

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**



**“DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LÍNEA  
DE PRODUCCIÓN DE QUESOS MADUROS”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA.**

**CARLOS JULIO VEGA CUAICAL**

**DIRECTOR: ING. COSME MEJÍA**

**Ibarra, septiembre 2017**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**

**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100360232-1		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Vega Cuaical Carlos Julio		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Hernán Gonzales de Saa 29-76		
<b>EMAIL:</b>	cjvega@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062-651373	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0996524441

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	<b>DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESOS MADUROS</b>
<b>AUTOR:</b>	Vega Cuaical Carlos Julio
<b>FECHA:</b>	18/09/2017
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Cosme Mejía.

## **AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Carlos Julio Vega con cédula de identidad Nro. 100360232-1, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

### **CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre del 2016



---

Firma

Nombre: Carlos Julio Vega Cuaical

Cédula: 100360232-1



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A**  
**FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Carlos Julio Vega Cuaical, con cédula de identidad Nro. 100360232-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESOS MADUROS, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'C. Vega Cuaical', is written over a grey rectangular background.

---

Firma

Nombre: Carlos Julio Vega Cuaical

Cédula: 100360232-1

## DECLARACIÓN

Yo, **Carlos Julio Vega Cuaical**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte - Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Nombre: Carlos Julio Vega Cuaical

Cédula: 100360232-1

## CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado “DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESOS MADUROS”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Carlos Julio Vega Cuaical, bajo mi supervisión.



Ing. Cosme Mejía  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## DEDICATORIA

A mis padres Carlos y Narcisa por haber depositado en mi toda su confianza, amor y por todos sus esfuerzos para darme la educación que ahora tengo.

Muy especial a mi madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo.

A mi Hermana por ser mi cómplice y estar en todo momento junto a mí.

En fin, a toda mi familia que de una u otra forma me han dado su apoyo incondicional, con quienes hemos compartido buenos y malos momentos.

Carlos J. Vega

## AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Santísima Virgen quienes con sus bendiciones han hecho posible el término de un sueño más en mi existencia.

A mi padre Carlos por todo su amor, sobre todo por sus esfuerzos y sacrificios lejos de su hogar por darme la educación que tengo.

A mi madre Narcisa símbolo de abnegación y apoyo incondicional sin su ayuda ninguna fase de mi vida hubiera sido posible concretar. La esencia de mi formación se constituyó con sus enseñanzas y sabios consejos.

Gracias por ser excelentes padres un ejemplo de vida a seguir.

A mi Hermana María Isabel que con su cariño ha sido mi fuerza en todo momento con sus palabras de aliento en situaciones difíciles.

Al Ingeniero Cosme Mejía por su acertada dirección en el desarrollo del presente Proyecto, por su gran calidad humana y por impartirme sus conocimientos.

A todas las personas que en el transcurso de mi vida me han demostrado su cariño, apoyarme siempre y estando a mi lado, a todos quienes depositaron su confianza en mí. Gracias por transmitir y enseñarme el verdadero mensaje de fraternidad humana.

A todos Ustedes simplemente mil gracias.

Carlos J. Vega.

## RESUMEN

En el país existe un grupo considerable de personas que se dedican a la producción de quesos de una forma artesanal que para su fabricación existe un alto grado de desgaste físico, con una manipulación de materia prima sin normas sanitarias en dichos procesos, por tal motivo este proyecto ayuda a la necesidad con el diseño y construcción de un sistema de automatización para dicha producción.

La metodología que se utilizó para obtener los datos consiste en la realización de un análisis funcional y una división modular del proceso completo. Una investigación de campo por medio de encuestas a los productores de quesos y leche para la obtención de la información de la voz del cliente. Y una base para el desarrollo del presente.

Se realizó el diseño del sistema de automatización por medio de diagramas graficet, con la programación en lenguaje Ladder del PLC en tiempo real lo que permitió determinar si el prototipo cumple con los requerimientos, y con esto se realizó el diseño del tablero de control del sistema.

Con el diseño pre establecido del tablero en software se procedió a su adquisición y el ensamblaje de los dispositivos de control con su respectivo cableado, para proceder a las pruebas de validación y calibración del sistema.

Los resultados de este proyecto reflejaron que el sistema de automatización ayudo en la producción del usuario con la reducción de tiempos de producción al tener una secuencia del proceso controlada por el PLC sin tener un paro durante la fabricación continua. Evitando en los casos más específicos la intervención del operario.

## ABSTRACT

The country exists a considerable group of people who are dedicated to the production of cheeses in an artisan way that for the manufacture exists a high degree of physical exhaustion, with a manipulation of raw material without sanitary norms in those processes, for that reason this Project Of necessity help with the design and construction of an automation system for the production of said.

The methodology that is used to obtain the data is in the realization of a functional analysis and a modular division of the complete process. A field investigation by means of surveys to the producers of cheese and milk to obtain the information of the client's winds. And a basis for the development of the present.

The design of the automation system was done by means of grafcet diagrams, with programming in Scale language of the PLC in real time which allowed to determine if the prototype complies with the requirements, and with this the design of the control board of the system.

With the preconfigured design of the board in the software, the control devices were acquired and assembled with their respective wiring to carry out system validation and calibration tests.

The results of this project reflected that the automation system assisted in the production of the user with the reduction of production times to have a process sequence controlled by the PLC without having a stop during continuous manufacturing. Avoiding more specific cases of operator intervention.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD .....	iii
CONSTANCIAS .....	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	iv
DECLARACIÓN .....	v
CERTIFICACIÓN .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xxi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xxiv
INTRODUCCIÓN .....	1
El Problema. ....	1
Objetivo General. ....	2
Objetivos Específicos .....	2

Antecedentes.....	2
Justificación.....	5
Alcance.5	
Capítulo I.....	7
1. Marco Teórico. ....	7
1.1 Normativa legal que rige la actividad de elaboración de quesos. ....	7
1.2 Leche.....	8
1.3 Características organolépticas de la leche.....	8
1.3.1 Color.....	8
1.3.2 Olor.....	8
1.3.3 Sabor.....	9
1.4 Características Físicas De Leche. ....	9
1.4.1 Densidad.....	9
1.4.2 Concentración Hidrogénica (pH).....	9
1.4.3 Viscosidad.....	10
1.4.4 Punto de ebullición.....	10
1.4.5 Punto de congelación.....	11
1.4.6 Calor específico.....	11
1.5 Pasteurización.....	11
1.5.1 Leche pasteurizada.....	12
1.6 Cuajo.....	12
1.6.1 Enzimas coagulantes.....	13

1.6.2	Cloruro de calcio. ....	13
1.6.3	Nitratos. ....	13
1.6.4	Sal (cloruro de sodio). ....	13
1.6.5	Cuajo líquido ....	13
1.6.6	Cuajo en polvo.....	14
1.7	Suero de leche.....	15
1.8	Cuajada. ....	15
1.9	Salado.....	15
1.10	Queso. ....	15
1.10.1	Queso maduro.....	16
1.11	Maduración interna o primaria.....	16
1.12	Maduración superficial. ....	17
1.13	Elementos que actúan sobre la maduración de queso.....	17
1.13.1	Humedad.....	17
1.13.2	Temperatura.....	18
1.13.3	Acidez. ....	18
1.13.4	Aireación. ....	18
1.14	Cámaras de maduración.....	19
Capítulo II.....		21
2.	Metodología.....	21
2.1	Características del usuario. ....	21
2.2	Análisis funcional ....	21

2.2.1	Desarrollo de los diagramas funcionales .....	22
2.2.2	Análisis de los diagramas funcionales.....	22
2.3	Definición de módulos.....	24
2.3.1	División modular del primer conjunto.....	25
2.3.2	División modular del segundo conjunto.....	26
2.4	Soluciones para cada módulo .....	27
2.4.1	Módulo 1 .....	27
2.4.2	Módulo 2 .....	30
2.4.3	Módulo 3 .....	33
2.4.4	Módulo 4 .....	36
2.4.5	Módulo 5. ....	41
2.5	Determinación del modelo de automatización.....	45
2.5.1	Descripción Del Sistema .....	46
2.5.2	Diagrama de flujo. ....	49
2.5.3	Descripción de los equipos del sistema. ....	55
2.5.4	Selección del PLC .....	57
2.5.5	Selección del sensor de temperatura.....	61
2.6	Programación del PLC.....	63
2.6.1	Diagrama de entradas y salidas .....	64
2.6.2	Diagrama GRAFCET .....	65
2.6.3	Programacion en el software xcpro .....	66
2.7	Modelacion matematica de la parte de preparación.....	68
2.7.1	Adquisición de Datos .....	68
2.7.2	Modelación de los Datos. ....	68
2.8	Sintonización del controlador .....	70
2.8.1	Regla de sintonización de Ziegler – Nichols .....	71

2.9	Diseño del tablero de control .....	77
2.9.1	Panel Frontal.....	78
2.9.2	Panel Interno.....	79
2.10	Calculo para la selección de cables.....	79
2.11	Cálculo de protecciones .....	81
2.12	Selección del relé de estado sólido. ....	81
Capítulo III .....		82
3.	Resultados.....	82
3.1	Materiales Eléctricos.....	82
3.2	Etapas de ensamblaje del tablero de control.....	83
3.3	Tablero de control .....	84
3.4	Colores del Cableado interno.....	86
3.5	Colores de las lámparas de señalización.....	86
3.6	Etiquetado del cableado interno del Tablero de control .....	87
3.7	Lista de Alocaciones de la programación en el PLC. ....	88
3.7.1	Entradas Digitales.....	88
3.7.2	Salidas Digitales .....	89
3.7.3	Memorias internas del PLC. ....	89
3.7.4	Temporizadores .....	90
3.7.5	Contadores .....	91

3.7.6	Entradas y salidas analógicas. ....	91
3.7.7	Registro de datos. ....	91
3.8	Pruebas y resultados del sistema de automatización.....	92
3.8.1	Medición de pH .....	92
3.8.2	Llenado del Tanque .....	95
3.8.3	Pasteurización.....	97
3.8.4	Preparación .....	98
3.8.5	Mediciones de temperatura.....	99
3.8.6	Llenado de la zaranda.....	102
3.8.7	Extracción de suero .....	104
3.8.8	Pre-prensado .....	106
3.8.9	Corte .....	107
3.9	Controlador PID.....	109
3.9.1	Valores Teóricos.....	109
3.9.2	Calibración PID.....	109
Capítulo IV .....		111
4.	Conclusiones y Recomendaciones .....	111
4.1	Conclusiones .....	111
4.2	Recomendaciones .....	113
Bibliografía.....		114
ANEXOS .....		117
ANEXOS 1. Resultados encuestas a productores artesanales de leche.....		117
ANEXOS 2. Resultados encuestas a productores artesanales de quesos. ....		118

ANEXOS 3. Análisis Funcional.....	121
ANEXOS 4. Programación para la adquisición de datos .....	122
ANEXOS 5. Manual de usuario .....	122
ANEXOS 6. Mantenimiento .....	127
ANEXOS 7. Diagrama eléctrico del tablero de control .....	129
ANEXOS 8. Tabla de características del SSR20DA.....	130
ANEXO 9. Características PLC XINJE XC3-24RT-E .....	130
ANEXOS 8. Tabla PT100 .....	132

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 VISCOSIDAD DE LA LECHE DE ACUERDO CON LA TEMPERATURA.....	10
TABLA 2 PROPIEDADES DE LECHE CRUDA DE VACA .....	11
TABLA 3 TIPOS DE PASTEURIZACIÓN .....	12
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS DE TIPOS DE CUAJO .....	14
TABLA 5 ELEMENTOS DE INFLUENCIA SOBRE LA MADURACIÓN DEL QUESO.....	19
TABLA 6 ALTERNATIVAS MÓDULO 1 INGRESO.....	28
TABLA 7 EVALUACIÓN DE CRITERIOS MÓDULO 1 .....	29
TABLA 8 EVALUACIÓN DE CRITERIO 1 DEL MÓDULO 1 .....	29
TABLA 9 EVALUACIÓN DE CRITERIO 2 DEL MÓDULO 1 .....	29
TABLA 10 EVALUACIÓN DE CRITERIO 3 DEL MÓDULO 1 .....	30
TABLA 11 EVALUACIÓN DE CRITERIO 4 DEL MÓDULO 1 .....	30
TABLA 12 CONCLUSIONES MÓDULO 1 .....	30
TABLA 13 ALTERNATIVAS MÓDULO 2 PREPARACIÓN. ....	31
TABLA 14 CRITERIO DE EVALUACIÓN MÓDULO 2.....	32
TABLA 15 EVALUACIÓN DE CRITERIO 1 DEL MÓDULO 2.....	32
TABLA 16 EVALUACIÓN DE CRITERIO 2 DEL MÓDULO 2.....	32
TABLA 17 EVALUACIÓN DE CRITERIO 3 DEL MÓDULO 2.....	32
TABLA 18 EVALUACIÓN DE CRITERIO 4 DEL MÓDULO 2.....	33
TABLA 19 CONCLUSIONES MÓDULO 2.....	33
TABLA 20 ALTERNATIVAS MÓDULO 3 PREPARACIÓN DE CUAJADA.....	34
TABLA 21 EVALUACIÓN DE CRITERIOS MÓDULO 3 .....	35
TABLA 22 EVALUACIÓN DE CRITERIO 1 DEL MÓDULO 3.....	35
TABLA 23 EVALUACIÓN DE CRITERIO 2 DEL MÓDULO 3.....	35
TABLA 24 EVALUACIÓN DE CRITERIO 3 DEL MÓDULO 3.....	36
TABLA 25 EVALUACIÓN DE CRITERIO 4 DEL MÓDULO 3.....	36
TABLA 26 CONCLUSIONES MÓDULO 3.....	36
TABLA 27 ALTERNATIVAS MÓDULO 4 EXTRACCIÓN. ....	37

