones para procesar alimentos puede ayudar a mejorar la productividad al reducir la cantidad de operaciones manuales durante el proceso operativo completo; hay que considerar en cuanto a procesadores que buscan resolver problemas de contratación, entrenamiento y retención de una cambiante fuerza de trabajo.

Un proceso automatizado puede tener un impacto sustancial en los resultados de los procesadores al reducir el desperdicio de materiales y los costos de envasado.

Enfoque en inocuidad de los alimentos

La automatización puede ayudar a los procesadores a incrementar los resultados en seguridad y, en consecuencia, la confianza en sus procesos al disminuir la posibilidad de errores humanos. Un proceso automatizado puede limitar la exposición a factores externos durante el proceso de envasado y disminuir los riesgos de contaminación cruzada, incrementando la inocuidad de los alimentos.

Comodidad personalizada

Aunque los procesadores comparten objetivos comunes como inocuidad alimentaria y eficiencia operativa, ninguna línea de producción es igual. Por esta razón, es importante buscar opciones personalizadas que respondan a las necesidades específicas que hagan más eficiente cada etapa del proceso. (IALIMENTOS, 2017)

La automatización es una solución a la alta rotación del personal y permite incrementar la consistencia en las distintas etapas del proceso. Los procesadores pueden aprovechar las ventajas de la automatización en la carga de bolsas, el envasado al vacío y en la estación de sellado. Las respuestas se adaptan y personalizan para un amplio rango de tamaños y formas de productos, permitiendo trabajar con diferentes formas y texturas. (IALIMENTOS, 2017)

2.2. Chocolate

2.2.1. Datos relevantes

El cultivo de cacao se da con mayor facilidad en la región litoral y amazónica del país, ver *Figura 4*, su fruto es una mazorca que contiene granos cubiertos de una pulpa rica en azúcar. “En el país se cultivan dos tipos de cacao: el cacao CCN-51 y el denominado cacao nacional. Ecuador es el país con la mayor participación en este segmento del mercado mundial” (Guerrero, 2013).



Figura 4. Cultivación del cacao
Fuente: (España, 2018)

2.2.2. Historia del cacao

El cultivo y consumo del cacao data de hace 2000 años por las civilizaciones toltecas, aztecas y mayas; se han encontrado datos de una variedad de cacao en la amazonia que datan de hace 5000 años.

Durante la conquista de los españoles los granos de cacao eran utilizados como moneda de comercio y también para preparar bebidas, sin embargo un siglo después las semillas fueron llevadas a Europa en donde se crearon nuevas recetas añadiendo distintos elementos como la vainilla. En el siglo XIX luego de varios años de investigación y pruebas, los suizos, lograron elaborar el primer chocolate a base de leche, empezando así una industria mundial. (España, 2018)

2.2.3. Producción de cacao

Para obtener una producción sustentable de cacao con labores mínimas necesarias se deben tener en cuenta dos puntos: el tipo de suelo y las condiciones climáticas adecuadas.

En cuanto al establecimiento de una plantación de cacao, esta incluye los costos de instalación: preparación del suelo, plantación de árboles de sombra y de cacao, podas de formación, control de malezas, aplicación de fertilizantes y otros productos. Asimismo se requiere la construcción de la infraestructura que incluye caminos internos, canales de drenaje y riego, viveros, fermentadores y secadoras.

Hay que recalcar que la mayoría de productores de cacao prefieren utilizar métodos de prevención y de control naturales, pese a no contar con certificaciones de ser orgánicos. (Guerrero, 2013)

2.2.4. Industrialización del cacao

Para utilizar el cacao en líneas de producción se debe realizar el desgrane del cacao, como se muestra en *Figura 5*.



Figura 5. Desgrane del cacao
Fuente: (España, 2018)

Posterior al desgrane del cacao se procede a realizar la fermentación del mismo, lo cual consiste en evitar que se pierda el aroma y la esencia del producto cubriéndolo con hojas de banano, *Figura 6*, para luego proceder a secar el grano para dar relevancia a su sabor y color a chocolate,

las condiciones que conlleva este proceso depende directamente del tipo de grano que se utilice y del producto final que se desea.



Figura 6. Fermentación del cacao



Figura 7. Secado del cacao

Fuente: (España, 2018)

Para continuar con la industrialización del grano de cacao es necesario descascararlo; posteriormente se lo alcaliniza para quitar acides y resaltar el color y sabor del grano, este proceso se lo conoce como Torrefacción.



Figura 8. Trituración de pepa de cacao



Figura 9. Torrefacción del cacao

Fuente: (España, 2018)

Una vez tostadas la pepas de cacao se procede a realizar una segunda molienda para obtener: licor de cacao, manteca de cacao y torta de cacao, separando los residuos que no se pueden utilizar en la industrialización.



Figura 10. Molienda del cacao



Figura 11. Refinación del chocolate

Fuente: (España, 2018)

Al terminar este proceso se pueden tomar dos alternativas diferentes, utilizar la manteca para fabricar chocolate o utilizar la torta para producir polvo de cacao.

“Entre los productos exportables al fin están: cacao en grano, pasta de cacao, polvo de cacao, torta de cacao, manteca de cacao, chocolate y hasta la cascara y demás residuos”. (Guerrero, 2013)

Al tomar la alternativa de fabricar productos de chocolate con una textura fina y de calidad, se procede a realizar el proceso de refinación del mismo, el cual consiste en pasar la mezcla por un grupo de rodillos como se observa en la

Figura 11 II.

La siguiente etapa para obtener un chocolate de calidad es el conchado, **Figura 12**, el cual consiste en amasar la mezcla hasta que alcance toda su finura y untuosidad, este proceso puede

durar horas o incluso días; en el cual se perderán aromas amargos y ácidos, resaltando el desarrollo de los aromas más preciados en el chocolate. El conchado junto con la torrefacción son los procesos clave en la elaboración de chocolate.



Figura 12. Conchado del chocolate
Fuente: (España, 2018)

2.2.4.1. Templado de chocolate

El chocolate comercial en su mayoría contiene grasa en estado sólido, es muy importante tener en cuenta los posibles estados cristalinos del chocolate para la producción, y así poder comprender de mejor manera el templado.

Las desventajas de no conocer y no llevar una correcta cristalización se verá reflejada en reclamos hacia el fabricante por parte del consumidor final, en ocasiones se encuentran estos problemas en el mismo proceso, por ejemplo en productos cuya superficie se encuentra pegajosa se los detecta en la parte de empaquetado, incluso que el producto no tiene el brillo deseado, fractura y color para salir al mercado.

Otra manera de determinar que el templado no se realizó de la manera adecuada, es en el almacenamiento, en donde se puede encontrar productos cuya superficie tiene un velo blanco, o también motas blancas de gras de 1 mm de diámetro.

Sin importar el chocolate que se utilice para producir determinados artículos, es esencial asegurar que la grasa del chocolate se encuentre en el estado cristalino correcto para alcanzar la textura óptima. (Mogues, 2005)

2.2.4.2. Fundamento del templado industrial del chocolate

El templado básicamente implica el enfriamiento requerido para que se formen el tipo de cristales deseado. Durante esta operación, la cual consiste en inducir la precristalización parcial de la manteca de cacao, la cantidad de partículas sólidas aumenta ligeramente y por ende también su viscosidad.

En el proceso del templado se puede identificar 4 etapas que muestra la *Figura 13*, las cuales se describen a continuación:

- Primera etapa: Teniendo como premisa que la alimentación continua y dosificada de la maquina templadora se realiza con chocolate completamente libre de cristales, esto quiere decir que se encuentra a una temperatura entre 41 y 45 °C.
- Segunda etapa: Consiste en enfriar el chocolate que se obtuvo como resultado de la primera etapa, reduciendo gradualmente la temperatura para estimular la siembra y formar las primeras fases del crecimiento de cristales. Para evitar la solidificación incontrolada de la mezcla se tiene la necesidad de elevar la temperatura de la misma.

- Tercera etapa: Aquí se procede a recalentar la mezcla de manera gradual para generar algo de calor extra, el mismo que viene a ser 0,9 J/g para la manteca de cacao. (Mogues, 2005)
- Cuarta etapa: Conocida como etapa de retención, inicia la maduración cristalina en un tiempo establecido, manteniendo un control de temperatura continuo hasta obtener la calidad del producto deseada, cabe recalcar que la agitación producida durante el proceso de templado, ayuda al reparto de núcleos para crear una estructura fina y homogénea de cristales pequeños. Es de vital importancia dejar el tiempo suficiente para maduren los cristales de la mezcla.



Figura 13. Etapas del templado
Fuente: (Fusades, 2013)

Una vez concluido el templado del chocolate, dependiendo del producto final que se desee, se realizará el moldeo y enfriamiento de la mezcla, para luego proceder a empaqueta y distribución.

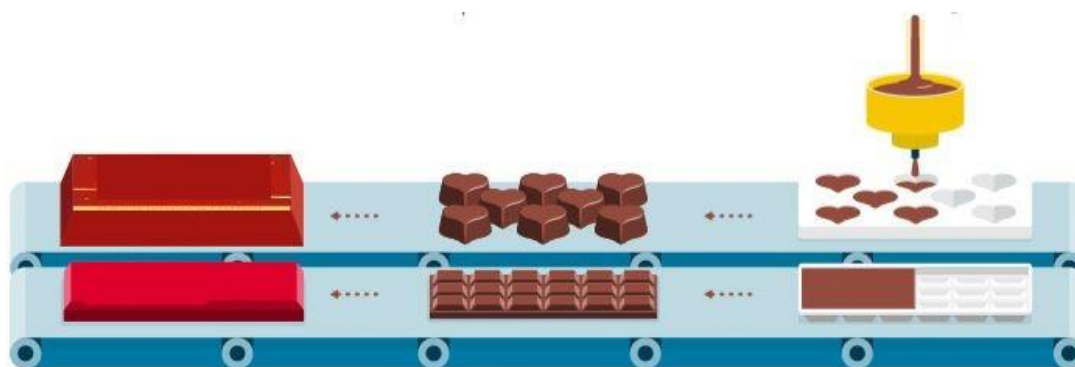


Figura 14. Moldeado y empaquetado
Fuente: (España, 2018)

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO

En el presente capítulo se describen las necesidades y requisitos para el funcionamiento de la máquina templadora de chocolate, además se realiza una revisión del funcionamiento y estructura de máquinas templadoras existentes en el mercado, con lo cual se realiza un bosquejo para determinar las partes, componentes y sistemas que forman parte de la máquina templadora de chocolate. Concluida dicha revisión se realiza el diseño mecánico, eléctrico y electrónico de los sistemas que forman parte de la máquina templadora de chocolate, los mismos que son controlados mediante una lógica de control que se desarrolla en el siguiente capítulo.

3.1. Requisitos

El levantamiento de requisitos se lo realizó con la asesoría y dirección de los directivos de la empresa INEDULCES a través de reuniones, en las cuales se pudieron levantar las características de funcionamiento, seguridad y automatización de la máquina en sí, las cuales se describen a continuación:

- Material de fabricación de la máquina.- Al ser una empresa de productos alimenticios se define que el material en el que se realizará la fabricación de la máquina es acero inoxidable según la norma AISI 304.



Figura 15. Plancha acero inoxidable AISI 304
Fuente: (GoodFellow, 2018)

- Capacidad de almacenamiento de la máquina.- Dada la producción que tiene en la actualidad la empresa y lo que se espera producir a futuro, se determina que la capacidad de la olla sea de 25kg, que se encuentra dentro de los parámetros comerciales.
- Sistema de realimentación y dosificación de chocolate.- En vista que las máquinas que se encuentran en el medio comercial constan de un sistema de realimentación continuo, ver **Figura 16**, se realiza una investigación correspondiente para validar la implementación del mismo, el funcionamiento de este sistema depende de un tornillo sin fin (tornillo de Arquímedes), el cual se encarga de realimentar el chocolate manteniendo un flujo constante. La dosificación del chocolate se lo realiza por el mismo conducto de realimentación, para ello se detiene por un lapso de tiempo determinado el giro del tornillo sin fin para proceder a la dosificación en los moldes.

