



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO
Y MANUAL DE LA ENTRADA DE LECHE A TEMPERATURA
CONSTANTE AL HOMOGENIZADOR Y AJUSTE DE CICLOS CIP
EN MARMITAS DE PRODUCCIÓN DE YOGURT”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

ERICK PATRICIO LOBATO QUISATASI

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO
Y MANUAL DE LA ENTRADA DE LECHE A TEMPERATURA
CONSTANTE AL HOMOGENIZADOR Y AJUSTE DE CICLOS CIP
EN MARMITAS DE PRODUCCIÓN DE YOGURT”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: ERICK PATRICIO LOBATO QUISATASI

DIRECTOR: Ing. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Erick Patricio Lobato Quisatasi

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **ERICK PATRICIO LOBATO QUISATASI**, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de marzo del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Erick Patricio Lobato Quisatasi', written over a horizontal line.

Erick Patricio Lobato Quisatasi

060379833-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que; el Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO Y MANUAL DE LA ENTRADA DE LECHE A TEMPERATURA CONSTANTE AL HOMOGENIZADOR Y AJUSTE DE CICLOS CIP EN MARMITAS DE PRODUCCIÓN DE YOGURT**”, realizado por el señor **ERICK PATRICIO LOBATO QUISATASI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.:

	FIRMA	FECHA
Ing. Jorge Luis Hernández Ambato PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-11
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2022-03-11
Ing. Sandra Gabriela Barraqueta Rojas Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-11

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre Olga Quisatasi, quien con su esfuerzo y dedicación ha sido mi inspiración para poder levantarme de cualquier situación adversa. A mis hermanas Gissela Lobato, Kerly Lobato y Cristina Auqui que han sido mi apoyo incondicional en muchas circunstancias. Con tantos momentos compartidos y su lealtad sé que todo será posible.

Erick

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer al Gran Ser Creador de todo, que me ha bendecido y cuidado en todo momento. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas y brindarme una buena educación, a la Facultad de Informática y Electrónica y a los profesores que han aportado sus conocimientos para nuestro aprendizaje en la carrera, en especial a los ingenieros Paucar, Barraqueta, Tinajero, Hernández y a quienes supieron aportar con su conocimiento y ayuda para finalizar este proyecto. Un agradecimiento a la empresa Lactalis del Ecuador y en especial al ing. Xavier Tapia, jefe de mantenimiento, por permitirme la realización de mi trabajo de titulación en la misma. Agradecido por el apoyo al técnico Segundo Quilumba. Gracias familia mía, que me han forjado en un camino de bien. Y a todos quienes han sido parte de mi vida.

Erick

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	¡Err

or! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Objetivo general.....	6
1.3. Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1. Revisión de literatura.....	7
2.1.1. <i>Industrias de lácteos.....</i>	7
2.1.1.1. <i>Concepto.....</i>	7
2.1.1.2. <i>Industrias lácteas en Ecuador.....</i>	7
2.1.1.3. <i>La empresa.....</i>	7
2.1.2. <i>Requisitos para la elaboración de yogurt.....</i>	8
2.1.2.1. <i>Pasteurización de la leche.....</i>	8
2.1.2.2. <i>Diferencias entre hervir la leche y la pasteurización.....</i>	8
2.1.2.3. <i>La termización.....</i>	9
2.1.2.4. <i>La homogenización.....</i>	9
2.1.3. <i>Elaboración del yogurt.....</i>	10
2.1.3.1. <i>El yogurt.....</i>	10
2.1.3.2. <i>Preparación industrial del yogurt.....</i>	10
2.1.4. <i>Limpieza y desinfección en la industria alimentaria.....</i>	12
2.1.4.1. <i>Agencia reguladora de la salubridad en la industria alimentaria de Ecuador.....</i>	12

2.1.4.2.	<i>Objetivos de la limpieza y desinfección</i>	12
2.1.4.3.	<i>Operaciones preliminares</i>	13
2.1.4.4.	<i>Procedimiento y métodos de limpieza</i>	13
2.1.5.	<i>Cleaning in place (CIP)</i>	13
2.1.5.1.	<i>Definición</i>	13
2.1.5.2.	<i>Ciclos del CIP</i>	14
2.1.5.3.	<i>Pasos opcionales del CIP</i>	16
2.1.6.	<i>Sistemas de control en el ámbito industrial</i>	16
2.1.7.	<i>Controladores de temperatura industriales</i>	17
2.1.7.1.	<i>Definición</i>	17
2.1.7.2.	<i>Funcionamiento</i>	18
2.1.8.	<i>Variadores de frecuencia</i>	19
2.1.8.1.	<i>Definición</i>	19
2.1.8.2.	<i>Ventajas de utilizar variadores en arranque de motores asíncronos</i>	20
2.1.8.3.	<i>Inconvenientes de la utilización de variadores de frecuencia</i>	21
2.1.8.4.	<i>Oferta mercado nacional</i>	21
2.1.9.	<i>Sensores de temperatura</i>	22
2.1.9.1.	<i>Concepto</i>	22
2.1.9.2.	<i>Termocupla</i>	23
2.1.10.	<i>Controladores lógicos programables</i>	24
2.1.10.1.	<i>Definición</i>	24
2.1.10.2.	<i>Tipos de PLC</i>	25
2.1.11.	<i>Válvulas</i>	26
2.1.11.1.	<i>Modelamiento matemático de válvula de control neumática</i>	26
2.1.11.2.	<i>Dinámica del fluido dentro de una válvula de control</i>	27
2.1.12.	<i>Relés</i>	28
2.1.12.1.	<i>Definición y principio de funcionamiento</i>	28
2.1.12.2.	<i>Relé como conmutador</i>	28
2.1.13.	<i>Interruptores termomagnéticos</i>	29
2.1.13.1.	<i>Definición</i>	29
2.1.13.2.	<i>Características</i>	29
2.1.13.3.	<i>Estructura interna</i>	30
2.1.14.	<i>Fuente de alimentación de voltaje</i>	30
2.1.14.1.	<i>Definición</i>	30
2.1.14.2.	<i>Etapas principales de una fuente de alimentación</i>	30
2.1.15.	<i>Unidad de mantenimiento</i>	31
2.1.15.1.	<i>Concepto</i>	31

2.1.16.	<i>Selectores</i>	32
2.1.16.1.	<i>Definición</i>	32
2.1.17.	<i>Luces piloto</i>	32
2.1.17.1.	<i>Utilidad</i>	32
2.1.17.2.	<i>Identificación de luces piloto</i>	32

CAPÍTULO III

3.	DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO	35
3.1.	Reconocimiento y definición del problema	35
3.2.	Captación y distinción de información	35
3.3.	Fase 1: Investigación	37
3.3.1.	<i>Revisión de las principales características a las soluciones</i>	37
3.3.2.	<i>Solución conceptual a la necesidad del sistema de control de los ciclos CIP</i>	37
3.3.3.	<i>Solución conceptual a la necesidad del control de temperatura en el termizador</i> ...	38
3.3.4.	<i>Requerimientos del sistema de control de los ciclos CIP</i>	38
3.3.5.	<i>Requerimientos del sistema de control de temperatura en el termizador</i>	39
3.4.	Fase 2: Selección	40
3.4.1.	<i>Controlador lógico programable</i>	40
3.4.1.1.	<i>Descripción del software</i>	41
3.4.2.	<i>Controlador de temperatura</i>	43
3.4.2.1.	<i>Descripción del software</i>	44
3.4.3.	<i>Electroválvula proporcional</i>	45
3.4.4.	<i>Software de diseño de modelo 3D</i>	46
3.5.	Fase 3: Diseño	47
3.5.1.	<i>Diseño del sistema CIP</i>	47
3.5.1.1.	<i>Esquema de los elementos que constituirán el sistema</i>	47
3.5.2.	<i>Diseño del sistema para controlar la temperatura en el termizador</i>	49
3.5.3.	<i>Diseño del tablero eléctrico</i>	50
3.6.	Fase 4: Implementación	51
3.6.1.	<i>Elaboración de los sistemas de control de temperatura y CIP</i>	51
3.6.1.1.	<i>Preparación de tablero eléctrico</i>	51
3.6.1.2.	<i>Construcción de esquemas eléctricos</i>	52
3.6.1.3.	<i>Incorporación de elementos neumáticos necesarios</i>	56
3.6.1.4.	<i>Desarrollo de programación del PLC</i>	58
3.6.1.5.	<i>Desarrollo de programación del controlador de temperatura</i>	63

CAPÍTULO IV

4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	69
4.1.	Pruebas realizadas	69
4.1.1.	<i>Verificación de programación en controlador de ciclos CIP</i>	69
4.1.2.	<i>Toma de tiempos de suministración de líquidos que esterilizan las marmitas</i>	69
4.1.3.	<i>Prueba de validación de calidad en limpieza del sistema CIP</i>	70
4.1.4.	<i>Toma de tiempos para paso uniforme de la leche por el termizador</i>	71
4.1.5.	<i>Comprobación de las medidas de temperatura en el controlador</i>	71
4.2.	Resultados del sistema CIP	72
4.2.1.	<i>Movilización de los líquidos para el sistema CIP</i>	72
4.2.2.	<i>Control del tiempo de paso de los líquidos y recirculación</i>	73
4.2.2.	<i>Validación del sistema CIP</i>	74
4.3.	Resultados del sistema controlador de temperatura en el termizador	75
4.3.1.	<i>Manejo del tiempo de paso de la leche por el termizador</i>	75
4.3.2.	<i>Control de temperatura en el termizador</i>	75
4.3.1.	<i>Obtención de la función de transferencia</i>	77
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Marca y características de controladores de temperatura.....	19
Tabla 2-2:	Marca, modelo y características principales de los variadores de frecuencia.....	21
Tabla 3-2:	Tipos y principales características de sensores de temperatura.....	23
Tabla 4-2:	Tipos de PLC y características	25
Tabla 5-2:	Codificación de luces piloto.....	33
Tabla 1-3:	Características necesarias del controlador lógico programable	40
Tabla 2-3:	Señales para el bloque de control de las válvulas.....	43
Tabla 3-3:	Señales para el bloque de control de los motores	43
Tabla 4-3:	Características válvula proporcional electroneumática Samson	45
Tabla 1-4:	Relación de tiempos deseados con los tiempos implementados en campo	69
Tabla 2-4:	Relación de mediciones de temperatura	71
Tabla 3-4:	Variación de mediciones de temperatura.....	72
Tabla 4-4:	Comparación de tiempos entre el modo manual y el automático	73
Tabla 5-4:	Comparación de resultados microbianos.....	74
Tabla 6-4:	Datos de operación del variador de frecuencia.....	75
Tabla 7-4:	Registros de temperatura.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Exterior de la planta Lactalis del Ecuador.....	8
Figura 2-2:	Planta Lactalis del Ecuador.....	13
Figura 3-2:	Ciclos CIP.....	14
Figura 4-2:	Modelos de controladores de temperatura.....	18
Figura 5-2:	Variador de frecuencia.....	20
Figura 6-2:	Efecto Seebeck.....	22
Figura 7-2:	Efecto Peltier.....	22
Figura 8-2:	Juntura de dos conductores diferentes para análisis el coeficiente Thomson.....	23
Figura 9-2:	Termopares.....	24
Figura 10-2:	Estructura de un relé.....	28
Figura 11-2:	Configuraciones de un relé: a. relé con 1 entrada y 2 salidas, b. relé conmutado, 2 entradas y 4 salidas, c. relé conmutado, 4 entradas y 8 salidas.....	29
Figura 12-2:	Estructura interna de un interruptor termomagnético.....	30
Figura 13-2:	Símbolo de la unidad de mantenimiento.....	31
Figura 14-2:	Unidad de mantenimiento FESTO.....	31
Figura 15-2:	Selectores.....	32
Figura 16-2:	Lectura código de una luz piloto.....	33
Figura 1-3:	PLC: Siemens LOGO! 230RCE.....	41
Figura 2-3:	Controlador de temperatura Hanyoung AX4.....	44
Figura 3-3:	Vista diagonal del prototipo del tablero eléctrico.....	47
Figura 4-3:	Diseño del sistema eléctrico del control de los ciclos CIP.....	48
Figura 5-3:	Diseño esquemático general de los sistemas neumáticos para el control de válvulas.....	49
Figura 6-3:	Diseño del sistema del control de temperatura en el termizador.....	50
Figura 7-3:	Vista frontal del tablero eléctrico a implementar.....	51
Figura 8-3:	Cabina previa a su instalación.....	52
Figura 9-3:	Cabina lista e instalada.....	52
Figura 10-3:	Instalación eléctrica de sistema CIP.....	53
Figura 11-3:	Ubicación del sensor de temperatura en el termizador.....	54
Figura 12-3:	Colocación en la puerta del tablero del controlador de temperatura.....	54
Figura 13-3:	Ubicación del variador de frecuencia.....	55
Figura 14-3:	Luces piloto de identificación de electroválvulas.....	56
Figura 15-3:	Antes de incorporar la válvula de tres vías.....	57
Figura 16-3:	Después de incorporar la válvula de tres vías.....	57

Figura 17-3: Electroválvula neumática proporcional Samson	58
Figura 18-3: Bloque de retardo a la conexión.....	59
Figura 19-3: Bloque de relé de barrido.....	59
Figura 20-3: Bloque de retardo a la desconexión	60
Figura 21-3: Bloque de retardo a la conexión con memoria	60
Figura 22-3: Bloque generador de impulsos asíncronos	61
Figura 23-3: Bloque contador adelante/atrás	61
Figura 24-3: Bloque OR.....	61
Figura 25-3: Bloque AND.....	62
Figura 26-3: Bloque NOT	62
Figura 27-3: Bloque de marca.....	62
Figura 28-3: Bloque de entrada	63
Figura 29-3: Bloque de salida	63
Figura 30-3: Condición de entrada.....	64
Figura 31-3: Símbolo de termocupla K.....	64
Figura 32-3: Símbolo de selección de unidad de temperatura	64
Figura 33-3: Símbolo del tipo de control en la salida y opciones	65
Figura 34-3: Símbolo de acción de salida de control y opciones	65
Figura 35-3: Símbolo de acción de tipo de control y opciones	65
Figura 36-3: Símbolo de banda proporcional	66
Figura 37-3: Símbolo de tiempo integral.....	66
Figura 38-3: Símbolo de tiempo derivativo	66
Figura 39-3: Símbolo de control de histéresis	66
Figura 40-3: Símbolo de propiedad de relé 1 y opciones.....	67
Figura 41-3: Símbolo de modo de alarma y opciones	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diagrama de elaboración de yogurt	11
Gráfico 2-2:	Etapas generales de una fuente de alimentación.....	31
Gráfico 1-3:	Fases de implementación del proyecto	36
Gráfico 2-3:	Tiempos a controlar solicitados por la empresa.....	38
Gráfico 3-3:	Conceptualización del sistema de control de temperatura en el termizador	38
Gráfico 4-3:	Diagrama general con los elementos del sistema CIP	39
Gráfico 5-3:	Diagrama general con los elementos del sistema del termizador	40
Gráfico 6-3:	Lógica del funcionamiento manual y automático, sistema CIP.....	42
Gráfico 7-3:	Lógica del funcionamiento manual y automático, sistema	45
Gráfico 1-4:	Elevación de temperatura, respecto al tiempo	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MARMITAS 9 Y 10 PARA PREPARAR YOGURT

ANEXO B: PROGRAMACIÓN EN “ADD ON INSTRUCTIONS” DE LOGO!SOFT

ANEXO C: MANUAL DE CONTROLADOR DE TEMPERATURA HANYOUNG NUX AX

ANEXO D: SPRYBALL

ANEXO E: CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE PARÁMETROS DE VARIADOR DE
FRECUENCIA DANFOSS

ANEXO F: CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

ANEXO G: GRÁFICA DE FUNCIÓN SIN CONTROL EN SIMULINK

ANEXO H: GRÁFICA DE FUNCIÓN CON CONTROL PID EN SIMULINK

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CIP	Cleaning in place
°C	Grados centígrados
PLC	<i>Programmable logic controller</i>
ARCSA	Agencia de Registro y Control Sanitario
NaOH	Hidróxido de sodio
pH	Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución.
PAA	Ácido peracético
RTD	Resistance temperature detector es un detector de temperatura resistivo
SSR	Solid state relay, relé de estado sólido
PID	Proportional intagrated derivative
VCA	Voltaje de corriente alterna
Hz	Hercios
SPST	Single pole single throw (simple polo simple corte)
NA	Normalmente abierto
SSRP	Solid state relay port, puerto de relé de estado sólido
mm	Milímetros
mA	Miliamperios
VFD	Variable frequency drive
AFD	Adjustable frequency drive
rpm	Revoluciones por minuto
V	Voltaje
f	Frecuencia
EMI	Electromagnetic interference
F.e.m.	Fuerza electromotriz
mV	Milivoltios
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
CPU	Central processing unit
HMI	Human machine interface
OPLC	Operational programmable logic controller
A	Amperios
AWG	American wire gauge
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa

cm²	Centímetros al cuadrado
Ω	Ohmios
3D	Tres dimensiones
Trg	Trigger
R	Reinicio
En	Enable
Cnt	Contador
Temp.	Temperatura
min	Minuto
Q	Caudal
t	Tiempo

RESUMEN

Este proyecto tuvo como objetivo diseñar e implementar dos sistemas que intervienen en la elaboración del yogurt, debiendo mantener una temperatura estable para homogenizar la leche y otro que desinfecte dos marmitas sin necesidad de desensamblar componentes, denominado *cleaning in place* o limpieza en su lugar (CIP); se diseñaron modelos esquemáticos de los sistemas realizados, junto a la respectiva investigación de elementos necesarios para cada uno. En el sistema CIP se incorpora un controlador lógico programable (PLC) que, mediante instrucciones, maneja los tiempos requeridos de cada ciclo de limpieza, controla electroválvulas y válvulas neumáticas que dan paso a los líquidos limpiadores hacia las marmitas, donde recirculan removiendo residuos. El yogurt, requiere de homogenizar la leche, donde cada partícula de grasa es particionada para obtener una distribución uniforme y evitar su separación. En este proceso es importante calentar la leche a una temperatura estable de 65 grados centígrados, evitando quemarla al pasar por el termizador, se utiliza el controlador de temperatura industrial Hangyoung que maneja una electroválvula proporcional, que estabiliza la temperatura del termizador. En el análisis del sistema CIP se utilizó la comparativa entre limpiarlas manual y automáticamente, la limpieza de las marmitas resultó muy eficiente y apta para la industria; del análisis del control de temperatura en el termizador, se obtuvieron gráficas del sistema incorporado sin el control y parámetros utilizados en el controlador. Al concluir se dio una limpieza con una cantidad microbiana de 0.001% en una muestra de 0.10 ml del agua de enjuague, eliminable en desinfección; se controló los 65 grados centígrados con la leche en circulación, estable por el termizador. Es recomendable en el CIP un estudio microbiano en el último enjuague y corroborar el sistema implementado; en el caso del termizador, la leche debe circular a 125 litros por minuto para evitar su deterioro.

Palabras clave: <ELABORACIÓN DEL YOGURT>, <MARMITAS>, <LIMPIEZA EN SU LUGAR (CIP)>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <TERMIZADOR>, <ELECTROVÁLVULAS>, <CANTIDAD MICROBIANA>

SUMMARY

The objective of this project was to design and implement two systems that intervene in the production of yogurt, having to maintain a stable temperature to homogenize the milk, and another that disinfects two kettles without the need to disassemble components, called cleaning in place or (CIP); they were designed schematic models of the developed systems, together with the respective investigation of the necessary elements for each one. A programmable logic controller (PLC) is incorporated to the CIP system which, through instructions, manages the times required for each cleaning cycle, controls solenoid valves and pneumatics valves that carry the cleaning liquids towards the pots, where they recirculate removing waste. Yogurt requires homogenizing the milk, where each fat particle it is partitioned to obtain a uniform distribution and avoid its separation. In this process, it is important to heat the milk to a stable temperature of 65 degrees centigrade, avoiding burning it when passing through the thermistor, Hangyoung industrial temperature controller is used which manages a proportional solenoid valve to stabilize the temperature of the thermistor. For the analysis of the CIP system, the comparison between manual and automatic cleaning was used, the cleaning of the pots was very efficient and suitable for industry; from the analysis of the control of temperature in the thermistor, graphs of the incorporated system without the control and parameters used in the controller were obtained. At the end, a cleaning was given with a microbial concentration of 0.001% in a 0.10 ml sample of the rinse water, removable in disinfection; 65 degrees centigrade with the milk in circulation was controlled, stable by the thermistor A microbial study in the last rinse is recommended at the CIP and corroborate the implemented system; in the case of the thermistor, the milk must circulate at 125 liters per minute to prevent deterioration.

Keywords: <PRODUCTION OF YOGURT>, <POILERS>, <CLEANING IN PLACE (CIP)>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <THERMISTOR>, <SOLENOID VALVES>, <MICROBIAL QUANTITY>

INTRODUCCIÓN

La automatización ha estado presente desde el advenimiento de la civilización, cuando el hombre ha intentado con insistencia el reemplazo del esfuerzo humano por sistemas de control y máquinas (Dorf and Bishop, 2005).

En el ámbito mundial se busca que los procesos se realicen de una manera más eficiente, donde la menor intervención del ser humano, como participe activo del sistema, sea la clave para que el producto a obtener tenga las mejores garantías de calidad. Un proceso industrial debe comprender cada parámetro que se desea controlar, desde su arranque, pasando por cada línea de manejo del producto a elaborar y manteniendo cada parámetro lo más estable al punto de control deseado; hasta la obtención del producto finalizado. Los sistemas de control deben trabajar bajo circunstancias independientes una vez el operador le haya dado la orden de arranque (Carrillo Paz, 2011).

Las empresas en Ecuador cada vez están optando por sistemas automatizados que permitan la independencia del ser humano. Acorde a Guillermo Lizarzaburo, en su informe de noticias en diario Expreso dice “El distanciamiento social y la globalización marcan la necesidad de la automatización de las empresas nacionales en todos los ámbitos”, lo cual da a conocer la carencia de sistemas automatizados y la falta de mejora en el ámbito de la industria ecuatoriana (Lizarzaburo Guillermo, 2020).

La empresa Lactalis del Ecuador al seguir planteándose nuevas metas para generar nuevos productos y de calidad, buscando siempre el bienestar de sus consumidores, asume el reto de producir yogurt a mayor escala en Ecuador, para lo cual en su planta en Lasso – Latacunga, se añaden dos marmitas de dimensiones: 3m de altura x 2,40m de diámetro las cuales se observan en el anexo A. Las marmitas ayudarán para la mezcla y obtención de las diferentes variedades de yogurt que la empresa produce (Alvarado Morales, 2017).

La empresa produce tres tipos de yogurt, los cuales con: cremoso, bebible y tipo griego. Cada uno tiene diferentes fechas y procedimientos para su elaboración, para lo cual, antes de cada proceso nuevo y a la finalización, se debe limpiar y desinfectar las marmitas que lo contienen, pues además de evitar un cruce de tipos de yogurt, se evita principalmente la introducción de algún patógeno que pueda afectar a la leche durante el proceso y ocasionalmente a un consumidor en caso de la revisión no adecuada por parte del área de calidad. Esto condiciona a pérdidas económicas y de producto a la empresa, además de contrastar un desprestigio de la marca en el mercado (FAO, 2011). La limpieza y desinfección de las marmitas se debe realizar con un control de los tiempos de apertura y cierre de válvulas independientes para cada tanque, es un proceso en el cual los operadores deben subir personalmente, pudiendo ser causa de algún accidente en el proceso. La realización del proyecto busca eliminar este riesgo, además de garantizar una limpieza efectiva

que evite la proliferación de algún patógeno o la sedimentación de algún residuo de leche en las marmitas. Para lo cual, al elaborar un tablero eléctrico de fácil manipulación para el operador, se cumplirá con los propósitos deseados por la empresa, realizando un CIP con opciones de hacerlo todo automático o si se desea, al manipular el selector se pueda controlar los tiempos, acordes a la necesidad de limpieza a ejecutar (INDISA, 2010).

Para la elaboración de yogurt se necesita que la leche se mantenga de manera uniforme, debiendo completar su proceso atravesando por un homogenizador que fraccionará los glóbulos de la grasa de la leche para que tenga una distribución más uniforme. Este proceso es necesario que se realice a una temperatura uniforme del producto a 65 °C para que se pueda hacer más rápida la partición de los glóbulos de grasa y así el yogurt se pueda mezclar con los demás ingredientes en las marmitas de concentración de la leche homogenizada (Mayta-Hancco, et,al, 2020).

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Lactalis del Ecuador al empezar a implementar nuevos productos para el mercado, como lo es el yogurt, verifica que la calidad de los mismos esté entre los estándares establecidos por el Reglamento de la Agencia de Registro y Control Sanitario (ARCSA). Debido a que la producción de lácteos es propensa a los patógenos externos, es necesario que los elementos donde se realicen los procesos de tratado de la leche estén completamente esterilizados.