TABLA 28 CRITERIOS DE EVALUACIÓN MÓDULO 4 .....	39
TABLA 29 EVALUACIÓN DE CRITERIO 1 DEL MÓDULO 4.....	39
TABLA 30 EVALUACIÓN DE CRITERIO 2 DEL MÓDULO 4.....	39
TABLA 31 EVALUACIÓN DE CRITERIO 3 DEL MÓDULO 4.....	40
TABLA 32 EVALUACIÓN DE CRITERIO 4 DEL MÓDULO 4.....	40
TABLA 33 EVALUACIÓN DE CRITERIO 5 DEL MÓDULO 4.....	40
TABLA 34 EVALUACIÓN DE CRITERIO 6 DEL MÓDULO 4.....	40
TABLA 35 CONCLUSIONES MÓDULO 4.....	41
TABLA 36 ALTERNATIVAS MÓDULO 5 MOLDEO .....	42
TABLA 37 CRITERIOS DE EVALUACIÓN MÓDULO 5 .....	43
TABLA 38 EVALUACIÓN DE CRITERIO 1 DEL MÓDULO 5.....	43
TABLA 39 EVALUACIÓN DE CRITERIO 2 DEL MÓDULO 5.....	44
TABLA 40 EVALUACIÓN DE CRITERIO 3 DEL MÓDULO 5.....	44
TABLA 41 EVALUACIÓN DE CRITERIO 4 DEL MÓDULO 5.....	44
TABLA 42 EVALUACIÓN DE CRITERIO 5 DEL MÓDULO 5.....	44
TABLA 43 EVALUACIÓN DE CRITERIO 6 DEL MÓDULO 5.....	44
TABLA 44 CONCLUSIONES MÓDULO 5.....	45
TABLA 45 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN .....	46
TABLA 46 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE SUERO.....	47
TABLA 47 DESCRIPCIÓN EL SISTEMA DE MADURACIÓN.....	48
TABLA 48 SENSORES Y ACTUADORES DEL PROTOTIPO.....	49
TABLA 49 SENSORES Y ACTUADORES A SER USADOS EN EL PROTOTIPO CON SUS CARACTERÍSTICAS.....	55
TABLA 50 RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN A SER USADA .....	58
TABLA 51 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PLC .....	60
TABLA 52 CRITERIOS DE SELECCIÓN SENSOR DE TEMPERATURA .....	63
TABLA 53 TABLA DE DESCRIPCIÓN DE VARIABLES DEL PROTOTIPO .....	65
TABLA 54 CARACTERÍSTICAS DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.....	77

TABLA 55 CONSUMO DE POTENCIA DE LOS ELEMENTOS .....	80
TABLA 56 TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE CABLES AWG Y SELECCIÓN CALIBRE 14-16 .....	80
TABLA 57 MATERIALES DEL TABLERO DE CONTROL .....	82
TABLA 58 COLORES DEL CABLEADO INTERNO DEL TABLERO DE CONTROL.....	86
TABLA 59 SIGNIFICADO DE LOS COLORES DE LAS LÁMPARAS DE SEÑALIZACIÓN.....	87
TABLA 60 RESUMEN DEL ETIQUETADO REALIZADO .....	87
TABLA 61 ENTRADAS DIGITALES DEL PLC.....	89
TABLA 62 SALIDAS DIGITALES DEL PLC .....	89
TABLA 63 MEMORIAS INTERNAS DEL PLC.....	90
TABLA 64 TEMPORIZADORES DEL PLC.....	90
TABLA 65 CONTADOR DEL PLC.....	91
TABLA 66 ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS DEL PLC .....	91
TABLA 67 REGISTRO DE DATOS DEL PLC.....	91
TABLA 68 TABLA DE COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS DE LOS INSTRUMENTOS.....	101
TABLA 69 RESULTADO DE ENCUESTA .....	117
TABLA 70 RESULTADO ENCUESTA PRODUCTORES.....	118
TABLA 71 ACCIONES DE MANTENIMIENTO.....	127
TABLA 72 TABLA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN. ....	127
TABLA 73 ESPECIFICACIONES DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	130

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 CUAJO LIQUIDO CHY MAX .....	14
FIGURA 2 SALADO DE QUESO EN SALMUERA .....	16
FIGURA 3 CUARTO FRIO PARA LA MADURACIÓN DEL QUESO.....	20
FIGURA 4 DIVISIÓN MODULAR NIVEL 3 DEL ANÁLISIS FUNCIONAL.....	26
FIGURA 5 DIVISIÓN MODULAR NIVEL 5 DEL ANÁLISIS FUNCIONAL.....	27
FIGURA 6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROTOTIPO .....	50
FIGURA 7 PROCESO DE MOLDEO ARTESANAL. ....	53
FIGURA 8 PROCESO DE PRENSA POR GRAVEDAD.....	53
FIGURA 9 SALMUERA PARA EL PROCESO DE SALADO.....	54
FIGURA 10 PROCESO DE MADURACIÓN EN CUARTO FRIO .....	55
FIGURA 11 DIAGRAMA DE AMBIENTE .....	64
FIGURA 12 DIAGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS .....	64
FIGURA 13 DIAGRAMA GRAFCET DEL PROTOTIPO.....	67
FIGURA 14 RESPUESTA PASO DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.....	70
FIGURA 15 SISTEMA CON UN CONTROLADOR PID.....	71
FIGURA 16 RESPUESTA PASO APLICADO EL CONTROLADOR.....	73
FIGURA 17 RESPUESTA PASO DE FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA CON UNA SINTONÍA FINA AL CONTROLADOR. ....	75
FIGURA 18 CARACTERÍSTICAS DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA SIN EL CONTROLADOR PID .....	76
FIGURA 19 CARACTERÍSTICAS DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA APLICADA UN CONTROL PID.....	76
FIGURA 20 PANEL FRONTAL DEL TABLERO DE CONTROL.....	78
FIGURA 21 PANEL INTERNO DEL TABLERO.....	79
FIGURA 22 CARACTERÍSTICAS SSR.....	81
FIGURA 23 PANEL FRONTAL DEL TABLERO DE CONTROL.....	84
FIGURA 24 PARTE TRASERA DEL PANEL FRONTAL.....	85

FIGURA 25 PANEL INTERNO DEL TABLERO DE CONTROL.....	85
FIGURA 26 ETIQUETADO DEL PLC.....	88
FIGURA 27 LA RELACIÓN ENTRE EL ANALÓGICO DE ENTRADA Y EL DIGITAL CONVERTIDO.....	93
FIGURA 28 VALORES PH - VALOR DIGITAL.....	93
FIGURA 29 MEDICIÓN NORMAL PH.....	94
FIGURA 30 VALOR MÍNIMO DE PH.....	94
FIGURA 31 VALOR MÁXIMO DE PH.....	94
FIGURA 32 SEÑAL LUMINOSA DE ERROR DE PH Y CIERRE DE INGRESO.....	95
FIGURA 33 TANQUE LLENO.....	95
FIGURA 34 TANQUE LLENO CANTIDAD SELECCIONADA POR EL OPERARIO.....	96
FIGURA 35 INDICACIÓN LUMINOSA DE CIERRE DE INGRESO.....	96
FIGURA 36 INDICACIÓN ERROR DE LLENADO.....	96
FIGURA 37 INDICACIÓN PUERTA DEL GABINETE ABIERTA.....	97
FIGURA 38 PASTEURIZACIÓN A 29.3 SEGUNDOS DE INICIO.....	97
FIGURA 39 PASTEURIZACIÓN A 4 MINUTOS.....	98
FIGURA 40 PANTALLA DEL DESCENSO DE TEMPERATURA HASTA LA ADICIÓN DE CUAJO.....	98
FIGURA 41 PANTALLA UNA VEZ ADICIONADO DE CUAJO.....	99
FIGURA 42 SEÑAL LUMINOSA DE INGRESO DE CUAJO Y MEZCLA-CORTE.....	99
FIGURA 43 ACONDICIONADOR DE PT100.....	100
FIGURA 44 TEMPERATURA - VOLTAJE ACONDICIONADOR.....	100
FIGURA 45 MEDIDAS DE LA PISTOLA Y MULTÍMETRO.....	102
FIGURA 46 MEDIDA TOMADA CON TERMÓMETRO.....	102
FIGURA 47 ZARANDA LLENA.....	103
FIGURA 48 CANTIDAD DE LA ZARANDA SELECCIONADA POR EL OPERARIO.....	103
FIGURA 49 SEÑAL LUMINOSA DE INGRESO DE LA ZARANDA LLENA.....	104
FIGURA 50 SEÑAL LUMINOSA DE INGRESO DE LA ZARANDA LLENA.....	104
FIGURA 51 DIAGRAMA DE FASE- TIEMPO DE LA EXTRACCIÓN DEL SUERO.....	105
FIGURA 52 PANTALLA DE EVACUACIÓN O EXTRACCIÓN DE SUERO.....	105

FIGURA 53 SEÑAL LUMINOSA DE VIBRACIÓN ACTIVADA .....	106
FIGURA 54 DIAGRAMA FASE-TIEMPO PRE-PRENSADO .....	106
FIGURA 55 PANTALLA DE INDICACIÓN DE PRE-PRENSADO .....	107
FIGURA 56 INDICACIÓN LUMINOSA DE CAMBIO DE HERRAMIENTA DE CORTE .....	107
FIGURA 57 DIAGRAMA FASE-TIEMPO CORTE .....	108
FIGURA 58 PULSADORES DE CORTE .....	108
FIGURA 59 PANTALLA DE CORTE.....	108
FIGURA 60 VALORES PID DEL PLC .....	109
FIGURA 61 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	121
FIGURA 62 PANEL FRONTAL LABVIEW.....	122
FIGURA 63 DIAGRAMA DE BLOQUES LABVIEW .....	122
FIGURA 64 INTERRUPTOR ON / OFF.....	123
FIGURA 65 BREAKER DE 16 A .....	123
FIGURA 66 HMI .....	124
FIGURA 67 PULSADOR 1 .....	126
FIGURA 68 PULSADOR 2 .....	126
FIGURA 69 PARO DE EMERGENCIA .....	126
FIGURA 70 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL TABLERO DE CONTROL .....	129
FIGURA 71 TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE SSR20DA .....	130
FIGURA 72 CONEXIONES DE ENTRADA. ....	131
FIGURA 73 SALIDAS TIPO RELÉ.....	131
FIGURA 74 SALIDA TIPO TRANSISTOR .....	132
FIGURA 75 TABLA TERMO RESISTENCIA.....	132

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA CON 97.21% DE APROXIMACIÓN .....	69
ECUACIÓN 2 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA CONTROLADOR PID (OGATA, 2010) .....	71
ECUACIÓN 3 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN LAZO CERRADO .....	71
ECUACIÓN 4 ECUACIÓN CARACTERÍSTICA PARA EL SISTEMA EN LAZO CERRADO.....	71
ECUACIÓN 5 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA LAZO CERRADO APLICADO UN PID TEÓRICO. ....	73
ECUACIÓN 6 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL CONTROLADOR SINTONIZADO EN MATLAB. .74	
ECUACIÓN 7 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA APLICANDO UN CONTROLADOS SINTONIZADO. ....	75
ECUACIÓN 8 FORMULA DE CÁLCULO DE PROTECCIONES .....	81
ECUACIÓN 9 FORMULA DE CONVERSIÓN PH-VALOR DIGITAL.....	93
ECUACIÓN 10 FORMULA CONVERSIÓN TEMPERATURA- VOLTAJE ACONDICIONADOR.....	101

## INTRODUCCIÓN

### **El Problema.**

La elaboración de quesos maduros que realizan las microempresas artesanales de Ecuador resulta insuficiente en cuanto a calidad, bajos niveles de higiene y de tecnificación, por cuanto no poseen maquinaria que integren los diferentes procesos tanto en la preparación como en la extracción de suero.

Se requiere entonces el perfeccionamiento en los procesos y una integración directa en una línea de producción de forma horizontal que abarque todos los procesos con una sincronización entre ellos.

Según los datos del sistema estadístico agropecuario nacional en el norte del Ecuador produce aproximadamente 745000 litros de leche por día, donde Carchi e Imbabura son las principales provincias productoras, de esta cifra el 80 % se destina a la elaboración de productos lácteos, el 20% restante se destina al uso artesanal en la elaboración de quesos y alimentación en finca. ( Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2011)

Actualmente, la elaboración de quesos en las microempresas se realiza de una forma manual con un alto grado de desgaste físico en los trabajadores, contaminando el producto en los procesos de corte y de pre-prensado ya que en estos lugares no se realiza un control en la manipulación de la materia prima del producto.