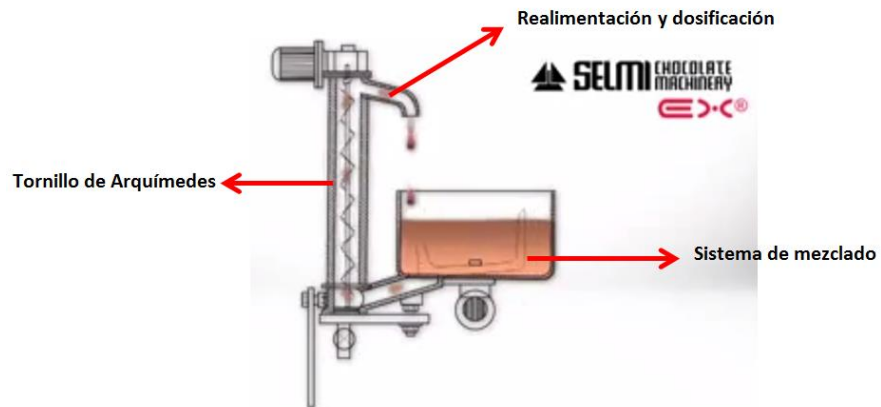


Figura 16. Funcionamiento sistema de realimentación
Fuente: (Selmi, 2018)

- Temperatura de funcionamiento.- El proceso de templado de chocolate opera dentro de un rango de temperatura de 20°C a 50°C, como se muestra en la **Figura 17**, por lo cual ese será el rango de funcionamiento de la máquina, siendo 60°C la temperatura máxima a la que puede llegar.

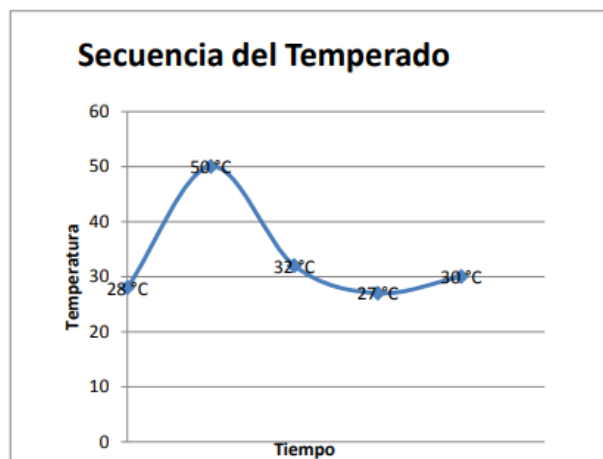


Figura 17. Curva de temperatura del proceso de templado del chocolate

- Características eléctricas.- Dado que los equipos que maneja la empresa funcionan a un voltaje de 220 Voltios trifásico a 60 Hz, los equipos y elementos a utilizar en la parte de potencia y control se deben regir a este voltaje de funcionamiento, para evitar gastos innecesarios y posibles daños en los sistemas de la máquina.
- Sistema de control.- El funcionamiento principal de una máquina templadora es mantener el chocolate a una cierta temperatura con el fin de que los ingredientes formen una mezcla homogénea, para lo cual la máquina consta de un sistema de calentamiento eléctrico en el cual se plantea implementar un control de temperatura automático, otra parte vital de una máquina templadora es el sistema de mezclado del chocolate de manera continua a una velocidad constante, además la máquina debe contar con un sistema de dosificación como se indicó anteriormente.

3.2. Estructura mecánica

En esta sección se plantea el diseño para la estructura mecánica de la máquina, para ello se considerarán los requisitos establecidos en el apartado anterior.

3.2.1. Ergonomía de la máquina templadora de chocolate

Primero la altura de trabajo de la máquina templadora de chocolate se la plantea según las normas de ergonomía para trabajos en los que la persona permanezca de pie por un largo periodo de tiempo, según la *Figura 18*, la cual indica que la altura de la superficie de la máquina templadora se debe encontrar entre 90 y 110 cm de altura a nivel de piso. Para asegurar la ergonomía para cualquier operador de la máquina se colocarán patas fijas

regulables, las cuales también ayudarán a mantener la máquina templadora a nivel y estable. Según la norma **UNE-EN 1005-2:2004+A1:2009**, (Álvarez, 2015).

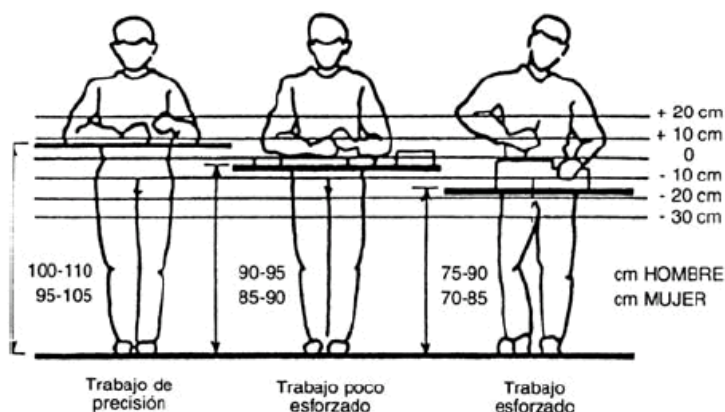


Figura 18. Ergonomía para trabajo de pie
Fuente: (Álvarez, 2015)

3.2.2. Dimensionamiento de olla para mezcla

En esta sección se dimensiona la olla en la cual se realiza la mezcla de los ingredientes que intervienen en el proceso de templado, para ello se toma en cuenta el requisito de capacidad solicitado por la empresa, el cual es de 25 kg. Para poder realizar un correcto dimensionamiento de este elemento es necesario conocer la densidad del chocolate líquido (Fitzgerald, 2012), para chocolate que contiene un 70% de cacao:

$$\rho_{choc} = 1246 \frac{kg}{m^3} \quad (1)$$

Al tratarse de una olla cilíndrica se procede a calcular el volumen de la misma utilizando la siguiente fórmula:

$$V_{olla} = \frac{\text{Capacidad [kg]}}{\rho_{choc} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} \quad (2)$$

Reemplazando los valores de capacidad y densidad conocidos se obtiene lo siguiente:

$$V_{olla} = \frac{25 \text{ [kg]}}{1246 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]} \quad (3)$$

$$V_{olla} = 0,020064 \text{ m}^3 = 20064 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

Obteniendo el valor de la fórmula (4) se procede a calcular las dimensiones de la olla, para lo cual se utiliza la fórmula de volumen de un cilindro:

$$V_{cilind} = \pi * r^2 * h \quad (5)$$

Dónde h es la altura del cilindro y r el radio de la base, como se ve en la **Figura 19**

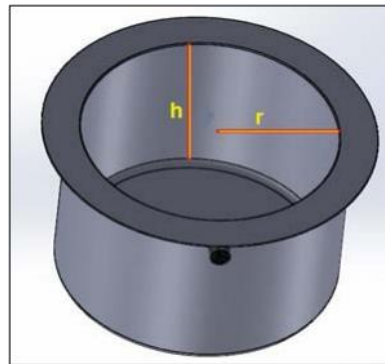


Figura 19. Diseño de la olla

Para el obtener las dimensiones estimadas de la olla se asume un diámetro de 30 cm en la base de la misma, debido a que el lugar en donde se colocará la máquina es de 1 metro cuadrado de área; además se selecciona este diámetro para mantener un distribución

uniforme en la olla y una buena transferencia de temperatura, y se procede al cálculo de la altura

$$20064 \text{ cm}^3 = \pi * (15 \text{ cm})^2 * h \quad (6)$$

$$h = 28,39 [\text{cm}] \approx 30 [\text{cm}] \quad (7)$$

En la base del recipiente que contiene la mezcla se coloca una rejilla la misma que sirve como conexión entre el recipiente y el tornillo sin fin para la realimentación de la mezcla, como se observa en la **Figura 20**

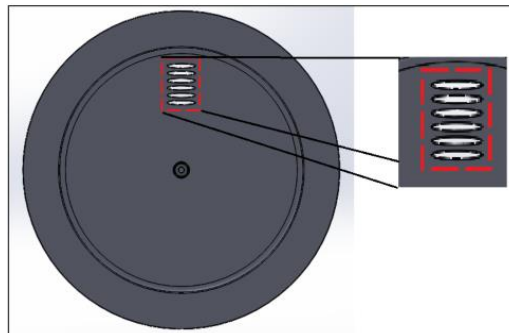


Figura 20. Orificio base inferior

La normal NTE-INEN-NE-1672-2, en la cual consta en el apartado 5.2, acerca de los materiales de fabricación en industria alimenticia dice:

“Los equipos y utensilios que intervienen en el proceso de fabricación de alimentos, cumplirán con los siguientes requisitos:

- a) Deben ser de material inalterable, inoxidable y de superficies interiores lisas;
- b) Ser diseñados de tal manera que facilite su inspección y limpieza;

- c) Permanecer en buen estado de funcionamiento durante todo el proceso y evitar que cualquier sustancia utilizada en el mismo, tales como lubricantes y otros, no constituyan riesgo de contaminación para el producto alimenticio;
- d) Las instalaciones estarán ordenadas de acuerdo con una línea funcional de producción y distribución;
- e) El equipo se mantendrá permanentemente limpio y desinfectado antes y después de cada proceso, utilizando sustancias permitidas;
- f) Las cubiertas de las mesas de trabajo serán lisas con bordes redondeados de material impermeable, inalterable y/o inoxidable, que permita una fácil limpieza” (INEN, 2017)

Tabla 1

Especificaciones técnicas de la olla

Nombre	Especificaciones
Altura	30 cm
Diámetro	30 cm
Capacidad	25 kg
Material	Acero inoxidable AISI 304 3mm

Una vez dimensionado el recipiente que contendrá la mezcla de chocolate se debe seleccionar el tipo de agitador del sistema, para lo cual se necesita conocer la densidad del chocolate que utiliza la empresa, dicho dato se puede observar en la fórmula (1).

Ya que el proceso de templado de chocolate utiliza un fluido no-newtoniano, es decir que puede tomar diferentes valores de viscosidad en el tiempo, se utiliza la **Figura 21** para determinar el tipo adecuado de agitador que se va a utilizar.

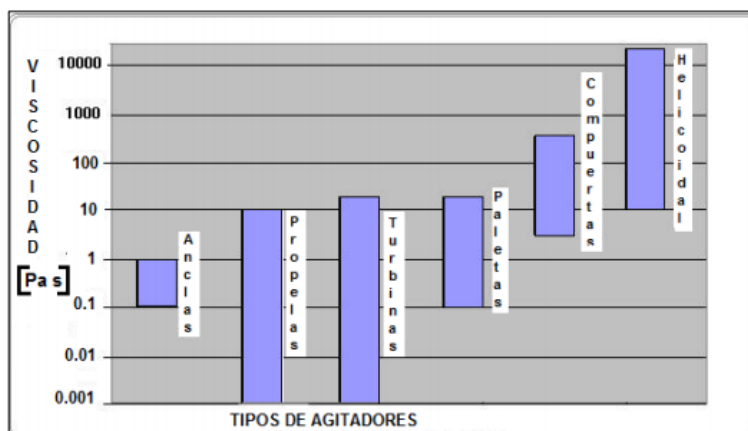


Figura 21. Tipos de agitadores por viscosidad

Conociendo que para el proceso de templado el chocolate debe ser ligeramente viscoso para que el moldeo se realice de la manera adecuada se plantea utilizar un agitador tipo ancla, el cual consta de una pequeña variación para asegurar la agitación de la mezcla.

A continuación se muestra el diseño del agitador que está formado por dos aspas, las cuales están distribuidas como se puede observar en el ANEXO B.

El material de fabricación de las aspas debe cumplir con la norma NTE-INEN-1672-2, antes citada.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del agitador

Nombre	Especificaciones
Altura aspa 1	25 cm
Distancia al eje aspa 1	14,5 cm
Altura aspa 2	12,5 cm
Distancia aspa 2	7,5 cm
Material	Acero inoxidable AISI 304 3mm

3.2.3. Dimensionamiento de sistema de calentamiento

El sistema de calentamiento es parte fundamental de la máquina templadora de chocolate, ya que el templado depende directamente del mismo, para determinar la potencia del sistema de calentamiento se utilizan los siguientes datos:

Tabla 3

Datos para cálculo de potencia del sistema de calentamiento

Variable	Nombre	Especificaciones
m	Masa	25 kg
c	Calor específico del chocolate	0,56 kcal/kg°C
Ti	Temperatura inicial	24 °C
Tf	Temperatura final	38 °C
t	Tiempo de calentamiento	6 min

$$\Delta Q = m * c * \Delta T \quad (8)$$

$$\Delta Q = 25Kg * 0,56 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} * (38 - 24)^{\circ}C \quad (9)$$

$$\Delta Q = 196 kcal \quad (10)$$

Una vez determinada la variación de energía calorífica, se procede a transformar a energía para obtener la potencia necesaria en base al tiempo deseado.

$$1 kcal = 4186 J \quad (11)$$

$$Energía = 196 kcal * 4186 \frac{J}{kcal} = 820456 J \quad (12)$$

$$P = \frac{Energía}{t} \quad (13)$$

$$P = \frac{820456 J}{320 s} \quad (14)$$

$$P = 2279,01 W \quad (15)$$

3.2.4. Dimensionamiento de la estructura de la máquina

Una vez dimensionada la olla se procede a dimensionar el cuerpo que contiene a la misma, además de los motores y el sistema de calentamiento para la mezcla.