Al momento de la instalación de las marmitas, para la preparación de los diferentes tipos de yogurt de la empresa, se planificó la implementación de un sistema de limpieza incorporado en el proceso, para lo cual se instalaron diversas válvulas para permitir el paso del agua destilada y químicos necesarios para la limpieza de los mismos. Este proceso al necesitar que el operador manipule las válvulas, se dificulta por la ubicación de los mismos, pues no se pueden desinstalar y volverlas a su sitio después de cada proceso, siendo necesario un CIP, que consiste en realizar una sanitización de todo el sistema aún conectado. Se busca que este proceso se pueda controlar desde un tablero eléctrico.

Para la realización del yogurt se debe homogenizar la leche, siendo necesario el ingreso del producto hacia el homogenizador a una temperatura de 65 °C, debido a requerimientos de la empresa en los que se necesita controlar este proceso, donde el producto en caso de no alcanzar esta temperatura, retorne por la tubería correspondiente hacia el tanque de almacenamiento y una vez estabilizada la temperatura se le de paso para su homogenización.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede realizar los procesos de automatización para la esterilización de las marmitas para producción de yogurt y el control de temperatura de fluidos en tuberías?

¿Cuáles son los requerimientos técnicos, térmicos, eléctricos y de esterilización necesarios para diseñar el sistema de control automático y manual propuesto?

¿Cómo se desarrollará el diseño del control automático y manual de la entrada de leche a temperatura constante al homogenizador y ajuste de ciclos CIP en marmitas de producción de yogurt?

¿Cómo se implementará los sistemas electrónicos necesarios para el control automático y manual de la entrada de leche a temperatura constante al homogenizador y ajuste de ciclos CIP en marmitas de producción de yogurt?

¿El proyecto será validado por los operadores y el jefe de mantenimiento de la empresa?

JUSTIFICACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La empresa Lactalis del Ecuador en el proceso de realización de prácticas preprofesionales acude a mi persona para la sugerencia de un método que de forma automatizada pueda limpiar las marmitas una vez se haya realizado la mezcla del yogurt, para lo cual se observa la solución de implementar una válvula de tres vías que permita el paso de agua y los químicos necesarios para que la concepción de alguna bacteria o virus no pueda aparecer en los mismos.

Debido a que esta es una nueva expansión de la empresa hacia la realización del subproducto de la leche, el yogurt, en Ecuador; en el año 2020 realiza la implementación de marmitas de 14000 litros de capacidad que, debido a su altura y diámetro, se plantean como adecuados para una mezcla homogénea del yogurt. Para que esta mezcla se pueda realizar, la leche tiene que atravesar por un termizador que debe mantener una temperatura estable de 65 °C, pues si se llega a exceder esta temperatura la leche se quemaría, resultando en un desperdicio de la misma y una pérdida económica para la empresa. Sin embargo, si el producto no alcanza dicha temperatura al llegar al homogeneizador, la leche se puede cortar o a su vez el homogeneizador como tal, no podrá conseguir de una manera más rápida y eficiente el fraccionamiento de los glóbulos de la grasa de la leche para que tenga una distribución más uniforme. Este proceso es requerido para que la textura del yogurt sea desnatada y agradable para el consumidor.

Una vez el yogurt haya sido preparado y envasado, es requerida la limpieza de las marmitas utilizadas para su elaboración. Debido a que las marmitas se encuentran empotradas en la estructura del edificio de la planta, no se pueden mover cada vez que se desea realizar una limpieza completa, para lo cual es necesario un CIP. La planta cuenta con dos tanques generales que contienen el ácido nítrico y la sosa cáustica, que permiten limpiar los diferentes equipos de la planta, siendo requerido la implementación de un nuevo control para ajustar los ciclos de CIP en las marmitas recién incorporadas a la empresa.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Este proyecto se puede realizar debido a que la empresa ha requerido la implementación de los sistemas para el control de temperatura en el intercambiador del calor y CIP de marmitas del yogurt, para lo cual los elementos eléctricos y electrónicos serán obtenidos por la empresa y la realización del proyecto será bajo cargo personal. La finalización de este proyecto ayudará a la expansión de la empresa hacia la elaboración de yogurt de una manera segura, al contar con una esterilización de los elementos que intervienen en su elaboración, directamente.

La parte de la electrónica es accesible debido a que los implementos a utilizar son de fácil accesibilidad y tendrá un microcontrolador para la automatización del CIP y a su vez contará con un controlador de temperatura industrial para la obtención de un producto a temperatura adecuada para el ingreso al homogenizador.

Los operadores encargados de la manipulación del CIP tendrán acceso a las operaciones mediante un selector de 3 posiciones, que permitirá escoger entre las opciones de automático, apagado y en la posición siguiente también se podrá operar de manera manual el sistema.

En el caso de la entrega de producto al homogenizador se tendrá funciones similares al CIP en el selector, donde la diferencia será la necesidad de tener la condición de que el termizador mantenga una temperatura estable de 65 °C, una vez alcanzada dicha temperatura en el producto se dará paso hacia su homogenización, caso contrario será regresada al tanque de almacenamiento por las tuberías respectivas, donde intervendrá una electroválvula para su control y de una válvula neumática para el manejo de la leche (Dorf and Bishop, 2005).

Para la realización del diseño del tablero eléctrico se utilizará software de simulación y se buscará una imagen aproximada al diseño final, con indicadores que permitan ver la función de cada elemento instalado en el proceso de la realización del yogurt.

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

El revisar estudios provisionales de los trabajos a implementar, es beneficioso para la definición de objetivos reales, los cuales ayudarán a tener ideas más claras de si se puede realizar algo similar con el proyecto de estudio o puede ser requerido la mejora de ideas respecto a la bibliografía revisada. Este capítulo indicará proyectos similares, ya ejecutados, para comparar si el planteamiento realizado tiene una base factible para ser realizado y tener unos objetivos claros en la realización del proyecto técnico.

1.1. Antecedentes

Para la realización de sistemas de limpieza en sitio, conocido en inglés como *cleaning in place*, cuyas palabras forman las siglas de CIP, el autor Nazareno Saulo, ahora ingeniero industrial, en su trabajo de titulación “Plan de mejoramiento del sistema de limpieza (CIP) en una planta de elaboración de helados”, menciona que para la obtención de datos utilizo la entrevista, similar a los datos que serán obtenidos para la realización del sistema de control de los ciclos CIP de la empresa de lácteos. A su vez indica que el sistema CIP es centralizado, por lo cual se puede proveer de los fluidos a las diferentes máquinas y sistemas que lo requieran, esto es adecuado pues, se asemeja al sistema general de distribución de los líquidos necesarios para el CIP en la empresa donde se realizará el trabajo, las variaciones que se tiene son en el producto a obtener (Nazareno, 2015).

A su vez, en el estudio de varios autores de tema: “Determinación y estandarización de las mejores condiciones de proceso de lavado CIP (*cleaning in place*): en la zona de evaporación de la planta pulverizadora de leche Colanta Planeta Rica” busca el control del caudal de los fluidos necesarios para el CIP, datos que no son requeridos ya que la empresa cuenta con un sistema centralizado para distribuir los ácidos necesarios, esta investigación es útil para comprobar diferentes métodos de CIP (Pérez, et al., 2012).

En el caso de la termización, el actual ing. Alberg Hernández, en el cual fue su informe de proyecto de graduación: “Sistema de control automático para el proceso de termización de leche” sugiere temperaturas entre 63 a 75 °C durante 15 segundos para pasar por el termizador, también indica el uso de controladores lógicos para el manejo de temperaturas, pero al ser un trabajo de 2010, no se recurre a nuevos métodos como los controladores de temperatura, en los cuales se posee una programación propia y un sistema de control propio (Hernández, 2010).

1.2. Objetivo general

Diseñar e implementar el control automático y manual de la entrada de leche a temperatura constante al homogenizador y ajuste de ciclos CIP en marmitas de producción de yogurt

1.3. Objetivos específicos

Realizar revisión de literatura reportada, enfocada a los sistemas de control de temperatura de fluidos en tuberías, automatización de procesos CIP y esterilización de marmitas.

Establecer los requerimientos técnicos, térmicos, eléctricos y de esterilización necesarios para diseñar el sistema de control automático y manual propuesto.

Diseñar el esquema del control automático y manual de la entrada de leche a temperatura constante al homogenizador y ajuste de ciclos CIP en marmitas de producción de yogurt.

Implementar los sistemas electrónicos necesarios para el control automático y manual de la entrada de leche a temperatura constante al homogenizador y ajuste de ciclos CIP en marmitas de producción de yogurt.

Validar el proceso automatizado de la entrada de leche a temperatura constante al homogenizador y ajuste de ciclos CIP en marmitas de producción de yogurt.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para la realización de un proyecto técnico es necesario la recopilación de información, por lo tanto, un estudio previo de la actividad a la que se va a interferir se vuelve obligatorio, de esta manera el capítulo a continuación dará a conocer los temas de mayor importancia en la construcción de los sistemas solicitados.

2.1. Revisión de literatura

2.1.1. Industrias de lácteos

2.1.1.1. Concepto

Son aquellas industrias que tienen como materia prima la leche que procede de animales de abasto, generalmente de la especie bovina, es utilizado en la elaboración de quesos, bebidas lácteas, mantequillas, postres, helados, yogurt, entre otros (Sensagent, [sin fecha]).

2.1.1.2. Industrias lácteas en Ecuador

En Ecuador alrededor de 33 plantas industriales se encuentran certificadas para trabajar en la preparación de leche y sus derivados de acuerdo al estudio realizado por el Control Sanitario en 2017. La automatización de sistemas como la termización de la leche para que se pueda homogenizar y así poder preparar otros derivados como el yogurt, se hacen indispensables para las industrias actualmente (ARCSA, 2017).

El independizar un método de limpieza para incluirlo directamente a las tuberías de movilización de la leche como un sistema automático, denominado limpieza en sitio, ayuda a evitar el desensamblar las piezas para cumplir tal propósito por lo que, al agregarle una automatización a este proceso, reduce tiempos de operación, necesarios para cumplir otros objetivos de la empresa.

2.1.1.3. La empresa

La empresa inicia como Parmalat y fue creada por el Sr. Calisto Tanzi y su familia el 15 de abril de 1961 en Colecchio, población cerca de Parma en Italia. Para el año 1995 inicia actividades en Ecuador donde compra una planta productora de leche en Lasso-Cotopaxi, se tiene una vista del edificio principal en la figura 1-2.



Figura 1-2. Exterior de la planta Lactalis del Ecuador

Realizado por: Lobato, E., 2020

En 2002 la empresa se establece en 35 países de los cinco continentes, actualmente en el mundo se identifica como una de las empresas alimenticias de mayor crecimiento en los últimos años. En 2011 se da el mayor hito de Parmalat debido a la compra del 83% de acciones por parte del GRUPO LACTALIS de origen francés.

Después de ser adquirida, el Grupo Lactalis se convierte en la empresa número uno de lácteos a nivel mundial, operando en 150 países. “Durante casi 30 años, Parmalat ha formado parte de los hogares ecuatorianos entregando productos de alta calidad, saludables y nutritivos bajo las marcas Parmalat y Zymil” (Parmalat, 2012).

2.1.2. Requisitos para la elaboración de yogurt

2.1.2.1. Pasteurización de la leche

Es un proceso en el cual es posible la destrucción de microorganismos patógenos, capaces de causar posibles enfermedades al ser humano, se lo realiza al aplicar calor a temperaturas suficientes que solo extingue a este tipo de microorganismos y evita la alteración de los componentes de la leche (Zamorán, 2017).

2.1.2.2. Diferencias entre hervir la leche y la pasteurización

a. Hervir la leche

- Altera la estructura proteica, al ebullición la leche las temperaturas a las que se expone son muy altas.

- La cantidad de calcio se reduce.
- El contenido vitamínico se reducirá.
- La obtención de queso o yogurt ya no es posible (FAO, 2011).

b. Pasteurizar la leche

- Las proteínas no son alteradas.
- El contenido vitamínico se mantiene.
- La cantidad de calcio es más alto.
- Los productos derivados que se podrán obtener serán de mejor calidad.
- Los microorganismos tales como la difteria, salmonelosis, y productores de la tuberculosis son eliminados.
- Las bacterias generadoras de la fiebre escarlata y la fiebre tifoidea son exterminadas (Walstra & Jenness, 1987).

2.1.2.3. La termización

Walstra, P. y Jenness, R. han descrito a la termización como un tratamiento térmico de unos pocos segundos a una menor intensidad que la pasteurización en la que la temperatura aproximada será de 65 °C; la finalidad de este proceso es la destrucción de la mayoría de bacterias psicrófilas, pues algunas producen lipasas y proteinasas muy termorresistentes. Si los recuentos psicrófilos son bastante grandes antes de ser procesadas, establecerán el deterioro de los productos lácteos. Otros cambios irreversibles no son producto de la termización (Walstra & Jenness, 1987).

2.1.2.4. La homogenización

La homogenización de lácteos consiste en proceso por el cual los glóbulos de grasas presentes en la leche se fraccionan para generar una distribución más uniforme, donde se evita una separación de grasa en el producto final (Mayta-Hancco, et al.,2020).

En la industria de los lácteos la homogenización es un proceso mediante el cual:

- Se evita que la leche se desnate al reducir de forma considerable los glóbulos de la grasa bajo una alta presión.
- Se previene que la grasa de la leche se altere por la rancidez oxidativa o autooxidación o la rancidez hidrolítica o lipólisis

2.1.3. Elaboración del yogurt

2.1.3.1. El yogurt

A partir de la leche entera, donde las bacterias ácido lácticas transforman los azúcares en ácido láctico fundamentalmente y cantidades pequeñas de compuestos carbonílicos, ácidos grasos volátiles, aminoácidos y alcoholes por derivación de la acidificación, se coagulan y precipitan las proteínas lácticas, lo que da lugar al yogurt con su sabor, textura y aroma característicos (Rojas, et al., 2015).

Conocido desde la antigüedad, se cree que los pueblos nómadas fueron conocedores de su fabricación que se ha conservado como tradición. Proviene del lenguaje turco “yogurut” y del búlgaro “yaourt”, la popularización del yogurt se da con el estudio de los trabajos del biólogo ucraniano Metchnikoff, la manufactura con los aspectos microbiológicos necesarios y los beneficios en la salud, producto del yogurt son fundamentados por él (Mendoza, 2015).

2.1.3.2. Preparación industrial del yogurt

La elaboración industrial del yogurt consta de las siguientes fases:

- a.** Una vez normalizado el contenido graso de la leche, se lo puede enriquecer, pudiendo ser por concentración o adicionando leche en polvo desnatada, suponiendo un aumento del contenido proteico, lactosa, vitaminas y minerales.
- b.** Subsiguientemente, la leche es homogenizada para que el tamaño de los glóbulos grasos sea reducido, se consigue de esta manera estabilizar la emulsión para mejorar la digestibilidad del producto.
- c.** A continuación, se pasteuriza la leche. El propósito de pasteurizar es destruir casi toda la flora microbiológica inservible y toda la flora patógena, que se habló anteriormente, a través de un tratamiento térmico apropiado.
- d.** Se almacena el producto pasteurizado durante breves minutos, mientras se enfría a temperatura de fermentación, cercanos a los 45 °C.
- e.** Es necesario disponer de cantidades notables de bacterias lácticas para su siembra. Se tiene un cultivo madre seleccionado y controlado que produce por multiplicación en medios enriquecidos, en suficiente cantidad de fermentos para ser sembrados en la leche.

De acuerdo a Condony en base al sistema de producción, se distinguen dos grandes esquemas: “Fermentación en el envase de consumo individual o taza. Es el llamado tipo geliforme o tradicional”. “Fermentación en grandes depósitos antes del llenado del envase o taza (yogurt batido, con o sin adiciones de frutas, zumos, etc.)” (Condony, et al., 2013).

En donde los dos esquemas tienen una secuencia común de fabricación, observable en el gráfico 1-2, la inoculación de los fermentos lácticos es tomada en cuenta, y se diferencia dos esquemas, destacando la termización y homogenización como pasos indispensables para obtener buenos resultados elaborando yogurt.

En el caso del yogurt tradicional, después de la inoculación de los fermentos, y con la mezcla de otros ingredientes, en su caso, se envasa en las tazas o envases individuales sección A, del gráfico 1-2. Se efectúa la fermentación a temperatura controlada en estos recipientes. Ulteriormente, es enfriada y almacenada para su consecutiva distribución (Cueva, 2003).

En el caso de la producción de yogurt en el que la fermentación es desarrollada en grandes depósitos, precedentemente del llenado en envases individuales, la secuencia de fermentación comprende una primera fase común al proceso descrito. Posterior a la inoculación de los fermentos lácticos, se continúa en lo mostrado de la sección B del gráfico 1-2.

Condony detalla que: “El yogurt natural, a base sólo de leche y fermentos lácticos, también puede ser obtenido por este segundo procedimiento, obviamente, sin ningún tipo de adiciones.” (Condony, et al., 2013)

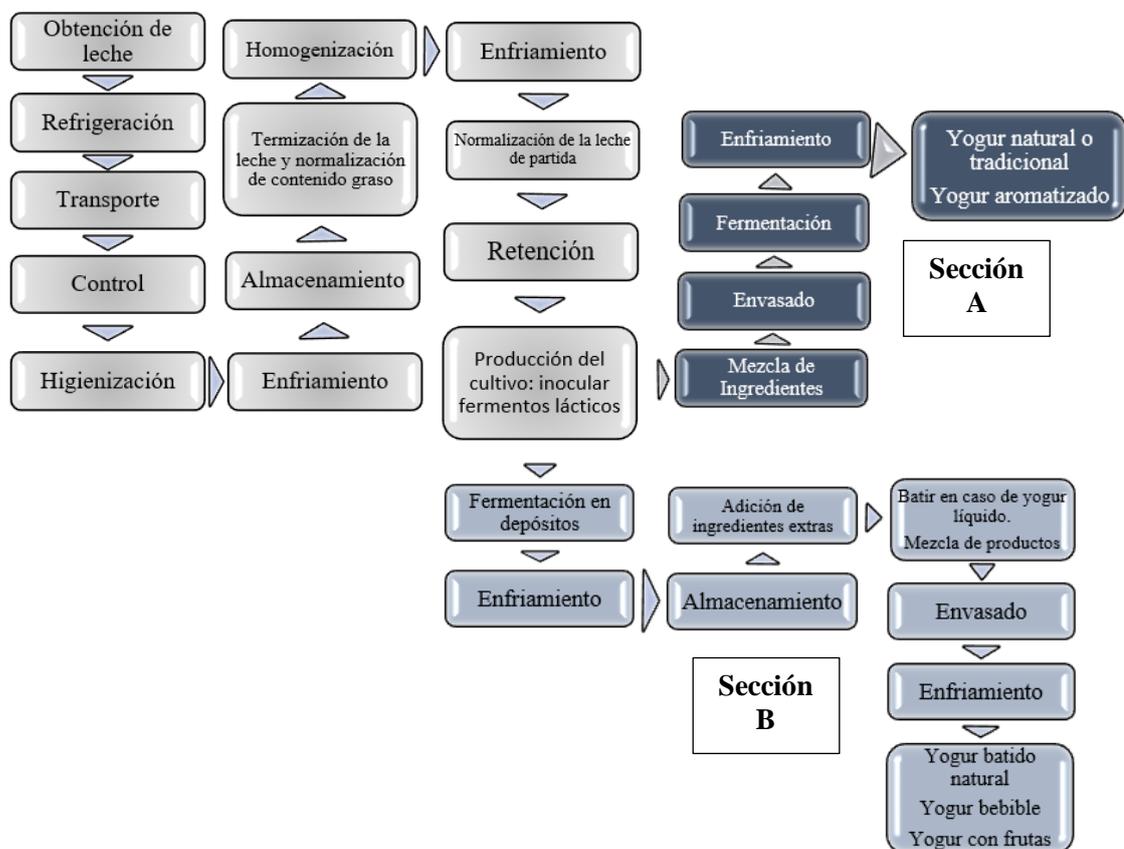


Gráfico 1-2. Diagrama de elaboración de yogurt

Realizado por: Lobato, E., 2021

Fuente: Condony, et al, 2013

2.1.4. Limpieza y desinfección en la industria alimentaria

2.1.4.1. Agencia reguladora de la salubridad en la industria alimentaria de Ecuador

Al ser la industria alimentaria uno de los sectores de mayor producción en nuestro país, siendo las empresas panificadoras, cárnicas, elaboración de pastas, lácteas, entre otras más; los protocolos o procesos de limpieza. La Agencia de Regulación y Control Sanitario (ARCSA) es quien dispone de un reglamento técnico de salud referente al tratamiento y cuidado de alimentos perecibles.

El reglamento de la ARCSA dispone que se tiene que garantizar los siguientes puntos importantes para la elaboración de un producto alimenticio:

- Locales limpios al momento de comenzar un trabajo.
- Equipos y utensilios deben estar limpios al momento de iniciar una jornada y que se tengan que limpiar durante su utilización, al contaminarse y en la finalización de la producción.
- Los productos alimenticios no pueden contaminarse durante la limpieza.
- Detergentes y desinfectantes o residuos no entren en contacto directo o indirecto con el alimento y, se debe evitar una nueva contaminación de superficies (CPE INEN 01:1987-009).

2.1.4.2. Objetivos de la limpieza y desinfección

- Las operaciones de limpiar y desinfectar están dirigidas al combate de la proliferación y actividad de los microorganismos, que pueden contaminar los alimentos y siendo causa de su deterioro.
- La ausencia de suciedad es el propósito de la limpieza, buscando disminuir o extinguir los microorganismos.
- La esterilización es el tratar de eliminar todas las bacterias, microorganismos y formas vivas posibles. Mientras el desinfectar se puede definir como la eliminación en parte del número de bacterias que se pueden encontrar en ambiente determinado o superficie.
- La supervisión permanente y eficaz, con programas de limpieza escritos, se debe especificar: superficies, elementos del equipo y utensilios a ser limpiados, el responsable de cada tarea, la frecuencia y los métodos de limpieza, junto a las medidas de vigilancia a tomar (Rangel; et al., 2012).

2.1.4.3. Operaciones preliminares

Para la manipulación de cualquier superficie o alimentos, y siempre que se considere necesario, los operarios procederán al lavado de manos con un producto bactericida. Secarlas con toallas de un solo uso es lo más conveniente.

La figura 2-2. muestra un ejemplo de cómo el personal debe ir siempre equipado con gorro y uniforme limpio, el cual debe ser adecuado para las tareas que desempeña. Es recomendable el utilizar una mascarilla para casos de riesgo de contagio.



Figura 2-2. Planta Lactalis del Ecuador

Realizado por: Lobato, E., 2020

2.1.4.4. Procedimiento y métodos de limpieza

Se puede ejecutar una limpieza con diferentes métodos, físicos y químicos. Los procedimientos al limpiar se basarán en:

- Que los residuos grandes sean eliminados.
- Aplicación de una solución detergente que despegará la capa de suciedad y bacterias.
- La aclaración de agua, eliminará suciedad adherida y restos de detergente.
- Realización de desinfección profunda, si para el equipo o zona son requeridos (INDISA, 2010).

2.1.5. *Cleaning in place* (CIP)

2.1.5.1. Definición

El proceso de sanitización de una máquina o reservorios encargados del almacenamiento, se lo conoce como *cleaning in place*, realizado en razón de eliminar la contaminación de bacterias durante la producción de bebidas para el consumo humano (Castro, 2011).

Por varios años, sistemas y máquinas en una planta de productos alimenticios tenían que ser desensamblados y limpiados manualmente. El obtener una significativa disminución de tiempo en la industria, es valioso cuando se tiene que hacer frecuentes limpiezas internas después de cada proceso (Martinez, 2019).

Las industrias que requieren de un CIP, son aquellas con altas necesidades y niveles de higiene, entre las principales tenemos las que manejan productos lácteos, bebidas, elaboración de cerveza, alimentos procesados, productos farmacéuticos y cosméticos, entre otros (Pérez, et al., 2012).

2.1.5.2. Ciclos del CIP

Los procesos para el CIP involucran varias etapas, con las siguientes secuencias principales, descritos en la figura 3-2. y traducidos a continuación:



Figura 3-2. Ciclos CIP

Fuente: INDISA, 2010

a. Primera etapa

Pre-enjuague, paso muy importante del CIP, porque si es bien monitoreado y bien ejecutado, hace al resto del ciclo de lavado predecible y repetible. La mayoría de acciones que suceden son:

- Humedecer la superficie interior de líneas y tanques

- Remover la mayoría de residuos restantes
- Disuelve azúcares y parcialmente se derrite grasas
- Provee una prueba de presión no química de la ruta del flujo del CIP

b. Segunda etapa

Lavado cáustico, ablandan las grasas y las hacen más fáciles de remover. También conocida como sosa cáustica, hidróxido de sodio o NaOH, la alcalinidad usada en el lavado cáustico tiene un muy alto pH, en un rango concentrado de 0,5 a 2,0%. Concentraciones elevadas al 4% pueden ser usadas en superficies altamente aceitadas.