La restricción de documentación técnica y los altos costos de líneas comerciales representan un limitante en el desarrollo tecnológico para el cambio de la matriz productiva.

Ante esta problemática la Universidad Técnica del Norte a través de la facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y la Carrera de Ingeniería Mecatrónica se encuentra implementando un prototipo de línea para la producción de quesos maduros en la finca la

pradera. Este proyecto pretende implementar el sistema de automatización, para lo cual se tomará en cuenta las normas sanitarias (NTE INEN 2604, NTE INEN 1528) permitiendo mejorar la calidad y con intervención mínima del trabajador en operaciones delicadas (corte y pre-prensado) en la elaboración de este producto. Dando solución a los problemas de desperdicios de materia prima, bajo nivel de higiene, tiempo de elaboración y duración del producto. El sistema de control de la línea tendrá como parámetro configurable la cantidad de leche a ser procesada.

### **Objetivo General.**

- Diseñar un sistema de automatización para el prototipo de línea de elaboración de quesos maduros en la Finca la Pradera.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros que influyen en la calidad de la mezcla de la preparación.
- Diseñar un sistema de control que permita una producción continua y eficiente.
- Simular el sistema de control de la línea de producción.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento del simulador bajo normativas específicas que regulan esta actividad.
- Elaborar un manual de operación.

### **Antecedentes**

En Ecuador se han generado políticas con el fin de realizar una transformación de la matriz productiva para alcanzar el buen vivir. Uno de los problemas que es de importancia resolverlo es en la economía ecuatoriana; se ha caracterizado por la producción de bienes

primarios con poca o nula tecnificación en ese caso en la elaboración de quesos maduros. Para solucionar este problema se han desarrollado sistemas. Por ejemplo, en el ámbito de las microempresas artesanales según las encuestas realizadas y las visitas realizadas, se pudo observar que las cuales emplean una marmita o cocina industrial para la preparación, llevando la leche a una temperatura aproximada 33° C, el operario introduce su mano para saber si la leche está en la temperatura ideal sin emplear un termómetro. En los procesos de Corte de cuajada, extracción de suero, moldeo y prensado son realizados manualmente por los operarios con utensilios no adecuados. En industrias que ya cuentan con una mayor tecnificación emplean métodos y equipos; como marmitas o calderas en las cuales se realiza el proceso de pasteurización y preparación, dichos equipos son construidos en acero inoxidable, con distintas capacidades que van desde los 500 litros hasta los 5000, se adaptan a diferentes tipos de medios de calefacción: electricidad, gas, gasóleo de calefacción, vapor, agua sobrecalentada en circuito cerrado. Estos dispositivos ya tienen controles puede ser mediante un PLC, un pirómetro. Con un agitador de diferentes tipos de paletas para realizar el proceso de corte de cuajada con un motor AC. En el proceso de pre-prensado y prensado una prensa neumática de quesos, su construcción en acero inoxidable, dotada de pistones neumáticos, con una malla en los lados de la mesa la cual facilita la extracción del suero de la cuada. Otra opción encontrada es una prensa con una capacidad que varía según sus dimensiones, con una palanca y un tornillo sin fin cromado, una mesa inoxidable y un colector de suero, se puede prensar diferentes números de moldes por piso de acuerdo con la configuración dela prensa.

En dichas industrias emplean un sistema de maduración para quesos en la cual los límites de temperatura de las cámaras de varía entre 9 y 11° C. con una variación de la humedad según el queso, y el tiempo de maduración. Por ejemplo, una cámara seca, tendrá menos del

70 % de humedad va a dar lugar a un queso muy duro. Para un queso grasoso una humedad mayor al 90 % para evitar que seque. Para quesos de maduración media la humedad de la cámara varia del 80 al 85 %, construida con paneles de poliuretano expandido con Refrigerante R-134a.

En procesos automatizados se encontraron soluciones como. Por ejemplo, (Pilicita Escobar, 2013) Diseñó un sistema de pasteurización de leche, este sistema realiza el control mediante un PLC el cual controla el paso del gas, activa una bomba de circulación de agua, realiza el censo de la temperatura mediante un sensor pt100 y activa un motor monofásico. Este sistema no cuenta con un mecanismo que facilite la extracción de la cuajada ya que cuenta con una cantidad considerable además, que no se menciona cuál es la capacidad máxima, (Robles Ponce, 2013) En la Universidad Técnica del Norte realizó un sistema semiautomático de mezclado de leche y corte de la cuajada para una cuba quesera de 500 litros en el cual manejó un variador de frecuencia para realizar el corte de la cuajada y un censado de temperatura; el autor no especifico parámetros del sistema de control empleado, No se menciona si sistema cuenta o no con un mecanismo que facilite la extracción de la cuajada. (Erazo Catillo Susana Alexandra, Lata Morocho Martha Veronica, 2012) Diseñaron y Construyeron una marmita Automatizada para la elaboración de quesos en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Las características son: con un volumen máximo de 122 litros, una temperatura de pasteurización de 70° C la adición de cuajo la realizan a 38° C, emplearon un variador de frecuencia con un motor para mezcla, no se mencionó parámetros del sistema de control empleado y finalmente este sistema no cuenta con un mecanismo que facilite la extracción de la cuajada. En el ámbito internacional se encontró ARANGO. B, CASTILLO. Z, OSORIO M. (2012) Desarrollaron un control en línea del proceso de elaboración de queso mediante sensores de fibra óptica, Universidad De

Antioquia. Usaron sensores de fibra óptica para medir la dispersión de luz de infrarrojo como resultado un método objetivo y preciso para controlar el proceso de coagulación de la leche durante la elaboración del queso el cual permitió obtener modelos apropiados para la predicción de parámetros como el tiempo de coagulación y el tiempo de corte de la cuajada. Un trabajo de (Pacheco Andrade, 2016) sobre la construcción de una cámara maduradora de quesos para la microempresa, con una capacidad máxima de 600 quesos, en el cual el autor emplea un controlador para la temperatura (10° C) como para la humedad (70% a 90%) menciona el tipo y características del controlador. Estos temas encontrados los cuáles servirán de base para el desarrollo de la presente investigación.

### **Justificación.**

El proceso de elaboración de quesos de forma artesanal es lento y en ciertos puntos se tienen bajos niveles de higiene. Dichos procesos carecen de una automatización. Debido a sus altos precios que limitan realizar importaciones de estos tipos de máquinas, por lo tanto, los artesanos que requieren estos equipos deben de poseer suficientes recursos económicos para acceder a una línea. Por estos motivos se desarrollará un prototipo con el cual se pretende mejorar los tiempos de producción y aumentar la calidad del producto. Toda la automatización ejecutada en esta línea encamina a una industrialización del mismo con reducción de costos, lo que provocará un aumento inevitable de las utilidades del artesano, beneficiando a la zona 1 ya que esta zona es alta.

### **Alcance.**

Para el diseño del sistema de control del prototipo de línea de elaboración de quesos maduros se considerarán características que mejorarán la producción como reducción de

tiempos e intervención mínima de los trabajadores. El prototipo a ser simulado para una posterior implementación en la finca la Pradera de la "Universidad Técnica del Norte", tendrá varios procesos en los cuales va a existir una sincronización entre ellos los cuales serán simulados; el primer proceso, la elaboración en la cual se tendrá un tanque con una capacidad máxima de preparación para una cantidad de 150 litros de leche; el segundo, realizará la evacuación del suero, el pre-prensado y el corte de la cuajada en una zaranda vibratoria con una capacidad máxima antes mencionada; los dos últimos procesos son realizados de una forma manual el prensado y la maduración de los quesos en una cámara de maduración con una capacidad máxima alrededor de 600 quesos con un rango de temperatura óptima de 9° C a 15° C garantizando una correcta. La interfaz del usuario será de fácil operación permitiendo que el prototipo realice la ejecución dependiendo la cantidad de leche a ser ingresada brindando un proceso dinámico como en pasteurización lenta, preparación, pre-prensado y corte. La activación de la dosificación tanto de la leche como del cuajo se realizará por medio de válvulas que regularan el paso del líquido con un sensor de nivel para evitar derrames.

## **Capítulo I**

### **1. Marco Teórico.**

En el desarrollo de este capítulo se explicará los diferentes procesos desde la recepción de la materia prima, preparación, corte pre-prensado, prensado y finalmente la maduración del queso. Con los respectivos parámetros que influyen en dichos procesos, esto sirve como base para cumplir con los objetivos propuestos.

#### **1.1 Normativa legal que rige la actividad de elaboración de quesos.**

El organismo técnico nacional principal del sistema ecuatoriano de la calidad INEN le compete en la normativa, la reglamentación técnica y metrología. Dentro de esta actividad existen normas a las cuales se debe regir para desarrollar este proceso por ejemplo desde la recepción de leche bajo la norma NTE INEN 0009, en esta norma se establece los requerimientos que debe cumplir la leche cruda de vaca, destinada al procesamiento. En cuanto a la pasteurización la NTE INEN 0010 en la cual indica y establece las condiciones que debe cumplir la leche pasteurizada de vaca, destinada al consumo directo o procesamiento adicional.

En cuanto a referirse a quesos la norma a la que se debe regir son INEN 0062 en esta norma podemos encontrar los tipos de quesos y su respectiva clasificación. De acuerdo que se van desarrollar el proceso de quesos maduros se basaran en las normas NTE INEN 2604 y NTE INEN 2607. Estas normas establecen los requisitos los que se deben de cumplir los quesos madurados designados al consumidor final o posteriores elaboraciones. NTE INEN 1528 esta norma servirá de base en el desarrollo de quesos frescos antes de realizar su maduración. (NTE INEN, 2012)

Bajo estas normas y otras semejantes se desarrollará este proyecto de automatización de prototipo de línea de producción de quesos maduros.

## **1.2 Leche.**

Se entiende por leche para el consumo humano a la secreción natural de las glándulas mamarias de las vacas sanas y bien alimentadas, libre de calostro. (Pérez , 2005). Esta materia prima no debe tener ningún tipo de adición o extracción. En este proyecto se empleará leche cruda,” la cual no ha sido sometida a ningún tipo de calentamiento, es decir su temperatura no ha superado la de la leche inmediatamente después de ser extraída de la ubre (no más de 40°C)”. (NTE INEN, 2012).

Para el desarrollo de este proceso la materia prima que en este caso es la leche debe de cumplir ciertas características en su composición como son:

## **1.3 Características organolépticas de la leche.**

### **1.3.1 Color.**

La correcta coloración de una leche cruda es blanca opalescente o ligeramente amarillenta., medio aporcelanada cuando es muy rica en grasa presenta una coloración ligeramente crema, debida en parte al caroteno contenido en la leche de vaca. la leche pobre en grasa o descremada es ligeramente azulada. (Gonzales, 2010)

### **1.3.2 Olor.**

Leche fresca casi no tiene un olor característico, pero puede ser de un olor suave lácteo característico, libre de olores extraños debido a la presencia de grasa. La leche

conserva con mucha facilidad los olores de ambiente o de los recipientes en los que se guarda.

(NTE INEN, 2012)

### **1.3.3 Sabor.**

La leche fresca y limpia tiene un sabor medio dulce y neutro por la lactosa que contiene. En la producción láctea pueden presentarse factores que pueden producir sabores desagradables, este puede prevenirse y controlarse mediante buenas prácticas de manejo e higiene en el ordeño y un adecuado transporte hasta su procesamiento. (Martínez, 2011)

## **1.4 Características Físicas De Leche.**

### **1.4.1 Densidad.**

La densidad de la leche de una especie determinada no es un valor constante, varía con la temperatura y depende de factores. la densidad aumenta cuando el contenido de sólidos aumenta y la densidad disminuye cuando el contenido de grasa aumenta, es decir que la adición de agua a la leche hace que la densidad disminuya. La gravedad específica de la leche es igual al peso en Kg. de un litro de leche a una temperatura de 15° C. La gravedad específica generalmente se expresa en grados de densidad, fluctuada estos valores de 1.028 a 1.034, con un promedio de 1.031/32. (Martínez, 2011)

### **1.4.2 Concentración Hidrogénica (pH).**

El pH es el logaritmo del inverso de la concentración de iones hidrógeno. Las variaciones del pH dependen generalmente del estado sanitario de la glándula mamaria de la vaca; de la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto en la leche etc. “La leche de vaca recién ordeñada y sana, es ligeramente ácida, con un pH comprendido entre 6,5 y 6,8 como consecuencia de la

presencia de caseínas, aniones fosfórico y cítrico, principalmente” (Alais, 1985)Estos valores se aplican solamente a temperaturas cercanas a 25°C.