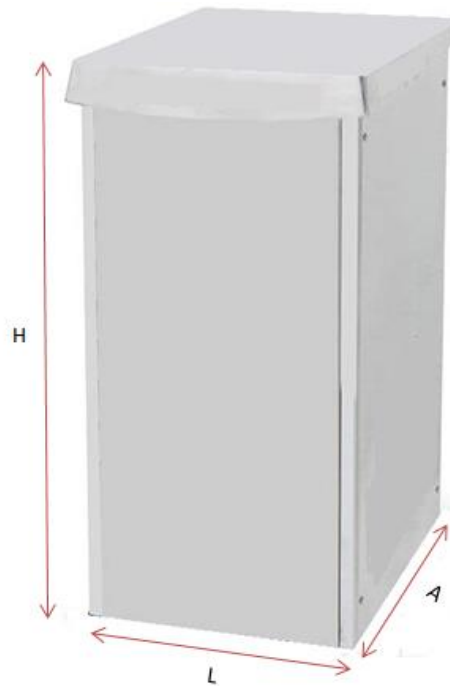


Figura 22. Estructura de máquina templadora

Utilizando el apartado de ergonomía y las medidas tanto de la olla como del tornillo sin fin se decide tomar las medidas que se observan en la **Figura 22**, para el cuerpo de la máquina, los planos del mismo se pueden observar en el ANEXO C.

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la estructura de la máquina

Nombre	Especificaciones
Altura	110 cm
Ancho	60 cm
Profundidad	60 cm
Anclaje	Pata fija regulable
Material	Acero inoxidable AISI 304 3mm

3.2.5. Tornillo de Arquímedes o tornillo sin fin

La función que va a desempeñar el tornillo sin fin es la de realimentar el chocolate durante el proceso de templado y dosificar el mismo en el proceso de moldeado, como se puede ver en la **Figura 16**. Este elemento no se dimensiona ya que la empresa posee un tornillo sin fin, el mismo que será utilizado en la máquina templadora de chocolate.

En la industria alimenticia se utilizan dos tipos de materiales para la fabricación de tornillo sin fin, acero inoxidable y polímero de alta densidad, para la máquina se utiliza un tornillo sin fin de polímero de alta densidad (duralón) con una longitud de 56 cm



Figura 23. Funcionamiento tornillo de Arquímedes

Como se puede observar en la **Figura 23**, el principio de funcionamiento de un tornillo sin fin es realizar el transporte de material mediante un espiral, basado en el principio de Arquímedes. Una de las ventajas de este mecanismo es que se lo puede utilizar en diferentes ángulos desde horizontal hasta vertical.

Son muy utilizados en la industria ya que pueden transportar diversos tipos de materiales, ya sean sólidos o líquidos, dependiendo solamente del diseño del mecanismo en sí. A este mecanismo se lo puede adaptar en distintas combinaciones para acoplarlo al proceso, dependiendo del sistema de dosificación de materia prima y el conducto o forma de salida del material.

Tabla 5

Especificaciones técnicas del tornillo sin fin

Nombre	Especificaciones
Longitud	56 cm
Diámetro externo	7,5 cm
Diámetro eje	2,54 cm
Paso	2,5 cm
Material	Duralón

3.3. Diseño de subsistemas de instrumentación y control

En este apartado se realiza el diseño de las etapas de instrumentación y control, el mismo que debe cumplir con los requisitos de funcionamiento solicitado por el personal de la empresa.

3.3.1. Sensores

3.3.1.1. Requisitos

Como se detalla en la *Figura 17*, la temperatura de trabajo dentro del proceso varía entre 20 y 50 °C, por lo cual el rango mínimo de trabajo del sensor debe estar dentro de estos parámetros. Además debe poseer las siguientes características

- Compacto
- Robusto
- Señales de rango industrial (4-20mA o 0-10V)
- Fácil montaje
- Mantenga contacto con la sustancia a medir

3.3.1.2. Criterios de funcionamiento

Al tratarse de un proceso en el cual se maneja un líquido en cambio constante de temperatura, quedan descartados los sensores cuya medición no tienen contacto con el producto; ya que la temperatura de trabajo no es elevada y se sobredimensionaría el sensor. Siendo la opción más viable un sensor de contacto tipo sumergible que no contamine el líquido a medir.

Los cuales pueden ser:

- Termómetros de resistencia (RTD)
- Termopares
- Bimetálicos

3.3.1.3. Selección

Se decide seleccionar un sensor tipo RTD (PT100), ya que en la industria alimenticia es muy utilizado debido a su material de fabricación, su fácil instalación, su rango de funcionamiento, sus dimensiones y las señales que utiliza (4-20mA). Además este tipo de sensor se lo puede sumergir en la sustancia a medir sin contaminar la misma. A continuación se muestran las características del sensor seleccionado.



Figura 24. Sensor RTD (PT100)



Figura 25. Transmisor 4-20mA

Fuente: (HERTEN, 2013)

Tabla 6

Especificaciones técnicas del sensor

Nombre	Especificaciones
Temperatura de trabajo	-40 °C a 85 °C
Técnica de conexión	2 Hilos
Protección	IP 55
Longitud PT100	4cm
Tipo anclaje	Rosca ½" NPT
Material	Acero inoxidable 316

Fuente: (HERTEN, 2013)

Tabla 7*Especificaciones técnicas del transmisor*

Nombre	Especificaciones
Tensión de alimentación	6 – 32 VDC
Técnica de conexión	2-3-4 Hilos
Precisión	0,1 °C 16bits de resolución
Señal de Salida	Lineal con temperatura 4 – 20 mA
Calibración	NFC
Diámetro	4,5 cm
Alto	2,3 cm
Material	Silicona epoxy

Fuente: (HERTEN, 2013)

3.3.2. Actuadores de sistema de calentamiento**3.3.2.1. Requisitos**

Como se detalla en el apartado 3.2.3 el sistema de calentamiento debe tener una potencia de 2279 W, para reducir la carga en un solo actuador se decide utilizar 4 resistencias eléctricas tubulares metálicas de 625 W cada una, por lo cual se necesita un tipo de actuador que se encargue de la activación y control de las mismas.

3.3.2.2. Criterios de funcionamiento

Existen diversos tipos de actuadores para sistemas electrónicos, con el fin de proteger la unidad de control se pueden considerar 2 tipos:

- Electromagnéticos
- Electrónicos

3.3.2.3. Selección

Se decide utilizar actuadores tipo electrónico ya que al trabajar con elementos de temperatura el tiempo de activación y protección en caso de corto circuito son de vital importancia, estos actuadores constan de protecciones internas las mismas que brindan seguridad protegiendo a los elementos de control. A continuación se detallan las características de los actuadores seleccionados.



Figura 26. Relé de estado sólido
Fuente: (QWIFM, 2014)

Tabla 8

Especificaciones técnicas de actuador de sistema de calentamiento

Nombre	Especificaciones
Corriente de carga	100 A
Voltaje de carga	90 – 480 Vac
Voltaje de control	80 – 250 Vac
Temperatura de funcionamiento	-30 °C a 75 °C
Dimensiones	5,8x4,5x2,8 cm

Fuente: (QWIFM, 2014)

3.3.3. Controlador

3.3.3.1. Requisitos

Como se detalla en el apartado de sensores es necesario el procesamiento de señales analógicas por parte del controlador, así como señales digitales de entrada y salida.

Debe contar con la capacidad de funcionar en ambientes agresivos (partículas de polvo, agua, cambios de temperatura, etc.), ya que la máquina se encontrará dentro de una línea de producción.

Capacidad de conexión con dispositivos de visualización de estándar industrial.

Poca capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos, ya que será supervisado en tiempo real. Sin necesidad de conexión a un PC.

3.3.3.2. Opciones de selección

Al tratarse de manejo de distintos datos y entradas se pueden considerar las siguientes opciones:

- Micro controladores
- Tarjetas de adquisición de datos (DAQ)
- Controlador lógico programable (PLC)

3.3.3.3. Criterios de funcionamiento

Existen diversos puntos que se pueden considerar como criterios de funcionamiento para un controlador, a continuación se detallan algunos de ellos:

- Entradas y salidas digitales y analógicas
- Capacidad de programa y memoria
- Comunicaciones
- Escalabilidad (Voltaje de alimentación)
- Software (Libre o pagado)
- Precio
- Servicio técnico

3.3.3.4. Especificaciones mínimas

Para el sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate, se van a considerar las siguientes entradas tanto discretas como analógicas que se describen a continuación en la **Tabla 9**, también se describe la **Tabla 10** que contiene la lista de elementos que se van a controlar durante el proceso del templado del chocolate.

Tabla 9

Lista señales y tipo de entrada del proceso

ENTRADA	TIPO
Botón de Inicio	Discreta
Botón de Paro	Discreta
Pedal eléctrico	Discreta
Sensor de temperatura (PT100)	Análoga

Tabla 10

Lista señales y tipo de salida del proceso

SALIDA	TIPO
Motor 1 (función de mezclado)	Discreta
Variador de frecuencia (tornillo sin fin)	Discreta
Resistencia 1	Discreta (PWM)
Resistencia 2	Discreta (PWM)

3.3.3.5. Tipo de controlador seleccionado

Tomando en cuenta los puntos mencionados en el apartado anterior se decide optar por utilizar un controlador lógico programable (PLC), ya que cumple con los requisitos mínimos establecidos y con los siguientes criterios:



Figura 27. PLC y módulo de entradas análogas
Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 11*Especificaciones técnicas del controlador*

Nombre	Especificaciones
Tipo CPU	1214C
Configuración CPU	AC/DC/RLY
Dimensiones	11x10x7,5 cm
Entradas digitales	14 entradas
	Tipo sumidero/fuente
	Tensión nominal 24VDC a 4mA
Salidas digitales	10 salidas
	Tipo relé
	Rango de voltaje: 5- 30 VDC ó 5 250 VAC
	Corriente máxima 2.0 A
Entradas analógicas	2 entradas
	Tipo tensión (unipolares)
	Rango: 0 – 10 V
	Resolución 10 bits
Tensión de alimentación	110 – 220 Vac 50 - 60 Hz

Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 12*Especificaciones técnicas de módulo en entradas analógicas*

Nombre	Especificaciones
Número de entradas	4 entradas analógicas
Resolución	13 bits
Tipos de entradas	±10 V DC ±5 VDC
	±2,5 VDC ó 0-20 mA
Tensión de alimentación	24 VDC

Fuente: (Siemens, 2019)

3.3.4. Diseño de técnica de control

Existen diferentes tipos de controladores, tales como:

Control Todo – nada (ON/OFF).- Este tipo de control presenta un comportamiento muy oscilante y una señal de control con variaciones, lo cual no es recomendable si se requiere precisión.

Controlador Proporcional (P).- Este tipo de controlador actúa sobre el error del sistema, depende directamente de la ganancia para solucionar el mismo, sin embargo al reducir el error aumenta la oscilación del sistema teniendo como resultado un tiempo de establecimiento lento.

Controlador Proporcional Derivativo (PD).- Este tipo de controlador actúa sobre el error del sistema y su derivada, el tiempo derivativo implica una predicción del error en la respuesta transitoria, tiene problemas con ruidos externos, lo cual en su implementación genera un gasto adicional al necesitar filtros de alta frecuencia, disminuye la sobreoscilación por el efecto anticipativo de la acción derivativa.

Controlador Proporcional Integral (PI).- Este tipo de controlador actúa sobre el error del sistema y su integral, este controlador establece el tiempo que se demora en alcanzar la estabilización del sistema, tiene el mismo problema de oscilación que el controlador proporcional.

Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID).- Este tipo de controlador actúa sobre el error del sistema, su integral y su derivada, siendo una combinación de los controladores antes explicados como resultado se obtiene un sistema con bajo sobreimpulso y tiempo de estabilización corto, es uno de los más utilizados en la industria debido a sus características. A nivel industrial es comúnmente utilizado

este tipo de control en sistemas de temperatura como se puede observar en la Tabla 13.

Tabla 13

Controladores utilizados en los procesos industriales

Tipo de controlador	Proceso por controlar
Proporcional (P)	Control de nivel
Proporcional – Integral (PI)	Control de flujo
Proporcional – Integral (PI)	Control de presión de líquidos
Proporcional – Integral - Derivativo (PID)	Control de temperatura

Fuente: (Hernández, 2010)

3.3.4.1. **Identificación de la planta**

Para realizar la identificación de un sistema en tiempo son necesarios varios puntos, entre ellos:

- Señal de excitación
- Tarjeta o módulo de adquisición de datos
- Software de cómputo numérico para procesamiento de datos

Señal de excitación.- Uno de los tipos de señales más utilizadas en el proceso de identificación de sistemas es la señal PRBS (Secuencia Binaria Pseudo-Aleatoria), la cual genera dos tipos de valores (0 y 1) aleatorios, esta señal es de tipo periódica, determinística y tiene propiedades similares al ruido blanco.