La sosa cáustica es típicamente el principal detergente usado en la mayoría de ciclos de lavado CIP. Una formulación sin espuma puede ayudar a reducir cavitaciones por la bomba e incrementar la eficiencia. El primer lavado es enviado al drenaje y el segundo puede ser recogido y reutilizado.

c. Tercera etapa

Agua fresca enjuaga trazas residuales de detergente, restantes del lavado cáustico. Utilice la instrumentación adecuada durante cada paso del ciclo CIP, incluido el enjuague, que garantice una limpieza adecuada.

- Los transmisores de nivel y las sondas monitorean los niveles de tanques de lavado y enjuague.
- Los transmisores de flujo garantizan un flujo óptimo de pulverización, dispositivos para controlar con precisión los pasos de lavado y enjuague.
- Los transmisores de conductividad garantizan que los niveles químicos alcancen el punto de ajuste predeterminado.

d. Cuarta etapa

Enjuague final, es un enjuague con agua destilada o agua en alta presión producida por bombas motorizadas que empujan el en dirección opuesta a la presión osmótica, de modo tal que la fuente de agua con mayor concentración de contaminantes se vea forzado a pasar a través de la membrana semipermeable en lugar del agua con menor concentración de salinidad, o agua de la ciudad para eliminar los residuos agentes de limpieza.

En muchos sistemas, el calor residual y químicos retenidos del enjuague final ayudará a hacer el siguiente pre enjuague más efectivo y económico.

e. Quinta etapa

Enjuague sanitizado, puede ser requerido para ayudar en la eliminación de microorganismos antes de empezar la siguiente producción. Por muchos años, varias soluciones de hipoclorito (potasio, sodio o calcio), también conocidas como “hipo” han sido utilizadas como sanitizadores en muchos ciclos CIP. El ingrediente activo en un enjuague sanitizado es la clorina o cloro comercial.

En años recientes más manejos de sanitización han reemplazado sanitizadores basados en cloro en favor del ácido peracético (PAA), una combinación de peróxido de hidrógeno y ácido acético (INDISA, 2010).

2.1.5.3. Pasos opcionales del CIP

a. Expulsión

Aumenta la recuperación del producto y mejora la limpieza. Prioriza el ciclo de pre-enjuague, expulsando producto residual en las líneas de proceso, utilizando un sistema de recuperación de productos de tipo proyectil que mejora la limpieza y puede salvar producto valioso de ir al drenaje.

b. Lavado ácido

Muchas plantas de lácteos utilizan lavados de ácido regularmente para remover residuos de leche, conocidos también como “piedras de leche”. El ácido es también excelente para abrillantar descoloridos aceros inoxidables, removiendo manchas de calcificadas de mineral. Este paso opcional debería ocurrir después del enjuague intermedio y antes del enjuague final.

c. Soplo de aire

Este paso remueve la humedad restante en la línea después del enjuague final. Al realizar este paso, se recomienda utilizar una válvula de bloqueo de aire, habilitada al CIP. Lo que elimina la necesidad de desensamblar la válvula para lavado manual (INDISA, 2010).

2.1.6. Sistemas de control en el ámbito industrial

En la actualidad, nos encontramos en lo que varios autores llaman la segunda revolución industrial debido al control automático de procesos, con un desarrollo abismal. La evolución y tecnificación de las tecnologías de medición y control aplicadas al ambiente industrial se da por el uso intensivo de las técnicas del control automático de procesos (Dorf and Bishop, 2005).

El ámbito industrial es donde su estudio y aplicación han permitido que se reconozcan sus mayores ventajas, donde los beneficios hacia el control de gran número de variables y a sistemas que continúan creciendo en complejidad, han permitido la reducción de costos asociados a la producción de bienes y servicios, incrementa los volúmenes y calidad en la producción industrial, con beneficios adicionales al aplicarlo (Ogata, 2005).

El eliminar errores y aumentar la seguridad en los procesos es una contribución adicional al uso y aplicación de esta técnica de control. Es importante destacar que anterior a la aplicación masiva de las técnicas de control automático en la industria, el hombre era el que aplicaba sus capacidades de cálculo e incluso su fuerza física para ejecutar el control de un proceso o máquina asociada a la producción. Hoy en día, gracias al desarrollo y aplicación de las técnicas modernas de control, un gran número de tareas y cálculos que tienen relación a la manipulación de variables, ha sido delegado a computadoras, controladores y accionamientos especializados para alcanzar los requerimientos del sistema (Ogata, 2010).

El principio de todo sistema de control automático es la aplicación del concepto de realimentación o feedback (medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar), cuya característica especial es la de mantener al controlador central informado del estado de las variables para generar acciones correctivas cuando así sea necesario. Este mismo principio se aplica en campos tan diversos como el control de procesos químicos, control de hornos en la fabricación del acero, control de máquinas herramientas, control de variables a nivel médico e incluso en el control de trayectoria de un proyectil militar (Smith & Corripio, 1991).

2.1.7. Controladores de temperatura industriales

2.1.7.1. Definición

Un controlador de temperatura es un instrumento utilizado en el control de la temperatura. La figura 4-2. muestra varios modelos de controladores de temperatura Hangyoung con varios modelos adecuados al espacio donde se requieran instalar. Se tiene una entrada que procede de un sensor de temperatura y posee una o varias salidas conectadas a varios elementos de control o de alarmas visuales. Algunos elementos de control pueden ser un calentador o un ventilador, dependientes de si se desee calentar o enfriar (Galletto, 2020).



Figura 4-2. Modelos de controladores de temperatura

Fuente: Hanyoung CO, 2013

2.1.7.2. *Funcionamiento*

Se encarga de regular con precisión la temperatura del proceso donde la participación continua del operador no es necesaria, un sistema de control de temperatura se basa en un regulador, el cual acepta un sensor de temperatura pudiendo ser un termopar o RTD como entrada. La temperatura real es comparada a la temperatura de control deseada, o punto de ajuste, proporcionando una salida hacia un elemento de control. El regulador de temperatura es solo parte del sistema de control, debiendo todo el sistema ser analizado para la elección de un controlador adecuado. Los puntos a continuación deben ser considerados al seleccionar un controlador de temperatura (Omega, 2003):

- Tipo de sensor de entrada (termopar, RTD, otros) y rango de temperatura
- Tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR, salida analógica)
- Algoritmo de control necesario (encendido / apagado, control proporcional, controlador PID)
- Número y tipo de salidas (calor, frío, alarmas, límite)

En la tabla 1-2 se describe las características más destacables de tres modelos de controladores de temperatura que se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano:

Tabla 1-2: Marca y características de controladores de temperatura

MARCA	CARACTERÍSTICAS
AUTONICS	Modo de control: ON – OFF, PID Alimentación: 100-240 VCA 50/60 Hz Periodo de muestreo: 100ms Entradas de termocupla: J, K, L RTD: DPT100 Salida de control seleccionable: Relé SPST (NA) o SSR Subsalidas: Relé NA Otras características: función SSRP configurable para control de fase o control cíclico Tamaño: 48 x 48mm
HANYOUNG	Voltaje de alimentación: 100-240VAC Entradas múltiples: K, J, R, T y PT100; seleccionables Salida múltiple: SSR, Relay1, Relay2, 4-20mA, Relay2, Relay3 Ciclo de muestreo: 0.1 segundos Profundidad de instalación: 63mm Alarma de ruptura de resistencia
CAMSCO	Precisión: 0.5% Compensación en error de uniones: 2 °C Resolución: 14 bits Período de muestreo: 0.5 segundos Voltaje: 85-265V 60Hz Corriente máxima: 12A / 250VCA Consumo: 10VCA Dimensiones: 96x96mm

Fuente: Rinteco, 2021

Realizado por: Lobato, E., 2021

2.1.8. Variadores de frecuencia

2.1.8.1. Definición

En la figura 5-2. se observa un variador de frecuencia, descrito con las siglas VFD, del inglés: *variable frequency drive* o a su vez AFD *adjustable frequency driver* que es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, por medio del control de la frecuencia de alimentación que suministra al motor.



Figura 5-2. Variador de frecuencia

Fuente: Delta, 2018

Sevillano dice que: “Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor. Otra definición sería, los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad y la acopla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables” (Sevillano, 2011).

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asíncronos trifásicos, donde se convierte las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables (Arana, 2017).

La utilización de estos equipos se justifica cuando las necesidades para aplicarlos sean:

- Regulación sin golpes mecánicos
- Dominio del par y la velocidad
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

2.1.8.2. Ventajas de utilizar variadores en arranque de motores asíncronos

- No se tiene elementos móviles, ni contactos.
- Sencillez en la conexión del cableado.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables en el tiempo.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia
- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege al motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.

- Permite ver las variables (tensión, frecuencia, rpm, etc).

2.1.8.3. Inconvenientes de la utilización de variadores de frecuencia

- Sistema caro, con una rentabilidad a largo plazo.
- Es necesario un estudio de las especificaciones dependiendo del fabricante.
- Es requerido un tiempo para la realización del programa (Sevillano, 2011).

2.1.8.4. Oferta mercado nacional

En la tabla 2-2 se observan variadores de frecuencia que son posibles de encontrar en el mercado ecuatoriano, mediante la importación directa o mediante un intermediario.

Tabla 2-2: Marca, modelo y características principales de los variadores de frecuencia

MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS
SIEMENS	Sinamics V20	Entrada monofásica Sin filtro RTU/US\$ y MODBUS en terminales Amplio rango de tensión Modo ECO para Vf y V ² f Diseño de refrigeración avanzado Carga de parámetros sin fuente de alimentación Montaje pasante o en pared
POWTRAN	PI500A	Voltaje de entrada: 220V monofásica Voltaje de salida: 220V trifásica Entradas digitales: 6 Entrada analógica: 1 Multivelocidades: 16 Normas: IEC 61800 Y ROHS Puerto: RS485
DELTA	Serie VFD-EL	Frecuencia de salida: 0,1~600 Hz Curva V/f ajustable de 3 puntos Control de respuesta PID incorporado Switch RFI para suministro eléctrico IT Filtro EMI integrado (para modelos de 230V monofásicos y de 460V trifásicos) Interfaz de comunicación RS-485 (RJ-45) con protocolo MODBUS Módulos de comunicación opcionales para varios protocolos de comunicación, como Profibus, DeviceNet, LonWorks y CANopen Función de protección total

Fuente: Rinteco, 2021

Realizado por: Lobato, E., 2021

2.1.9. Sensores de temperatura

2.1.9.1. Concepto

Los sensores termoelectricos tienen el principio de funcionamiento basados en los hallazgos de Thomas Johann Seebeck (1822), Jean C.A. Peltier (1834) y William Thompson (1847), y se los denomina efecto Seebeck, efecto Peltier y efecto Thompson.

El efecto Seebeck consiste en la aparición de una diferencia de potencial entre dos puntos distintos de un conductor eléctrico que se encuentran de manera simultánea a diferentes temperaturas. En un termopar, el efecto Seebeck se manifiesta por la aparición de una corriente eléctrica que sólo depende de la diferencia de temperaturas entre las uniones como se mira en la figura 6-2.

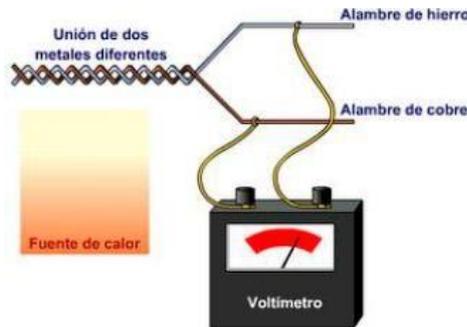


Figura 6-2. Efecto Seebeck

Fuente: Efecto seebeck & peltier, 2012

El efecto Peltier, se fundamenta en el calentamiento o enfriamiento de una unión entre dos metales A y B distintos al pasar corriente por ella. Este efecto, sólo depende del tipo de metal y de la temperatura T1 y T2 de las uniones tal como se ve en la Figura 7-2.

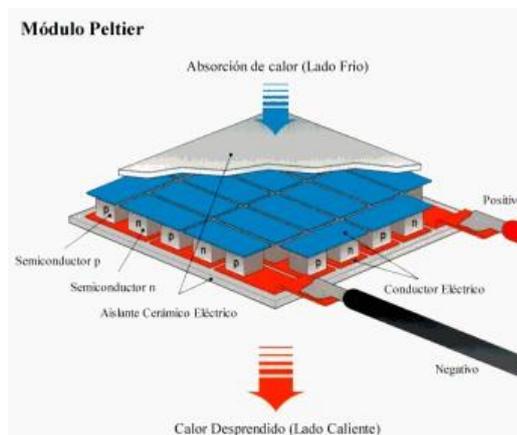


Figura 7-2. Efecto Peltier

Fuente: Efecto seebeck & peltier, 2012

El efecto Thompson se muestra en la figura 8-2, está caracterizado por la absorción o liberación de calor por parte de un conductor sometido a un gradiente de temperatura, por el que circula una corriente. Se libera calor cuando la corriente circula del punto más caliente hacia el más frío.

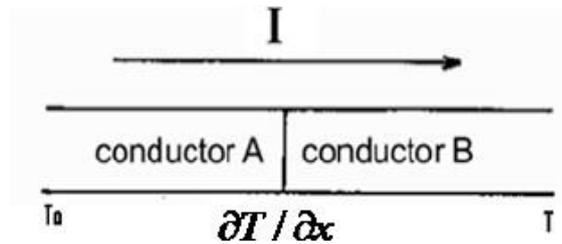


Figura 8-2. Junta de dos conductores diferentes para análisis el coeficiente Thomson

Fuente: Lindero Hernández, 2010

2.1.9.2. Termocupla

Industrialmente es uno de los sensores más utilizados en este campo, junto a los de tipo RTD. Son sensores eléctricos de temperatura que está elaborado por dos alambres de disímil material, se encuentran unidos a un extremo, donde un voltaje muy pequeño se genera cuando se aplica temperatura, cercanos a los milivoltios, proporcional a la temperatura (Bausá, et al., 2021).

En la tabla 3-2 se indican los tipos de termocuplas existentes y en la figura 9-2 se reconocen algunos modelos.

Tabla 3-2: Tipos y principales características de sensores de temperatura

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de temperatura	Diámetro de alambre apropiado	F.e.m. en mV
B	Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 a 1,500 (1,800)	0,35 y 0,5 mm	0 a 10,094 (13,585)
R	Platino-rodio 13% vs. platino	PtRh 13% - Pt	0 a 1,400 (1,700)	0,35 y 0,5 mm	0.16,035 (20,215)
S	Platino-rodio 10% vs. platino	PtRh 10% - Pt	0 a 1300 (1.600)	0,35 y 0.5 mm	0 a 13,155 (15,576)
J	Hierro vs. constatan	Fe - CuNi	-200 a 700 (900) -200 a 600 (800)	3 mm 1 mm	-7.89 a 39,130 (51,875) -7.89 a 33,096 (45,498)
K	Niquel-cromo vs. níquel (Chromel vs. Alumel)	NiCr - Ni	0 a 1000 (1.300) 0 a 900 (1.200)	3 o 2 mm 1,38 mm	0 a 41,269 (52,398) 0 a 37,325 (48,828)

T	Cobre vs. constatán	Cu - CuNi	-200 a 700 (900)	0,5 mm	-5,60 a 14,86 (20,86)
E	Niquel-cromo vs. constatán (Chromel vs. constatán)	NiCr - CuNi	-200 a 600 (800)	3 mm	-9,83 a 53,11 (68,78) -8,83 a 45,08 (61,02)

Fuente: Bausá et al, 2021

Realizado por: Lobato, E., 2021



Figura 9-2. Termopares

Fuente: CESSA RESISTENCIAS, [sin fecha]

2.1.10. Controladores lógicos programables

2.1.10.1. Definición

Se lo conoce industrialmente por sus siglas en inglés de PLC, *Programmable Logic Controller*, que es una computadora implementada en la automatización industrial, donde se automatiza procesos electromecánicos y la maquinaria de una fábrica en líneas de montaje.

La NEMA, la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos, menciona que un PLC es: “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos” (Pérez, et al., 2013).

2.1.10.2. Tipos de PLC

La variedad de PLC en el mercado se da por la capacidad de las funciones, número de entradas y salidas, tamaño de memoria, el aspecto físico, entre otros, la tabla 4-2 muestra una clasificación breve de los principales PLC utilizados en la industria ecuatoriana.

Tabla 4-2: Tipos de PLC y características

Tipos de PLC	Principales características
PLC compacto	En un solo paquete se integran CPU, módulos de entrada y salida. Tienen un número limitado de entradas y salidas. Uno o dos canales para programación, junto a un HMI. Puede poseer una o dos entradas analógicas.
PLC modular	La CPU, SM, CP y demás módulos se encuentran separados en paquetes por un riel DIN o con una forma especial. La comunicación se realiza por medio de un sistema bus. Pueden utilizar un número elevado de entradas y salidas. Aceptan programas más grandes. Operación en multitarea
PLC de tipo montaje en rack	El rack de los módulos del PLC contiene ranuras y un sistema de bus integrado para el intercambio de información. Los módulos no tienen sus propias cajas. La ventaja principal es el rápido intercambio de datos entre módulos con un tiempo de reacción menor
PLC con panel operador y controlador lógico programable, OPLC	Tiene interfaz HMI La HMI son un monitor y un teclado o una pantalla táctil No es necesario programar el panel de forma separada La programación se realiza por una herramienta de software

Fuente: Pérez-Molina et al., 2013

Realizado por: Lobato, E., 2021

2.1.11. Válvulas

2.1.11.1. Modelamiento matemático de válvula de control neumática

Para obtener el modelamiento de una válvula que pueda manejar el vapor de agua, se debe realizar un balance de todas las fuerzas que trabajan en la válvula, siendo:

- PA la fuerza ejercida por el aire comprimido desde la parte superior.
- Kx, la fuerza ejercida por el resorte acoplado al vástago y diafragma.
- $C = \frac{dx}{dt}$, la fuerza de fricción externa, producto de la causa del contacto del vástago con el empaque de la válvula.

Se aplica la segunda ley de Newton

$$F = m \cdot a \quad (1-2)$$

$$P \cdot A - kx - C \frac{dx}{dt} = \frac{m}{gc} \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2-2)$$

En ingeniería se entiende a gc como un factor de conversión de unidades que se utiliza para convertir masa en fuerza o viceversa.

$$gc = \frac{ma}{F} \quad (3-2)$$

Se divide por K y se agrupa

$$\frac{m}{K \cdot gc} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{C}{K} \frac{dx}{dt} + x = \frac{A}{K} P$$

Se define la fórmula

$$r^2 = \frac{m}{K \cdot gc}, 2\zeta_T = \frac{C}{K} \text{ y } K_v = \frac{A}{K} \quad (4-2)$$

Obtenemos una ecuación de válvula de segundo orden

$$r^2 \frac{d^2x}{dt^2} + 2\zeta_T \frac{dx}{dt} + x = K_v P \quad (5-2)$$

Para obtener la función de transferencia es aplicada la transformada de Laplace

$$\frac{x(s)}{P(s)} = \frac{K_v}{r^2 s^2 + 2\zeta_T s + 1} = \frac{\frac{A}{K}}{\frac{m}{k \cdot gc} s^2 + \frac{C}{k} s + 1}$$

Usualmente $m \ll K \cdot gc$

$$\frac{x(s)}{P(s)} = \frac{K_v}{T s + 1} \quad (6-2)$$

$$\frac{x(s)}{P(s)} = \frac{\frac{A}{K}}{\frac{C}{k} s + 1} \quad (7-2)$$

Si la dinámica de la válvula es despreciable en relación al proceso a controlar, se puede representar la válvula como una ganancia estática:

$\frac{x(s)}{P(s)} = K_v$ es utilizado en válvulas medianas o pequeñas

Cuando el fluido que circula sobre una válvula es laminar, podemos representarlo con la siguiente ecuación:

$$F = f(x)C_v\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (8-2)$$

El moderador de la válvula es dependiente del tipo de fluido circulante a través de este.

2.1.11.2. Dinámica del fluido dentro de una válvula de control

Cuando el fluido que circula sobre la válvula es laminar, podemos representarlo con la siguiente ecuación:

$$F = f(x)C_v\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (9-2)$$

Donde:

ΔP es la caída de presión sobre la válvula

C_v es la constante de la válvula que depende de su tamaño

ρ es la gravedad específica del fluido

$f(x)$ es la curva característica de la válvula.

El coeficiente C_v es el flujo de galones(estadounidenses) por minuto (gpm) de agua que fluye a través de una válvula a una caída de presión de 1 psi (lb por pulgada cuadrada).

Ya con la ecuación del fluido de la válvula la cual está influenciada por la función $f(x)$, esta función puede tomar diferentes funciones matemáticas que dependen del tipo de obturador que tiene la máquina, los obturadores son los que permiten o no la circulación del fluido a través del asiento (Pérez, et al, 2012).

Lineal: $f(x) = x$

Raíz cuadrada: $f(x) = \sqrt{x}$

Igual Porcentaje: $f(x) = a^{x-1}$

Hyperbolica: $f(x) = \frac{1}{a-(a-1)x}$

Con el modelo matemático de la válvula de control se podrá reconocer la ideal para el manejo de vapor de agua y que pueda trabajar con una corriente de 4 - 20 mA.

2.1.12. Relés

2.1.12.1. Definición y principio de funcionamiento

El relé tiene la función de un interruptor, que se activa con un electroimán. Está compuesto por una barra de hierro dulce, conocida como núcleo, y una bobina de hilo de cobre lo rodea observables en la figura 10-2. El núcleo de hierro es magnetizado cuando una corriente eléctrica pasa por la bobina, debido al efecto del campo magnético. Al detener la circulación de la corriente, desaparece el campo magnético (Grudilec, 2017).

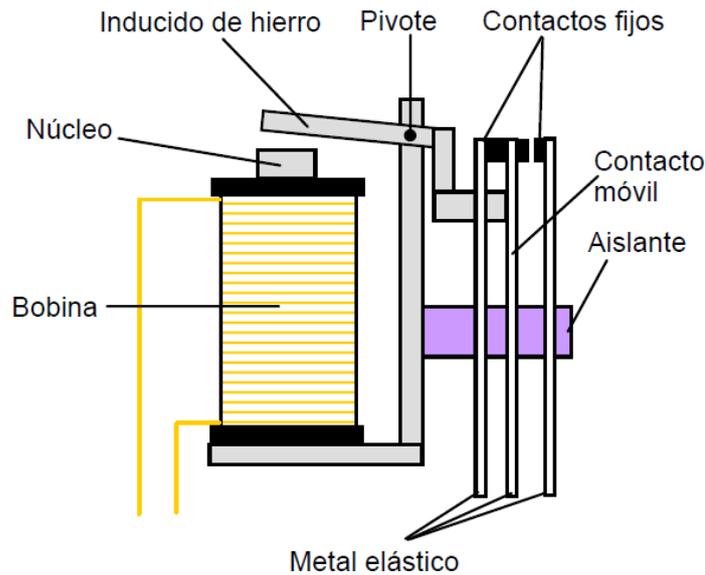


Figura 10-2. Estructura de un relé

Realizado por: Lobato, E., 2021

2.1.12.2. Relé como conmutador

Un relé por lo general tiene un contacto móvil o polo y un contacto fijo, se comporta como conmutador cuando dispone de dos contactos fijos y uno móvil. La figura 11-2 muestra varias combinaciones de interruptores de un relé.