### 1.4.3 Viscosidad.

Se puede traducir como la resistencia de los líquidos al flujo. Ésta disminuye con el aumento de la temperatura; además aumenta cuando el pH de la leche disminuye debajo de 6.0. La viscosidad depende también de la presión: en un líquido newtoniano como la leche normal, la velocidad de flujo es proporcional a la presión. La leche es mucho más viscosa que el agua debida sobre todo a los glóbulos de grasa y las macromoléculas; así, cualquier modificación en el porcentaje de grasa y/o proteínas en la leche se refleja en un cambio en la viscosidad. (Martínez, 2011)

*Tabla 1 Viscosidad de la leche de acuerdo con la temperatura*

Temperatura °C	VISCOSIDAD (PA. S)	
	Leche entera	Leche descremada
10	2.8	2.5
30	1.65	1.35

Elaborado por: Autor

### 1.4.4 Punto de ebullición

La leche hierve sobre los 100 °C (a nivel del mar (entre 100.17 °C y 100.5 °C); con el calentamiento se dan variaciones en el equilibrio: iones, moléculas y micelas que influyen en el resultado. sin embargo, puede inducirse este fenómeno a menor temperatura, con solo disminuir la presión del líquido. (Martínez, 2011)

### 1.4.5 Punto de congelación.

Una de las características de la leche es el punto de congelación que, en general, es de  $-0.513$  a  $-0.565^{\circ}\text{C}$ . Los diferentes componentes de la leche, por encontrarse en solución viscosa, influyen en el punto de congelación. La acidez induce a una baja del punto de congelación. (Martínez, 2011)

### 1.4.6 Calor específico.

Es el número de calorías necesarias para elevar  $1^{\circ}\text{C}$  la temperatura de la unidad del peso de la leche. Calor específico de leche completa  $0.93 - 0.94$  calorías / kg.  $^{\circ}\text{C}$  (Gonzales, 2010)

*Tabla 2 Propiedades de leche cruda de vaca*

<b>Propiedades</b>	<b>Leche de vaca</b>
<b>Densidad a <math>20^{\circ}\text{C}</math> (g/ml)</b>	1,027-1,0320
<b>Viscosidad a <math>30^{\circ}\text{C}</math> (PA. S)</b>	1.65
<b>Tensión Superficial(N/M)</b>	50
<b>Índice de refracción (<math>N_D^{20}</math>)</b>	1,3440-1,3485
<b>Punto de Congelación (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	-0,550
<b>Punto de ebullición (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	100,17
<b>Acidez (% ácido láctico)</b>	0,15-0,18
<b>pH</b>	6,50-6,70

Elaborado por: Autor

## 1.5 Pasteurización.

Tratamiento térmico abajo del punto de ebullición del agua que, en un tiempo mínimo, permite destruir la totalidad de los agentes microbianos patógenos y reducir al nivel más bajo posible la cantidad de los saprofitos o banales propios de la leche, seguido de un enfriamiento rápido. (Pérez, 2005) En la actualidad existen varios métodos de pasteurización:

*Tabla 3 Tipos de Pasteurización*

	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo</b>
<b>Lenta(Lotes)</b>	62 a 65	30 min
<b>Rápida</b>	72 a 73	15 a 20 s
<b>Ultra Pasteurización</b>	110 a 115	4 s
<b>Ultra alta temperatura</b>	130 a 150	1 a 4 s

Elaborado por: Autor

### **1.5.1 Leche pasteurizada.**

Es la leche cruda, que ha sido sometida a un proceso térmico que garantice la destrucción total de los microorganismos patógenos y la casi totalidad de los microorganismos banales (saprofitos) sin alterar sensiblemente las características fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas de la misma. (NTE INEN, 2012)

El proceso fundamental para la elaboración de quesos es la coagulación de la caseína se la realiza generalmente con cuajo, pero se pueden emplear otras sustancias.

### **1.6 Cuajo.**

Se conoce como la sustancia que tiene la propiedad de coagular o cuajar la leche, obtenido a partir del abomaso de los becerros que secretan una endopeptidasa: la quimosina o renina, cuya acción por hidrólisis sobre el caseinógeno de la leche, lo transforma en caseína insoluble y coagula la leche. (Pérez , 2005)El cuajo se obtiene del extracto del abomaso de los rumiantes y se expende en forma líquida o en tabletas.

### **1.6.1 Enzimas coagulantes.**

En los quesos elaborados mediante coagulación enzimática o mixta, las enzimas coagulantes constituyen un elemento esencial. Tradicionalmente se utiliza la quimosina o renina. Pero debido al aumento en la demanda de cuajos se han desarrollado técnicas para la utilización de enzimas provenientes de microorganismos y vegetales. (Poncelet, 2006)

### **1.6.2 Cloruro de calcio.**

Su uso permite obtener una cuajada más firme a la vez que permite acortar el tiempo de coagulación. (Poncelet, 2006)

### **1.6.3 Nitratos.**

Los nitratos de sodio o potasio tienen como función impedir la hinchazón precoz por bacterias. (Poncelet, 2006).

### **1.6.4 Sal (cloruro de sodio).**

La sal se adiciona con el objetivo principal de darle sabor al queso, además sirve para alargar su vida útil al frenar el crecimiento microbiano al disminuir la actividad de agua. (Poncelet, 2006)

### **1.6.5 Cuajo líquido**

El cuajo líquido es en realidad una solución salina, donde se conserva mejor el fermento (quimosina) conocido vulgarmente por cuajo. La sal empleada es el cloruro de sodio o sal común. Esta sal obra como preservativo y facilita su acción coagulante. La proporción aplicada fue de 0.01 y 0.10, o sea, un gramo y un décimo de gramo por litro. Esta

pequeña dosis no modifica las propiedades coagulantes del fermento. (Ramírez). En la Figura 1 se puede apreciar el cuajo líquido.



*Figura 1 Cuajo Líquido CHY MAX*

**Elaborado por: Autor**

### 1.6.6 Cuajo en polvo

El cuajo en polvo tiene un color amarillento. Debe ser soluble y no dejar residuos, y estar muy seco. Esta clase de cuajo es más rico en fermentos que el líquido, y por este motivo está indicado para los quesos de pasta dura o de maduración larga. Para que un cuajo sea aceptable comercialmente, debe tener una fuerza de 1X20, es decir, que un centímetro de su solución coagule 20 litros de leche, a 35° C y en 40 minutos. (Ramírez). En la tabla 4 podemos apreciar las características de cuajos encontrados en el mercado local en tiendas agrícolas.

*Tabla 4 Características de tipos de cuajo*

<b>Cuajo</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Capacidad (Litros)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo de Coagulación (min)</b>	<b>Mezcla</b>
<b>Líquido</b>	35	7	1 cm <sup>3</sup>	40	
<b>Polvo</b>	35	20	1 cm <sup>3</sup>	40	
<b>Cuajo Del Quesero NF</b>	-37	100	1.1 gr	40-60	Agua con sal

Elaborado por: Autor

## **1.7 Suero de leche.**

Líquido obtenido una vez realizada la coagulación de la caseína de la leche, en éste permanecen todos los componentes de la leche que estaban en la fase de solución, como son la lactoalbúmina, la lacto globulina, las sales minerales, la lactosa, parte de la grasa y las vitaminas hidrosolubles. (Pérez , 2005)

## **1.8 Cuajada.**

Es el resultado de la precipitación de la caseína de la leche provocada por la acidificación, o bien, por la adición de enzimas coagulantes de la leche como es la renina. Así se produce la separación de los sólidos de la leche del suero y de esa manera se obtiene una pasta que servirá de base para la producción del queso y de otros productos lácteos. Existen dos tipos de cuajada según el método usado para su obtención y de acuerdo con el tipo de quesos a preparar. (Pérez , 2005)

## **1.9 Salado**

Esta fase tiene el propósito fundamental de regular el proceso microbiano evitando el crecimiento de microorganismos indeseables, contribuir al desuerado de la cuajada, formar la corteza y potenciar el sabor. (Poncelet, 2006). En la Figura 2 se puede apreciar e; salado en salmuera.

## **1.10 Queso.**

Producto elaborado con la cuajada de leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin adición de crema obtenida por la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas con o sin adición de fermentos de

maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales, dando lugar a las diferentes variedades de quesos; por su proceso pueden ser: fresco, madurado o procesado (Pérez , 2005)



*Figura 2 Salado de Queso en salmuera*

*Elaborado por: Autor*

### **1.10.1 Queso maduro.**

Son productos que se caracterizan por ser de pasta dura, semidura o blanda, con o sin corteza, sometidos a un proceso de maduración mediante la adición de microorganismos bajo condiciones controladas de tiempo, temperatura y humedad, para provocar cambios bioquímicos y físicos característicos del producto de que se trate. Esto les permite prolongar su vida del producto. (Pérez , 2005)

### **1.11 Maduración interna o primaria.**

Esta maduración es la que ocurre en el interior de la masa por acción de los microbios del fermento láctico. En la maduración primaria, el fermento láctico transforma toda la lactosa en ácido láctico. (Pacheco Andrade, 2016)

## **1.12 Maduración superficial.**

Se produce en la superficie del queso, progresando de afuera hacia adentro, al cabo de algunas semanas de maduración. existen condiciones especiales como la presencia de oxígeno, la alta concentración de sal, que permiten el crecimiento de hongos y bacterias los cuales descomponen aminoácidos, proteínas y materia grasa, las cuales ingresan al interior del queso dándole un sabor característico. (Pacheco Andrade, 2016)

## **1.13 Elementos que actúan sobre la maduración de queso.**

Existen varios elementos importantes los cuales intervienen en la correcta maduración del queso influyendo en el transcurso de este proceso afectando tanto la velocidad de maduración el tipo de enzimas y microorganismos que van a Los elementos de influencia son:

### **1.13.1 Humedad.**

La humedad del ambiente Favoreciendo el crecimiento y desarrollo microbiano en el queso ayudando a la velocidad de maduración, siendo los ambientes más secos desfavorables para la maduración maduran más lentamente y los ambientes húmedos favorables para la maduración, además la humedad influye en la formación de corteza y crecimiento de hongos, dando como resultado diferentes tipos de quesos maduros. En general, para evitar que la pérdida de humedad sea excesiva en los quesos que se están madurando, las cámaras o espacios naturales deben tener una humedad relativa alta, comprendida entre un 65 y 95%. (UNIDEG, 2013)

### **1.13.2 Temperatura.**

Dentro del proceso de maduración influye regulando el desarrollo microbiano y también la cantidad de producción de enzimas. La producción máxima de enzimas tiene lugar a una temperatura inferior a la óptima de desarrollo del microorganismo, siendo la actividad enzimática máxima entre 35-45°C. La maduración, en la práctica se suele hacer a temperaturas muy inferiores a las óptimas y según la variedad de queso. (Garrido, 2006)

Al existir una temperatura elevada dentro de este proceso se produce una maduración demasiado rápida y no uniforme comprometiendo el sabor y calidad del producto con mayores pérdidas de humedad en los quesos, por otro lado, si existiera una temperatura demasiado baja se produciría una maduración demasiado lenta y se ralentizan las reacciones químicas y transformaciones provocadas por las bacterias y otros organismos presentes en la masa y superficie del queso. (UNIDEG, 2013)

### **1.13.3 Acidez.**

El pH condiciona el desarrollo microbiano, siendo esta también consecuencia del propio desarrollo microbiano. La acidez aumenta durante el proceso de maduración debido a la descomposición de proteínas y de lactato, que liberan amoníaco y ciertas enzimas básicas, por esta razón el valor de acidez de la mayoría de quesos oscila entre 4,9 y 5,5. aunque en algunos madurados por mohos pueden llegar a 7 (UNIDEG, 2013)

### **1.13.4 Aireación.**

La presencia de oxígeno condiciona el desarrollo de la flora aerobiana y flora facultativa los cuales facilitan la formación de moho y bacterias, conjuntamente el cambio de aire tiene un efecto de secado sobre el queso el cual puede formar una corteza no deseada

sobre el mismo. Cuando mayor es la aireación existente en una cámara de maduración, mayor es la pérdida de peso en los quesos. Una cierta aireación es conveniente en el proceso de maduración de muchos quesos, ya que ayuda a uniformar las condiciones en toda la estancia. Para ello también es conveniente invertir la dirección del flujo de aire y cambiar los quesos de posición. Además, el aire debe ser bien distribuido por toda la cámara, evitando que tenga que cubrir distancias largas. (UNIDEG, 2013)

*Tabla 5 Elementos de influencia sobre la maduración del queso*

<b>Humedad Relativa</b>	70-90% HR
<b>Temperatura</b>	10-15°C
<b>Acides del queso</b>	4.9-5.5 pH
<b>Aireación</b>	<3m <sup>3</sup> /min

*Elaborado por: Autor*

## **1.14 Cámaras de maduración.**

La cámara de maduración es un espacio o instalación que aseguran procesos de maduración, secado y almacenamiento. Condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa y aireación se deben mantener combinadas específicamente según el tipo de queso y son de gran importancia en la velocidad de maduración, pérdidas de peso, formación de corteza y desarrollo de la flora bacteriana en la superficie de algunos tipos de queso.