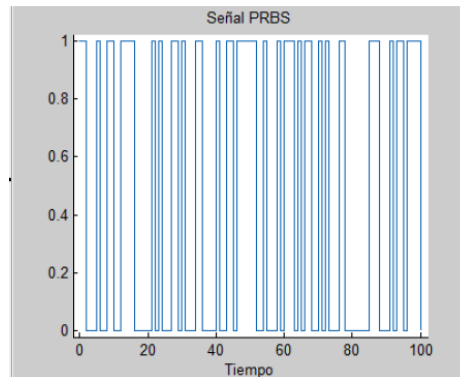


Figura 28. Señal PRBS

Tarjeta o módulo de adquisición de datos.- Como su nombre lo indica es la encargada de adquirir los datos de la planta, los mismo que son resultados de la señal de excitación. En este caso se utiliza el módulo de entradas analógicas del PLC, cuyas especificaciones se indican en la **Tabla 12**, estos datos son almacenados y procesados por el software de cómputo.

Software de cómputo numérico.- Dentro de los diversos tipos de software que existen en el mercado, uno de los más utilizados debido al gran número de herramientas y procesos que maneja es MATLAB, con el cual se procede a filtrar los datos adquiridos con el módulo y utilizarlos para identificar la función de transferencia de la planta.

Una vez que se tienen los datos en el software se procede a utilizar la herramienta **Ident** de MATLAB, la cual utiliza los datos de entrada y salida para modelar una función de transferencia con cierto grado de estimación. Obteniendo la siguiente función de transferencia:

$$Gs = \frac{0.0004309}{s^3 + 0.3853 s^2 + 1.182 s + 6.245e-08}$$

Figura 29. Función de transferencia Ident

Una vez identificada la planta se procede a realizar la comparación entre el modelo estimado y la planta real, de lo cual se obtiene que la aproximación entre dicho modelo y la planta a una misma señal de excitación es de 91,56%.

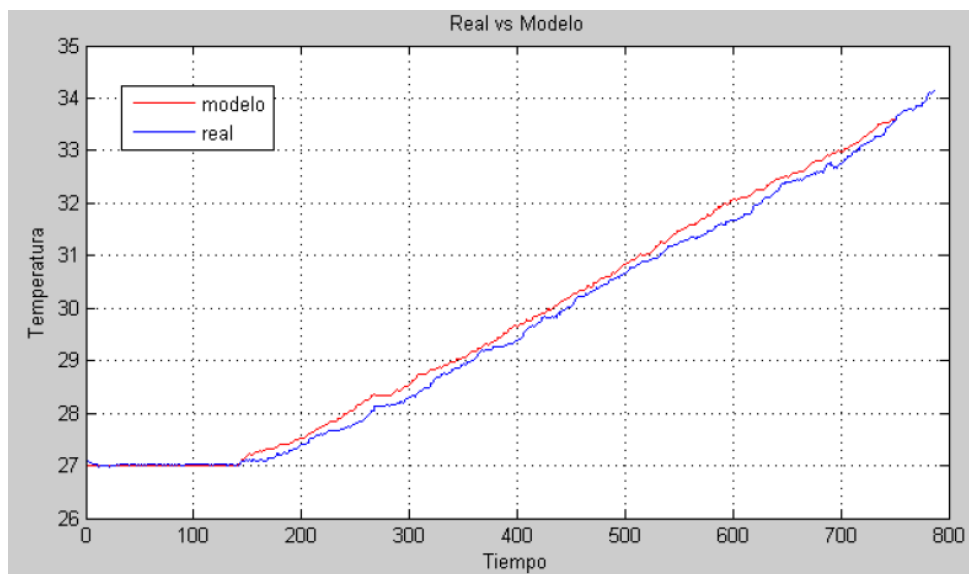


Figura 30. Comparación entre modelo estimado y modelo real de la planta

3.3.4.2. Estructura de un controlador PID

Considerando el esquema básico de control SISO, *Figura 31*, se puede observar que es necesario un controlador con el fin de obtener el comportamiento deseado del sistema.

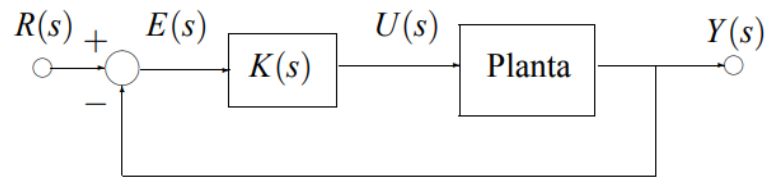


Figura 31. Esquema básico de control

Para este controlador se utiliza el siguiente modelo

$$K_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d N}{1 + \frac{N}{s}}$$

Dónde:

K_p , es la ganancia proporcional del controlador

K_i , es la ganancia integral del controlador

K_d , es la ganancia derivativa del controlador

N , coeficiente de estabilización

3.3.4.3. Sintonización del controlador PID

Una vez identificada la planta del sistema y definido el tipo de proceso a controlar, se procede a utilizar algunos de los criterios para sintonizar controladores, siendo este el método de Ziegler-Nichols.

Este método tiene dos criterios para sintonizar un controlador. El primer método utiliza la respuesta de la planta identificada a una estimulación tipo escalón en lazo abierto, la respuesta a esta estimulación para poder aplicar este método debe ser la mostrada en la **Figura 32**.

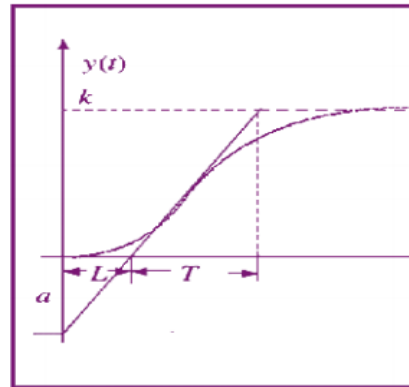


Figura 32. Curva de reacción esperada de la planta en lazo abierto
Fuente: (Anaya, Benítez, Pacheco, & Valle, 2014)

Como se puede observar en la **Figura 33**, la curva de reacción de la planta a una estimulación escalón en lazo abierto no es la esperada, por lo que no se puede aplicar el primer método.

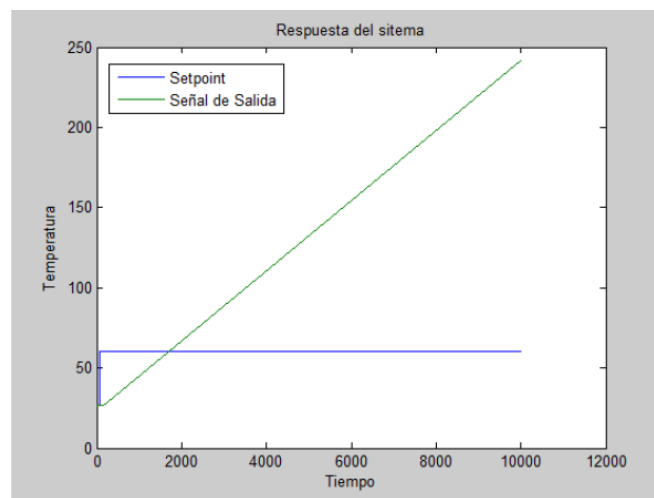


Figura 33. Respuesta al escalón de la planta en lazo abierto

El segundo método llamado “Sintonización por la ganancia crítica en lazo cerrado”, se debe encontrar un valor de ganancia con cual el sistema en lazo cerrado oscile de forma mantenida ante cualquier perturbación, de tal manera

que se pueda medir el periodo de oscilación del mismo, como se muestra en la **Figura 34**.

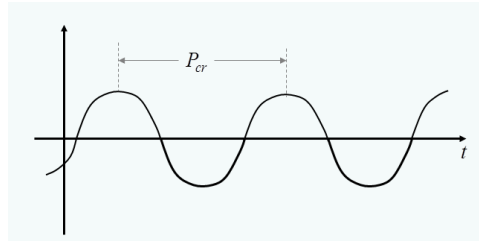


Figura 34. Oscilación sostenida ideal

Una vez encontrado el valor de ganancia crítica, el cual es $K_c=77,8$ se procede a obtener la gráfica que muestra que el sistema en lazo cerrado oscilante de manera sostenida, como se muestra en la **Figura 35**, de la cual se obtiene el periodo crítico, $T_c=220$, con el cual se pueden calcular los valores del controlador deseado en base a la Tabla 14.

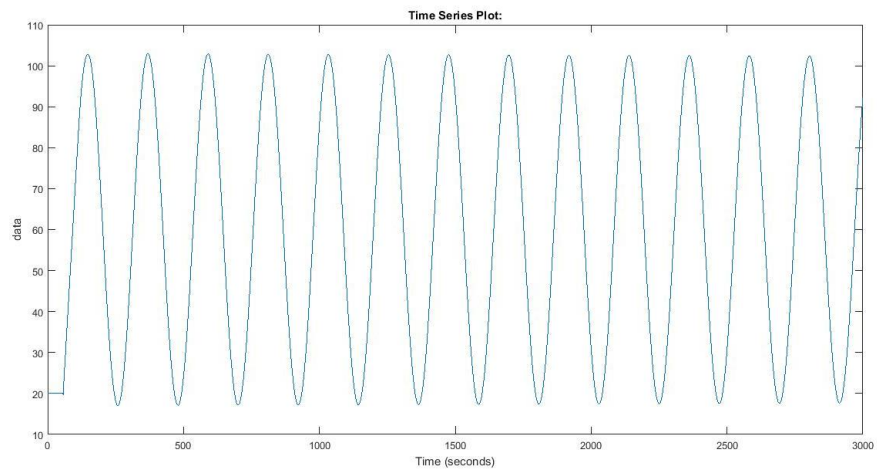


Figura 35. Oscilación sostenida de la planta

Tabla 14

Parámetros de controladores PID según el método de oscilación de Ziegler-Nichols

	Kp	Ki	Kd
P	0.50*Kc		
PI	0.45*Kc	0.54*Kc/Tc	
PID	0.6*Kc	1.18*Kc/Tc	0.074*Kc*Tc

Fuente: (Anaya, Benítez, Pacheco, & Valle, 2014)

Luego de aplicar las fórmulas de la tabla anterior se obtienen los valores de las ganancias para el controlador asumiendo un valor de la constante de estabilización de $N=0.004$

$$G_c(s) = 46,68 + \frac{0,2504}{s} + \frac{3,0398}{1 + \frac{0,004}{s}}$$

Colocando esta función de transferencia en la misma forma que la utilizada en la planta se obtiene lo siguiente

$$G_c = \frac{49.72 s^2 + 0.4371 s + 0.001002}{s^2 + 0.004 s}$$

Figura 36. Función de transferencia controlador

El esquema de la planta y el controlador a utilizar es el siguiente:

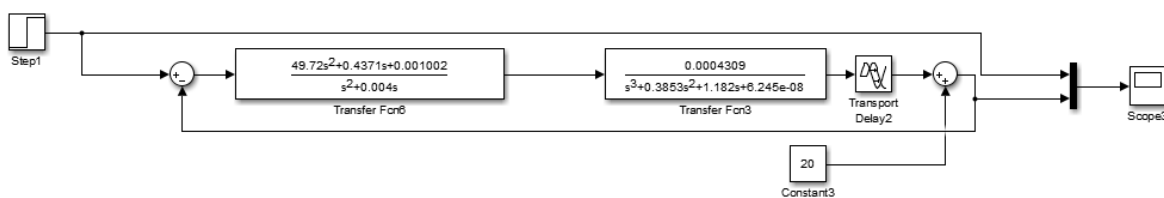


Figura 37. Esquema controlador y planta

A continuación se muestra el resultado de una entrada escalón con valor de 60°C, en donde se observa los valores de sobre impulso y tiempo de establecimiento.