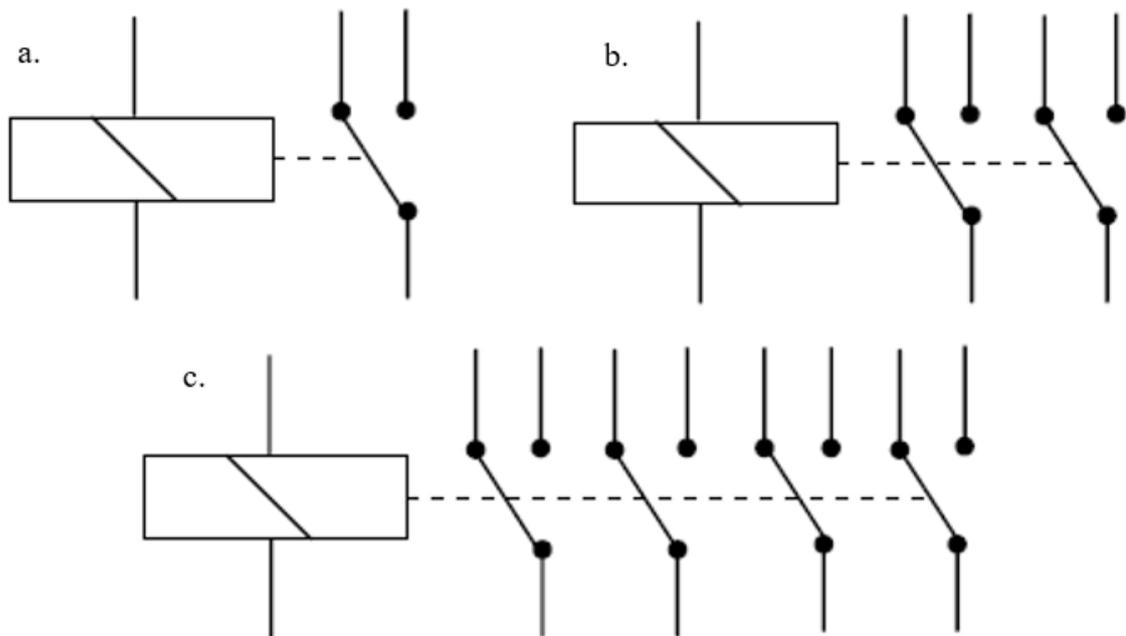


Figura 11-2. Configuraciones de un relé: a. relé con 1 entrada y 2 salidas, b. relé conmutado, 2 entradas y 4 salidas, c. relé conmutado, 4 entradas y 8 salidas

Realizado por: Lobato, E., 2021

2.1.13. Interruptores termomagnéticos

2.1.13.1. Definición

Al sobrepasar ciertos valores límites de corriente eléctrica se interrumpe para proteger el proceso eléctrico siguiente contra sobre corrientes provocadas por sobrecargas o cortocircuitos (Ogata, 2010).

2.1.13.2. Características

- ❖ Tienen un ancho estándar de $\frac{3}{4}$ " de tipo enchufable.
- ❖ Poseen conductores fabricados en Cobre.
- ❖ El Poliamida es el modelado del material, retardante a la flama.
- ❖ Características de disparo: Curva C. Curva reconocida para la protección de circuitos de alumbrado, tomas de corriente y en aplicaciones generales.
- ❖ Se puede encontrar en el mercado en corriente nominales de: 10 A, 15 A, 20 A, 30 A, 40 A, 50 A y 60 A. Con una capacidad de interrupción a: 10 kA.
- ❖ Desarrollados para ser conectados con cables de Cobre o Aluminio del calibre 14 al calibre 4 AWG.
- ❖ En su mayoría constan con uno o varios indicadores del estado de interrupción (IUSA, 2018).

2.1.13.3. Estructura interna

La figura 12-2 es la estructura interna de la mayoría de interruptores termomagnéticos del mercado.

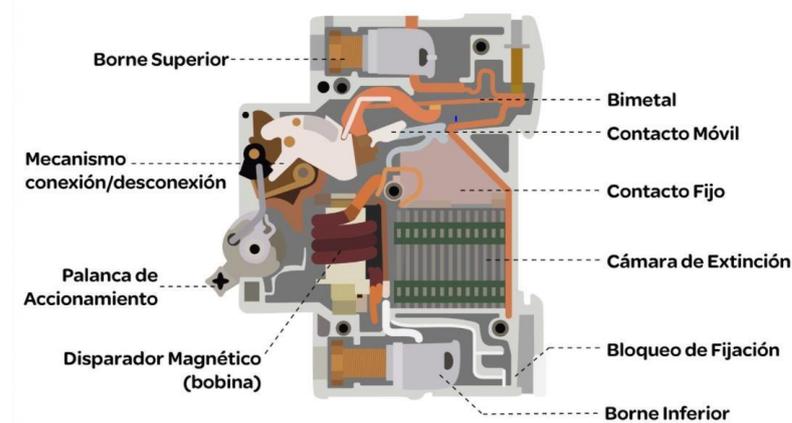


Figura 12-2. Estructura interna de un interruptor termomagnético

Fuente: IUSA, 2018

Al reconocer los parámetros de corriente que van a requerir los circuitos a desarrollar se puede identificar la protección requerida con el interruptor termomagnético apropiado.

2.1.14. Fuente de alimentación de voltaje

2.1.14.1. Definición

Se utilizan para proporcionar un valor de tensión adecuado para que pueda funcionar en un dispositivo que lo requiera. Una fuente de alimentación va a convertir un voltaje de corriente alterna a un voltaje de corriente directa (Boylestad & Nashelsky, 2009).

2.1.14.2. Etapas principales de una fuente de alimentación

El gráfico 2-2 muestra las etapas principales de una fuente de alimentación para obtener un voltaje requerido a la salida, necesario para el funcionamiento de un dispositivo electrónico.

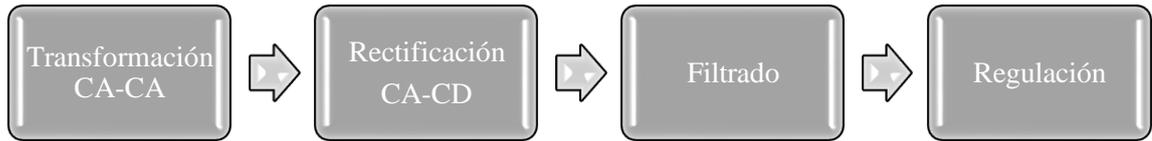


Gráfico 2-2. Etapas generales de una fuente de alimentación

Realizado por: Lobato, E., 2021

El reconocer el funcionamiento de una fuente de voltaje, permitirá verificar la indicada para que pueda trabajar con los elementos a utilizar en la construcción de los sistemas solicitados, al voltaje en corriente directa, correcto.

2.1.15. Unidad de mantenimiento

2.1.15.1. Concepto

Por lo general al momento de transportarse el aire después de un compresor y antes del circuito se debe incluir la unidad de mantenimiento, que está constituido por un regulador de presión, un filtro y un lubricador de aire, en la figura 13-2 se contempla el símbolo, mientras la figura 14-2 ejemplifica el elemento correspondiente (Bueno, 2013).

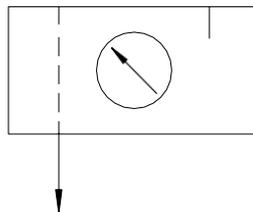


Figura 13-2. Símbolo de la unidad de mantenimiento

Fuente: FESTO, na



Figura 14-2. Unidad de mantenimiento FESTO

Fuente: FESTO, na

2.1.16. Selectores

2.1.16.1. Definición

Se los reconoce como interruptores industriales que dan un control manual en aplicaciones de corte o para aislar circuitos de potencia, se los puede emplear como controladores de motores de baja potencia, monofásicos o trifásicos. Otra utilidad que se les da es como interruptores de conmutación o interruptores de testeo o señal, las funciones de circuito que ofrecen son múltiples, según el número de polos escoja. Existe la disponibilidad de trabajo para corrientes CA y CD, desde 20A hasta 80-100A (Eurotronix, 2020).

La figura 15-2 representa varios tipos de selectores de dos y tres polos.



Figura 15-2. Selectores

Fuente: Eurotronix, 2020

2.1.17. Luces piloto

2.1.17.1. Utilidad

Son utilizadas para indicar si se encuentra energizado alguna sección del tablero o línea, o para indicar un proceso (BEKAM, 2018).

2.1.17.2. Identificación de luces piloto

Las luces piloto al igual que otros elementos electrónicos presentan un código para poder identificarlos, la figura 16-2 se indica un ejemplo de la lectura de un código de una luz piloto verde.



Figura 16-2. Lectura código de una luz piloto

Fuente: Autonics, 2013

La tabla 5-2 a continuación se detalla la codificación de las luces piloto estandarizado.

Tabla 5-2: Codificación de luces piloto

Clasificación	Código							Descripción	
	1	2	3	-	4	5	6		7
Modelo	L								Lámpara piloto
Dimensión		2							Ø 22/25
		3							Ø 30
Apariencia			RR						Lámparas piloto redondas sobresalientes
			RF						Lámparas piloto redondas rasantes
Tipo de cabeza					L1				DOME: forma de cúpula
					L2				HORN: forma cónica
					L3				FLAT: forma plana
Color						R			Red - rojo
						B			Blue – azul
						G			Green – verde

						Y		<i>Yellow</i> – amarillo
						W		<i>White</i> – blanco
Contacto							D	LED 12-24 VDC/AC
							L	LED 110-220 VAC

Fuente: Autonics, 2013

Realizado por: Lobato, E., 2021

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

En el siguiente capítulo se buscará dar solución a los problemas propuestos en la empresa Lactalis del Ecuador, identificando el problema como tal y con la investigación realizada, se tratará de resolver con los elementos que se puedan encontrar en el mercado nacional y que se encuentren en la empresa.

3.1. Reconocimiento y definición del problema

De acuerdo a lo revisado anteriormente en el documento, el problema por el cual este proyecto se desarrolla, es la necesidad de agregar un sistema de control para los ciclos CIP y un método de manejo de la leche con un sistema que pueda controlar la temperatura en el termizador, necesario para homogenizar la leche y preparar yogurt a una mayor escala en la planta láctea de Lasso de la empresa Lactalis del Ecuador, con la implementación del proyecto se prevé el aumentar la producción de litros de yogurt en sus diferentes variedades sin perder la calidad del mismo.

Referente a la información obtenida sobre la problemática presente y lo que se intentaba alcanzar con las automatizaciones en los procesos mencionados, ha sido mediante reuniones con personal de producción e ingeniería de la planta en Lasso, donde los aspectos más importantes para ejecutar este proyecto fueron definidos.

3.2. Captación y distinción de información

Anterior a la idea de elaborar más yogurt se producía en promedio 15000 litros de yogurt entre todas sus variedades semanalmente. La incorporación de nuevas marmitas en el segundo piso de la planta en Lasso ayuda a aumentar esta capacidad a 50000 litros de yogurt a la semana, por lo que la calidad en la elaboración de este producto no se puede permitir una baja. Siendo la termización un paso importante para que se pueda homogenizar la leche y obtener moléculas de grasa con un diámetro entre 0,4 a 0,6 micras y que así la consistencia del yogurt se mantenga, evitando que la grasa ascienda al separarse de los otros componentes durante su elaboración.

Un sistema CIP debe ser de consideración trascendental en la implementación de un nuevo producto de cualquier industria de alimentos, como se revisó anteriormente, existen entidades que supervisan el correcto manejo y elaboración de los productos a ser consumidos por el usuario. El automatizar este tipo de sistemas como se plantea en este proyecto beneficiará al operador, que reducirá su trabajo a solo mover un selector, para que un sistema de control maneje en su totalidad

este proceso, también se opta por un sistema manual, en caso de alguna falla en el controlador, pues la tecnología es opcional a un fallo o mal funcionamiento y para beneficio del usuario.

Durante el progreso del proyecto, la información se recolecta mediante consultas a los ingenieros de la planta Lactalis en Lasso-Cotopaxi, referente al posible funcionamiento, requerimientos para el diseño de ambos sistemas ya mencionados previamente, así como los tiempos de trabajo. Adicionalmente se solicitará asesorías técnicas a través de correos electrónicos con los distribuidores de material eléctrico y electrónico que trabajan con la empresa. Condicionalmente, se solicita un modelo de armado de un tablero eléctrico para adecuar algunos de los componentes de los sistemas a implementar, por lo que las licencias de simulación fueron adquiridas para la versión estudiantil.

Los siguientes puntos del gráfico 1-3 son a los que se enfocó el análisis de la información:

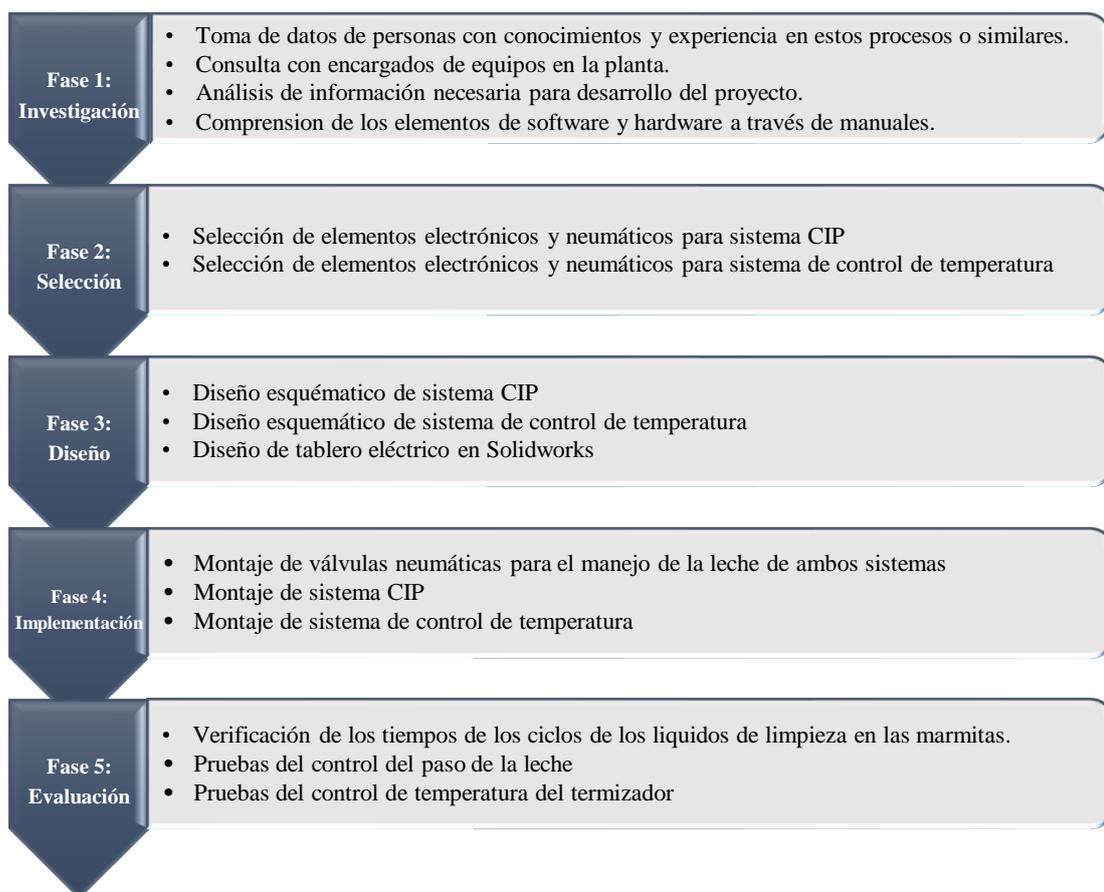


Gráfico 1-3. Fases de implementación del proyecto

Realizado por: Lobato E., 2021

3.3. Fase 1: Investigación

3.3.1. Revisión de las principales características a las soluciones

Con los planteamientos dados por la empresa Lactalis del Ecuador se buscó que los elementos a implementar sean modernos, de calidad y útiles para los sistemas, que se puedan conseguir en el mercado local, ya sea comprarlos desde un distribuidor de la ciudad o nacional; los cuales brinden confiabilidad y eficiencia, que trabajen con diversos estándares de calidad.

Para las problemáticas existentes se debe mencionar las características deseables para cada proceso:

- ✓ Utilización de un controlador lógico programable encargado del manejo del equipo de campo del sistema de CIP, llevando a cabo las secuencias en modo automático.
- ✓ Utilización de un controlador de temperatura industrial que se encargue del control de la temperatura en el termizador y de los elementos de campo que modifiquen el vapor de agua y maniobren el paso de la leche.
- ✓ Proposición del diseño para el control automático y manual de cada uno de los sistemas a implementar.
- ✓ Programación de cada uno de los controladores para su manejo de manera automática, a partir de la descripción de los procesos dados por la empresa Lactalis del Ecuador.

3.3.2. Solución conceptual a la necesidad del sistema de control de los ciclos CIP

El jefe de mantenimiento, bajo la orden del gerente de la empresa Lactalis del Ecuador, solicitan que, para el diseño de este sistema, se puedan controlar los diferentes ciclos que maneja un proceso de CIP, mediante una reunión se asignan los diferentes tiempos, observables en el gráfico 2-3, que bajo el control de electroválvulas y válvulas neumáticas se pretende realizar.

El modo de arranque será a través de un pulso que se mantendrá en el controlador, al momento que se seleccione la opción de automático y así el controlador ejecutará las órdenes para el control de los ciclos CIP en los tiempos requeridos, pudiendo ser detenido todo el proceso automático en cualquier instante, por requerimientos de control de la empresa. Debido a que se cuenta con un sistema de tanques de almacenamiento de los líquidos limpiadores general, que se utilizan para el CIP de la maquinaria de la planta y se debe detener todo el proceso para tratar con otra distinta o en sí para continuarlo de manera manual, o si se desea; realizarlo todo en modo automático, nuevamente.

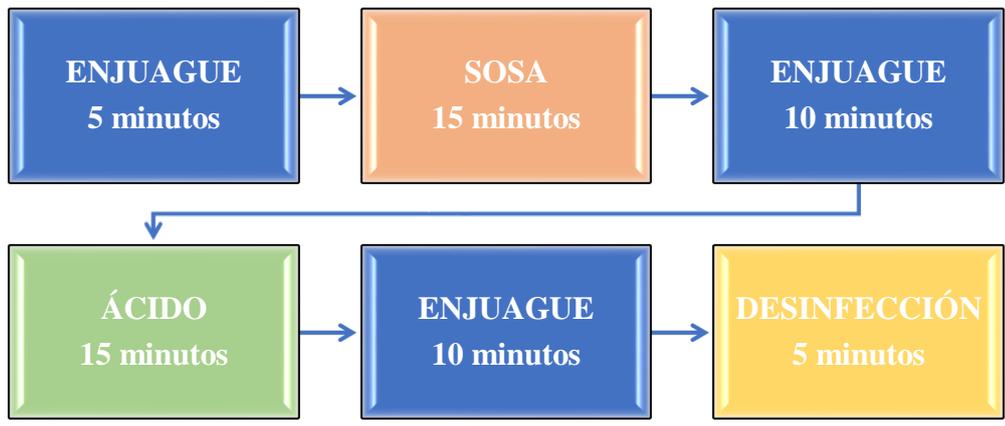


Gráfico 2-3. Tiempos a controlar solicitados por la empresa
 Realizado por: Lobato, E., 2021

3.3.3. Solución conceptual a la necesidad del control de temperatura en el termizador

Para el control de temperatura del termizador, se prevé la instalación del mismo junto al homogeneizador, la temperatura será intervenida con el controlador que recibirá los datos de la tubería de salida de la leche por el paso en el termizador, para verificar que cumpla con los 65 °C solicitados por la empresa y revisados en el capítulo 1.

La generación del calor será por el vapor de agua recibido desde los calderos de la empresa, cuya tubería se instala previamente al control. Se sitúan válvulas para permitir el paso del vapor hacia el termizador y una electroválvula proporcional para el manejo del mismo. Se da arranque a la bomba de salida de leche del tanque de almacenamiento. Por defecto el selector estará en la opción de retorno que mantendrá la leche en un ciclo de circulación cerrado por el tanque de almacenamiento.

El gráfico 3-3 indica la solución conceptual al control de la temperatura:

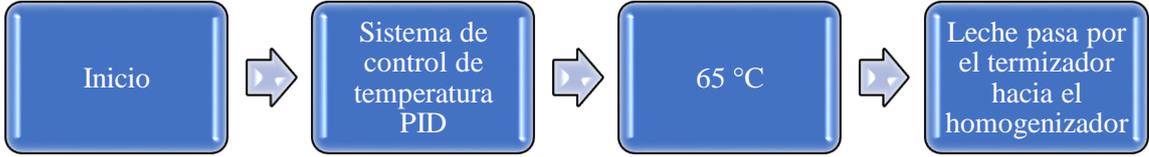


Gráfico 3-3. Conceptualización del sistema de control de temperatura en el termizador
 Realizado por: Lobato, E., 2021

3.3.4. Requerimientos del sistema de control de los ciclos CIP

La información recaudada con ayuda de la empresa Lactalis del Ecuador y el estudio de los requisitos de procesos para un sistema CIP, han permitido establecer el diagrama de bloques del

gráfico 4-3, que muestra de manera general el funcionamiento automático y los elementos con los que se trabajará para dar solución a este sistema.

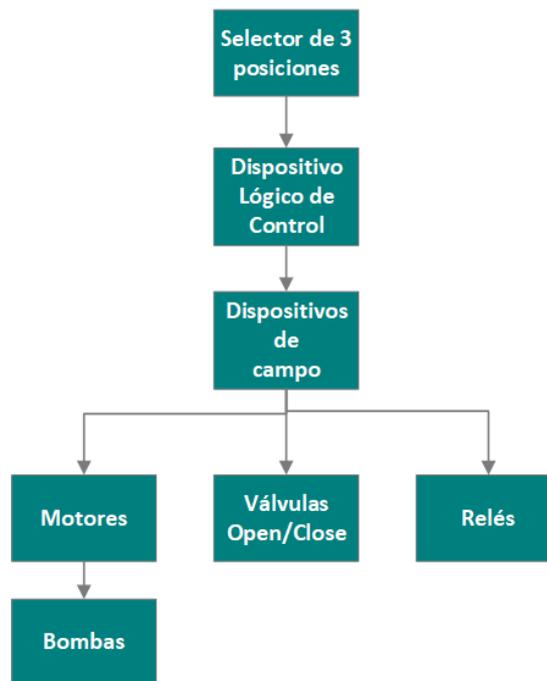


Gráfico 4-3. Diagrama general con los elementos del sistema CIP

Realizado por: Lobato, E., 2021

3.3.5. Requerimientos del sistema de control de temperatura en el termizador

Mediante reuniones con los ingenieros de la planta, operadores, se establece el diagrama de bloques en el gráfico 5-3 con una generalización de los elementos a utilizar:

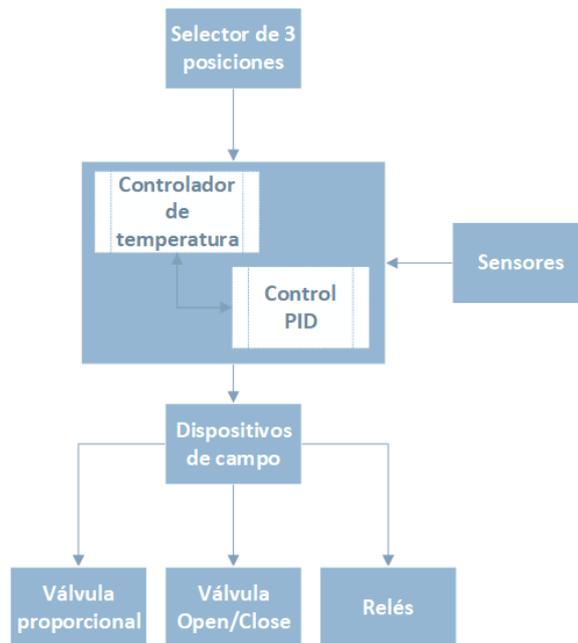


Gráfico 5-3. Diagrama general con los elementos del sistema del termizador

Realizado por: Lobato, E., 2021

3.4. Fase 2: Selección

Una vez analizado el concepto y tomados los requisitos necesarios, se pueden establecer los componentes que sean los más aptos para utilizar en cada sistema. A través de consultas de elementos disponibles en la planta de Lasso de Lactalis del Ecuador y con los distribuidores de herramientas y equipos de la empresa, se indica a continuación cada uno de los elementos necesarios en la implementación.

3.4.1. Controlador lógico programable

Se identifica la necesidad de integrar un controlador central con características específicas solicitadas por la empresa, indicados en la tabla 1-3 a continuación:

Tabla 1-3: Características necesarias del controlador lógico programable

Controlador lógico programable	Características necesarias
LOGO! 230RCE	<ul style="list-style-type: none"> • Que posea al menos una entrada digital • Que tenga como mínimo 4 salidas digitales o con relé. • Que pueda funcionar con un voltaje de 220 VCA • Que soporte condiciones de trabajo industrial, como la humedad.

Fuente: LOGO SIEMENS

Realizado por: Lobato, E., 2021

Conocidas las particularidades se opta por un controlador lógico programable de marca Siemens, modelo LOGO! 230RCE. Este controlador realizará el control automático de las electroválvulas y se lo puede ver en la figura 1-3, que permitirán el paso de ácido y sosa desde sus respectivos tanques, y adicionalmente se tendrá un control intermedio de cada ciclo para que cada líquido limpiador recircule por las marmitas, por solicitud de la empresa, y de esta manera tengan un mayor alcance adentro de las mismas.



Figura 1-3. PLC: Siemens LOGO! 230RCE

Fuente: Siemens, 2003

3.4.1.1. Descripción del software

Para el nivel correspondiente a la programación del controlador lógico programable fue utilizado el paquete de software LOGO!Soft Comfort V8.3. De esta manera y con el controlador elegido se puede programar tareas alternas, periódicas o continuas, de acuerdo al proceso también pueden ser eventuales.