Por lo tanto, unas condiciones adecuadas de temperatura, humedad relativa y aireación en la cámara de maduración, junto con un manejo adecuado de los quesos durante

el proceso de maduración, influirán sobre las características y calidad de queso que se esté elaborando. (Pacheco Andrade, 2016)



*Figura 3 Cuarto Frio para la maduración del queso.*

*Elaborado por: Autor*

## **Capítulo II**

### **2. Metodología**

#### **2.1 Características del usuario.**

Después de realizar las respectivas encuestas a los productores de quesos y de leche, se obtuvo que los productores artesanales de quesos dieron una aceptación hacia una automatización en el proceso sería de gran importancia ayudando a aumentarlos niveles de producción con intervención mínima del trabajador en operaciones delicadas como corte y pre prensado, por lo tanto, la información brindada es de gran ayuda para el desarrollo este prototipo. Las respuestas de los productores y recolectores de leche nos indican que existe una mayor rentabilidad elaborando quesos que a la venta de leche cruda sin procesar, por lo tanto, estarían dispuestos a realizar una inversión para obtener un prototipo de elaboración de quesos.

#### **2.2 Análisis funcional**

El análisis funcional es la identificación, mediante el desglose o desagregación, y el ordenamiento lógico de las funciones productivas que se llevan a cabo en el proceso, se aplica de lo general a lo particular según el nivel en el cual se esté desarrollando el análisis. Esta técnica propuesta por el ingeniero estadounidense Lawrence D. Miles, cuyo propósito es el de separar la acción que se efectúa del proceso, para de este modo buscar nuevas soluciones a un mismo problema. El análisis funcional logra obtener mejores productos a un menor costo. (MILES, 1989)

Al aplicar esta técnica en la resolución de un problema, es necesario subdividir claramente las funciones primarias y subfunciones secundarias en funciones que son necesarias para realizar cada subfunción del producto. Que en este caso es la de elaborar quesos maduros. Las secundarias son aquellas que permitan que la función primaria se desarrolle. (PONCE, 2011)

Una vez determinadas todas las funciones secundarias o subfunciones se procede a plantear soluciones aptas para resolver estas funciones, para luego seleccionar aquellas que se adapten a la mejor solución. Estas funciones pueden ser agrupadas para obtener módulos que sean capaces de cumplir un conjunto de funciones secundarias, obteniéndose así un diseño modular. (MILES, 1989)

El desglose funcional del proceso se lo lleva a cabo mediante diagramas de flujo aparece cada función, en los cuales se puede tener 3 tipos de entradas y salidas: control, material y energía. Los diagramas de flujo se presentan en diferentes niveles, comenzando con el nivel 0 o función global, y continuando hasta el nivel que sea conveniente. (PONCE, 2011)

### **2.2.1 Desarrollo de los diagramas funcionales**

Los diagramas funcionales se muestran en el ANEXO 3.

### **2.2.2 Análisis de los diagramas funcionales**

Se ha considerado adecuado desarrollar el diagrama funcional hasta el nivel 3 ya que, en este caso existe un mayor despliegue que conducirá a establecer y determinar las mejores soluciones para el proceso de elaboración de quesos.

En el nivel 0 explicado anteriormente presenta la función global o primaria, que en este caso es la elaboración de quesos maduros. Para que el prototipo cumpla con la función principal se requieren materiales, energía y señales de control generadas por los operarios o por sensores.

El nivel 1 resulta muy similar al proceso de fabricación establecido pues se especifican de manera general los diferentes procesos (funciones) a realizarse para obtener el producto. En el diagrama además se toma en cuenta el grado de automatización a ser realizado y deseado por el cliente. Por esta razón, en aquellas acciones que deben ser manuales, se observa que ingresa un flujo energético manual.

En el nivel 2 aparecen diversas acciones implícitas que en el nivel anterior no se especificaron, pero que son fundamentales para el funcionamiento del prototipo. Así, en el diagrama aparecen las funciones de ingreso de la leche, calentamiento y almacenamiento en la cámara de maduración.

La necesidad de un desglose del nivel dos en el cual se obtuvo el Nivel 3 en el cual se especifica de una mejor manera las subfunciones para el desarrollo de este proceso. Aparecen funciones desde el ingreso de la materia prima, la cantidad de leche a ser analizada antes de empezar el proceso continuando con su desarrollo hacia la pasteurización, enfriamiento, adición del cuajo, extracción de suero, pre prensado, corte, prensado, maduración y el empacado.

El moldeo de la cuajada desde la zaranda al molde es una función que no necesariamente aparecerá en el diseño definitivo y no necesita una automatización de dicho proceso.

Otra función de gran importancia que queda establecida en el diagrama es la Extracción del suero en la zaranda. Esta función permite que la mayor cantidad de suero sea

extraído de la cuajada. De esta función dependen en gran medida la calidad de cuajada en el producto terminado, así como el grado de desperdicio de materia prima. Por otro lado, quedan claramente establecidos los flujos energéticos, de materiales, de control y la relación entre las funciones. Referente a las relaciones funcionales, el diagrama muestra información importante relacionada con la dependencia y simultaneidad de funciones.

### **2.3 Definición de módulos**

La modularidad consiste en dividir al producto en varios bloques (módulos) funcionales o constructivos. El diseño de productos tomando en cuenta el modularidad ayuda enormemente en varios aspectos tales como la reducción de costos, el nivel de automatización a realizarse, la facilidad de mantenimiento, y facilidad de producción. (PONCE, 2011)

Debido a que dentro del proceso de elaboración de quesos se cumplen varias funciones, resulta conveniente llevar a cabo una división modular. Para esto se analiza cuidadosamente los diagramas funcionales para establecer la división modular más apropiada tomando en cuenta las interfaces de los flujos energéticos, de material y de señal. (PONCE, 2011)

Al estudiar el diagrama funcional se pueden establecer cuatro conjuntos principales de funciones:

- El ingreso de la leche. Que va desde la función del ingreso de materia prima hasta el censado del pH permitido.
- Pasteurización y el enfriamiento. En este módulo tienen una relación de señales y energía.

- En la preparación va desde la adición del cuajo hasta el tiempo total de cuajado igualmente con una relación de sus señales.
- La extracción del suero en este proceso va desde el ingreso del cuajo más suero a la zaranda, continuando con el pre prensado y la evacuación del suero llegando hasta el corte de la cuajada por medio de cuchillas.

Esta primera división se ha efectuado por la relativa dependencia con la que operan estos cuatro conjuntos de funciones. El primero de estos conjuntos se encarga del ingreso la materia prima a la máquina.

El segundo tiene la tarea de pasteurización y llegar a la temperatura correcta. El tercer proceso es el de preparación con la adición del cuajo Se considera que existe dependencia entre estos conjuntos ya que existe una interfaz de flujo de material, lo que, en otras palabras, significa que estos procesos no pueden operar con separados. En cuanto al cuarto proceso existe una independencia con los anteriores procesos por lo que puede desarrollarse la extracción del suero y el pre prensado sin interacción del proceso de preparación.

A continuación, se prosigue con la subdivisión de estos dos conjuntos para establecer los módulos.

### **2.3.1 División modular del primer conjunto**

Al observar el diagrama funcional de nivel 3 en la figura 4, se tiene que este primer conjunto cumple con funciones principales fácilmente identificables: Preparación y extracción del suero, por lo que se establecen los módulos que realicen las funciones correspondientes.

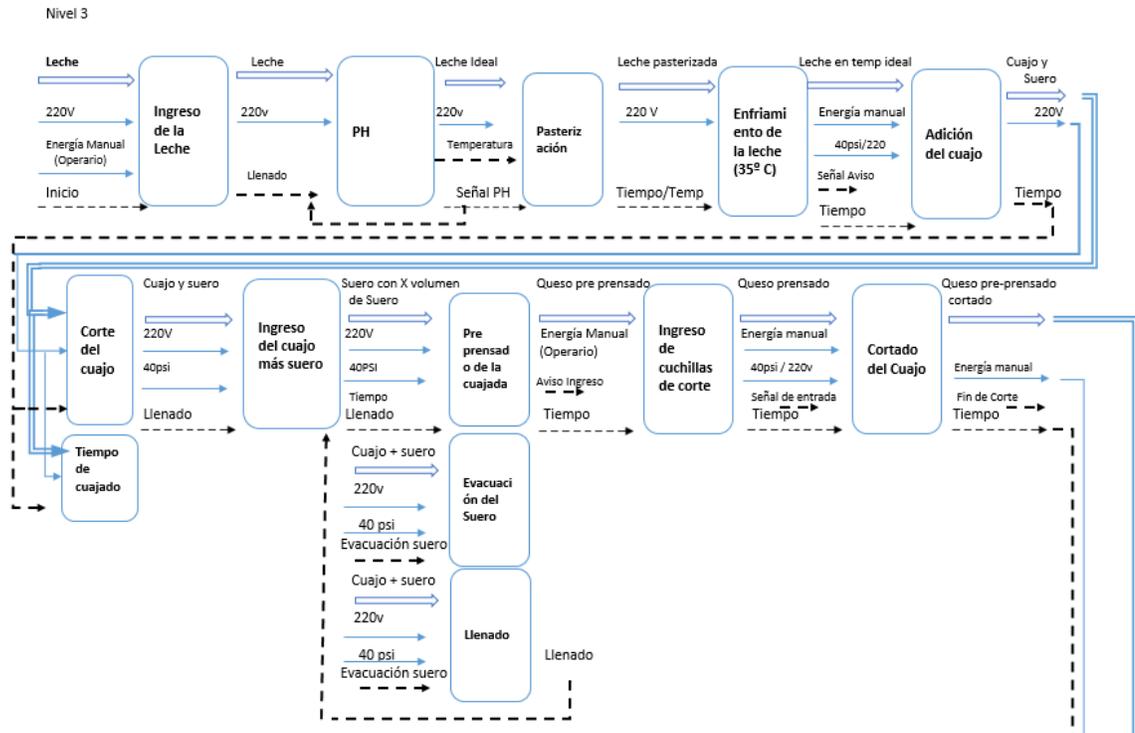


Figura 4 División modular nivel 3 del análisis funcional.

Elaborado por: Autor

### 2.3.2 División modular del segundo conjunto

La definición de módulos en la figura 5 en este conjunto resulta más fácil de entendimiento que en el anterior debido a que las diferentes funciones no presentan un elevado grado automatización y de interacción entre sí, sin embargo, la opción más razonable consiste en dividir en dos subconjuntos:

- El moldeo de la cuajada, el prensado y el salado en este subconjunto la materia prima tiene una interacción entre actividades.
- La maduración y el empaçado del queso.

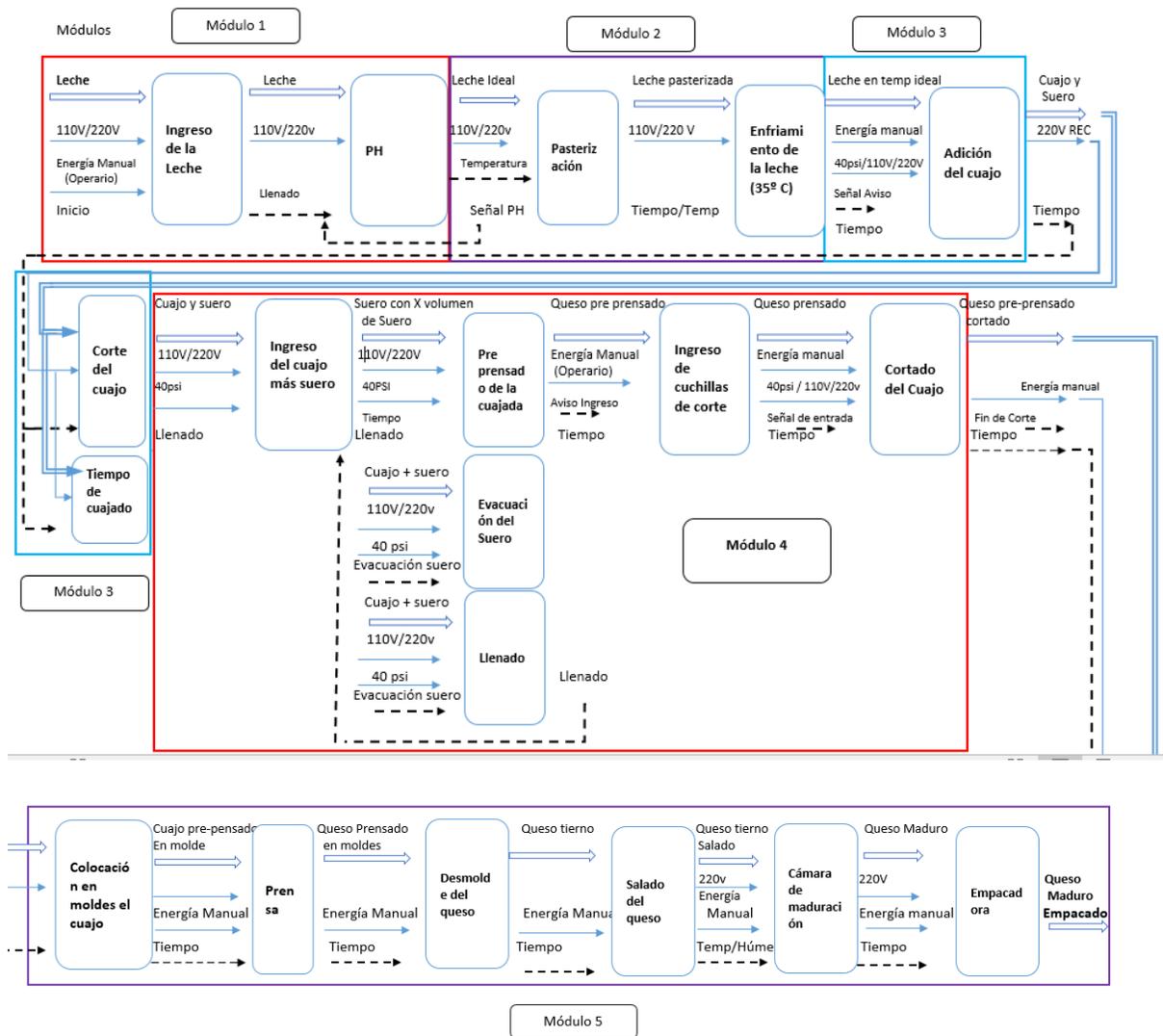


Figura 5 División modular nivel 5 del análisis funcional.