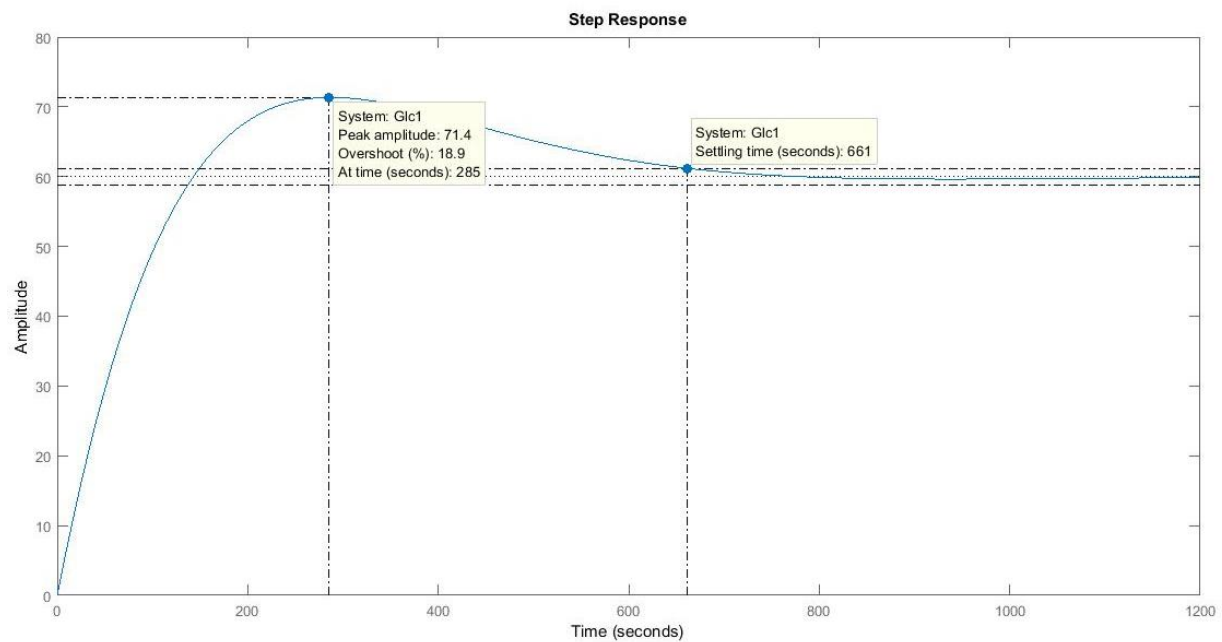


Figura 38. Respuesta al escalón

Además se simula el funcionamiento que tiene la máquina templadora de chocolate en un día normal de trabajo, en el cual tiene cambios de temperatura según la etapa que se esté utilizando para verificar el correcto funcionamiento del controlador.

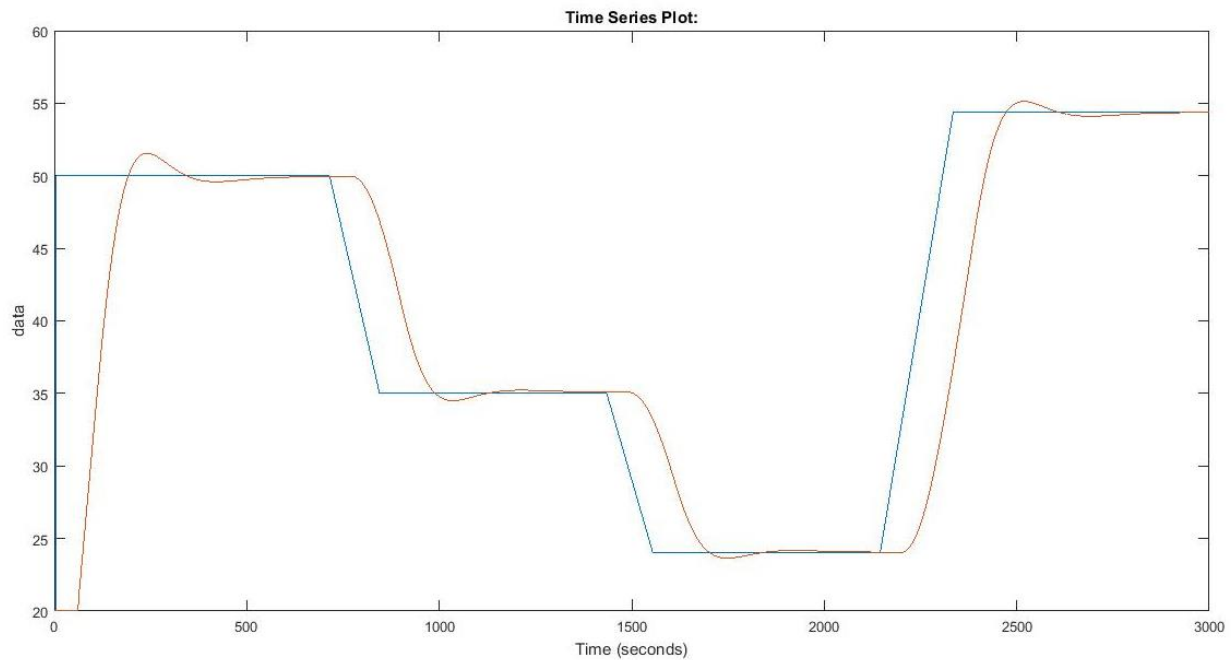


Figura 39. Simulación del proceso de la máquina templadora de chocolate

3.3.5. Interfaces de operación

3.3.5.1. Requisitos

Como se detalla en la parte inicial de este capítulo se requiere utilizar una pantalla para la operación de la máquina, ya que se desea replicar las máquinas del mercado internacional. Además debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Fácil montaje
- Comunicación Ethernet con el controlador
- Pantalla fija
- Apta para interfaz gráfica de manejo intuitivo

3.3.5.2. Criterios de funcionamiento

Existen distintas pantallas que son utilizadas para interfaz de operación, las mismas que pueden ser:

- Interfaz de hardware.- esta interfaz es aquella que depende de periféricos para su funcionamiento.
- Interfaz de software.- Es aquella que se utiliza únicamente para visualizar y controlar el estado del proceso y sus variables
- Interfaz de software - hardware.- Es aquella que establece un puente entre la máquina y el operador para de esta manera cumplir con su funcionamiento.

3.3.5.3. Selección

Ya que el funcionamiento de la máquina templadora de chocolate va a depender directamente del operador y de la supervisión del mismo se decide utilizar una interfaz tipo software – hardware, la misma que facilita este tipo de interacción y comunicación. Debido a la afinidad de la empresa con una marca se selecciona la siguiente pantalla.



Figura 40. Panel HMI
Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 15

Especificaciones técnicas de panel HMI

Nombre	Especificaciones
Tipo	KTP 400 BASIC
Tamaño de la pantalla	4" TFT
Conexión	Ethernet, USB
Número de colores	65536
Teclas de función	4
Tipo de pantalla	Táctil
Dimensiones	12,3x9,9x3,3 cm
Tensión de alimentación	24 VDC
Consumo de corriente	125 mA
Tipo de protección	IP65

Fuente: (Siemens, 2019)

3.3.6. Dimensionamiento de motores

En el proceso se utilizan dos motores, el primero se utiliza para el agitador de la mezcla y el segundo para el funcionamiento del tornillo sin fin.

3.3.6.1. Motor para el agitador

Para el dimensionamiento del motor del agitador se debe considerar el tipo de fluido que se va a mezclar, así como sus características principales como lo son: densidad y viscosidad.

La potencia se la puede calcular para la mayoría de agitadores con la siguiente fórmula:

$$SHP = \frac{Np * N^3 * D^5 * \rho_c}{Gc} \quad (16)$$

Dónde:

$SHP =$ Potencia necesaria para mover el agitador dada en $[ft - lbs/s]$

$Gc =$ Factor de conversión gravitacional, 32,22 $[lbf - ft/lbm - s^2]$

$N_p =$ Número de potencia

$N =$ Velocidad rotacional del agitador = 60 rpm = 360 rph = 1rps

$D =$ Diametro del agitador = 9,722 ft

$\rho_c =$ Densidad del fluido = $1268 \frac{kg}{m^3} = 79,16 \frac{lbs}{ft^3}$

Para ellos se calcula primero el valor de Nre, con la ecuación 9

$$N_{re} = \frac{D^2 * N * \rho_c}{\mu_c} \quad (17)$$

$$N_{re} = \frac{0,722^2 * 360 * 79,16}{5321,99} = 2,79$$

$$N_p = \left(\frac{D}{T-D}\right)^{0,5} * \left(\frac{V}{D}\right) * \left(\frac{W}{D}\right)^{0,16} * \left(\frac{n}{2}\right)^2 \quad (18)$$

$$N_p = \left(\frac{0,722}{0,262}\right)^{0,5} * \left(\frac{0,82}{0,722}\right) * \left(\frac{0,046}{0,722}\right)^{0,16} * \left(\frac{2}{2}\right)^2 = 137,16$$

Teniendo estos valores de las ecuaciones 9 y 10 las reemplazamos en la ecuación 8

$$SHP = \frac{137,16 * 1^3 * 0,722^5 * 79,16}{32,22} = 66,11 \frac{ft lbs}{s}$$

$$1 HP = 550 \frac{ft lbs}{s} \quad (19)$$

Transformando con la ecuación 11 se obtiene que

$$SHP = 0,12 HP \approx 0,25 HP$$

Por lo tanto se selecciona un motor de ¼ HP ya que es una medida comercial.

Tabla 16*Especificaciones técnicas de motor para el agitador*

Nombre	Especificaciones
Potencia	0,25 HP
Frecuencia	60 Hz
Tensión de alimentación	220 V
Revoluciones por minuto	1500 rpm
Grado de protección	IP21
Corriente nominal	2,5 A
Corriente de arranque	10,8 A
Caja reductora	Tipo engranes
	Relación 25:1
	Salida 60 rpm

3.3.6.2. Actuadores de motor para el agitador

3.3.6.2.1. Requisitos

Como se detalla en la **Tabla 16** el motor encargado de la agitación de la mezcla de chocolate en la olla tiene un consumo de corriente de 10,8 A en el arranque, y en uso nominal de 2,5 A. Con lo cual se procede a seleccionar los actuadores para el mismo.

3.3.6.2.2. Criterios de funcionamiento

Para la activación y protección de un motor son necesario 2 elementos principales como son:

- Guardamotor: encargado de proteger a la red de una sobre corriente producida por una avería en el motor.

- Contactor: encargado de comandar la activación del motor por medio de una señal de control.

3.3.6.2.3. Selección



Figura 41. Guardamotor
Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 17

Especificaciones técnicas de guardamotor

Nombre	Especificaciones
Tipo de protección resorte	Resorte
Corriente	2,8 – 4 A
Clase	Clase 10
Fusible	52 A

Fuente: (Siemens, 2019)



Figura 42. Contactor
Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 18

Especificaciones técnicas de contactor

Nombre	Especificaciones
Bobina de activación	115 VAC
Frecuencia	50 – 60 Hz
Fusible	45 A
Número de contactos	1 NO
Número de polos	3

Fuente: (Siemens, 2019)

3.3.6.3. Motor para el tornillo sin fin

Para el dimensionamiento del motor del tornillo sin fin se debe tomar en cuenta la inclinación que va tener así como el paso entre espiras y la longitud del mismo, para lo cual se utilizan los siguientes datos:

$$D_T = \text{Diametro del sin fin} = 7,5\text{cm} = 0,075\text{m}$$

$$D_E = \text{Diametro del eje} = 1" = 0,0254\text{m}$$

$$D_{tu} = \text{Diametro del tubo} = 3" = 0,0762\text{m}$$

$$\text{Paso} = 2,5\text{cm} = 0,025\text{m}$$

$$L = \text{Longitud del sin fin} = 56\text{cm} = 0,56\text{m}$$

$$\text{Sep} = \text{Separación entre tornillo y tubo} = 0,0035\text{m}$$

$$P = P_H + P_N \quad (20)$$

$$P_N = \frac{D_T * L}{20} \quad (21)$$

$$P_N = \frac{0,0762 * 0,56}{20} = 0,002134 \text{ kW}$$

$$P_H = \frac{C_O * Q * L}{367} \quad (22)$$

Para lo cual se necesita calcular el valor de Q, ya que el Co (coeficiente de inclinación) es 1 debido a que el sin fin se encuentra en posición vertical, para lo cual se tiene lo siguiente:

$$S = \frac{\gamma * \pi * D_{tu}^2}{4} \quad (23)$$

$$S = \frac{0,4 * \pi * 0,0762^2}{4} = 0,001824$$

$$V = \frac{Paso * n}{60} \quad (24)$$

$$V = \frac{0,025 * 60}{60} = 0,025 \frac{m}{s}$$

$$Q = 3600 * S * V * \rho_c \quad (25)$$

Para lo cual se reemplazan los valores obtenidos de las ecuaciones 15 y 16

$$Q = 3600 * 0,001824 * 0,0025 * 1,268 = 0,2082 \frac{t}{h}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 14 se tiene como resultado lo siguiente

$$P_H = \frac{1 * 0,2082 * 0,56}{36,7} = 0,31769 kW$$

Teniendo como resultado

$$P = 0,02134 + 0,31769$$

$$P = 0,33824 kW = 0,4525 HP$$

Por lo cual se selecciona un motor de ½ HP para el accionamiento del tornillo sin fin, debido a que esta parte del proceso va a manejar distintas velocidades se lo controla con un variador de frecuencia de 0,75 Hp por seguridad para el mismo.