Este software tiene la característica de permitir programar con estructuras denominadas “*Add On Instructions*”, implementadas en el proyecto. De esta manera la programación se reduce, pues la existencia de bloques elaborados, con una función específica, permite la realización de tareas repetitivas con más simpleza, evitando redundancias de programación.

El anexo B indica la programación utilizada en el control de los ciclos CIP, para lo cual el diseñar un bloque general de control de señales para las válvulas y los motores fue necesario y son visibles en las tablas 2-3 y 3-3, respectivamente.

La secuencia de programación sigue la lógica del gráfico 6-3, en lo que se refiere a la parte automática, la selección manual manipulará la válvula que permite la entrada y recirculación de los fluidos y del agua caliente para la limpieza de las marmitas en el tiempo que proponga el operador.

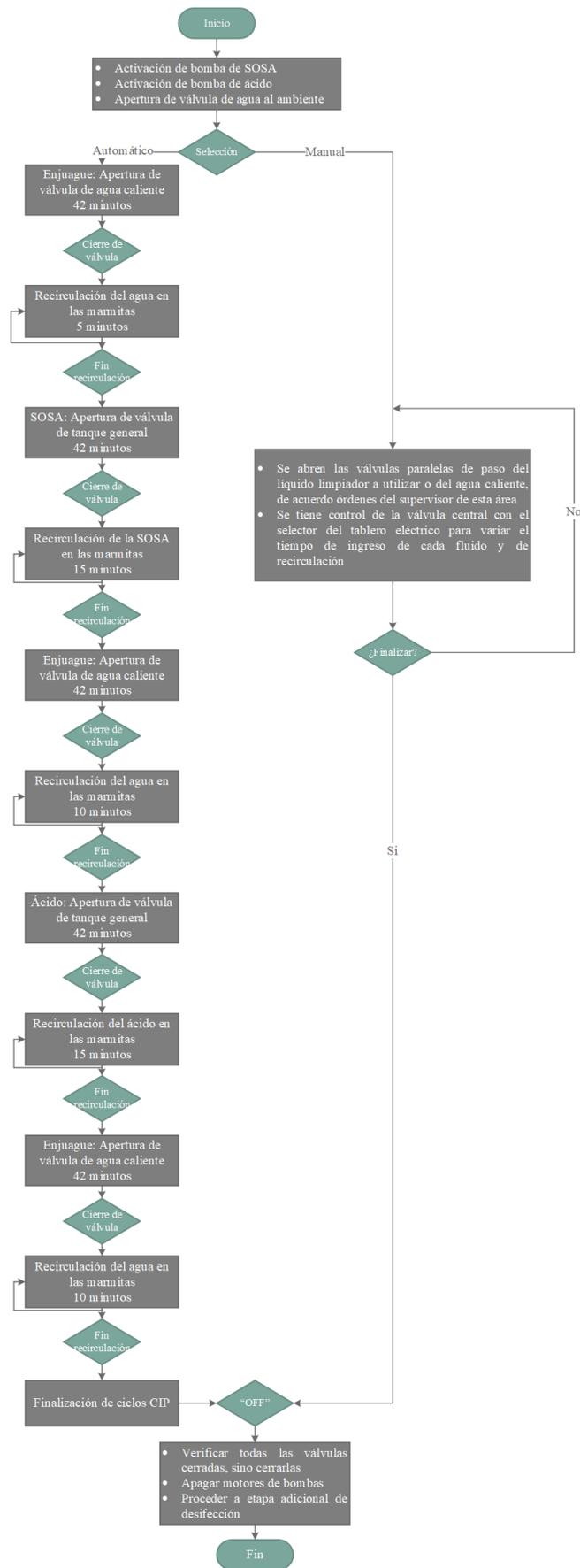


Gráfico 6-3. Lógica del funcionamiento manual y automático, sistema CIP

Realizado por: Lobato, E., 2021

Tabla 2-3: Señales para el bloque de control de las válvulas

Función	Entrada/Salida	Origen	Destino
Instrucción de activación	Entrada	Panel de operaciones	PLC (I1)
Abrir válvula (enguaje)	Salida	PLC (Q1)	Electroválvula
Cerrar válvula (enguaje)	Salida	PLC (Q1)	Electroválvula
Abrir válvula (SOSA)	Salida	PLC (Q2)	Electroválvula
Cerrar válvula (SOSA)	Salida	PLC (Q2)	Electroválvula
Abrir válvula (ácido)	Salida	PLC (Q3)	Electroválvula
Cerrar válvula (ácido)	Salida	PLC (Q3)	Electroválvula
Abrir válvula (recirculación en marmitas)	Salida	PLC (Q4)	Electroválvula
Cerrar válvula (recirculación en marmitas)	Salida	PLC (Q4)	Electroválvula
Abrir válvula (desagüe)	Salida	PLC (Q4), conmutación en relé	Electroválvula
Cerrar válvula (desagüe)	Salida	PLC (Q4), conmutación en relé	Electroválvula

Fuente: Propia

Realizado por: Lobato, E., 2021

Tabla 3-3: Señales para el bloque de control de los motores

Función	Entrada/Salida	Origen	Destino
Instrucción de activación	Entrada	Panel de operaciones	PLC (I1)
Arrancar motores	Entrada	Panel de operaciones	Variador de Frecuencia, tanques de líquidos limpiadores
Apagar motores	Entrada	Panel de operaciones	Variador de Frecuencia, tanques de líquidos limpiadores

Fuente: Propia

Realizado por: Lobato, E., 2021

3.4.2. Controlador de temperatura

El controlador de temperatura corresponde a la marca Hanyoung, modelo AX4, visible en la figura 2-3, el cual tiene un controlador PID de corriente de 4 a 20 mA, requerido para el manejo de la electroválvula proporcional que controla el paso de vapor de agua para mantener la temperatura en el termizador. Adicionalmente, tiene 3 salidas de relé, para el manejo de la válvula open/close de 3 vías y de esta manera permitir el paso de la leche para su calentamiento en el

termizador o que recircule por el tanque de almacenamiento, de construcción resistente para el ámbito industrial.



Figura 2-3. Controlador de temperatura Hanyoung AX4

Realizado por: Hanyoung CO., 2013

3.4.2.1. Descripción del software

En el caso del controlador seleccionado, se obtiene su forma de configuración con el manual de usuario provisto por el proveedor de material eléctrico de la empresa. Se reconoce que se puede programar internamente mediante las especificaciones mostradas en el anexo C.

La lógica que este controlador permite ejecutar es indicada en el gráfico 7-3, la cual se encarga de mantener la temperatura de 65 °C mediante el control de la válvula proporcional RV, solicitado por la empresa y revisada previamente, a su vez también nos permite controlar el direccionamiento de la leche por las tuberías que van al termizador o regresa al tanque de almacenamiento a través de la válvula de tres vías que se incorporará en el sistema para el modo automático.

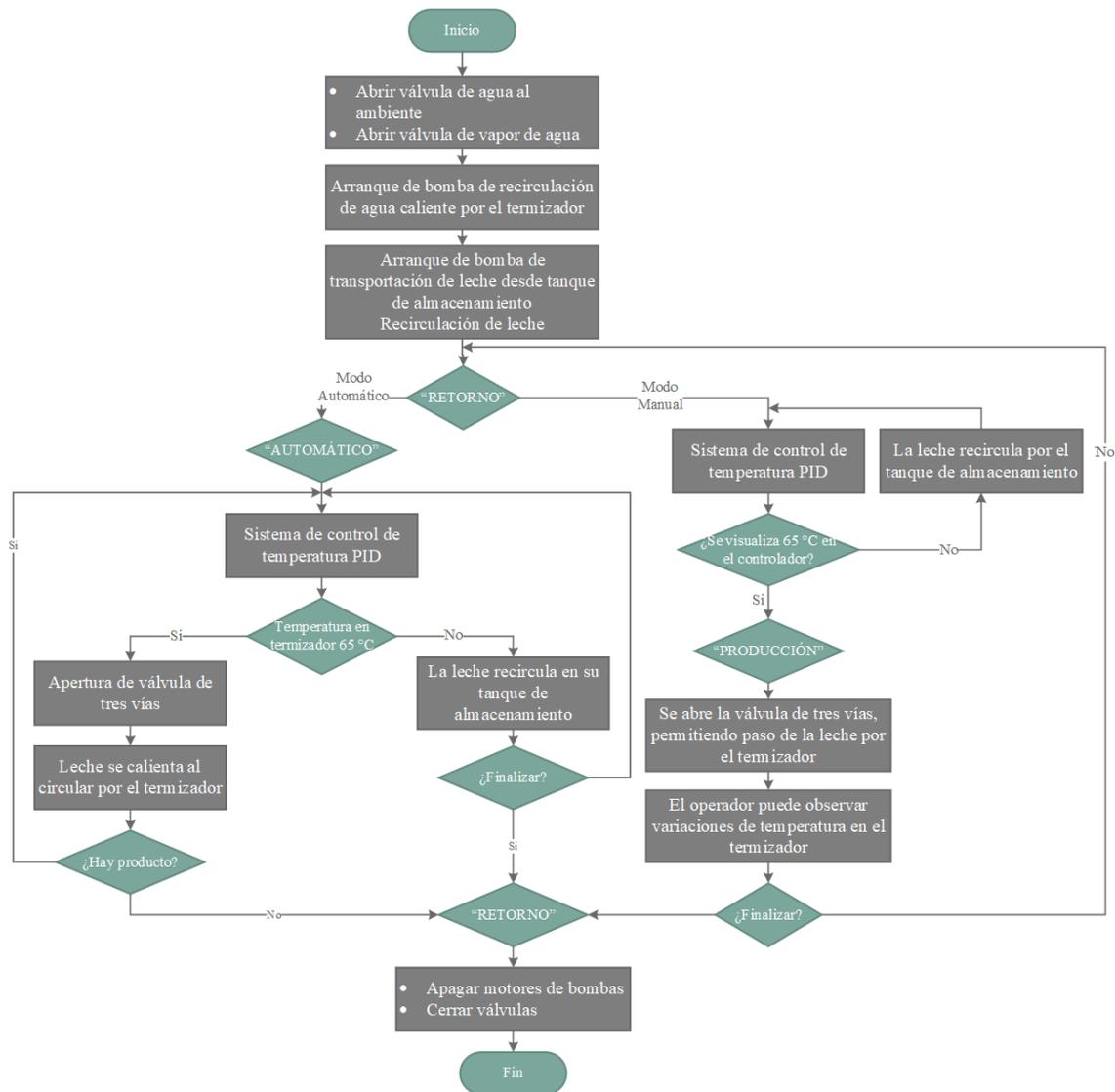


Gráfico 7-3. Lógica del funcionamiento manual y automático, sistema

Realizado por: Lobato, E., 2021

3.4.3. Electroválvula proporcional

La electroválvula encargada del manejo del vapor de agua es de marca Samson, las especificaciones se muestran en la tabla 4-3:

Tabla 4-3: Características válvula proporcional electroneumática Samson

Superficie accionamiento	120 cm ²			
Carrera nominal	15 mm			
Función de cierre hermético	V. entrando	V. saliendo	V. entrando	V. saliendo
Margen de señal nominal	0,4 a 1,4	1,4 a 2,3	1,4 a 2,3	2,1 a 3,3

Presión de alimentación	Máx. 6 bars	Máx. 4 bars	Máx. 4 bars	Máx. 6 bars
Señal de consigna	4 a 20 mA, corriente mínima 3,6 mA Tensión de carga ≤ 6 V (300 Ω para 20mA)			
Ajuste del span	Con potenciómetro 25% del margen de carrera			
Sentido de actuación	Aumentando/ aumentando, ajuste fijo			
Característica	Lineal, desviación con ajuste punto fijo ≤ 2 %			
Histéresis	≤ 1 %			
Influencia posic. montaje	≤ 7 %			
Función de cierre hermético (se desconecta sacando el puente)	Vástago saliendo	Desconexión a $\leq 4,08$ mA		
	Vástago entrando	Conexión a $\geq 19,95$ mA Histéresis de conmutación: 0,14 mA		
Consumo de aire en reposo	Con w = 100 %: 6 bar ≤ 200 l_n/h 4 bar ≤ 160 l_n/h			
Margen de temperatura	-30 a +70 °C			
Tipo de protección	IP 54* Opcional con protección Ex: II 2G EEx ia IIC T6			
Conexión eléctrica	Conector según DIN EN 175301-803, poliamida negra, bornes 8...10 mm Bornes roscados para sección de cable hasta 1,5 mm ²			
Peso	3,4 kg			

Fuente: Samson S.A., 2018

Realizado por: Lobato, E., 2021

3.4.4. Software de diseño de modelo 3D

Para el diseño del tablero eléctrico se utilizará el software Solidworks 2020, el cual tiene herramientas útiles para la elaboración de piezas 3D, de los cuales para la elaboración de la caja metálica se tomará las medidas del espacio indicado por la empresa para la colocación del mismo. El software Solidworks tiene una comunidad muy extensa que contribuye con modelos de piezas y elementos ya elaborados, estos son de uso libre y cuya utilización es permitida sino se tiene un fin económico. Modelos complejos como los relés y la unidad de mantenimiento que se ubicarán en el tablero fueron descargados de la página de Grabcad, propiedad de sus respectivos diseñadores, el tablero y otros componentes que lo conformarán son modelado propio. El ensamble de todas las piezas, para construir los diseños esquemáticos, se realizará con la herramienta “ENSAMBLAJE” de Solidworks.

La figura 3-3 da una vista diagonal al tablero que se ha de implementar en la empresa. Si bien Solidworks presenta la ayuda de Solidworks Electrical para la construcción de tableros eléctricos

industriales, no fue necesario su utilización, pues al tener la versión educativa del mismo, la herramienta mencionada no se encuentra disponible.

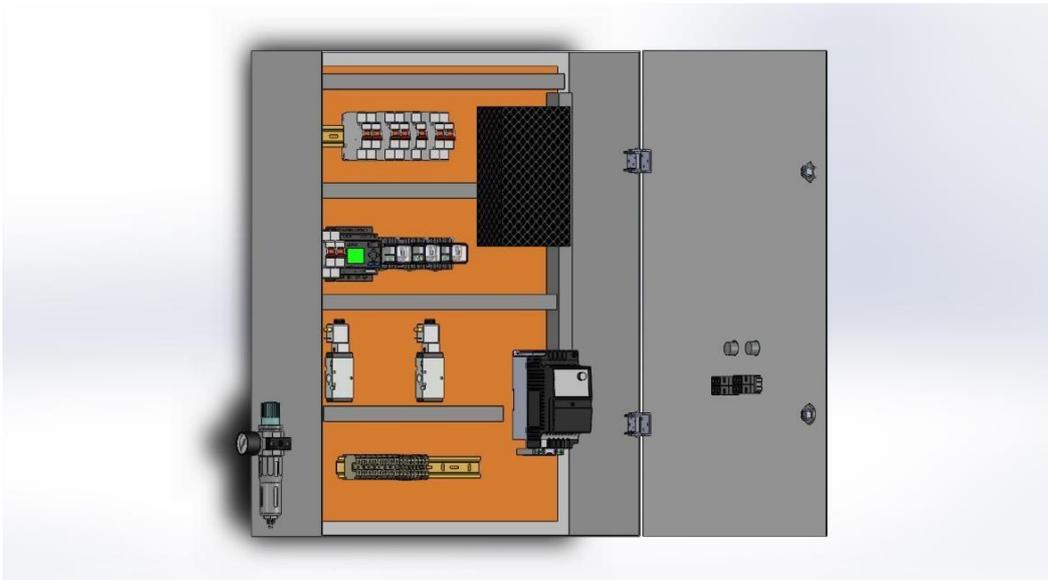


Figura 3-3. Vista diagonal del prototipo del tablero eléctrico

Realizado por: Lobato, E., 2020

3.5. Fase 3: Diseño

Reconocidos los elementos necesarios para desarrollar los sistemas de automatización en el control de temperatura del termizador y de los ciclos de CIP en las marmitas 9 y 10, es necesario realizar un diseño que cumpla con los requisitos establecidos por la empresa y que satisfaga los objetivos planteados.

3.5.1. Diseño del sistema CIP

3.5.1.1. Esquema de los elementos que constituirán el sistema

Los sistemas eléctrico y neumático que se muestran a continuación en las figuras 4-3 y 5-3 respectivamente, están diseñados para el control de los ciclos de paso de los fluidos necesarios para el CIP, que son la Sosa, el Ácido Nítrico y el agua caliente.

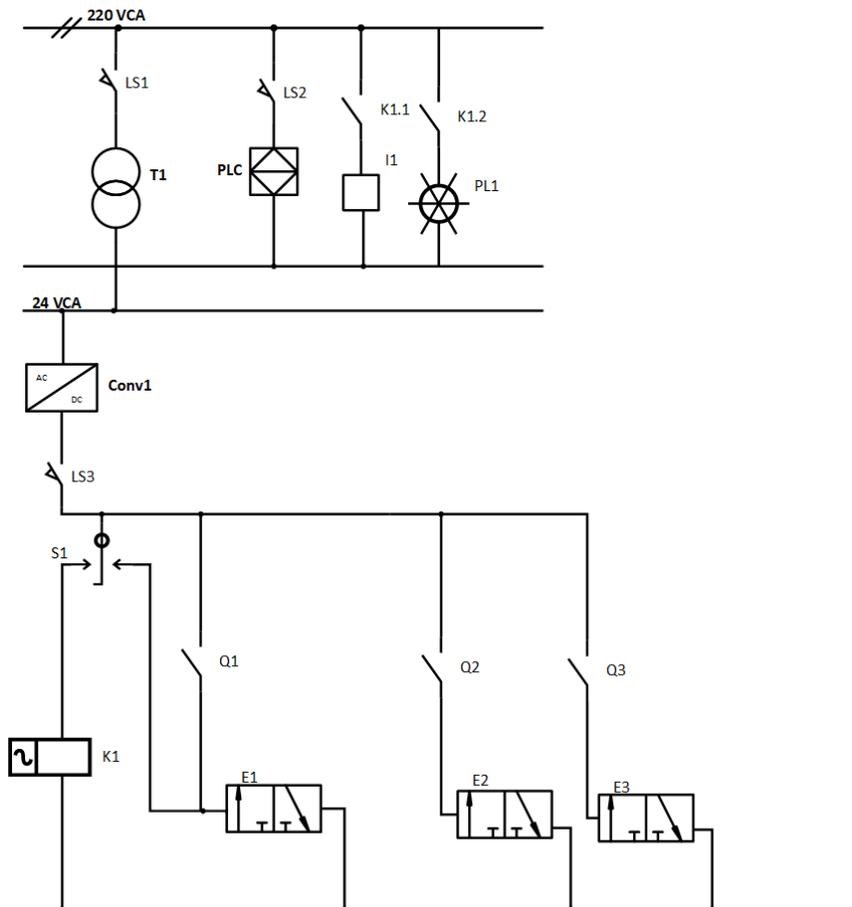


Figura 4-3. Diseño del sistema eléctrico del control de los ciclos CIP

Realizado por: Lobato, E., 2020

Donde:

LS1, LS2, LS3: Interruptor termomagnético

PLC: Controlador lógico programable

T1: Transformador de 220 VCA a 24 VCA

Conv1: Rectificador de voltaje de 24 VCA a 24 VCD

E1, E2, E3: Electroválvulas de bobina de 24 VCD

K1: Relé

S1: Selector de tres posiciones

Q1, Q2, Q3: Salidas del PLC

I1: Entrada de PLC

PL1: Luz piloto

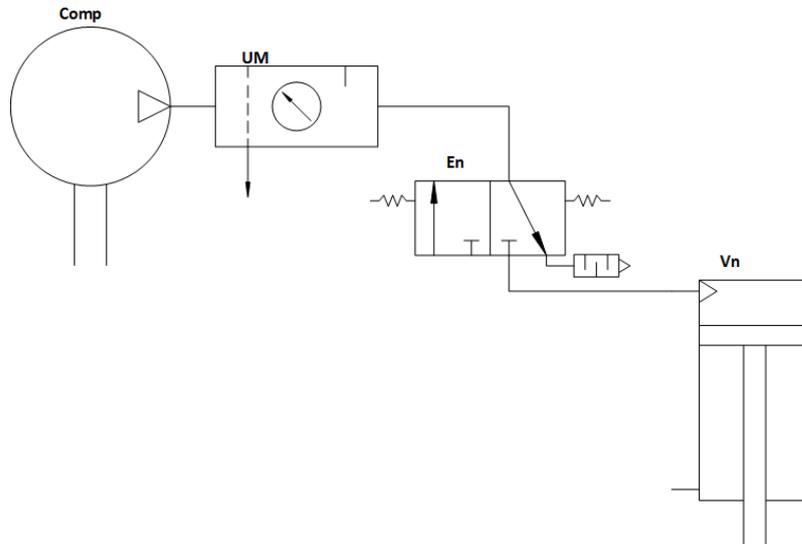


Figura 5-3. Diseño esquemático general de los sistemas neumáticos para el control de válvulas

Realizado por: Lobato, E., 2020

Donde:

Comp: Compresor de aire general de la empresa

UM: Unidad de mantenimiento

En: Electroválvulas

Vn: Válvulas neumáticas de acción simple

3.5.2. Diseño del sistema para controlar la temperatura en el termizador

Para el control de temperatura, es necesario establecer un diseño en el que esta pueda ser monitoreada y que con un control PID mantenga al valor de 65 °C de manera constante, de acuerdo a lo requerido por la empresa y revisado en el capítulo anterior. Además, se debe considerar la utilización de un controlador de temperatura que sea capaz de manejar la corriente de 4-20 mA a 10 VCD para el manejo de una válvula proporcional y que tenga salidas con relé, la figura 6-3 es el diseño a implementar.

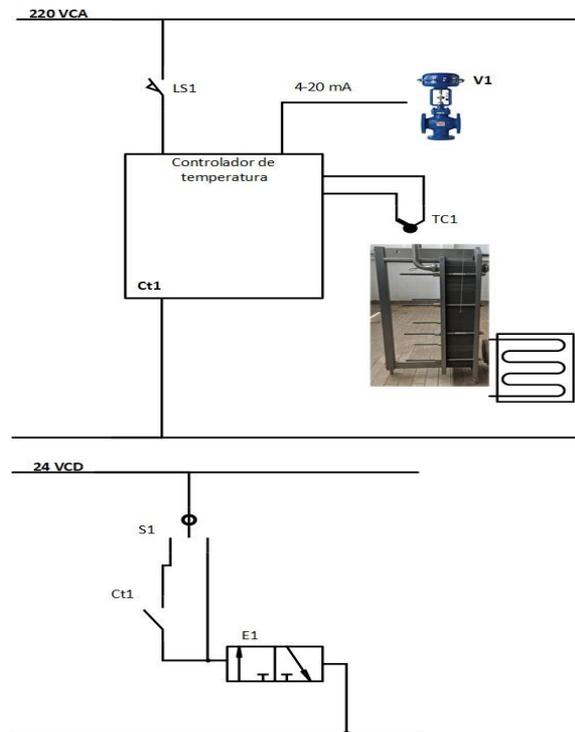


Figura 6-3. Diseño del sistema del control de temperatura en el termizador

Realizado por: Lobato E., 2020

Donde:

Ct1: Controlador de temperatura

LS1: Disyuntor

TC1: Termocupla

V1: Válvula proporcional

E1: Electroválvula

S1: Selector de tres posiciones

El esquema neumático es el mismo al de la figura 5-3, donde se agrega una nueva válvula *open/close* de dos vías para el manejo de la leche entre la tubería de circulación por el tanque de almacenamiento y hacia el termizador.