Elaborado por: Autor

## 2.4 Soluciones para cada módulo

### 2.4.1 Módulo 1

Este método cumple las siguientes funciones:

- Ingreso de la materia prima a la marmita.
- Censado del pH d la leche cruda

### 2.4.1.1 Alternativas de solución para el módulo1.

Para determinar diferentes alternativas de solución de módulos se combinan entre sí las soluciones para cada función, como es muestra en la tabla. Es importante notar que no resulta conveniente realizar todas las combinaciones, sino aquellas cuyos componentes sean compatibles entre sí.

Alternativas.

1. Válvula y sensor pH.
2. Válvula mecánica y sensor de pH.
3. Dosificación manual.

*Tabla 6 Alternativas módulo 1 ingreso.*

Función	Componente
Verter la leche al tanque	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Válvula Neumática</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Válvula Mecánica</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Dosificación Manual</div> </div>
Control del pH	<div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">Sensor de pH</div> </div>

Elaborado por: Autor

### 2.4.1.2 Evaluación y selección del módulo 1.

Con el fin de determinar aquel módulo que resulte más conveniente, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados. Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes:

- Un control ON/OFF del pH de la leche de esto dependerá la calidad de preparación y mezcla en el producto terminado.

- Sin esfuerzo físico al realizar el ingreso de la materia prima.
- Un mecanismo sencillo para realizar el censado del pH que permita su mantenimiento y limpieza.
- El costo del equipo no debe de exceder en este módulo.

La evaluación de los criterios y módulos se detalla en las tablas siguientes:

*Tabla 7 Evaluación de criterios módulo 1*

	<b>Control pH on/off</b>	<b>Sin esfuerzo físico</b>	<b>Mecanismo Sencillo</b>	<b>Costo del equipo</b>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Control pH on/off</b>		1	1	0	3,0	0,333
<b>Sin esfuerzo físico</b>	0		0,5	0,5	2,00	0,222
<b>Mecanismo Sencillo</b>	0	0,5		0,5	2,0	0,222
<b>Costo del equipo</b>	0	0,5	0,5		2,0	0,222
				Suma	9,0	1

Elaborado por: Autor

Control > Sin esfuerzo físico = Mecanismo Sencillo > = Costo del equipo

A continuación, se evalúa cada una de las soluciones respecto a los criterios.

*Tabla 8 Evaluación de criterio 1 del módulo 1*

<b>Control pH ON/OFF</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	1	3,0	0,5
<b>Solución 2</b>	0		0,5	1,50	0,25
<b>Solución 3</b>	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6,0	1

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3

Elaborado por: Autor

*Tabla 9 Evaluación de criterio 2 del módulo 1*

<b>Sin esfuerzo físico</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	1	3,0	0,545
<b>Solución 2</b>	0		0,5	1,50	0,272
<b>Solución 3</b>	0	0		1,0	0,181
			Suma	5,5	1

Solución 1 > Solución 2 > solución 3

Elaborado por: Autor

Tabla 10 Evaluación de criterio 3 del módulo 1

Mecanismo sencillo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0,5	0,5	2,0	0,333
<b>Solución 2</b>	0,5		0	1,50	0,25
<b>Solución 3</b>	0,5	1		2,5	0,417
			Suma	6,0	1

Solución 3 > Solución 1 > solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 11 Evaluación de criterio 4 del módulo 1

Costo del Equipo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0,5	0	1,5	0,25
<b>Solución 2</b>	0,5		0	1,50	0,25
<b>Solución 3</b>	1	1		3,0	0,5
			Suma	6,0	1

Solución 3 > solución 2 = solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 12 Conclusiones módulo 1

	Control pH	Sin esfuerzo físico	Mecanismo Sencillo	Costo del equipo	$\Sigma$	Prioridad
<b>Solución 1</b>	0,167	0,121	0,074	0,056	0,418	1,0
<b>Solución 2</b>	0,056	0,060	0,056	0,056	0,227	3,0
<b>Solución 3</b>	0,056	0,040	0,093	0,111	0,3	2,0

Elaborado por: Autor

Por consiguiente, según la tabla, la solución que más se ajusta a los criterios de evaluación

es el número 1.

## 2.4.2 Módulo 2

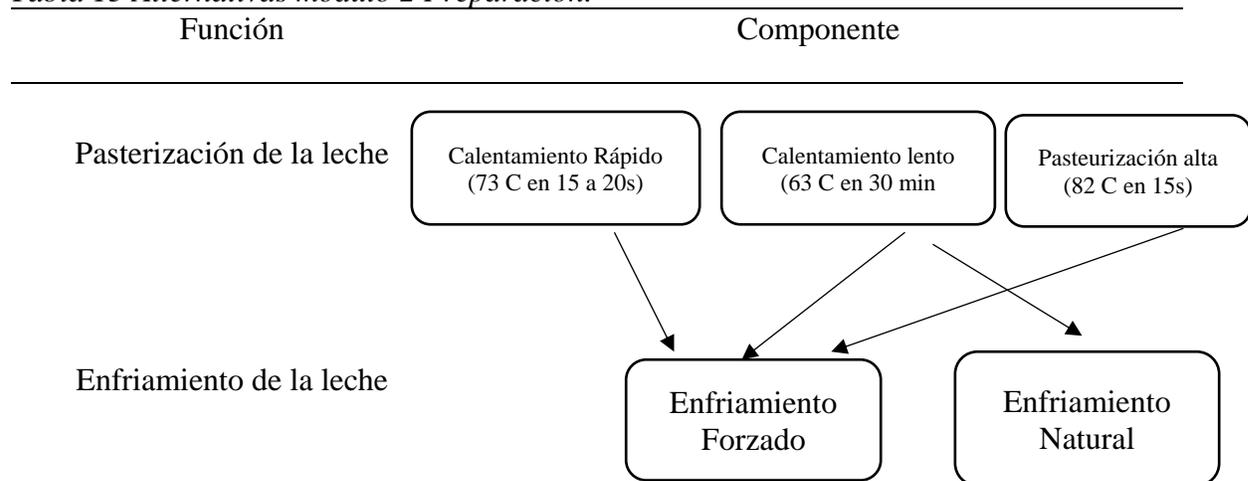
Este método cumple las siguientes funciones:

- Pasteurización de la materia prima.
- Preparación de la materia prima a temperatura ideal.

### 2.4.2.1 Alternativas de solución para el módulo2.

1. Calentamiento Rápido y Enfriamiento forzado.
2. Calentamiento Lento y Enfriamiento Forzado.
3. Calentamiento lento y enfriamiento natural.
4. Pasteurización alta y enfriamiento forzado.

*Tabla 13 Alternativas módulo 2 Preparación.*



Elaborado por: Autor

### 2.4.2.2 Evaluación y selección del módulo 2

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes del módulo 2:

- Un fácil control de temperatura en los procesos de pasteurización y preparación.
- El fácil mantenimiento del equipo de preparación y sistema de control.
- Un mecanismo sencillo para el ingreso de la materia prima a la marmita.
- El costo no tiene que ser muy elevado en cuanto a materiales para que sea rentable para la microempresa artesanal.

La evaluación de los criterios y módulos se detalla en las tablas siguientes:

Tabla 14 Criterio de evaluación módulo 2

	Facilidad de control	Fácil Mantenimiento	Mecanismo Sencillo	Costo del equipo	$\sum+1$	Ponderación
Facilidad de control		1	0,5	0,5	3,0	0,3
Fácil Mantenimiento	0		0,5	0,5	2,00	0,2
Mecanismo Sencillo	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Costo del equipo	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
				Suma	10,0	1

Control > Costo del equipo = Mecanismo Sencillo > Fácil mantenimiento

Elaborado por: Autor

Tabla 15 Evaluación de criterio 1 del módulo 2

Facilidad de control	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	0,5	1,5	0,158
Solución 2	0,5		0,5	0,5	2,50	0,263
Solución 3	1	0,5		1	3,5	0,368
Solución 4	0,5	0,5	0		2,0	0,211
				Suma	9,5	1

Solución 3 > Solución 2 > Solución 4 > Solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 16 Evaluación de criterio 2 del módulo 2

Facilidad de mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	0,5	2,0	0,2
Solución 2	0,5		0,5	1	3,00	0,3
Solución 3	1	0,5		1	3,5	0,35
Solución 4	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10,0	1

Solución 3 > Solución 2 > Solución 1 > Solución 4

Elaborado por: Autor

Tabla 17 Evaluación de criterio 3 del módulo 2

Mecanismo Sencillo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	0,5	2	0,2
Solución 2	0,5		0	0,5	2	0,2
Solución 3	1	1		1	4	0,4
Solución 4	0,5	0,5	0		2	0,2
				Suma	10	1

Solución 3 > Solución 1 = Solución 2 = Solución 4

Elaborado por: Autor

Tabla 18 Evaluación de criterio 4 del módulo 2

Costo del equipo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0,5	0	0,5	2,0	0,2
<b>Solución 2</b>	0,5		0	1	2,50	0,25
<b>Solución 3</b>	1	1		1	4,0	0,4
<b>Solución 4</b>	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10,0	1

Solución 3 > Solución 2 > Solución 1 > Solución 4

Elaborado por: Autor

Tabla 19 Conclusiones módulo 2

	Facilidad de control	Fácil Mantenimiento	Mecanismo Sencillo	Costo del equipo	$\sum$	Prioridad
<b>Solución 1</b>	0,06	0,04	0,05	0,05	0,2	3,0
<b>Solución 2</b>	0,1	0,06	0,05	0,063	0,273	2,0
<b>Solución 3</b>	0,14	0,07	0,1	0,1	0,41	1,0
<b>Solución 4</b>	0,08	0,03	0,05	0,038	0,198	4,0

Elaborado por: Autor

Por consiguiente, según la tabla, la solución que más se ajusta a los criterios de evaluación es el número 3.

### 2.4.3 Módulo 3

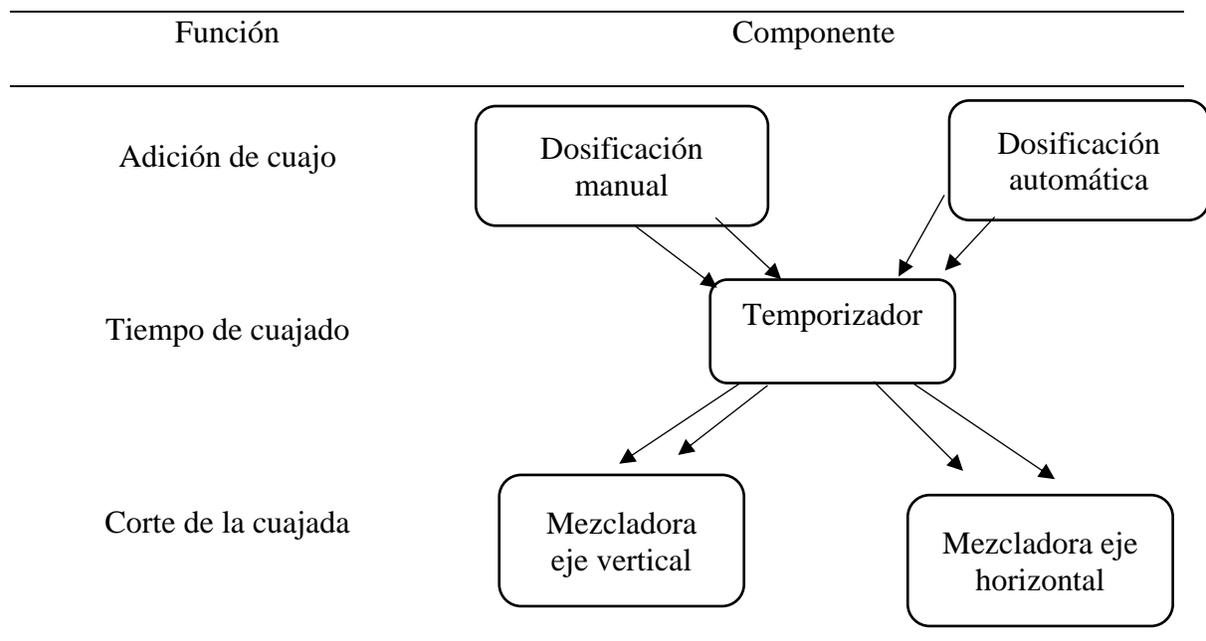
Este método cumple las siguientes funciones:

- Adición de cuajo.
- Tiempo de cuajado de la materia prima
- Corte de la cuajada.