Tabla 19

Especificaciones técnicas de motor del tornillo sin fin

Nombre	Especificaciones
Potencia	0,5 HP
Frecuencia	60 Hz
Tensión de alimentación	220 V monofásico
Revoluciones por minuto	1850 rpm
Grado de protección	IP21
Corriente nominal	3,9 A
Corriente de arranque	19,5 A



Figura 43. Variador de frecuencia

Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 20*Especificaciones técnicas de variador de frecuencia*

Nombre	Especificaciones
Tensión de alimentación	200-240 VAC monofásica
Frecuencia	50-60 Hz
Corriente de entrada	7,7 A
Tensión de salida	200-240 VAC
Corriente de salida	3,2 A
Frecuencia de trabajo	0 – 550 Hz
Carga máxima	0,75 Hp
Grado de protección	IP20

Fuente: (Siemens, 2019)

3.4. Diseño de subsistema eléctrico

Para describir el diseño del subsistema eléctrico se divide el plano general en secciones con lo cual se indica cada parte y elemento utilizado en el mismo.

Primero se detalla la parte de protección y seguridad del sistema general. Como se puede observar en el **Anexo A, sección A** se utiliza un botón tipo hongo el cual corta el flujo de energía en una línea para proteger los elementos en caso de cualquier emergencia.

En el **Anexo A, sección B** se tiene los elementos de protección en caso de sobre corriente como lo son los disyuntores eléctricos los cuales se detallan a continuación.

Para seleccionar el breaker se debe conocer la corriente que consume cada uno de los elementos que intervienen en el circuito (Córdoba Herrera, 2017). Para calcular la corriente de corte del disyuntor se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_c = 1,25 * I_n [A] \quad (26)$$

A continuación se detallan los cálculos para determinar la corriente nominal que consume el tablero con sus elementos:

$$I_n = I_{m1} + I_{m2} + I_{r1} + I_{r2} + I_{control} \quad (27)$$

$$I_n = 2,5 [A] + 3,9[A] + 10,4[A] + 10,4[A] + 3[A]$$

$$I_n = 30,2[A]$$

Reemplazando en la ecuación 26 se tiene que:

$$I_c = 1,25 * 30,2[A]$$

$$I_c = 37,75[A] \approx 40[A]$$

En base al valor obtenido de la corriente de corte del breaker se toma al valor comercial más cercano el cual es el de 40 amperios, como se observa en la Tabla 21



Figura 44. Breaker principal
Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 21*Estándares de Breaker*

Monopolar [polo x amperios]	Bipolar [polo x amperios]	Tripolar [polo x amperios]
1 x 15	2 x 15	3 x 15
1 x 20	2 x 20	3 x 20
1 x 30	2 x 30	3 x 30
1 x 40	2 x 40	3 x 40
1 x 50	2 x 50	3 x 50
1 x 60	2 x 60	3 x 60
	2 x 70	3 x 70
		3 x 100

Fuente: (Córdoba Herrera, 2017)

En el **Anexo A, sección C**, se pueden observar los actuadores que comandan a los motores como a las resistencias, los cálculos de los mismos se detallan anteriormente en este capítulo.

En el **Anexo A, sección D**, se encuentran los elementos que corresponden a la carga del tablero, es decir, el motor de agitación, el motor del tornillo sin fin y las resistencias encargadas del sistema de calentamiento.

En el **Anexo A, sección E**, se indica la conexión de las luces piloto, las cuales cumplen la función de indicar cuando el tablero esta energizado (luz amarilla), cuando el sistema se encuentra en funcionamiento (luz verde) y cuando el sistema se encuentra encendido, pero accionado el paro de proceso (luz roja).

En el **Anexo A, sección F**, se encuentran ubicados el PLC y el bloque de señales de mando para el variador, los cuales forman el sistema de control. Para la protección de las salidas del PLC se encuentran conectados los relés auxiliares para evitar un daño

eventual de las mismas. Los datos técnicos y selección se encuentran detallados en este capítulo.

En el **Anexo A, sección G**, se pueden observar las señales de entrada que comandan la programación y funcionamiento del sistema en general, dentro de las mismas se pueden observar los contactos de inicio de proceso, paro de proceso, el pedal para la etapa de moldeado, el mismo que se detalla en el capítulo 4 y la entrada analógica del sensor de temperatura.

En el **Anexo A, sección H**, se encuentra la fuente de alimentación de 24 VDC, la misma que es utilizada para alimentar las entradas del PLC y el panel HMI, las características de la misma se detallan a continuación.



Figura 45. Fuente de alimentación 24 VDC
Fuente: (Siemens, 2019)

Tabla 22*Especificaciones técnicas de fuente de alimentación*

Nombre	Especificaciones
Tensión de alimentación	110 – 220 V monofásico
Frecuencia	50-60 Hz
Corriente de salida	2,5 A
Tensión de salida	22,2 - 26,4 VDC regulable
Salidas	2
Grado de protección	IP20

Fuente: (Siemens, 2019)

CAPÍTULO 4

4. DESARROLLO DE SOFTWARE

El presente capítulo consiste en el desarrollo de la lógica de control de los procesos que realiza la máquina templadora de chocolate, además de la creación y desarrollo de las distintas pantallas de interacción entre el operador y la máquina, basado en las guías de desarrollo de interfaz humano máquina. Para validar el funcionamiento tanto de la lógica de control como de las pantallas desarrolladas se complementa este capítulo con las respectivas simulaciones.

Para el desarrollo de este capítulo se debe tomar en cuenta que se trabaja con dispositivos de la marca SIEMENS y el software TIA PORTAL que es compatible con la marca antes mencionada. Los mismos que fueron seleccionados por los propietarios de la empresa por la afinidad con la marca antes mencionada.

4.1. Lógica de control

En este apartado se desarrolla la lógica que gobierna el funcionamiento de la máquina templadora de chocolate en todas las etapas del proceso, las cuales son: templado, moldeado y lavado. Las cuales se explican en el capítulo 2.

Dentro de la lógica de control que se maneja en el sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate se tienen 4 etapas que se pueden observar en el **ANEXO D**. Siendo las siguientes:

- **Etapa de espera.**- Esta etapa como lo indica su nombre es aquella en la que la máquina se encuentra en espera de selección del proceso a realizar, manteniendo encendidos los motores de agitación y realimentación del sistema general; esto para evitar que la mezcla se endurezca y se mantenga el flujo de la misma.
- **Etapa de templado.**- Esta etapa es de vital importancia en el funcionamiento de la máquina ya que se encarga de controlar la temperatura y la velocidad de realimentación del chocolate para obtener un templado que cumpla con las especificaciones técnicas manejadas por el personal de la planta. En este proceso siguen funcionando de manera constante los motores, y se establece la temperatura del controlador en 35°C, la cual es la temperatura ideal para este proceso.

Una vez que se obtenga el templado de chocolate deseado se procede a detener la opción de templado y regresa a la etapa de espera.
- **Etapa de moldeado.**- Como su nombre lo indica en esta etapa se moldea el chocolate ya templado, para ello se procede a establecer los tiempos para cada tamaño de molde que se utiliza en planta, además se utiliza una señal externa la cual detiene por el tiempo establecido el sistema de realimentación para evitar derrames y desperdicio de materia prima. La temperatura ideal para la etapa de moldeado se establece en 24°C.

Una vez que se termine esta etapa se debe detener el proceso y regresar a la etapa de espera.
- **Etapa de lavado.**- Esta etapa está diseñada para la limpieza de la máquina, se establece la temperatura en 55°C para calentar el agua y asegurar que los residuos de

chocolate se derrita, además se aumenta la velocidad del sistema de realimentación para asegurar la limpieza del tornillo sin fin.

4.2. HMI

Para la creación y desarrollo de las pantallas de operación de la máquina templadora de chocolate, se debe tomar en cuenta el panel adquirido por la empresa cuyo modelo es SIMATIC KTP400 BASIC. Para el diseño de estas pantallas se utiliza la normal ISA-SP 101 la misma que establece estándares, especificaciones y características que debe proveer una interfaz HMI, los objetivos principales de esta norma son: (Córdoba Herrera, 2017)

- Disminuir la tasa de errores mediante las representaciones sencillas e intuitivas de los elementos que intervienen en el sistema.
- Reducir tiempos de aprendizaje de los nuevos operadores. Garantiza el cambio de un sistema a otro con el mínimo entrenamiento, gracias a la normalización de las interfaces.
- Reducir costos de rediseño al estandarizar los procedimientos.

A continuación se describen las pantallas que forman parte del sistema.

4.2.1. Pantalla principal

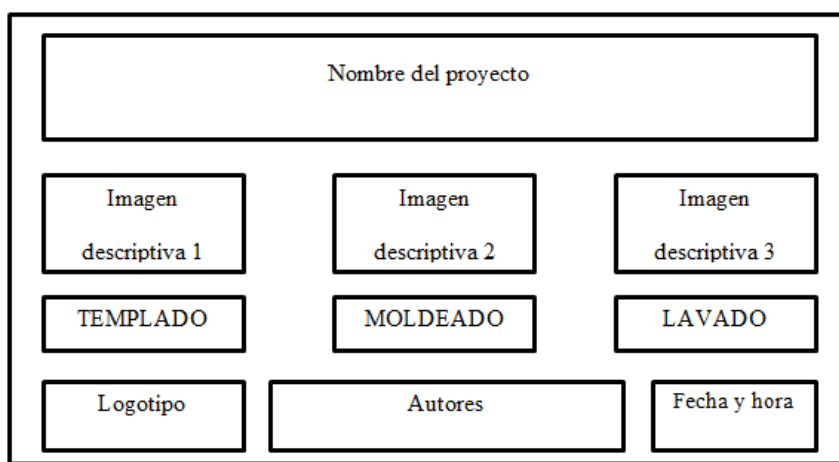


Figura 46. Esquema pantalla principal

En esta pantalla se puede observar en la parte superior el título del proyecto, a continuación los procesos a controlar dentro del funcionamiento de la máquina, los mismos que constan de una ilustración acorde al proceso. Dichos botones habilitan el acceso a sus respectivas pantallas de operación.

En la parte inferior izquierda se pueden observar el logo que representa el convenio entre la empresa INEDULCES y la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el centro inferior los datos de los autores del proyecto y para concluir en la esquina inferior derecha la fecha y la hora del año en curso.

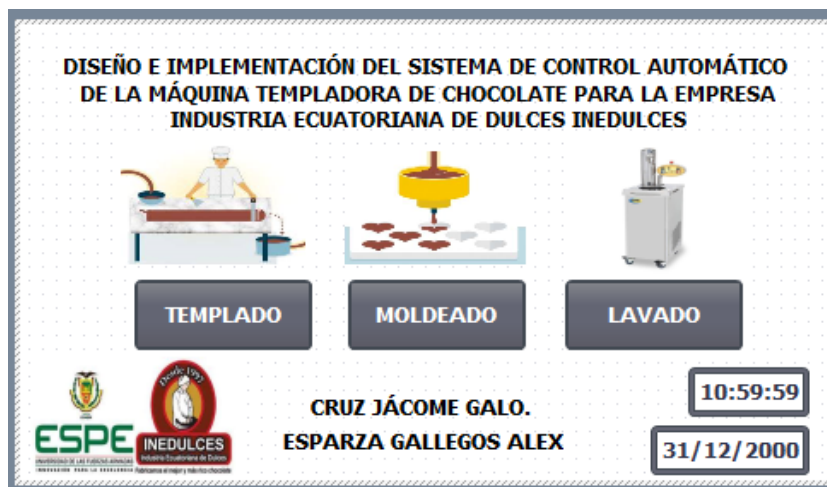


Figura 47. Pantalla principal HMI

4.2.2. Pantalla Templado

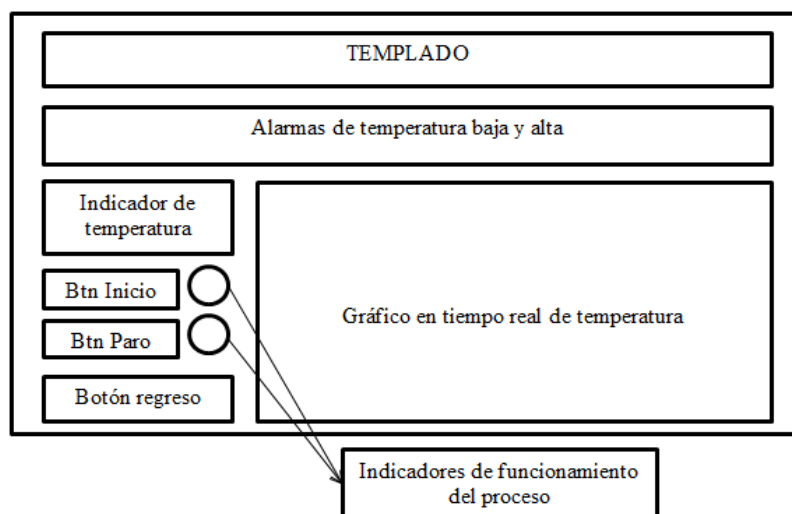


Figura 48. Esquema pantalla templado

En la parte superior de la pantalla se puede observar el título de la misma, a continuación se visualizan las alarmas de temperatura baja y temperatura alta para este proceso, que cumplen la función de indicadores cuando el proceso este fuera de rango de funcionamiento.