3.5.3. Diseño del tablero eléctrico

Por solicitud del ingeniero jefe de mantenimiento, y al tratarse de un trabajo en una planta industrial, se solicita un modelado en computadora de un tablero eléctrico que se pueda ubicar junto a un tablero de potencia, el cual es utilizado para el manejo de las bombas en la elaboración del yogurt. La figura 7-3 se muestra el modelo del tablero a implementar en la empresa para los

sistemas de control de los ciclos CIP, el manejo de la válvula de tres vías del paso de la leche y el control de las revoluciones del motor de 3600 rpm para el paso de la leche por el termizador:

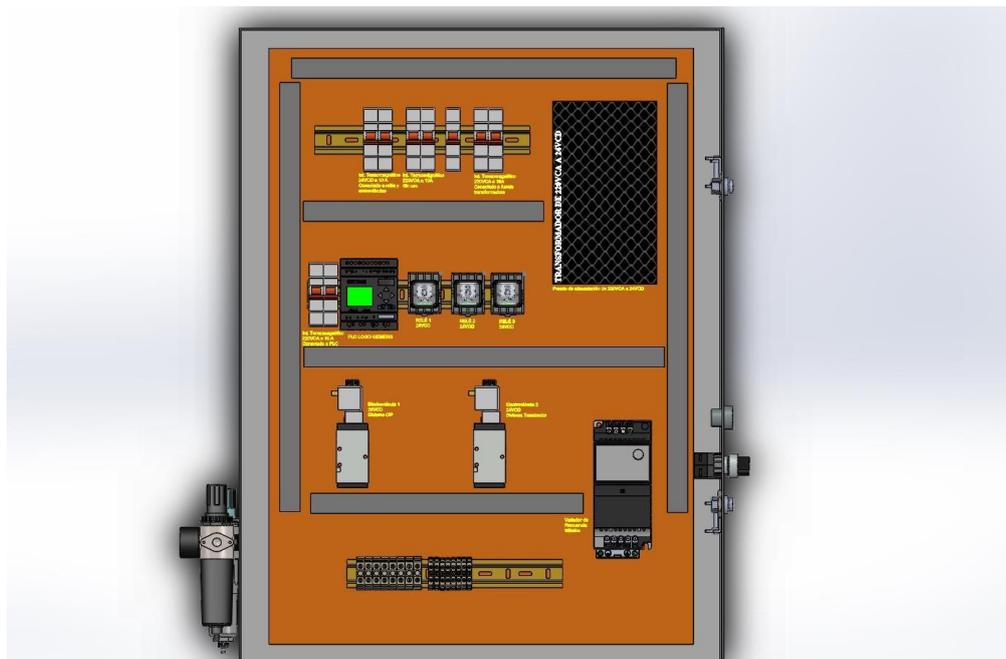


Figura 7-3. Vista frontal del tablero eléctrico a implementar

Realizado por: Lobato E., 2020

Las dimensiones que se contemplaron para el modelado son: 0,60 x 0,80 x 0,26 metros, medidas de la base, la altura y el ancho respectivamente.

3.6. Fase 4: Implementación

3.6.1. Elaboración de los sistemas de control de temperatura y CIP

Una vez cada elemento ha sido adquirido por parte de la empresa, se pone en marcha la elaboración de cada sistema y se ensamblan a la par, pues si bien, son dos sistemas distintos, ambos son requeridos para la elaboración de yogurt.

3.6.1.1. Preparación de tablero eléctrico

Debido a que se está trabajando en un ámbito industrial, es necesario agregar la parte eléctrica y electrónica en una cabina o tablero que pueda conservar estos implementos en un buen estado por la mayor cantidad de tiempo posible, por esto es necesario la preparación del mismo.

Se adecua el tablero con una previa pulida, para posterior pintarlo con una pintura resistente al agua, de color gris, visible en la figura 8-3 y 9-3 el antes y después del tablero, respectivamente.



Figura 8-3. Cabina previa a su instalación

Realizado por: Lobato, E., 2021



Figura 9-3. Cabina lista e instalada

Realizado por: Lobato, E., 2021

Una vez el tablero se encuentra listo, se debe colocar en el lugar destinado, que es a lado del tablero eléctrico de potencia, desde donde se manejan los motores de las bombas necesarias para la elaboración del yogurt.

La cabina es colocada a 1 metro de altura del suelo y se revisa que no tenga fugas para prevenir ingresos de agua, por la gran cantidad que se utiliza en esta área para la higienización del mismo.

3.6.1.2. Construcción de esquemas eléctricos

a. Primera fase

En esta ocasión, como ya se tienen diseñados y estructurados los esquemas, se empieza con la construcción respectiva, de cada uno de los sistemas. Lo primero que se agrega es la parte de protección, la cual es necesaria para como bien dice su palabra proteger cada elemento que forman

parte de los circuitos respectivos. Una vez finalizado con esta sección el primer circuito que se ensambla será la parte del sistema CIP. Debido a que se va a manejar electroválvulas y relés que funcionan con 24 voltios, es necesario incorporar una fuente transformadora de 220 voltios de corriente alterna a 24 voltios de corriente directa. Se sigue el diseño acorde al modelo diseñado en la plataforma de Solidworks, con lo cual se consigue una implementación más óptima que compensa el haber realizado este modelado previamente.

La figura 10-3 muestra este primer avance de la incorporación del circuito eléctrico del sistema CIP en el tablero, en espera de las pruebas respectivas.

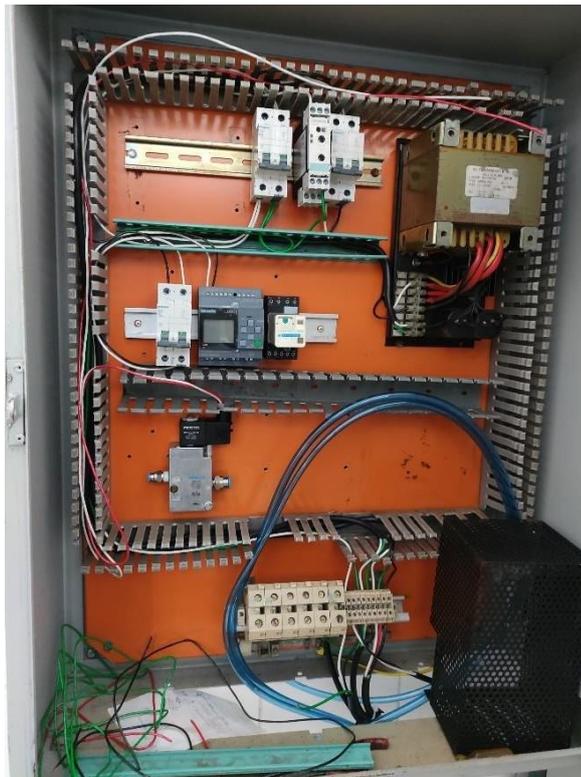


Figura 10-3. Instalación eléctrica de sistema CIP

Realizado por: Lobato, E., 2021

En esta primera parte también se incorporan relés, los cuales manejarán las luces piloto para la correcta identificación del funcionamiento de la válvula visible en el cuarto, la cual es la válvula V4.1 de recirculación de las marmitas 9 y 10. En la parte lógica en lo que respecta al PLC, también es agregado al sistema observable en la figura 10-3. Con esta primera parte se ponen como una sugerencia las mangueras del aire que serán dirigidas hacia la electroválvula V4.1.

b. Segunda fase

En esta etapa se procura incorporar los sensores de temperatura en una ubicación en la que se pueda controlar la temperatura de la leche de una manera óptima. Para lo cual se considera que la mejor ubicación es incorporarlo al final del termizador como se ve en la figura 11-3, de esta manera se verifica que la leche cumpla con los 65 °C.

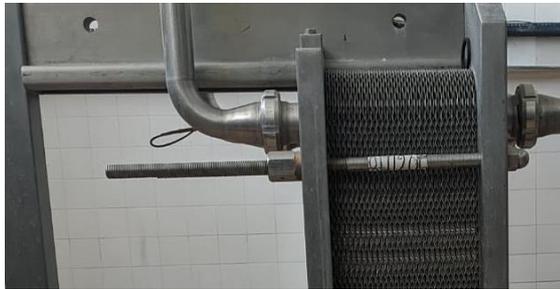


Figura 11-3. Ubicación del sensor de temperatura en el termizador

Realizado por: Lobato, E., 2021

Se extendió un cable a través de canaletas colocadas en las paredes de la empresa y los sensores se fijan atornillándose firmemente en la tubería de salida, ya que se le incorporó una entrada para que el sensor calce idealmente.

Con los sensores en su posición, se tiene que incorporar el controlador de temperatura industrial seleccionado anteriormente, el cual se ubica en el tablero de potencia, como se contempla en la figura 12-3, debido a que el espacio se vio reducido por la necesidad de agregar el variador de frecuencia DANFOSS para controlar el paso de la leche por el termizador.



Figura 12-3. Colocación en la puerta del tablero del controlador de temperatura

Realizado por: Lobato, E., 2021

Se agrega el variador de frecuencia Danfoss en el tablero eléctrico, en la ubicación prevista en el modelo 3D, se realiza la conexión de voltaje necesario de 220VAC y puede ser identificado en la figura 13-3.



Figura 13-3. Ubicación del variador de frecuencia

Realizado por: Lobato, E., 2021

c. Tercera fase

Para este momento es necesario agregar elementos visores y de control, que son los selectores de tres posiciones, también se agregan las etiquetas necesarias en la parte visible del tablero eléctrico y así poder tener un control visual de los elementos al alcance del operador, como se contempla en la figura 14-3, se incorporan las luces piloto para que se vea el trabajo de la electroválvula que maneja el paso de la leche o retorno de la misma por el termizador, hacia el homogeneizador y también el elemento identificador para controlar la electroválvula de circulación del agua y de los otros fluidos en las marmitas.

Solo en estos elementos es posible agregar los elementos visuales, pues las electroválvulas mencionadas son las que se encuentran en el mismo cuarto que las marmitas, por lo tanto, es necesario poder entender el comportamiento de estas cuando se encienden o cuando se apagan.



Figura 14-3. Luces piloto de identificación de electroválvulas

Realizado por: Lobato, E., 2021

Una vez incorporados todos los elementos electrónicos, necesarios para el control de cada uno de los sistemas, se da por concluido la elaboración de estos sistemas referente a la parte electrónica que manejarán estos sistemas.

3.6.1.3. Incorporación de elementos neumáticos necesarios

Para la integración de estos sistemas se toma en cuenta la necesidad de agregar una válvula neumática que se conecte en la tubería que da paso a la leche desde el tanque de almacenamiento, hacia el termizador como se observa el antes y el después en las figuras 15-3 y 16-3 respectivamente, para después ser almacenada en las marmitas 9 y 10; de esta manera se puede elaborar el yogur.



Figura 15-3. Antes de incorporar la válvula de tres vías

Realizado por: Lobato, E., 2021



Figura 16-3. Después de incorporar la válvula de tres vías

Realizado por: Lobato, E., 2021

También se agrega la válvula proporcional Samson como se admira en la figura 17-3, que va a controlar el paso de vapor de agua proveniente de los calderos, con el cual se pretende controlar el calor necesario para mantener la temperatura de 65 °C en el termizador.

Cada una de las válvulas neumáticas agregadas en estos dos sistemas requieren de aire comprimido, el cual es suministrado desde los compresores generales de la empresa, por lo tanto, es necesario conectar mangueras de número 8, hacia la entrada de cada una de estas válvulas. Previo a esto, debido a impurezas, es necesario colocar una unidad de mantenimiento para de esta manera evitar el ingreso de impurezas o aire algo solidificado a los elementos neumáticos, de este modo se previene averías a un futuro cercano.



Figura 17-3. Electroválvula neumática proporcional Samson

Realizado por: Lobato, E., 2021

Con las válvulas neumáticas agregadas en sus lugares respectivos, se realiza un leve testeo con la inyección de un voltaje para verificar el correcto funcionamiento de cada una de ellas.

3.6.1.4. Desarrollo de programación del PLC

En el programa LOGO!Soft se utilizaron temporizadores y bloques específicos para controlar los tiempos requeridos en los ciclos CIP, los bloques que se utilizaron son detallados a continuación.

a. Retardo a la conexión

Bloque que tiene dos entradas y una salida como se observa en la figura 18-3. Permanece encendido después del tiempo asignado, siempre y cuando se mantenga activada la entrada desencadenadora, que se empezará a denominar Trg.

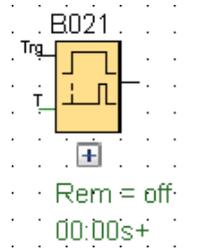


Figura 18-3. Bloque de retardo a la conexión

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

b. Relé de barrido (Salida de impulsos)

Bloque que posee dos entradas y una salida visible en la figura 19-3. Se enciende durante el tiempo asignado, al activar la entrada Trg, para después desactivarse.

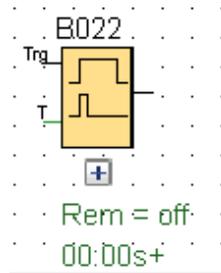


Figura 19-3. Bloque de relé de barrido

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

c. Retardo a la desconexión

Bloque que tiene tres entradas y una salida como se mira en la figura 20-3. Después de recibir un pulso en la entrada Trg, permanece encendido hasta que el tiempo asignado finaliza. Tiene una entrada de reinicio (R), que sirve para que el temporizador vuelva a reiniciar el tiempo que se mantendrá encendido.

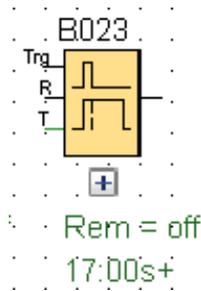


Figura 20-3. Bloque de retardo a la desconexión

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

d. Retardo a la conexión con memoria

Bloque que presenta tres entradas y una salida, visibles en la figura 21-3. Se mantiene activado después de que el pulso de arranque haya cumplido el tiempo establecido, la entrada de reinicio es necesaria para regresar el tiempo a cero y pueda volver a ser activada.

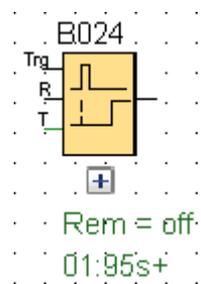


Figura 21-3. Bloque de retardo a la conexión con memoria

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

e. Generador de impulsos asíncrono

Bloque que tiene tres entradas y una salida como se mira en la figura 22-3. Puede generar pulsos de onda cuadrada asíncronos, acorde a la configuración que se le dé en los tiempos, siempre que el habilitador (En) se mantenga activado. Tiene un inversor de onda como entrada para arranque desde la señal de apagado.

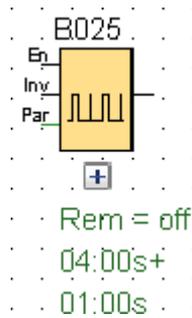


Figura 22-3. Bloque generador de impulsos asíncronos

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

f. Contador adelante/atrás

Presenta cuatro entradas y una salida visible en la figura 23-3. Depende como se configure para que se active la entrada contadora (Cnt) cada vez que un pulso ingrese, una vez se alcanza el número de pulsos indicado en el bloque, este se encenderá. Tiene una entrada de reinicio que permite desactivar el contador y que se reinicie el conteo, también tiene la posibilidad de contar cada vez que se envíe un pulso invertido, pero no necesario para el proyecto.

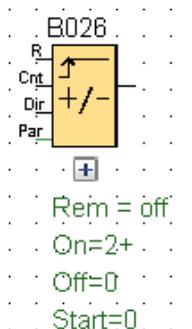


Figura 23-3. Bloque contador adelante/atrás

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

g. OR

Tiene cuatro entradas como se ve en la figura 24-3. Su comportamiento es el de una compuerta lógica OR y sigue tal lógica digital.

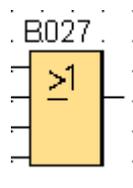


Figura 24-3. Bloque OR

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

h. AND

Tiene cuatro entradas como se ve en la figura 25-3. Su comportamiento es el de una compuerta lógica AND y sigue tal lógica digital.

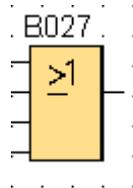


Figura 25-3. Bloque AND

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

i. NOT

Tiene cuatro entradas como se ve en la figura 26-3. Su comportamiento es el de una compuerta lógica NOT y sigue tal lógica digital.

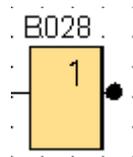


Figura 26-3. Bloque NOT

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

j. Marca

Tiene una entrada y una salida, como se ve en la figura 27-3. Permite realizar retroalimentación entre varios bloques, indispensable para el control de otros bloques

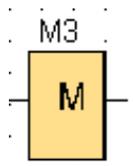


Figura 27-3. Bloque de marca

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

k. Entrada

Es un bloque con solo una salida, mostrada en la figura 28-3. Permite al PLC recibir instrucciones externas, ya sea a través de un pulso o una señal, este último utilizado en el sistema.

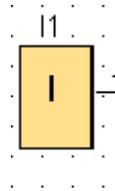


Figura 28-3. Bloque de entrada

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

l. Salida

Bloque que tiene una entrada y una salida, indicada en la figura 29-3. Es el bloque que le permite interactuar al PLC con elementos externos, necesario para controlar las electroválvulas ON/OFF.

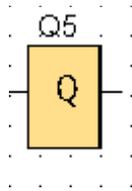


Figura 29-3. Bloque de salida

Fuente: Logo!Soft Comfort V8.3, 2021

Cada uno de estos bloques siguen el algoritmo mencionado anteriormente y forman parte de la programación del anexo B.

3.6.1.5. Desarrollo de programación del controlador de temperatura

Para la configuración del controlador de temperatura, es necesario realizar una revisión del manual de usuario del mismo, pues el método de programación incluye el reconocimiento de diferentes símbolos que se presentan en el display del controlador y de la correcta selección para conseguir la programación requerida.

A través de las teclas que tiene el controlador, se va escogiendo las opciones requeridas para poder llegar a la programación necesaria, siguiendo el algoritmo establecido anteriormente donde, también se tiene que controlar con el relé incorporado la válvula de 3 vías, la cual controlará el paso de la leche hacia el termizador o de retorno en el tanque de almacenamiento.

Para poder ingresar al menú de configuraciones del controlador se debe de presionar el botón MODE junto con el botón de flecha de la izquierda por aproximadamente dos segundos, de esta manera pasamos al menú de operaciones donde se puede elegir si se desea utilizar los relés propios del controlador, el tipo de control a utilizar; sea proporcional, integral, ON/OFF o el que se utilizará en el proyecto el controlador PID, configurado con autotune, el cual es una opción integrada que facilita el ajuste de los parámetros para el manejo de la válvula proporcional y así poder controlar la temperatura a 65 °C.

Los símbolos escogidos en la programación son descritos a continuación:

a. Condición de entrada

En el display del controlador se muestra como el símbolo de la figura 30-3, una vez aquí se tiene que seleccionar el tipo de termocupla a utilizar, en este caso escogemos la simbología de la figura 31-3 el cual define la termocupla de tipo k mencionada anteriormente.



Figura 30-3. Condición de entrada

Fuente: Hanyoung CO., 2013

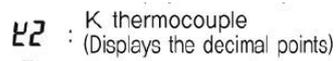


Figura 31-3. Símbolo de termocupla K

Fuente: Hanyoung CO., 2013

b. Unidad de temperatura

En esta sección del símbolo de la figura 32-3, procedemos a seleccionar la unidad con la que queremos medir la temperatura, debido a que se desea controlar 65 °C, escogemos la opción de grados centígrados.

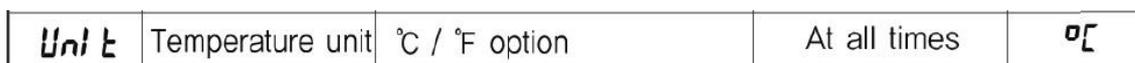


Figura 32-3. Símbolo de selección de unidad de temperatura

Fuente: Hanyoung CO., 2013

c. Tipo de control de salida

En esta opción del símbolo de la figura 33-3, se debe escoger la opción de SSR, de salida de voltaje de funcionamiento, lo cual nos permitirá controlar la válvula proporcional con el sistema interno del controlador, entre las corrientes de 4 a 20 miliamperios. Si se escogiera la otra opción, se trabajaría con uno de los relés que tiene el controlador.

oLtr	Control output type	SSr : SSR operating voltage pulse output rLy : Relay output	When output selection 1 or 2	SSr
-------------	---------------------	--	---------------------------------	------------

Figura 33-3. Símbolo del tipo de control en la salida y opciones

Fuente: Hanyoung CO., 2013

d. Acción de salida de control

En esta sección del controlador aparece el símbolo de la figura 34-3, en el cual debemos escoger la opción de *reverse action (heating control)*, acción reversa (control mediante calentamiento) en español, de este modo se controla la acción de calentar, por lo que esperamos llegar a un punto de control de la temperatura, en el cual el vapor de agua alcance los 65 °C deseados para el calentamiento de la leche en el termizador.

Ltrd	Control output action	rEu : Reverse action (heating control) dlr : Direct action (cooling control)	At all times	rEu
-------------	-----------------------	---	--------------	------------

Figura 34-3. Símbolo de acción de salida de control y opciones

Fuente: Hanyoung CO., 2013

e. Tipo de control

En esta configuración, se procede a escoger qué tipo de control se va a aplicar para mantener la temperatura de 65 °C, la forma más óptima para mantener esta temperatura será la opción del control PID, por lo tanto, seleccionamos el símbolo correspondiente, mostrado en la figura 35-3.

Ltrñ	Control type	PId : PID control P : P control (proportional control) oof : ON/OFF control	At all times	PId
-------------	--------------	--	--------------	------------

Figura 35-3. Símbolo de acción de tipo de control y opciones

Fuente: Hanyoung CO., 2013

f. Banda proporcional

En el símbolo mostrado de la figura 36-3 escogemos el valor proporcional que deseamos para el control PID.

Pb	Proportional band	1 (0.1) ~ EUS 100 %	When it is not ON/OFF control	30
-----------	-------------------	---------------------	-------------------------------	-----------

Figura 36-3. Símbolo de banda proporcional

Fuente: Hanyoung CO., 2013

g. Tiempo integral

En el símbolo mostrado de la figura 37-3 escogemos el valor de tiempo integral para el control PID.

I	Integral time	0 ~ 3600 sec	With PID control	240
----------	---------------	--------------	------------------	------------

Figura 37-3. Símbolo de tiempo integral

Fuente: Hanyoung CO., 2013

h. Tiempo derivativo

En el símbolo mostrado de la figura 38-3 escogemos el valor de tiempo derivativo para el control PID.

d	Derivative time	0 ~ 3600 sec	With PID control	60
----------	-----------------	--------------	------------------	-----------

Figura 38-3. Símbolo de tiempo derivativo

Fuente: Hanyoung CO., 2013

i. Control de histéresis

En esta parte del controlador seleccionamos la posible variación deseada, más cercano al valor del punto de control. Con la opción del símbolo de la figura 39-3.

HYS	Control hysteresis	EUS 0 ~ 100 %(Temperature unit)	With ON/OFF control	2
------------	--------------------	---------------------------------	---------------------	----------

Figura 39-3. Símbolo de control de histéresis

Fuente: Hanyoung CO., 2013

j. Propiedad de relé 1

A quién vamos a seleccionar el símbolo que se indica en la figura 40-3, con lo cual activamos el relé 1 del controlador, de esta manera podremos controlar la válvula de 3 vías que dará paso a la leche por el termizador.

<i>RLY1</i>	Relay 1 property	<i>non</i> : Not using <i>RL1</i> : Alarm 1 output <i>RL2</i> : Alarm 2 output <i>LbA</i> : LBA output	When output selection is 1 or 2 and <i>alter</i> is not RLY	<i>non</i>
-------------	------------------	---	---	------------

Figura 40-3. Símbolo de propiedad de relé 1 y opciones

Fuente: Hanyoung CO., 2013

k. Modo de alarma 1

Con esta alarma podemos seleccionar la manera en cómo se va a activar el relé una vez escogidos los símbolos respectivos, indicados en la figura 41-3. Para que le del controlador pueda dar paso a la leche por el termizador, es necesario que esté exactamente la temperatura en los 65 °C por lo que, el símbolo que se escoge es el de “alarma entre un rango”, con esto nos aseguramos que cuando la temperatura esté en el punto deseado, la leche avance por termizador hacia el homogeneizador; caso contrario, esta regresará al tanque de almacenamiento.

<i>R1nd</i>	Alarm 1 mode (Alarm 1 or 2)	<i>non</i> : Not using ---[: High alarm]--- : Low alarm	---
<i>R2nd</i>	Alarm 2 mode (Alarm 1 or 2)	-[-] : Alarm within range]--[: Alarm not within range]----

Figura 41-3. Símbolo de modo de alarma y opciones

Fuente: Hanyoung CO., 2013

Una vez se seleccionan los respectivos símbolos, necesarios para la programación del controlador, se tiene ya una lógica para proceder a ingresar valores y tener un control que puedan mantener la temperatura deseada. El control PID fue necesario para que la variación de temperatura no fuera excesiva y además es la más útil para el control de una válvula proporcional que maneja corrientes

de 4 a 20 miliamperios, el controlador de temperatura Hangyoung da la seguridad de mantener esta temperatura como lo demuestran las pruebas en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez realizados los sistemas solicitados por la empresa Lactalis del Ecuador, se sugiere la verificación de los resultados obtenidos para comprobar el correcto funcionamiento de cada sistema y pudiendo esto ayudar a futuras mejoras. El siguiente capítulo tratará los correspondientes resultados provenientes de cada uno de los sistemas.

4.1. Pruebas realizadas

4.1.1. Verificación de programación en controlador de ciclos CIP

En esta parte se tuvo que comprobar que el programa realizado en LOGO!Soft Comfort V8.3 cumpla con los parámetros de cada elemento especificados anteriormente para que no haya un retraso en los tiempos anteriormente mencionados. A su vez se verifica que todos los elementos de campo estén considerados en la programación, con sus respectivas entradas y salidas, se verifica la programación requerida en el anexo B.