#### 2.4.3.1 Alternativas de solución para el módulo 3.

1. Dosificación Manual con temporizador y mezclador eje vertical.
2. Dosificación Manual con temporizador y mezclador eje horizontal.
3. Dosificación Automática con temporizador y mezclador eje vertical
4. Dosificación Automática con temporizador y mezclador eje horizontal.

Tabla 20 Alternativas módulo 3 Preparación de Cuajada.



Elaborado por: Autor

### 2.4.3.2 Evaluación y selección del módulo 3.

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes del módulo 3:

- La facilidad de adición de cuajo al momento de haber alcanzado la temperatura ideal de preparación.
- Una fácil limpieza al mecanismo de adición de cuajo una vez terminada la operación.
- Una menor intervención del operario en operaciones delicadas como adición de cuajo y corte de la cuajada.
- La calidad de la mezcla como un factor importante para tener un producto final en excelentes condiciones.

La evaluación de los criterios y módulos se detalla en las tablas siguientes:

Tabla 21 Evaluación de criterios módulo 3

	<b>Facilidad de adición del cuajo</b>	<b>Fácil Limpieza</b>	<b>Menor intervención del operario</b>	<b>Calidad del mezclado</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Facilidad de adición del cuajo		1	1	0	3,0	0,25
Fácil Limpieza	0		0,5	0,5	2,00	0,167
Menor intervención del operario	1	0,5		0,5	3,0	0,25
Calidad del mezclado	1	1	1		4,0	0,333
				<b>Suma</b>	<b>12,0</b>	<b>1</b>

Calidad del mezclado >Facilidad Adición de cuajo=Menor intervención del operario > Fácil Limpieza  
Elaborado por: Autor

Tabla 22Evaluación de criterio 1 del módulo 3

<b>Facilidad adición de cuajo</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b>Solución 4</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		0,5	0	0	1,5	0,231
<b>Solución 2</b>	0,5		0	0	1,5	0,231
<b>Solución 3</b>	1	1		0,5	3,5	0,538
<b>Solución 4</b>	1	1	0		3,0	0,462
				<b>Suma</b>	<b>6,5</b>	<b>1</b>

Solución 3 > Solución 4 > Solución 2 = Solución 1  
Elaborado por: Autor

Tabla 23 Evaluación de criterio 2 del módulo 3

<b>Fácil Limpieza</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b>Solución 3</b>	<b>Solución 4</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	0,5	1	3,5	0,333
<b>Solución 2</b>	0		0	0,5	1,50	0,143
<b>Solución 3</b>	0,5	1		1	3,5	0,333
<b>Solución 4</b>	0,5	0,5	0		2,0	0,190
				<b>Suma</b>	<b>10,5</b>	<b>1</b>

Solución 3 > Solución 2 > solución 1 > Solución 4  
Elaborado por: Autor

Tabla 24 Evaluación de criterio 3 del módulo 3

Menor intervención del operario	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	0	1,5	0,15
Solución 2	0,5		0	0	1,50	0,15
Solución 3	1	1		0,5	3,5	0,35
Solución 4	1	1	0,5		3,5	0,35
				Suma	10	1

Solución 3 = Solución 4 > Solución 2 = Solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 25 Evaluación de criterio 4 del módulo 3

Calidad de mezclado	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	1	3,5	0,35
Solución 2	0		0	0,5	1,5	0,15
Solución 3	0,5	1		1	3,5	0,35
Solución 4	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10	1

Solución 3 = Solución 1 > Solución 2 > Solución 4

Elaborado por: Autor

Tabla 26 Conclusiones módulo 3

	Facilidad de adición del cuajo	Fácil Limpieza	Menor intervención del operario	Calidad del mezclado	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,058	0,056	0,038	0,117	0,269	3,0
Solución 2	0,058	0,024	0,038	0,05	0,17	4,0
Solución 3	0,135	0,056	0,088	0,117	0,396	1,0
Solución 4	0,115	0,031	0,088	0,05	0,284	2,0

Elaborado por: Autor

Por consiguiente, según la tabla, la solución que más se ajusta a los criterios de evaluación es el número 3.

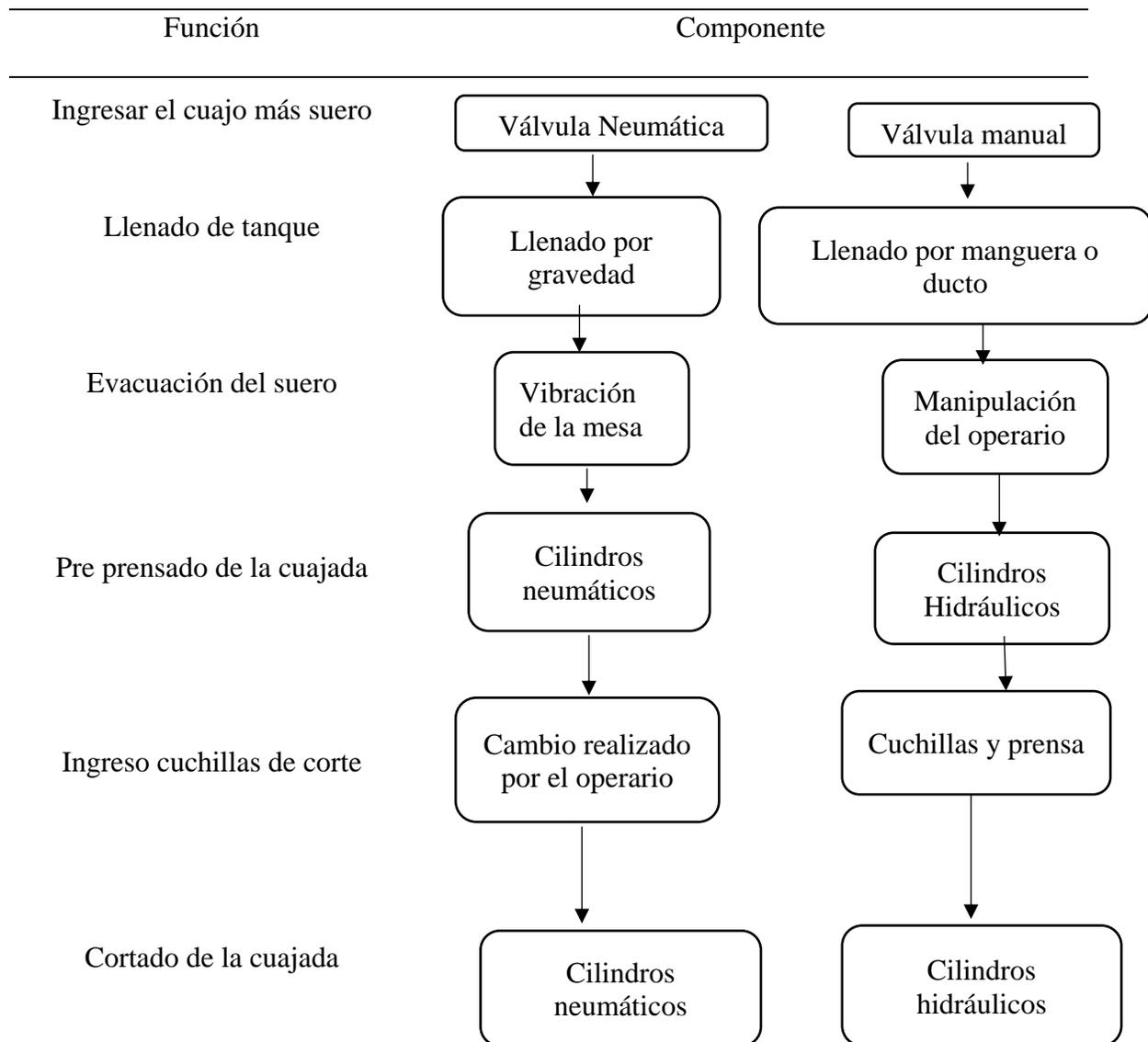
#### 2.4.4 Módulo 4

Este método cumple las siguientes funciones:

- Ingreso de la mezcla cuajada y suero a la zaranda de extracción.

- Evacuación del suero de la cuajada.
- Llenado de la mezcla a la zaranda de extracción.
- El proceso de pre prensado a la cuajada para garantizar una mayor extracción de suero
- El cambio a cuchillas de corte para realizar el proceso de corte de la cuajada.

Tabla 27 Alternativas módulo 4 Extracción.



#### **2.4.4.1 Alternativas de solución para el módulo 4.**

1. Válvula neumática para adicción de cuajo con llenado por gravedad a la zaranda de vibración cilindros neumáticos para el pre prensado el usuario intercambia las cuchillas de corte en los cilindros neumáticos.
2. Llenado por medio de una válvula manual a una manguera el operario realiza la extracción del suero con cilindros hidráulicos en el tanque para el pre prensado y el corte cambio automático con cilindros hidráulicos.

#### **2.4.4.2 Evaluación y selección del módulo 4.**

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes del módulo 4.

- El control para un llenado rápido de la mezcla cuajada y suero. Evitando derrames accidentales.
- Una evacuación automática y eficiente del suero por la cuajada sin la manipulación del operario.
- Un mecanismo que facilite el pre prensado de la cuajada
- Un fácil mantenimiento de los mecanismos garantiza una larga vida útil de la máquina.
- Sin esfuerzo físico en proceso de pre prensado por parte del operario.
- Costo del equipo un factor importante al tratarse de un prototipo.

Tabla 28 Criterios de evaluación módulo 4

	Control del llenado	Evacuación del suero automática	Mecanismo Sencillo de pre-prensado	Facilidad de mantenimiento	Sin esfuerzo físico	Costo del equipo	$\Sigma+1$	Ponderación
Control del llenado		0,5	1	0,5	0,5	0,5	3	0,194
Evacuación del suero automática	0,5		1	0,5	0,50	1	3,5	0,226
Mecanismo Sencillo de pre-prensado	0	0		0,5	0,0	0,5	1	0,065
Facilidad de mantenimiento	0,5	0,5	0,5		0,0	0,5	2	0,129
Sin esfuerzo físico	1	0,5	1	1		1	4,5	0,290
Costo del equipo	0,5	0	0,5	0,5	0,0		1,5	0,097
				Suma			15,5	1

Sin esfuerzo físico >Evacuación Automática>Control llenado>Facilidad de mantenimiento >costo del equipo>Mecanismo sencillo de prensado

Elaborado por: Autor

Tabla 29 Evaluación de criterio 1 del módulo 4

Control del llenado	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2,0	0,667
Solución 2	0		1,00	0,333
		Suma	3,0	1

Solución 1 > Solución 2

Elaborado por: Autor

Tabla 30 Evaluación de criterio 2 del módulo 4

Evacuación del suero automática	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	2,0	0,667
Solución 2	0		1,00	0,333
		Suma	3,0	1

Solución 1 > Solución 2

Elaborado por: Autor

Tabla 31 Evaluación de criterio 3 del módulo 4

<b>Mecanismo Sencillo de pre-prensado</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		0	1,0	0,333
<b>Solución 2</b>	1		2,00	0,667
		Suma	3,0	1

Solución 2 &gt; Solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 32 Evaluación de criterio 4 del módulo 4

<b>Facilidad de mantenimiento</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	2,0	0,667
<b>Solución 2</b>	0		1,00	0,333
		Suma	3,0	1

Solución 1 &gt; Solución 2

Elaborado por: Autor

Tabla 33 Evaluación de criterio 5 del módulo 4

<b>Sin esfuerzo físico</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	2,0	0,667
<b>Solución 2</b>	0		1,00	0,333
		Suma	3,0	1

Solución 1 &gt; Solución 2

Elaborado por: Autor

Tabla 34 Evaluación de criterio 6 del módulo 4

<b>Costo del equipo</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		0	1,0	0,333
<b>Solución 2</b>	1		2,00	0,667
		Suma	3,0	1

Solución 2 &gt; Solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 35 Conclusiones módulo 4

	<b>Contr ol del llenad o</b>	<b>Evacua ción del suero automá tica</b>	<b>Mecanis mo Sencillo de pre- prensado</b>	<b>Facilida d de manten imiento</b>	<b>Sin esfuerz o físico</b>	<b>Costo del equipo</b>	$\Sigma$	<b>Priorid ad</b>
<b>Solución 1</b>	0,129	0,151	0,022	0,086	0,194	0,032	0,614	1
<b>Solución 2</b>	0,065	0,075	0,043	0,043	0,097	0,1	0,423	2

Elaborado por: Autor

Por consiguiente, según la tabla, la solución que más se ajusta a los criterios de evaluación es el número 1.