En la parte izquierda se encuentra ubicado un indicador de temperatura en tiempo real, así como los botones de operación: inicio, paro y el botón de retorno a la pantalla principal, junto con sus respectivos indicadores de funcionamiento.

En la parte inferior derecha se utiliza un gráfico en tiempo real, el cual muestra la variación de temperatura dentro del proceso, el mismo que ayuda a supervisar el templado de una manera adecuada.

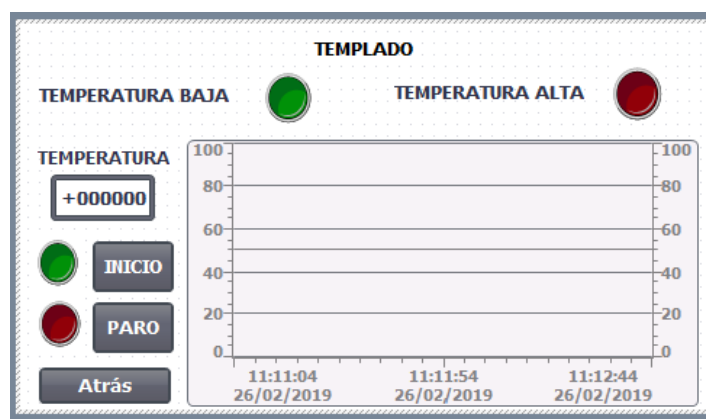


Figura 49. Pantalla Templado HMI

4.2.3. Pantalla Moldeado

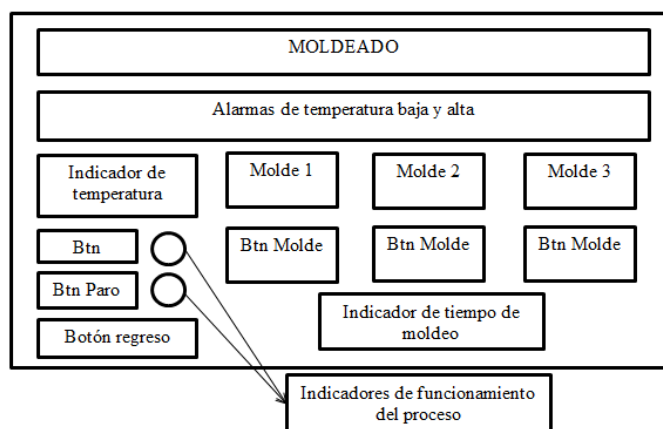


Figura 50. Esquema pantalla moldeado

En la parte superior de la pantalla se mantiene el mismo esquema de la pantalla anterior, solamente cambiando el título de la misma.

En la parte izquierda central se puede visualizar la temperatura en tiempo real y el indicador que la mezcla se encuentra en la temperatura adecuada para el proceso de moldeo.

En la parte izquierda inferior se encuentran ubicados los botones de funcionamiento del proceso, con sus indicadores respectivos, así como el botón de retorno a la pantalla principal.

En la parte central se ubican los botones de selección de molde, los mismos que establecen el tiempo adecuado para cada tipo de molde, como se explica en la lógica de control. Dicho tiempo (en segundos) se visualiza en la parte inferior de la pantalla.

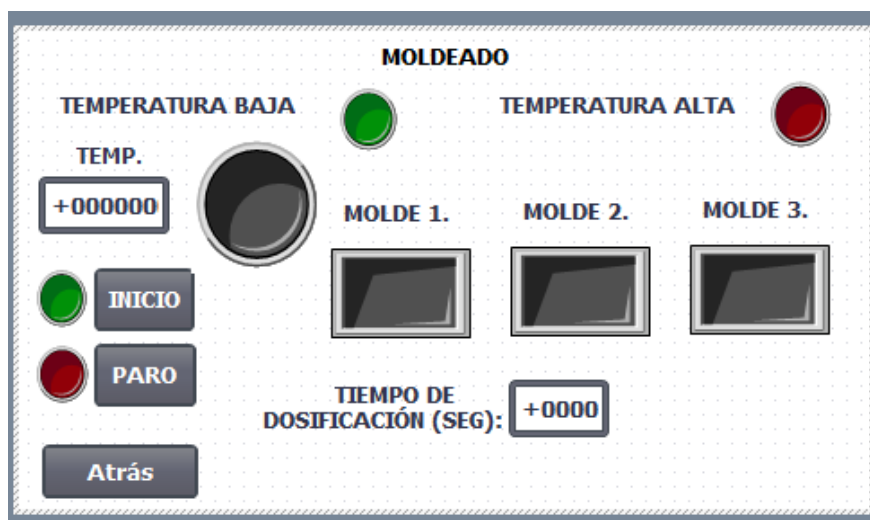


Figura 51. Pantalla Moldeado HMI

4.2.4. Pantalla Lavado

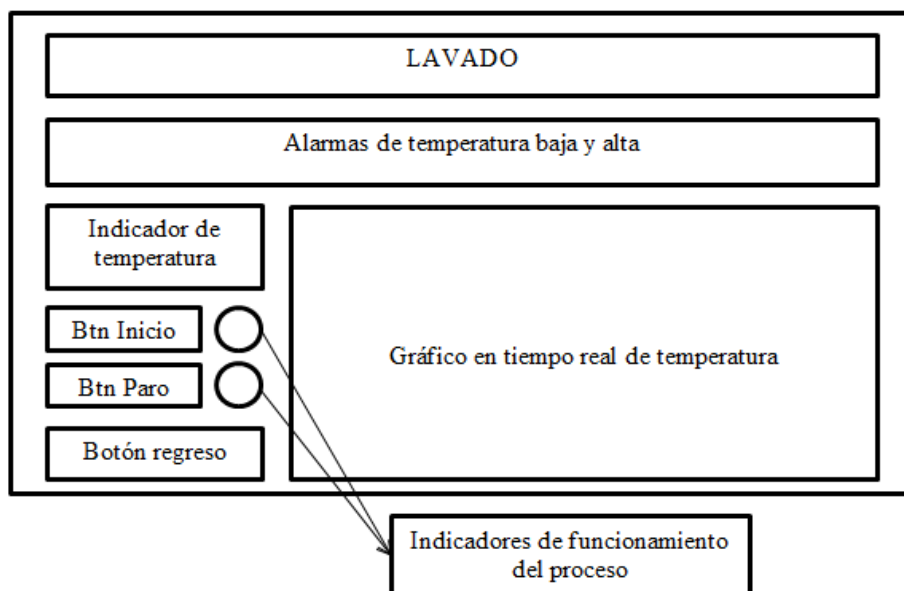


Figura 52. Esquema pantalla lavado

La distribución de la pantalla del proceso de lavado es la misma que la pantalla de templado, cambiando en solo en su funcionamiento y su lógica de control. Manteniendo los mismo indicadores y botones de operación.

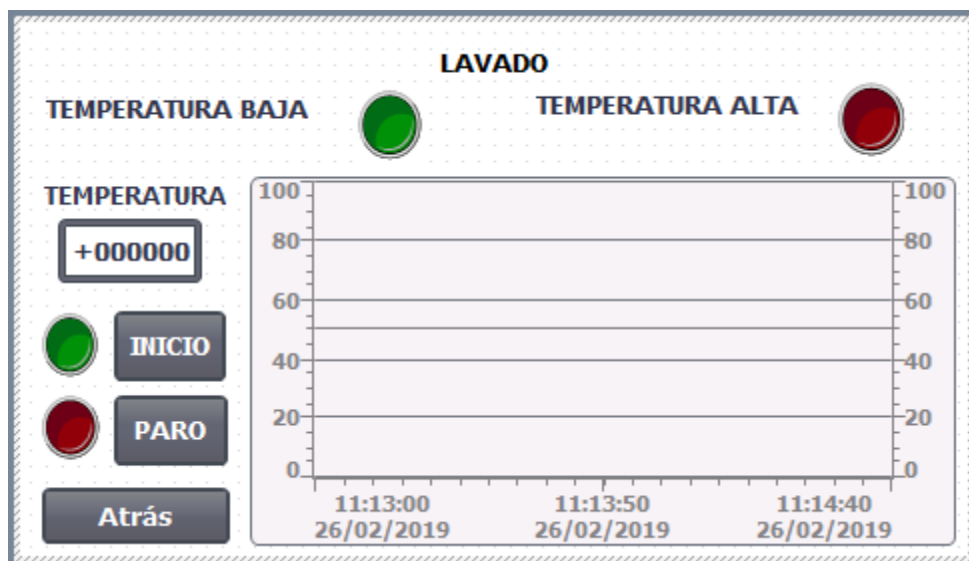


Figura 53. Pantalla Lavado HMI

CAPÍTULO 5

5. IMPLEMENTACIÓN

El presente capítulo muestra el resultado de los capítulos anteriores, es decir la integración e implementación del sistema de control automático para la máquina templadora de chocolate.

El contenido fotográfico conlleva el proceso de pruebas y verificación de los elementos eléctricos y electrónicos, instalación de los mismos en el tablero de control, fijación de motores y resistencias en la estructura, matrimonios para el funcionamiento del agitador y el sistema de realimentación.

Debido a políticas de la empresa no se pueden adjuntar fotos de la máquina en funcionamiento.



Figura 54. Funcionamiento de material eléctrico y electrónico



Figura 55. Fijación de elementos y cableado parte de potencia

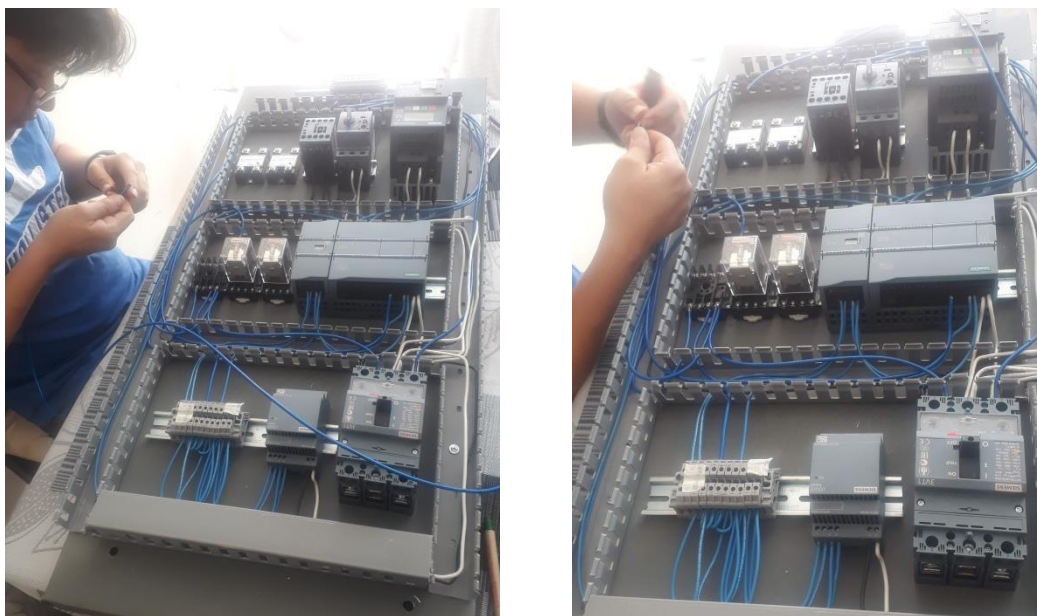


Figura 56. Cableado señales de control



Figura 57. Tablero de control



Figura 58. Fijación de motores y sistema de realimentación



Figura 59. Sellos mecánicos, matrimonios y ejes

CAPÍTULO 6

6. PROTOCOLO DE PRUEBAS

En el presente capítulo se resumen las pruebas realizadas para validar y verificar el funcionamiento de la máquina templadora de chocolate, de tal manera que cumpla con los requerimientos planteados por la empresa INEDULCES S.A.