4.1.2. Toma de tiempos de suministración de líquidos que esterilizan las marmitas

La tabla 1-4 muestra los tiempos deseados para la realización de los ciclos CIP y los tiempos obtenidos con el controlador de Siemens, con esto se verifica si se cumple con la recirculación de cada fluido a través de las marmitas para que la limpieza sea efectiva en cada una de ellas, de acuerdo a lo determinado por la empresa que, a través de estudios internos, también consigna estos tiempos idóneos en la limpieza de marmitas de capacidad de 14000 litros, que se observan en el anexo A.

Tabla 1-4: Relación de tiempos deseados con los tiempos implementados en campo

Etapa ejecutada	Tiempo deseado	Tiempo implementado
Enjuague	5 minutos	5 minutos
SOSA	15 minutos	15 minutos
Enjuague	10 minutos	10 minutos
Ácido nítrico	15 minutos	15 minutos

Enjuague	10 minutos	10 minutos
-----------------	------------	------------

Fuente: Propia

Realizado por: Lobato, E., 2021

Cada ciclo se ejecuta en el tiempo establecido para la recirculación de los líquidos dentro de cada marmita, indicando el correcto funcionamiento de los temporizadores del controlador y del manejo de los mismos. Cada ciclo debe cumplir los tiempos establecidos para garantizar la correcta limpieza de las marmitas. Se debe considerar cuarenta y dos minutos adicionales en todos los ciclos, debido a que cada marmita tiene que alcanzar el 15 % de su capacidad, solicitado por la empresa, de esta manera el líquido que ingresa en las marmitas puede tener recirculación y mediante una esfera perforada como se observa en el anexo D, denominada *spryball* o esfera esparcidora, que se encuentra ubicada al ingreso de los líquidos, situada en la parte superior, al interior de las marmitas; para de esta manera, conseguir una mayor distribución de cada uno. Se ha debido considerar estos nuevos tiempos en campo, con la realización de esta prueba de medida del tiempo en cada ciclo.

Se recuerda que el paso denominado “Desinfección”, es realizado con una máquina especializada para tal proceso, y al ser un procedimiento adicional del CIP, no es considerado en la implementación del sistema solicitado para este proyecto.

4.1.3. Prueba de validación de calidad en limpieza del sistema CIP

Para esta prueba se tomó como referencia la realización del yogurt griego, el cual una vez se habían agregado todos los ingredientes necesarios para su elaboración en las marmitas 9 y 10, y después del vaciado respectivo, para proceder al envasado, se tiene que preparar los tanques que almacenan los líquidos de limpieza; el ácido nítrico y la sosa cáustica, cuya concentración de cada uno se habló en un capítulo anterior.

Cuando cada marmita ha sido vaciada a su mayor capacidad, en cada una de ellas queda una carga residual del 0,005 % en el caso de la realización del yogurt utilizado para esta prueba de la limpieza, que es el yogurt griego. Se ha preparado una cantidad de 10.000 litros que, con la fórmula de porcentaje, da que se ha concentrado en cada tanque un aproximado de 5 litros.

El proceso de CIP inicia en modo automático, se ejecuta cada proceso en los tiempos establecidos en el controlador, y no sucede ningún contratiempo. Después del proceso, el personal encargado de microbiología toma las muestras necesarias del agua del último enjuague, antes del proceso de desinfección y compara las muestras con resultados anteriores. En la sección de los resultados a posterior, en la tabla 5-4 se mostrará los datos obtenidos de manera general.

4.1.4. Toma de tiempos para paso uniforme de la leche por el termizador

Una vez implementado el sistema, se debe controlar el paso de la leche a través del termizador, para lo cual el variador Danfoss, mencionado en el capítulo anterior, será el que realice el control del paso de la leche por el termizador a 125 litros por minuto. Para conseguir el manejo deseado del producto en litros por minuto, se utilizó la prueba de llenado a un valde de 20 litros, con agua, constatable en el anexo E, donde con un cronómetro se valida el tiempo que se demora el paso del agua a través de la tubería, para llenar el valde al cien por ciento de la capacidad.

El variador al controlar a una frecuencia máxima de 60 hercios, a un motor de 3600 rpm, se tiene que hacer una relación entre sus máximos, donde el valor de 60 alcanzará el valor máximo de la capacidad del motor, y se debió manejar estos valores hasta conseguir el indicado de 26 hercios, y así controlar el paso uniforme de la leche a través del termizador.

4.1.5. Comprobación de las medidas de temperatura en el controlador

Una vez implementado el sistema, se debe controlar el paso de la leche a través del termizador, que debe ser de 65 °C, para la comprobación del sensor de temperatura se utilizó el termómetro PCE-ST1, calibrado por la empresa Rinteco S.A., que es utilizado para la comprobación de la calidad de los productos en la planta Lasso. Las medidas tomadas por el sensor en el controlador se muestran en la tabla 2-4, a su vez también están las medidas del termómetro mencionado.

Tabla 2-4: Relación de mediciones de temperatura

Toma de temperatura	Temperatura de sensor hacia controlador de temperatura	Temperatura de termómetro
T. ambiente (tarde soleada)	35.2 °C – 36.4 °C	35.3 °C – 37.5 °C
T. ambiente (mañana fría)	26.4 °C – 27.2 °C	26.5 °C – 28.3 °C
T. agua al ambiente	35.6 °C	35.6 °C
T. agua calentada con vapor de agua	55.2 °C	55.2 °C

Fuente: Propia

Realizado por: Lobato, E., 2021

Para validar la obtención de los datos se realiza la ecuación estadística 1-4:

$$\text{Variación} = \frac{\text{temperatura medida en controlador} - \text{temperatura medida en termómetro}}{\text{temperatura medida en termómetro}} \times 100\% \quad (1-4)$$

La variación mayor se muestra en la temperatura ambiente, ya que por más cercana que sea la relación de posición entre el sensor y el termómetro, la temperatura ambiente presentará variaciones acordes a la humedad del cuarto en donde se encuentran las marmitas, a diferencia de cuando las medidas se realizan con un líquido a temperatura estable. Además, se comprueba la correcta selección del sensor en las opciones del controlador. La variación obtenida de las tomas de temperatura en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Variación de mediciones de temperatura

Toma de temperatura	Variación
T. ambiente (tarde soleada)	0.28 % - 2.93 %
T. ambiente (mañana fría)	0.37 % - 3.887 %
T. agua al ambiente	0 %
T. agua calentada con vapor de agua	0 %

Fuente: Propia

Realizado por: Lobato, E, 2021

4.2. Resultados del sistema CIP

4.2.1. Movilización de los líquidos para el sistema CIP

Como se mencionó anteriormente, se cuenta con dos tanques encargados del CIP de las diferentes máquinas de la empresa, por lo cual ha sido necesario añadir dos válvulas electroneumáticas, mencionadas en el capítulo anterior, para que, con las bombas propias de cada tanque y movilizan cada líquido a 100 litros/min, por una tubería de tres pulgadas, se obtenga la manera de que estos líquidos lleguen a las marmitas 9 y 10.

Pasados cuarenta y dos minutos las marmitas se llenan a 2100 litros cada uno, calculado con la ecuación 2-4 y teniendo en cuenta solo el caudal que llega al final de las tuberías de las marmitas:

$$V = Q \cdot t \quad (2-4)$$

Donde:

V = Volumen necesario del líquido en las marmitas.

Q = Caudal promedio desde el tanque de cada líquido.

t = Tiempo necesario para alcanzar el volumen deseado en las marmitas.

Una vez alcanzado este nivel, con la programación realizada en el controlador lógico programable, observable en el anexo B, se obtiene la captación de cada líquido en las marmitas durante cuarenta y dos minutos, después se procede a la recirculación de cada uno de ellos mediante la válvula V4.1 por los tiempos requeridos por la empresa. El desfogue de los fluidos se realiza en los momentos de recirculación en cada marmita por 25 minutos.

4.2.2. Control del tiempo de paso de los líquidos y recirculación

La ventaja obtenida después de la realización del sistema es en el tiempo total de ejecución de cada ciclo CIP, con el control de las válvulas agregadas a los tanques de los fluidos de limpieza y en la cantidad de personal necesario para la realización de los mismos, esta diferencia es mostrada en la tabla 4-4.

Con el aumento de personal en el proceso para la actividad manual hace que el tiempo tenga su reducción respectiva, pero de esta manera, no se observa una ventaja significativa en los tiempos obtenidos y la eficiencia en la limpieza de las marmitas 9 y 10, acorde a estudios internos realizados por la empresa, es la misma; incluso mejorable al método manual, pues se evita la interacción de alguna partícula humana y la posible contaminación indirecta en las mismas.

Tabla 4-4: Comparación de tiempos entre el modo manual y el automático

	Tiempo sistema CIP manual	Tiempo sistema CIP automático
1 operador	140 minutos	55 minutos
2 operadores	95 minutos	No necesario
3 operadores	65 minutos	No necesario

Fuente: Propia

Realizado por: Lobato, E, 2021

En la tabla 4-4 se considera el manejo individual de cada válvula manualmente para su apertura, ya sea por el operador trabajando en solitario, hasta la cantidad considerada de trabajadores necesaria para el manejo de este sistema, se requiere hasta un máximo de 3 operadores. Se tiene que entender que este tiempo es tomado desde la observación del operador en un ciclo específico, su movilización hasta la válvula requerida, pasando por la comprobación de que se cumpla el tiempo requerido de recirculación, y las cantidades necesarias y la evacuación de cada fluido participante del CIP. El tiempo de los cuarenta y dos minutos, necesarios para tener el 15 % de cada líquido en cada marmita es omitido, la toma del tiempo es considerada para el método manual desde que el operador abre completamente la válvula de paso del respectivo fluido y

después se retoma el tiempo en el cierre total de cada válvula. El operador con mayor tiempo en la realización de estas actividades fue quien lo realizó individualmente y el encargado de dirigir a los dos asistentes por el proceso del CIP.

4.2.2. Validación del sistema CIP

Una vez realizada las pruebas respectivas en el laboratorio de microbiología de la empresa da como resultado la tabla 5-4, donde se indica los porcentajes de residuos microbianos resultantes de la limpieza del 5% del sobrante de yogur griego, en diferentes fechas, todos ejecutados por el sistema CIP en automático.

La tabla 5-4 se realiza del análisis de 0,10 mililitros, esta muestra es tomada del agua del último enjuague:

Tabla 5-4: Comparación de resultados microbianos

Fecha de la muestra	Medida de concentración microbiana (%)
13/07/2021	0,001
20/07/2021	0,0001
27/07/2021	0,001
03/08/2021	0,001
10/08/2021	0,001

Fuente: Lactalis del Ecuador, 2021

Realizado por: Lobato, E, 2021

Con estas medidas se ha valorado el funcionamiento del sistema CIP como **MUY EFICIENTE** por parte de los ingenieros de control de calidad y se aprueba el proyecto para su utilización en la limpieza de las marmitas 9 y 10, debido al buen proceso y la calidad con la que realiza su funcionamiento, en el anexo F se indica por parte del ingeniero jefe de mantenimiento, el certificado de aprobación de los proyectos.

La concentración microbiológica que se indica en la tabla 5-4, muestra una carga de microorganismos en el agua del enjuague que ya no es capaz de duplicarse y fácilmente eliminable en la etapa de desinfección.

4.3. Resultados del sistema controlador de temperatura en el termizador

4.3.1. Manejo del tiempo de paso de la leche por el termizador

Una vez realizada la prueba respectiva, como se mencionó anteriormente, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6-4, en el anexo E se puede verificar la manera en cómo se obtenían los tiempos al llenar el valde de 20 litros:

Tabla 6-4: Datos de operación del variador de frecuencia

Tiempo de llenado	Frecuencia de variador (Hz)	Litros por minuto
23 segundos	18	52.1739
24 segundos	17	50
14 segundos	30	146.667
16 segundos	26	125
18 segundos	23	116.6667

Fuente: Lactalis del Ecuador, 2021

Realizado por: Lobato, E, 2021

Analizando la tabla 6-4, se comprende que el valor que cumple con la necesidad de envío de leche a través del termizador es la opción de 16 segundos, al escoger la frecuencia de 26 Hz en el variador de frecuencia, con esto la leche pasará a un ritmo constante y óptimo para evitar que se queme y se caliente a 65 °C, como se requiere de entrada para el homogenizador.

4.3.2. Control de temperatura en el termizador

Al igual como se realizó en la prueba de comprobación de medidas de temperatura en el controlador, se toma datos desde la salida del termizador y se realiza una gráfica hasta que alcance la temperatura deseada y la mantenga por un mínimo de dos minutos, que se indica en el gráfico 1-4 y así permitir el paso de la leche y verificar el funcionamiento del control CIP del controlador de temperatura Hangyoung.

Para que se calienten las placas del termizador, se requiere entre 10 a 15 minutos después de que se hayan abierto las válvulas de agua al ambiente y del vapor de agua, mientras el agua lo calienta por la tubería del termizador, por lo tanto, los datos del gráfico 1-4 van desde que las válvulas mencionadas se encuentren abiertas hasta que el termizador alcanza la temperatura deseada, a los 14 minutos, para que después el sistema en modo automático o en modo manual, se envíe la leche para que alcance la temperatura requerida de 65 °C.

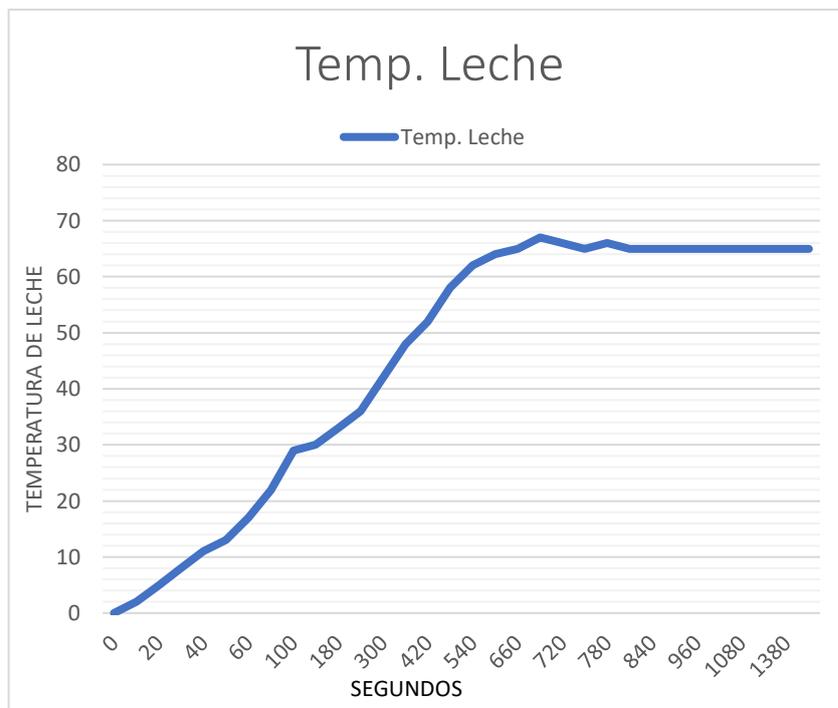


Gráfico 1-4. Elevación de temperatura, respecto al tiempo

Realizado por: Lobato, E., 2021

Los datos del gráfico 1-4 provienen de la toma de datos que censa el controlador de temperatura en tramos de diez segundos, se considera los 0 °C como dato de inicio por motivos de registrar una gráfica estable, pues la leche al ingresar al termizador lo hace a una temperatura de 7 °C, temperatura a la cual es almacenada para su conservación, algunos de los datos mostrados en el gráfico 1-4 son indicados en la tabla 7-4.

Tabla 7-4: Registros de temperatura

Tiempo evaluado (segundos)	Temperatura registrada (°C)
0	0
10	2
20	5
30	8
40	11
50	13
60	17
80	22
100	29
120	30
180	33
240	36
300	42

360	48
420	52
480	58
540	62
600	64
660	65
690	67
720	66
750	65
780	66
810	65
840	65
900	65
960	65
1020	65
1080	65
1140	65
1380	65
1500	65

Fuente: Lactalis del Ecuador, 2021

Realizado por: Lobato, E., 2021

4.3.1. Obtención de la función de transferencia

Como un dato adicional a la realización de este proyecto, se pudo obtener la función de transferencia del funcionamiento del termizador, dato que puede beneficiar a futuras investigaciones sobre sistemas de control de temperatura, esto se obtuvo gracias a la herramienta Matlab y se muestran tanto la función de transferencia sin control, como los parámetros PID necesarios para el control de este sistema.

$$\frac{X}{Y} = \frac{0.0003862 s + 1.256e-05}{s^4 + 0.002907 s^3 + 0.00321 s^2 + 9.216e-06 s + 1.262e-07} \quad (3-4)$$

Los parámetros que se ingresan en el controlador de temperatura para el control PID son los siguientes:

$$\begin{aligned} K_p &= 0 \\ K_i &= 7.4613e-06 \\ K_d &= 0 \end{aligned}$$

Con estos datos obtenidos se da a entender que se utilizó un control integral, de esta manera se puede controlar la temperatura y mantenerla a 65 °C como lo indica el gráfico 1-4 y los datos de

la tabla 7-4. Los anexos G y H muestran las gráficas de la función de transferencia simuladas en Matlab, sin aplicar el control el control y con el control respectivamente.

CONCLUSIONES

Se llega a comprender los diferentes temas, necesarios para obtener un algoritmo que permitió el ajuste de los ciclos CIP, y a su vez se pudo desarrollar el entendimiento del controlador de temperatura, para tomar las medidas del sensor y el manejo de la válvula proporcional que permite mantener el punto de control.

Con el estudio de los requerimientos técnicos, térmicos y electrónicos, se pudieron establecer los diseños de los sistemas solicitados por la empresa, los cuales desarrollaron el trabajo deseado en el manejo de la esterilización de las marmitas y en el control de la temperatura en el termizador. Debido a la investigación realizada y al ordenamiento de la información adquirida, se diseñaron los esquemas necesarios, que suplieron la necesidad de la empresa de automatizar la limpieza en las marmitas y obtener el control ideal de la temperatura en el termizador.

Los sistemas solicitados por la empresa Lactalis, son implementados con los elementos necesarios y entregado al ingeniero jefe de mantenimiento, quien fue el encargado de realizar las pruebas correspondientes y de su validación con el certificado emitido.

Realizadas las pruebas al sistema de ajuste de los ciclos CIP, se validan los procesos de manera manual y automática con el manejo de los tiempos adecuados de cada ciclo y las pruebas internas del laboratorio de microbiología, que muestran una carga microbiana que es posible de ser eliminada en desinfección; el sistema de control de temperatura, mediante los parámetros fijados en el controlador, es capaz de mantener estable la cantidad de vapor de agua en el termizador, esto se denota al momento en que ingresa la leche no existen variaciones bruscas en la medición, y que esta retornará su circulación a través de las tuberías respectivas hacia el tanque de almacenamiento, cuando aún no se alcance la temperatura deseada de 65 °C.

RECOMENDACIONES

Para la obtención de un algoritmo que permita el ajuste de los ciclos CIP, es necesario desarrollar un entendimiento de los procesos automáticos que se puedan implementar, dedicados para el control de temperatura y la limpieza de marmitas.

Con una investigación adecuada, se puede obtener la información necesaria que ayudará a encontrar la forma correcta de realizar un trabajo de automatización, y de esta manera desarrollar los sistemas electrónicos y neumáticos para la entrada de leche en el homogeneizador a una temperatura constante, para obtener resultados favorables y que los ciclos CIP se puedan manejar en los tiempos requeridos.

Se debe analizar con mayor detenimiento todos los requerimientos que puedan ser incorporados a cada uno de los sistemas, debido a que son los de mayor importancia en el diseño, y así poder conseguir resultados funcionales al ser implementados.

Se debe realizar los sistemas, tomando en consideración los parámetros a los cuales la empresa se puede limitar, teniendo en cuenta el mercado nacional de los implementos que se puedan conseguir y del beneficio obtenido por la empresa con el trabajo ejecutado.

Para el sistema de control de temperatura se debe tomar en cuenta la correcta calibración de los sensores a utilizar, comparando los valores obtenidos con medidores de temperatura validados por una empresa certificada.

Se considera que para la validación de un sistema CIP, se debe realizar un estudio de la carga microbiana o el porcentaje de residuos que han prevalecido, una vez ejecutado todos los ciclos, tomando de muestra el agua del último enjuague que se realizó con el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO MORALES, Richard. Estudio de Mercado “Sector de la leche en el Ecuador” [en línea], 2017. Ecuador, SCPM-IAC-SN-2017, pp. 1–47.

ARANA, Leonardo Xavier. Variadores De Frecuencia Para El Control De Velocidad De Motores Asincrónicos Jaula De Ardilla. (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Central del Ecuador, Facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación, tecnología electromecánica. Quito-Ecuador. 2017. pp. 1-56. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12956/1/T-UCE-0010-002-2017.pdf>.

ARCOSA. Normativa Técnica Sanitaria Para Alimentos. [en línea], 2017, (Ecuador) pp. 1–59. Disponible en: https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/ARCOSA-DE-067-2015-GGG_Alimentos-Procesados_incluye-RESOL-019-y-010-2.pdf.

AUTONICS. “Pulsadores, selectores, luces piloto y accesorios”. *Guía Didáctica* [en línea], 2013, (República de Corea) pp. 1–12. [Consulta 2021-07-10]. Disponible en: http://www.dectronic.net/img/cms/Gu%C3%ADa%20did%C3%A1ctica%20-%20Pulsadores_1.pdf

BEKAM. Luces Piloto Energía/Control Y Comando [en línea]. 2018, p. 1. Disponible en: <https://bekam.cl/productos/energia/control-y-comando/luz-piloto/luz-piloto-led-amarilla-22mm>

BOYLESTAD, Robert & NASHESKY, Louis. *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. 10^a ed. México: PEARSON EDUCACIÓN, 2009. ISBN 9786074422924, pp. 774-779.

BUENO, Antonio. Unidad didáctica: “Neumática e hidráulica.” *Tecnología* [en línea], 2013, pp. 1–20. Disponible en: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-10-05_10-58-4092017.pdf.

CARRILLO PAZ, Alí. *Sistemas automáticos de control fundamentos básicos de análisis y modelado*. 2^a ed. Santa Rita, Edo. Zulia Venezuela: Fondo Editorial UNERMB, 2011. ISBN 978-980-6792-12-8, pp. 19-20.

CASTRO PÚ, Juan. Establecimiento de controles, para el procedimiento y operación del sistema de limpieza CIP, en la planta de producción de jugos y refrescos, S.A. (Trabajo de graduación). [en línea]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, Escuela Ingeniería mecánica industrial. Guatemala. 2006. pp. 1-75. [Consulta 2021-06-30]. Disponible en: <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>

CONDONY, R., et al. *Yogurt: elaboración y valor nutritivo* [en línea]. 5^a ed. Madrid-España: Serie <<DIVULGACIÓN>>, 2013. pp. 15-19. [Consulta 2021-07-18]. Disponible en: <https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/33-Yogur-elaboración.pdf>.

CUEVA CASTILLO, Olga. Elaboración de yogur firme sabor fresa (Trabajo de graduación). [en línea] Universidad Zamorano, Agroindustria. Honduras. 2003. pp. 1-57. [Consulta 2021-06-30]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1875/1/AGI-2003-T009.pdf>.

DORF, Richard & BISHOP, Robert. *Sistemas de control moderno*. 12^a ed. New Jersey-Estados Unidos: Pearson, 2010. ISBN-13 978-0-13-602458-3, pp. 1-15.

EUROTRONIX. Selectores [en línea]. 2020. [Consulta 2021-09-12]. Disponible en: <https://www.eurotronix.com/es/categorias/selectores>.

FAO. “Buenas prácticas de manufactura en la elaboración de productos lácteos”. Serie “*Buenas prácticas en el manejo de la leche*, n° 2, (2011), (Guatemala). pp. 3–13.

BAUSÁ, Carlos Gómez; et al. Sensores de Temperatura, 2021. España. pp. 4-25

GALETTO, A. Dispositivos de control de temperatura. [en línea], 2020. pp. 1-4. [Consulta 2021-07-12]. Disponible en: http://www.jmi.com.mx/documento_literatura/Dispositivos-control-temperatura.pdf.

GRUDILEC. “El mundo del automatismo”. *Boletín Grudilec*. Madrid-España, 2017. pp. 29–54.

HANYOUNG CO. *Manual de instruccionesAX_series*. 2013. pp. 1-4.

HERNÁNDEZ, Albert. Sistema de control automático para el proceso de termización de leche. (Trabajo de titulación). Instituto tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Electrónica. Costa Rica. 2010. pp. 5-89.

INDISA. “Sistemas De Limpieza En Sitio Cleaning in Place (Cip)”. *Indisa Online* [en línea], n° 35, 2010, (Colombia). pp. 1–6. Disponible en: [http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa On line 35.pdf](http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20line%2035.pdf).

IUSA, 2018. Interruptor termomagnético 1, 2 y 3 polos de ¾" IUSA-NOARK tipo enchufable. *IUSA 1939*, (2018), (México). pp. 3–4.