Se desarrolla un protocolo de pruebas en el cual se consideran 3 partes fundamentales que forman parte de la máquina, siendo estas:

- Pruebas mecánicas
- Pruebas eléctricas y electrónicas
- Pruebas de funcionamiento

Se implementa un formato para el registro de las pruebas realizadas y de esta manera llevar un registro para el resultado final de las mismas. Estos formatos se los encuentra en el ANEXO PRUEBAS.

6.1. Pruebas mecánicas

El protocolo de pruebas mecánicas está establecido para validar el diseño realizado en cuanto a capacidad de la olla, así como la verificación de los sellos mecánicos instalados. Este protocolo consta de 2 pruebas.

Para el protocolo de pruebas mecánicas se crean los formatos P1 y P2, en los cuales se toman los datos y mediciones de la prueba correspondiente y se valida y registran las respectivas observaciones.

6.1.1. Capacidad de la olla

En la prueba 1, se tiene como resultado que la olla CUMPLE con capacidad deseada por parte de la empresa, la cual es de un mínimo de 25kg de chocolate líquido; dando como resultado una capacidad máxima de 38kg de chocolate líquido.

6.1.2. Verificación de sellos mecánicos

En la prueba 2, se verifica que por los sellos mecánicos instalados para los sistemas de agitación y realimentación no tengan fugas de materia prima (chocolate líquido), utilizando las cargas de la prueba 1, al concluir la verificación se tiene que los sellos mecánicos no generan fugas por lo tanto SI APRUEBAN.

6.2. Pruebas eléctricas y electrónicas

El protocolo de pruebas eléctricas y electrónicas está establecido para validar el funcionamiento del sensor de temperatura, verificación de velocidad del agitador y validación del sistema de realimentación. Este protocolo consta de 3 pruebas.

Para el protocolo de pruebas mecánicas se crean los formatos P3, P4 y P5, en los cuales se toman los datos y mediciones de la prueba correspondiente y se valida y registran las respectivas observaciones.

6.2.1. Funcionamiento del sensor de temperatura

En la prueba 3, se APRUEBA el funcionamiento del sensor para los distintos rangos de temperatura que maneja la máquina templadora de chocolate, verificando los datos generados por el sensor con un elemento de medición externo.

6.2.2. Verificación de velocidad del agitador

En la prueba 4, se verifica que la velocidad de giro constante del agitador no genere derrames y sea la necesaria para realizar el proceso de mezclado, para ello se trabaja con las distintas cantidades de chocolate que se usan comúnmente en la planta, al concluir la verificación se tiene que la velocidad del agitador APRUEBA correctamente con su funcionamiento.

6.2.3. Validación de velocidad del sistema de realimentación medido en hertzios

En la prueba 5, se valida el rango de trabajo, medido en hertzios, que debe tener el sistema de realimentación para el trabajo con chocolate líquido, para ello se realiza distintas variaciones de frecuencia hasta encontrar el rango adecuado que mantenga el flujo de chocolate constante sin generar derrames, obteniendo un rango de trabajo que va desde 2Hz a 4 Hz, dando esta prueba como APROBADA.

6.3. Pruebas de funcionamiento de la máquina

El protocolo de pruebas de funcionamiento de la máquina está establecido para validar el trabajo continuo, la etapa de templado, la etapa de moldeado, la etapa de lavado y la eficiencia de la máquina. Este protocolo consta de 5 pruebas.

Para el protocolo de pruebas mecánicas se crean los formatos P6, P7, P8, P9 y P10, en los cuales se toman los datos y mediciones de la prueba correspondiente y se valida y registran las respectivas observaciones.

6.3.1. Trabajo continuo

En la prueba 6, se APRUEBA el funcionamiento continuo de la máquina templadora de chocolate dentro de una jornada laboral de 8 y 12 horas, además de trabajos de tiempo corto dentro de las distintas jornadas de trabajo.

6.3.2. Funcionamiento de la etapa de templado

En la prueba 7, se verifica que la temperatura del proceso de templado se mantenga estable en 35°C, además se valida el tiempo para obtener un producto que cumpla con los estándares de calidad establecidos por la empresa, dando esta prueba como APROBADA.

6.3.3. Funcionamiento de la etapa de moldeado

En la prueba 8, se verifica que la temperatura del proceso de moldeado se mantenga estable en 24°C, además se valida la señal de activación para detener el flujo del sistema de realimentación; la cual evita derrames en el moldeo del chocolate. Dando esta prueba como APROBADA.

6.3.4. Funcionamiento de la etapa de lavado

En la prueba 9, se verifica que la temperatura del proceso de lavado se mantenga estable en 55°C, además se valida el rango de trabajo, medido en hertzios, que debe tener el sistema de realimentación para el trabajo con agua caliente, para ello se realiza distintas variaciones de frecuencia hasta encontrar el rango adecuando que mantenga el flujo de

agua caliente constante sin generar derrames, obteniendo un rango de trabajo que va desde 5Hz a 8 Hz. Dando esta prueba como APROBADA.

6.3.5. Eficiencia de la máquina templadora de chocolate

En la prueba 10, se toman muestras del proceso cada 15 minutos tanto de la máquina templadora de chocolate y del proceso anterior a la máquina, teniendo como promedio que el operador en el proceso anterior obtiene 5 moldes por cada 15 minutos y al trabajar con la máquina aumenta su producción a 8,3 moldes por cada 15 minutos, es decir que la eficiencia en el proceso de moldeado aumenta en un 40%. Dando esta prueba como APROBADA.

6.4. Conclusiones de las pruebas

La máquina templadora de chocolate demostró que luego de realizadas las pruebas cumple con el funcionamiento esperado tanto en el diseño de la estructura como en su sistema de control automático para las distintas etapas de funcionamiento de la misma. Además de mejorar la producción en el proceso de moldeado en un 40%, lo cual era uno de los fines de la implementación de este sistema automático.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Una vez culminado el proyecto teniendo como resultado el funcionamiento de la máquina templadora de chocolate se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se diseñó e implemento el sistema de control automático de la máquina templadora de chocolate para la empresa Industria Ecuatoriana de Dulces INEDULCES.
- Se implementó un sistema automático de realimentación, con el cual se redujo el riesgo de accidentes y contaminación por contacto de la mezcla de chocolate, aumentado de esta manera la seguridad en el proceso.
- Se obtuvo un sistema de control automático confiable capaz de trabajar continuamente a lo largo de una jornada laboral sin presentar fallos ni paros innecesarios.
- En base a las pruebas realizadas en cuanto al funcionamiento de la máquina y su eficiencia se puede observar claramente que se aumentó la producción diaria en los productos que son parte del templado de chocolate.
- El desarrollo de una interfaz humano máquina facilitó el manejo y el monitoreo de los procesos de templado y moldeado de chocolate implementado en la máquina templadora.
- Luego de realizadas las pruebas de funcionamiento se validó el desempeño de la máquina una vez implementado el sistema automático para el templado y moldeado de chocolate.

7.2. Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto se encontraron varios aspectos que se pueden mejorar para mejoras en el proceso, de lo cual se generaron las siguientes recomendaciones:

- Mantener la máquina templadora de chocolate en un sitio fijo ya que la manipulación y el movimiento de la misma puede desalinearse los ejes tanto del agitador como del sistema de realimentación.
- Al iniciar la producción de chocolate se debe asegurar que la máquina se encuentre completamente limpia, esto quiere decir que no existan residuos dentro de la tubería del sensor y del conducto del sistema de realimentación.
- Cumplir con las normas de seguridad establecidas en el manual de usuario con el fin de reducir el riesgo de accidentes, ya sean por atrapamiento por las partes móviles y quemaduras por el sistema de calentamiento.
- Se deben realizar inspecciones periódicas de los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos como parte del mantenimiento preventivo, con el fin de evitar paros innecesarios que afectan directamente a la producción de la planta.
- Se recomienda seguir paso a paso el manual de operación de la máquina para evitar pérdidas de tiempo y cumplir con la producción diaria esperada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Álvarez, E. &. (2015). Guía para la identificación de peligros ergonómicos. *Centro de ergonomia aplicada CENEA*, 15.

Anaya, M., Benítez, V., Pacheco, J., & Valle, F. (2014). DISEÑO DE CONTROLADORES P, PI Y PID PARA EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SERVO-SISTEMA HIDRÁULICO, BASADO EN DESARROLLO EXPERIMENTAL. *Epistemos*, 13-21.

Bravo. (2018). *Bravo Spa - Máquinas para heladería , pastelería, chocolate y catering*.

Recuperado el 03 de 10 de 2018, de

https://www.bravo.it/media/filer_public/1d/c3/1dc3f7ad-9fdf-4c8d-bd14-b0f48bba72ed/lr_k24-50_evo_duo_2018_esp.pdf

CCMA. (2018). *Herramientas empresariales Cámara de comercio de Medellín para Antioquia*.

Recuperado el 01 de 10 de 2018, de

<http://herramientas.camaramedellin.com.co/Inicio/Buenaspracticasesempresariales/BibliotecaaProducci%C3%B3nyOperaciones/Automatizaciendelosprocesosindustriales.aspx>

Córdoba Herrera, R. A. (2017). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 29 de 05 de 2019, de

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13369>

España, N. (2018). *Fabricación del chocolate - Chocolates NESTLÉ*. Recuperado el 03 de 10 de

2018, de <https://www.chocolatesnestle.es/fabricacion-curiosidades/fabricacion-chocolate>

Fitzgerald, H. L. (Julio de 2012). *H&D Fitzgerald*. Recuperado el 24 de 10 de 2018, de

<http://density.co.uk/wp-content/uploads/2012/08/Density-of-Chocolate.pdf>

Fusades. (22 de 03 de 2013). *Innovación tecnológica en confitería y chocolatería*. La Libertad, El Salvador, El Salvador.

Gómez, F. (2004). *Universiad de Sevilla*. Recuperado el 01 de 10 de 2018, de <http://www.esi2.us.es/~fabio/TransASP.pdf>

GoodFellow. (19 de 10 de 2018). *GoodFellow*. Recuperado el 23 de 10 de 2018, de http://www.goodfellow.com/catalogue/GFCat4J.php?ewd_token=CosSeiVXiM6CqQhZv1tKAUnPEDv8rK&n=bsvUI8VYugalO9AmIMAjyDvvtch3HX

Guerrero, G. (2013). *El Cacao ecuatoriano Su historia empezó antes del siglo XV*. Recuperado el 03 de 10 de 2018, de <https://www.revistalideres.ec/lideres/cacao-ecuatoriano-historia-empezo-siglo.html>

Hernández, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control*. México: Pearson Educación.

HERTEN. (10 de 2013). *HERTEN S.L.* Recuperado el 23 de Mayo de 2019, de www.hertensl.com

IALIMENTOS. (10 de Septiembre de 2017). *Revista Ialimentos*. Recuperado el 1 de Octubre de 2018, de <https://revistaialimentos.com/noticias/automatizacion-personalizada-en-la-industria-alimentos/>

INEN, S. E. (09 de 2017). *Repositorio INEN*. Recuperado el 29 de Mayo de 2019, de http://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_en_1672-2.pdf

Mogues, M. (2005). *FAT BLOOM DEL CHOCOLATE*. Recuperado el 04 de 10 de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/11708240/Templado-del-chocolate>

QWIFM. (Mayo de 2014). *QWIFM*. Recuperado el 31 de Mayo de 2019, de

<http://en.qwifm.com/QW.shtml>

Schneider, E. (2018). *Schneider Electric*. Recuperado el 04 de 12 de 2018, de

<https://www.schneider->

[electric.com.co/es/faqs/FA352332/?fbclid=IwAR2u_cEOdBe3FczDf3LH54lZ28Uo43UY](https://www.schneider-electric.com.co/es/faqs/FA352332/?fbclid=IwAR2u_cEOdBe3FczDf3LH54lZ28Uo43UY)

[ClnFdE5ykIo9T4xOxgdQqxf5t8s](https://www.schneider-electric.com.co/es/faqs/FA352332/?fbclid=IwAR2u_cEOdBe3FczDf3LH54lZ28Uo43UY)

Selmi, G. (2018). *Selmi Chocolate Machinery*. Recuperado el 03 de 10 de 2018, de

<https://www.selmi-group.it/temperatriceContinuaPlusEx.html>

Siemens. (2019). *Siemens Global Website*. Recuperado el 31 de Mayo de 2019, de

<https://w5.siemens.com>

ANEXOS

1. ANEXO A

- **PLANO ELÉCTRICO**

2. ANEXO B

- **PLANO DEL AGITADOR**

3. ANEXO C

- **PLANO DE LA ESTRUCTURA**

4. ANEXO D

- **LÓGICA DE CONTROL**

5. ANEXO PRUEBAS