LIZARZABURO, Guillermo. “La robótica en la industria está en franco crecimiento: cinco consejos para Ecuador”. *Diario Expreso*. [en línea], (2020), (Ecuador). [Consulta: 2021-05-27]. Disponible en: <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/robotica-industria-franco-crecimiento-ecuador-87223.html>.

LÓPEZ, Adrián & VITERI, Gabriel. Aplicación de fusibles e interruptores termo magnéticos. (Trabajo de titulación). [en línea] Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Ingeniería en Electricidad. Guayaquil-Ecuador. 2010. pp. 13-24

MAYTA-HANCCO, J.; et al. “La homogeneización a ultra-alta presión (UHPH): Efectos en la leche y aplicaciones en la fabricación de quesos”. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 31, n° 2 (2020), (Perú) pp. 1–14.

MENDOZA, Antonio. Influencia de la acidez del yogurt y la temperatura de almacenamiento (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad Nacional José María Arguedas, Facultad de ingeniería, Escuela profesional ingeniería agroindustrial. Andahuaylas-Perú. 2015. pp. 1–69 [Consulta: 2021-06-19]. Disponible en: <http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/123456789/211>

NAZARENO, Saulo. Plan de mejoramiento del sistema de limpieza (CIP) en una planta de elaboración de helados (Trabajo de titulación). Universidad de Guayaquil, Facultad de ingeniería industrial. Guayaquil, Ecuador. 2015. pp. 1-69.

OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. 5ª ed. Madrid España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2010. ISBN 9788483226605, pp. 13-45

PARMALAT Productos lácteos. Parmalat en el mundo [en línea]. 2012. [Consulta: 2021-06-04]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/parmalatproductoslacteos/home/nuestra-empresa>.

PÉREZ, Mario; et al. Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo. San Juan-Argentina. 2008. pp. 2-69.

PÉREZ, Omar; et al. Determinación y estandarización de las mejores condiciones de proceso de lavado CIP (*cleaning in place*): en la zona de evaporación de la planta pulverizadora de leche COLANTA Planeta Rica, 2012. pp. 1–12. doi. 10.18260/1-2--22347.

RANGEL MUÑOZ, Adriana; et al. Diseño e implementación de sistema cip para industria productora de leche (Trabajo de titulación). Universidad Santo Tomás, Facultad de ingeniería, Especialización instrumentación electrónica. Bogotá, Colombia. 2012. pp. 1-32.

ROJAS, Adriana; et al. “Producción de ácido láctico a partir del lactosuero utilizando *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*”. *Revista Colombiana de Química*, vol. 44, n° 3 (2015), (Colombia) pp. 5–10. ISSN 01202804. DOI 10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55604.

OMEGA. Control de temperatura Reguladores y controladores, 2003. [Consulta: 2021-01-12], pp. 16. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>

CPE INEN 01:1987-009. *Código de práctica para manipulación de alimentos*

SENSAGENT. INDUSTRIA LACTEA: definición de INDUSTRIA LACTEA y sinónimos de INDUSTRIA LACTEA (español), [sin fecha]. [en línea]. [Consulta: 2021-08-19]. Disponible en: <http://diccionario.sensagent.com/INDUSTRIA%20LACTEA/es-es/>.

SEVILLANO, Fernando. “Variadores de frecuencia”. *Sistemas de Regulación y Control Automáticos* [en línea], n° 5 (2011), pp. 143–152. Disponible en: http://s8e034de22b40c2e9.jimcontent.com/download/version/1390409720/module/5858319664/name/Variadores_de_frecuencia_TIDA_13-14.pdf.

SMITH, Carlos & CORRIPIO, Armando. *Control Automático de Procesos*. 1ª ed. Estados Unidos: Noriega editores, 1991. ISBN 9681837916. pp. 17-25.

CESSA RESISTENCIAS. Termopares. [en línea]. México. [Consulta: 2021-06-15]. Disponible en: <https://resistenciasindustrialescessa.com/producto/termopares/>.

EFECTO SEEBECK & PELTIER. [en línea], [Consulta: 2021-06-23]. 2012, pp. 1–10. Disponible en: http://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria21/feria382_01_efecto_seebec_y_peltier.pdf.

WALSTRA, P. *Química y Física Lactológica*. 1^a ed. Zaragoza España: Editorial Acribia, S.A., 1986. ISBN-10: 8420005940. pp. 120-135.

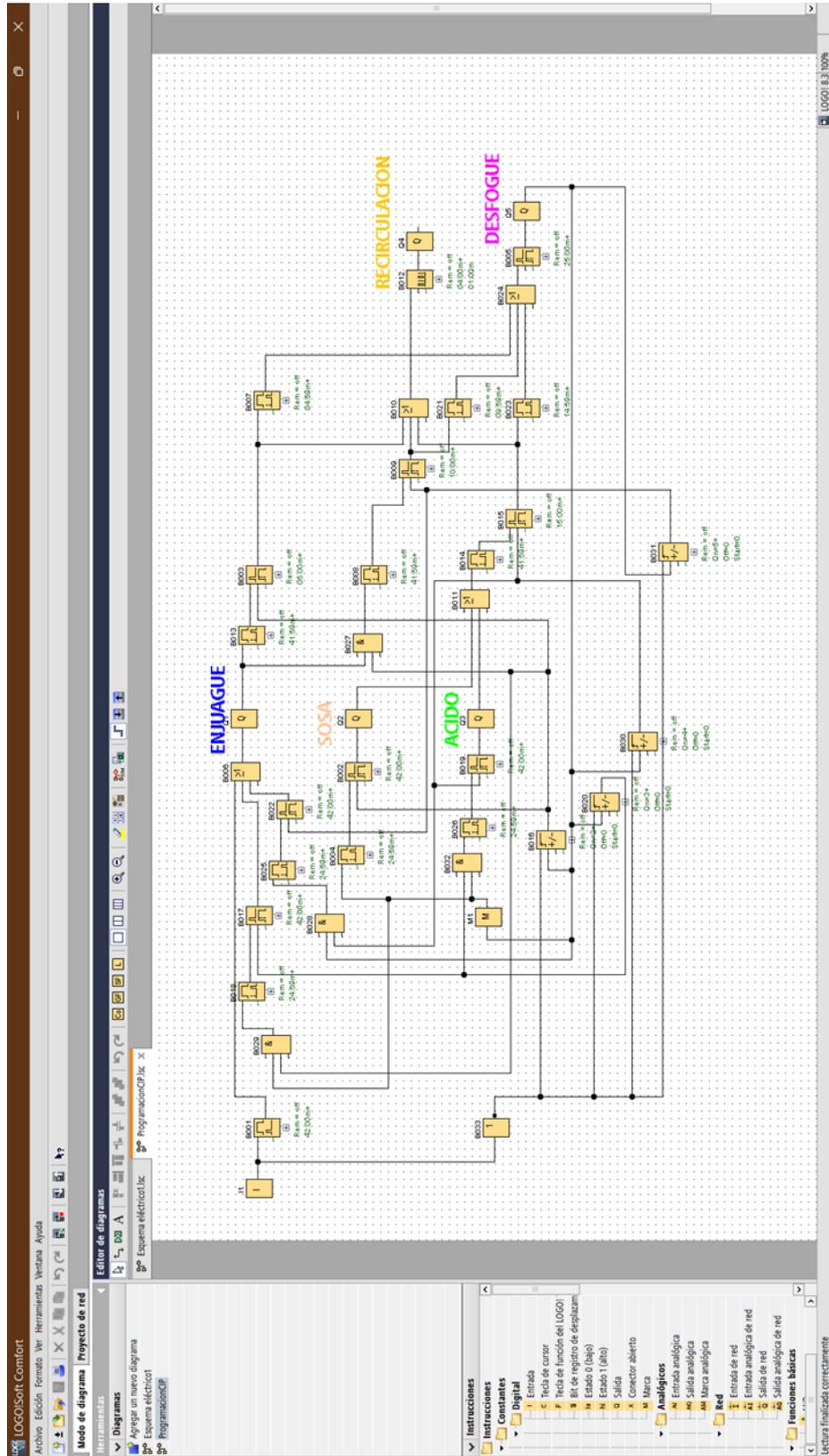
ZAMORÁN, Darwin. “Proyecto de Cooperación de Seguimiento para el Mejoramiento Tecnológico de la Producción Láctea en las Micros y Pequeñas Empresas de los Departamento de Boaco, Chontales y Magalpa”. *Manual de Procesamiento Lácteo*. (2017). (Nicaragua). pp. 26-33

ANEXOS

ANEXO A: MARMITAS 9 Y 10 PARA PREPARAR YOGURT



ANEXO B: PROGRAMACIÓN EN “ADD ON INSTRUCTIONS” DE LOGO!SOFT



ANEXO C: MANUAL DE CONTROLADOR DE TEMPERATURA HANYOUNG NUX AX

Digital temperature controller

AX series

INSTRUCTION MANUAL

Thank you for purchasing HANYOUNG NUX AX series.

Please read and understand the product's features and use as described. Before using the product, please read this instruction manual carefully. Please keep this manual where you can see it at any time.

SAFETY INFORMATION

Warning

1. Please do not touch the product when the power is on. When the power is on, the product is hot. Please do not touch the product when the power is on. When the power is on, the product is hot. Please do not touch the product when the power is on.

Caution

1. The contents of the manual may be changed without prior notification. Please check for any change or abnormality every time you use the product.

Specifications

Model	Code	Information
AX1	AX1	1-Phase 100V AC
AX2	AX2	1-Phase 200V AC
AX3	AX3	3-Phase 200V AC
AX4	AX4	3-Phase 200V AC
AX5	AX5	3-Phase 200V AC
AX6	AX6	3-Phase 200V AC
AX7	AX7	3-Phase 200V AC
AX8	AX8	3-Phase 200V AC
AX9	AX9	3-Phase 200V AC
AX10	AX10	3-Phase 200V AC
AX11	AX11	3-Phase 200V AC
AX12	AX12	3-Phase 200V AC
AX13	AX13	3-Phase 200V AC
AX14	AX14	3-Phase 200V AC
AX15	AX15	3-Phase 200V AC
AX16	AX16	3-Phase 200V AC
AX17	AX17	3-Phase 200V AC
AX18	AX18	3-Phase 200V AC
AX19	AX19	3-Phase 200V AC
AX20	AX20	3-Phase 200V AC
AX21	AX21	3-Phase 200V AC
AX22	AX22	3-Phase 200V AC
AX23	AX23	3-Phase 200V AC
AX24	AX24	3-Phase 200V AC
AX25	AX25	3-Phase 200V AC
AX26	AX26	3-Phase 200V AC
AX27	AX27	3-Phase 200V AC
AX28	AX28	3-Phase 200V AC
AX29	AX29	3-Phase 200V AC
AX30	AX30	3-Phase 200V AC
AX31	AX31	3-Phase 200V AC
AX32	AX32	3-Phase 200V AC
AX33	AX33	3-Phase 200V AC
AX34	AX34	3-Phase 200V AC
AX35	AX35	3-Phase 200V AC
AX36	AX36	3-Phase 200V AC
AX37	AX37	3-Phase 200V AC
AX38	AX38	3-Phase 200V AC
AX39	AX39	3-Phase 200V AC
AX40	AX40	3-Phase 200V AC
AX41	AX41	3-Phase 200V AC
AX42	AX42	3-Phase 200V AC
AX43	AX43	3-Phase 200V AC
AX44	AX44	3-Phase 200V AC
AX45	AX45	3-Phase 200V AC
AX46	AX46	3-Phase 200V AC
AX47	AX47	3-Phase 200V AC
AX48	AX48	3-Phase 200V AC
AX49	AX49	3-Phase 200V AC
AX50	AX50	3-Phase 200V AC
AX51	AX51	3-Phase 200V AC
AX52	AX52	3-Phase 200V AC
AX53	AX53	3-Phase 200V AC
AX54	AX54	3-Phase 200V AC
AX55	AX55	3-Phase 200V AC
AX56	AX56	3-Phase 200V AC
AX57	AX57	3-Phase 200V AC
AX58	AX58	3-Phase 200V AC
AX59	AX59	3-Phase 200V AC
AX60	AX60	3-Phase 200V AC
AX61	AX61	3-Phase 200V AC
AX62	AX62	3-Phase 200V AC
AX63	AX63	3-Phase 200V AC
AX64	AX64	3-Phase 200V AC
AX65	AX65	3-Phase 200V AC
AX66	AX66	3-Phase 200V AC
AX67	AX67	3-Phase 200V AC
AX68	AX68	3-Phase 200V AC
AX69	AX69	3-Phase 200V AC
AX70	AX70	3-Phase 200V AC
AX71	AX71	3-Phase 200V AC
AX72	AX72	3-Phase 200V AC
AX73	AX73	3-Phase 200V AC
AX74	AX74	3-Phase 200V AC
AX75	AX75	3-Phase 200V AC
AX76	AX76	3-Phase 200V AC
AX77	AX77	3-Phase 200V AC
AX78	AX78	3-Phase 200V AC
AX79	AX79	3-Phase 200V AC
AX80	AX80	3-Phase 200V AC
AX81	AX81	3-Phase 200V AC
AX82	AX82	3-Phase 200V AC
AX83	AX83	3-Phase 200V AC
AX84	AX84	3-Phase 200V AC
AX85	AX85	3-Phase 200V AC
AX86	AX86	3-Phase 200V AC
AX87	AX87	3-Phase 200V AC
AX88	AX88	3-Phase 200V AC
AX89	AX89	3-Phase 200V AC
AX90	AX90	3-Phase 200V AC
AX91	AX91	3-Phase 200V AC
AX92	AX92	3-Phase 200V AC
AX93	AX93	3-Phase 200V AC
AX94	AX94	3-Phase 200V AC
AX95	AX95	3-Phase 200V AC
AX96	AX96	3-Phase 200V AC
AX97	AX97	3-Phase 200V AC
AX98	AX98	3-Phase 200V AC
AX99	AX99	3-Phase 200V AC
AX100	AX100	3-Phase 200V AC

Specification

Model: AX1 to AX100

Power supply voltage: 100-240V ac 50/60Hz

Voltage fluctuation: ±10% of power supply voltage

Power consumption: 10W max.

Aspirant temperature: 0-50°C (with 10°C max. fluctuation)

Relative humidity: 0-100% RH (with 10% max. fluctuation)

Vibration resistance: 0-100 Hz, 0.1g, 10-1000 Hz, 1g, 2-20 Hz, 10g

Shock resistance: 500 ms, 10g, 10-1000 Hz, 1g, 2-20 Hz, 10g

Weight: 100g (approx.)

Function and name of each part

1. Power supply terminal

2. Temperature sensor terminal

3. Relay terminal

4. Alarm terminal

5. Control output terminal

6. Heating/cooling output terminal

7. Relay terminal

8. Alarm terminal

9. Control output terminal

10. Heating/cooling output terminal

11. Relay terminal

12. Alarm terminal

13. Control output terminal

14. Heating/cooling output terminal

15. Relay terminal

16. Alarm terminal

17. Control output terminal

18. Heating/cooling output terminal

19. Relay terminal

20. Alarm terminal

21. Control output terminal

22. Heating/cooling output terminal

23. Relay terminal

24. Alarm terminal

25. Control output terminal

26. Heating/cooling output terminal

27. Relay terminal

28. Alarm terminal

29. Control output terminal

30. Heating/cooling output terminal

31. Relay terminal

32. Alarm terminal

33. Control output terminal

34. Heating/cooling output terminal

35. Relay terminal

36. Alarm terminal

37. Control output terminal

38. Heating/cooling output terminal

39. Relay terminal

40. Alarm terminal

41. Control output terminal

42. Heating/cooling output terminal

43. Relay terminal

44. Alarm terminal

45. Control output terminal

46. Heating/cooling output terminal

47. Relay terminal

48. Alarm terminal

49. Control output terminal

50. Heating/cooling output terminal

51. Relay terminal

52. Alarm terminal

53. Control output terminal

54. Heating/cooling output terminal

55. Relay terminal

56. Alarm terminal

57. Control output terminal

58. Heating/cooling output terminal

59. Relay terminal

60. Alarm terminal

61. Control output terminal

62. Heating/cooling output terminal

63. Relay terminal

64. Alarm terminal

65. Control output terminal

66. Heating/cooling output terminal

67. Relay terminal

68. Alarm terminal

69. Control output terminal

70. Heating/cooling output terminal

71. Relay terminal

72. Alarm terminal

73. Control output terminal

74. Heating/cooling output terminal

75. Relay terminal

76. Alarm terminal

77. Control output terminal

78. Heating/cooling output terminal

79. Relay terminal

80. Alarm terminal

81. Control output terminal

82. Heating/cooling output terminal

83. Relay terminal

84. Alarm terminal

85. Control output terminal

86. Heating/cooling output terminal

87. Relay terminal

88. Alarm terminal

89. Control output terminal

90. Heating/cooling output terminal

91. Relay terminal

92. Alarm terminal

93. Control output terminal

94. Heating/cooling output terminal

95. Relay terminal

96. Alarm terminal

97. Control output terminal

98. Heating/cooling output terminal

99. Relay terminal

100. Alarm terminal

Parameter composition

1. Setpoint

2. Setpoint

3. Setpoint

4. Setpoint

5. Setpoint

6. Setpoint

7. Setpoint

8. Setpoint

9. Setpoint

10. Setpoint

11. Setpoint

12. Setpoint

13. Setpoint

14. Setpoint

15. Setpoint

16. Setpoint

17. Setpoint

18. Setpoint

19. Setpoint

20. Setpoint

21. Setpoint

22. Setpoint

23. Setpoint

24. Setpoint

25. Setpoint

26. Setpoint

27. Setpoint

28. Setpoint

29. Setpoint

30. Setpoint

31. Setpoint

32. Setpoint

33. Setpoint

34. Setpoint

35. Setpoint

36. Setpoint

37. Setpoint

38. Setpoint

39. Setpoint

40. Setpoint

41. Setpoint

42. Setpoint

43. Setpoint

44. Setpoint

45. Setpoint

46. Setpoint

47. Setpoint

48. Setpoint

49. Setpoint

50. Setpoint

51. Setpoint

52. Setpoint

53. Setpoint

54. Setpoint

55. Setpoint

56. Setpoint

57. Setpoint

58. Setpoint

59. Setpoint

60. Setpoint

61. Setpoint

62. Setpoint

63. Setpoint

64. Setpoint

65. Setpoint

66. Setpoint

67. Setpoint

68. Setpoint

69. Setpoint

70. Setpoint

71. Setpoint

72. Setpoint

73. Setpoint

74. Setpoint

75. Setpoint

76. Setpoint

77. Setpoint

78. Setpoint

79. Setpoint

80. Setpoint

81. Setpoint

82. Setpoint

83. Setpoint

84. Setpoint

85. Setpoint

86. Setpoint

87. Setpoint

88. Setpoint

89. Setpoint

90. Setpoint

91. Setpoint

92. Setpoint

93. Setpoint

94. Setpoint

95. Setpoint

96. Setpoint

97. Setpoint

98. Setpoint

99. Setpoint

100. Setpoint

Dimension and panel cutout, connection diagram

AX1

AX2

AX3

AX4

AX5

AX6

AX7

AX8

AX9

AX10

AX11

AX12

AX13

AX14

AX15

AX16

AX17

AX18

AX19

AX20

AX21

AX22

AX23

AX24

AX25

AX26

AX27

AX28

AX29

AX30

AX31

AX32

AX33

AX34

AX35

AX36

AX37

AX38

AX39

AX40

AX41

AX42

AX43

AX44

AX45

AX46

AX47

AX48

AX49

AX50

AX51

AX52

AX53

AX54

AX55

AX56

AX57

AX58

AX59

AX60

AX61

AX62

AX63

AX64

AX65

AX66

AX67

AX68

AX69

AX70

AX71

AX72

AX73

AX74

AX75

AX76

AX77

AX78

AX79

AX80

AX81

AX82

AX83

AX84

AX85

AX86

AX87

AX88

AX89

AX90

AX91

AX92

AX93

AX94

AX95

AX96

AX97

AX98

AX99

AX100

ANEXO D: SPRYBALL



ANEXO E: CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE PARÁMETROS DE VARIADOR DE FRECUENCIA DANFOSS



ANEXO F: CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



Lasso, 06 de Abril del 2021.

CERTIFICADO

Por medio de la presente certifico que el Sr. Erick Patricio Lobato Quisatasi, portador de la C.C. 0603797833-1, estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, carrera Ingeniería en Electrónica y Automatización, realizó su trabajo de tesis relacionado a:

- Automatización de sistema CIP en marmitas de Yogurt N° 9 y 10.
- Automatización de control de temperatura en intercambiador de calor para termización de yogurt N°1

Extiendo el presente documento y certifico la realización de los trabajos mencionados, autorizo para que el interesado pueda hacer uso del mismo como a bien estime.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Xavier Tapia", written over a horizontal line.

Ing. Xavier Tapia

C.C. 050252765-8

Jefe Mantenimiento Lactalis Ecuador, Planta Lasso

xavier.tapia@parmalat.com.ec

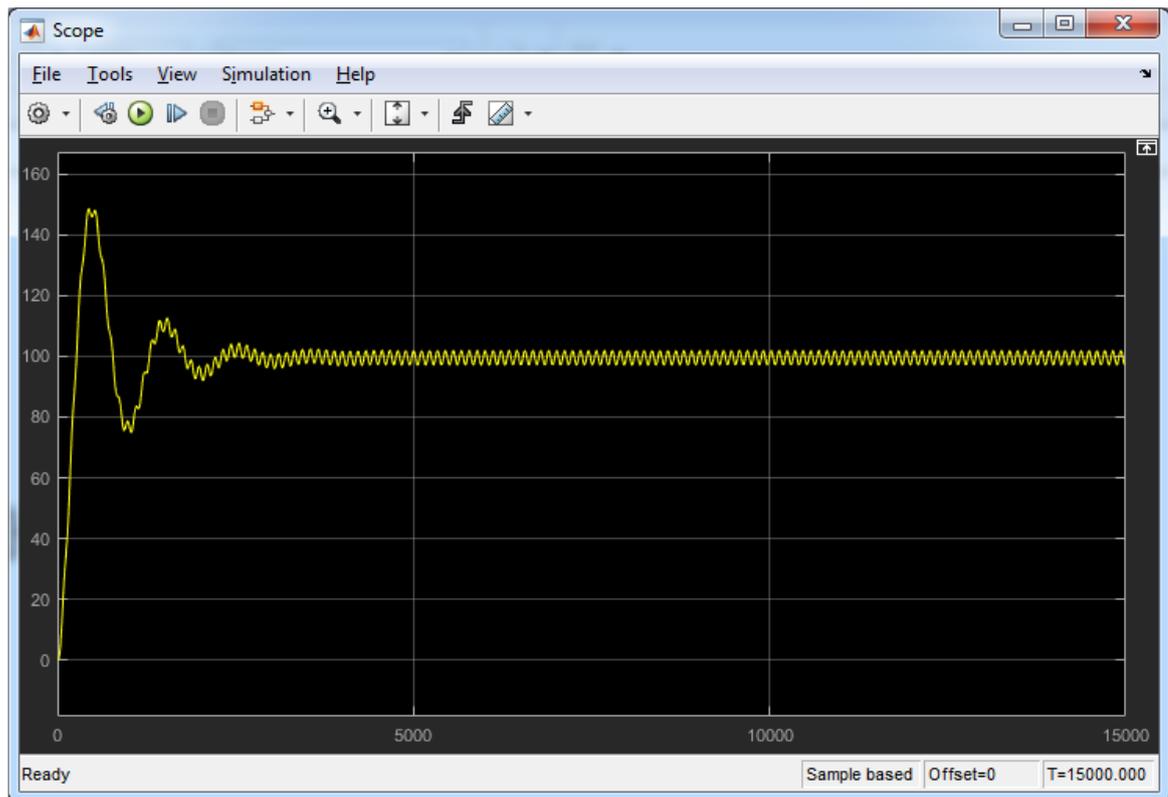
Tfno: (593) 999587808 / 998550397 / 32719941 Ext. 116



LACTALIS DEL ECUADOR S.A.

Quito: Av. Naciones Unidas E9-39 y Av. Amazonas Edificio La Previsora Torre "A" Oficina 501 Piso 5 Cod Postal 170507 Telf.: (593 2) 394 5980 / 394 5981 / 1800727625
Guayaquil: Km 4 ½ Vía a Daule, mapasingue Oeste, Av. Primera No 104 Telf.: (593 4) 2 004 119 Fax: (593 4) 2 004 023 **Lasso:** Panamericana Norte Km.20, Sector Lasso Centro Telf.: (593 7) 2 803 056
Cuenca: Parque Industrial, Cornelio Vintimilla 399 y Juan Eljuri Chica Telf.: (593 7) 2 803 056

ANEXO G: GRÁFICA DE FUNCIÓN SIN CONTROL EN SIMULINK



ANEXO H: GRÁFICA DE FUNCIÓN CON CONTROL PID EN SIMULINK