### 2.4.5 Módulo 5.

Este método cumple las siguientes funciones:

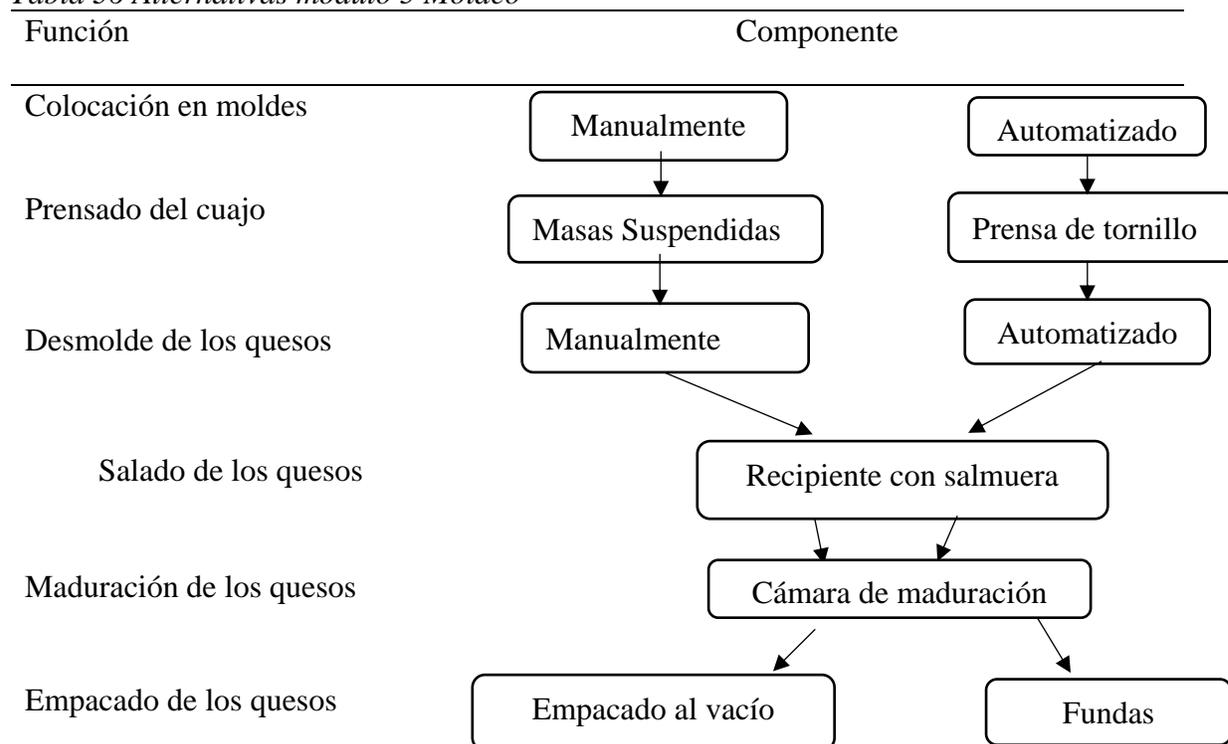
- La colocación de la cuajada cortada en moldes.
- El proceso de prensado cuando la cuajada está en el molde.
- El desmolde después del tiempo de prensado.
- El salado de queso para garantizar una mejor calidad.
- Ingreso del queso salado para garantizar una mejor calidad del producto final.
- La maduración del queso en un acamara con control de temperatura y humedad.
- El empaclado el producto para su distribución.

#### 2.4.5.1 Alternativas de solución para el módulo 5.

1. Colocación manual de la cuajada con un prensado por masas suspendidas, desmolde lo realiza el operario manualmente, el salado en un recipiente con salmuera, la maduración se realizará en un acamara y un empaclado al vacío.

2. Colocación de la cuajada en el molde automáticamente, el prensado por medio de una prensa de tornillo, un desmolde automático, el salado por medio de salmuera, la maduración se realizará en un cámara y el empaque en fundas.

*Tabla 36 Alternativas módulo 5 Moldeo*



Elaborado por: Autor

### 2.4.5.2 Evaluación y selección del módulo 5.

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes del módulo 5:

- El costo del equipo de gran importancia al tratarse de procesos a realizarse lo más manualmente posible.
- Un prensado eficiente que garantiza la máxima evacuación del suero de la cuajada.
- El uso de moldes sencillos para el moldeo y desmolde.

- La facilidad de limpieza de los equipos para garantizar un producto con una mayor asepsia.
- Una maduración eficiente para garantizar un tiempo mayor de duración del producto.
- Una calidad de empaçado garantiza la duración del producto interno.

*Tabla 37 Criterios de evaluación módulo 5*

	<b>Costo del equipo</b>	<b>Prensado eficiente</b>	<b>Mecanismo de moldeo y desmolde</b>	<b>Facilidad de limpieza</b>	<b>Maduración Eficiente</b>	<b>Calidad de empaçado</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Costo del equipo		1	1	0,5	0	1	4,5	0,1956
Prensado eficiente	0		0,5	0,5	0,5	1	3,5	0,1521
Mecanismo Sencillo de moldeo y desmolde	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5	3,5	0,1521
Facilidad de limpieza	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	3,5	0,1521
Maduración Eficiente	1	0,5	0,5	0,5		1	4,5	0,1956
Calidad de empaçado	1	0,5	0,5	0,5	0		3,5	0,1521
			Suma				23	1

Elaborado por: Autor

Costo del equipo=Maduración Eficiente>Calidad del empaçado=Prensado eficiente=Mecanismo sencillo de modelo y desmolde =Facilidad de limpieza.

*Tabla 38 Evaluación de criterio 1 del módulo 5*

<b>Costo del equipo</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	2,0	0,667
<b>Solución 2</b>	0		1,00	0,333
		Suma	3,0	1

Solución 1 > Solución 2

Elaborado por: Autor

Tabla 39 Evaluación de criterio 2 del módulo 5

<b>Prensado eficiente</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	2,0	0,667
<b>Solución 2</b>	0		1,00	0,333
		Suma	3,0	1

Solución 1 &gt; Solución 2

Elaborado por: Autor

Tabla 40 Evaluación de criterio 3 del módulo 5

<b>Mecanismo de moldeo y desmolde</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	2,0	0,667
<b>Solución 2</b>	0		1,00	0,333
		Suma	3,0	1

Solución 2 &gt; Solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 41 Evaluación de criterio 4 del módulo 5

<b>Facilidad de limpieza</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		0,5	1,5	0,5
<b>Solución 2</b>	0,5		1,50	0,5
		Suma	3,0	1

Solución 1 = Solución 2

Elaborado por: Autor

Tabla 42 Evaluación de criterio 5 del módulo 5

<b>Maduración Eficiente</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		1	2,0	0,5
<b>Solución 2</b>	1		2,00	0,5
		Suma	4,0	1

Solución 2 = Solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 43 Evaluación de criterio 6 del módulo 5

<b>Calidad de empaçado</b>	<b>Solución 1</b>	<b>Solución 2</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Solución 1</b>		0	1,0	0,333
<b>Solución 2</b>	1		2,00	0,667
		Suma	3,0	1

Solución 2 &gt; Solución 1

Elaborado por: Autor

Tabla 44 Conclusiones módulo 5

	<b>Costo del equipo</b>	<b>Prensado eficiente</b>	<b>Mecanismo Sencillo de moldeo y desmolde</b>	<b>Facilidad de limpieza</b>	<b>Maduración Eficiente</b>	<b>Calidad de empaquetado</b>	$\Sigma$	<b>Prioridad</b>
<b>Solución 1</b>	0,1304	0,10144	0,101	0,076086	0,130434	0,0507	0,590	1
<b>Solución 2</b>	0,0652	0,05072	0,051	0,076086	0,130434	0,1	0,474	2

Elaborado por: Autor

Por consiguiente, según la tabla, la solución que más se ajusta a los criterios de evaluación es el número 1

## 2.5 Determinación del modelo de automatización

La automatización se originó al usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas repetitivas que anteriormente efectuadas por seres humanos y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención de un operario, los sistemas automatizados de control para efectuar diversas tareas con mayor rapidez y precisión. Mejor de lo que podría hacerlo un ser humano. (José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A., 2005)

Las funciones asociadas a los niveles de control de producción y supervisión de planta en un modelo jerárquico de automatización requieren un conocimiento o un estudio profundo de la realidad del proceso (Elaboración de quesos) y la capacidad de interacción sobre ella. (Macías, 2004)

Es muy importante encontrar una buena metodología o procedimiento adecuado y eficaz, que permita a la industria artesanal, automatizar bienes de producción particularmente con el uso de Placas. Teniendo en cuenta el costo asociado a la adquisición de nueva tecnología. Los pasos por seguir para aplicar la metodología son:

## 2.5.1 Descripción Del Sistema

En el desarrollo de la elaboración de quesos maduros existen dos puntos primordiales como son la preparación, la extracción del suero y maduración. En los cuales existen diversos dispositivos que intervienen en el proceso.

### 2.5.1.1 Preparación.

Para el arranque del proceso se necesita como materia prima leche cruda de vaca, A la cual se le realiza un análisis organoléptico por parte del operario a cargo de la recepción una vez la leche es aceptada se le realizara un censado de pH por medio de un sensor al ingreso del equipo de preparación con índices de pH que estén dentro del rango aceptable con una electroválvula que controle el paso de la leche aceptada o rechazada según la medición.

En la preparación tendremos una marmita la cual se controlará la temperatura mediante un sensor tanto en la pasteurización como en la preparación, un motor con liras de corte y una electroválvula para la adición del cuajo.

*Tabla 45 Descripción del sistema de preparación*

<b>PREPARACIÓN</b>	<b>Sensor y Actuador</b>
<b>Análisis Organoléptico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operario</li> </ul>
<b>Ingreso De Materia Prima(Leche)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingreso por gravedad</li> </ul>
<b>Ingreso Cantidad De Leche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operario</li> </ul>
<b>Medición pH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de pH.</li> <li>• Electroválvula.</li> <li>• Sensor de llenado</li> </ul>
	Máximo (Nivel).

---

<b>Pasteurización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia Eléctrica.</li> <li>• Sensor de temperatura(62-65°C).</li> <li>• Tiempo (30 min)</li> </ul>
<b>Adición De Cuajo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura (35 -38° C).</li> <li>• Tiempo de cuajado (45 min)</li> </ul>
<b>Mezcla y Corte De La Cuajada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variador de frecuencia y Motor AC.</li> <li>• Tiempo de corte (45min)</li> </ul>

---

Elaborado por: Autor

### 2.5.1.2 Extracción del suero

Para el desarrollo de este proceso partiremos del ingreso por gravedad de la mezcla de suero y cuajada por medio de una electroválvula que permite el ingreso a la zaranda vibratoria que extrae el suero por medio de un motor y actuadores neumáticos realizan el pre prensado de la mezcla una combinación entre vibración y prensado garantizamos una mayor extracción de Suero. En los dos puntos del proceso para garantizar seguridad y evitar derrames se contarán con sensores de final de carrera tanto en la marmita como en la zaranda y en los actuadores neumáticos.

Tabla 46 *Descripción del sistema de extracción de suero*

---

<b>Extracción Del Suero</b>	<b>Sensor y Actuador</b>
<b>Ingreso De La Mezcla (Cuajada +Suero)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electro válvula.</li> <li>• Ingreso por gravedad.</li> <li>• Sensor llenado Máximo (Nivel).</li> </ul>
<b>Vibración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor y variador de frecuencia.</li> </ul>

---

---

**Pre Prensado**

- Cilindros Neumáticos.
  - Finales de carrera
- 

Elaborado por: Autor

**2.5.1.3 Maduración del Queso.**

En este punto del proceso como controlador se empleará un controlador digital. Un electro válvula para la humidificación de la cámara.

Las variables por controlar como principalmente es el tiempo tanto de pasteurización, como de preparación, extracción del suero. La temperatura como variable a ser controlada en la marmita de preparación y en la cámara de maduración. La humedad dentro de la cámara de maduración.

*Tabla 47 Descripción el sistema de maduración.*

---

**Cámara De Maduración      Sensor y Actuador**


---

**Maduración**

- Controlador Digital (Temperatura y Humedad).
  - Electroválvula.
  - Humidificación.
  - Evaporador.
  - Condensador.
  - Compresor.
- 

Elaborado por: Autor

Como resumen se puede apreciar en la tabla los sensores y actuadores a ser empleados en este prototipo de línea de producción con un número de 4 entradas analógicas y 6 entradas digitales y un numero de 2 salidas analógicas y 9 salidas digitales.

*Tabla 48* Sensores y actuadores del Prototipo.

<b>Sensores</b>	<b>Actuadores</b>
1 pH	2 Motores Ac
2 Nivel	2 Variadores de Frecuencia
1 Sensor De Temperatura	4 Electroválvulas
4 Finales De Carrera	2 Cilindros neumáticos
1 Sensor Digital (Temperatura Y Humedad)	1 Cámara de maduración

Elaborado por: Autor

### **2.5.2 Diagrama de flujo.**

En el diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos en el proceso. Dicho diagrama es útil para determinar cómo funciona realmente el proceso. El diagrama se utiliza en gran parte de las fases del proceso para una mejora continua, sobre todo en diseño e implantación de soluciones y procedimientos del proceso. (José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A., 2005). Como se puede apreciar en la figura 6 el diagrama de flujo del prototipo.

#### **2.5.2.1 Descripción del diagrama de flujo**

##### **Análisis organoléptico**

Este análisis es realizado por el operario evaluando la leche con pruebas del sabor, olor y observación visual.

##### **Preparación**

El desarrollo del proceso de fabricación de queso en la etapa de preparación depende fundamentalmente de la formación de la cuajada por acción del cuajo o enzimas similares después de realizado la pasteurización de la materia prima.

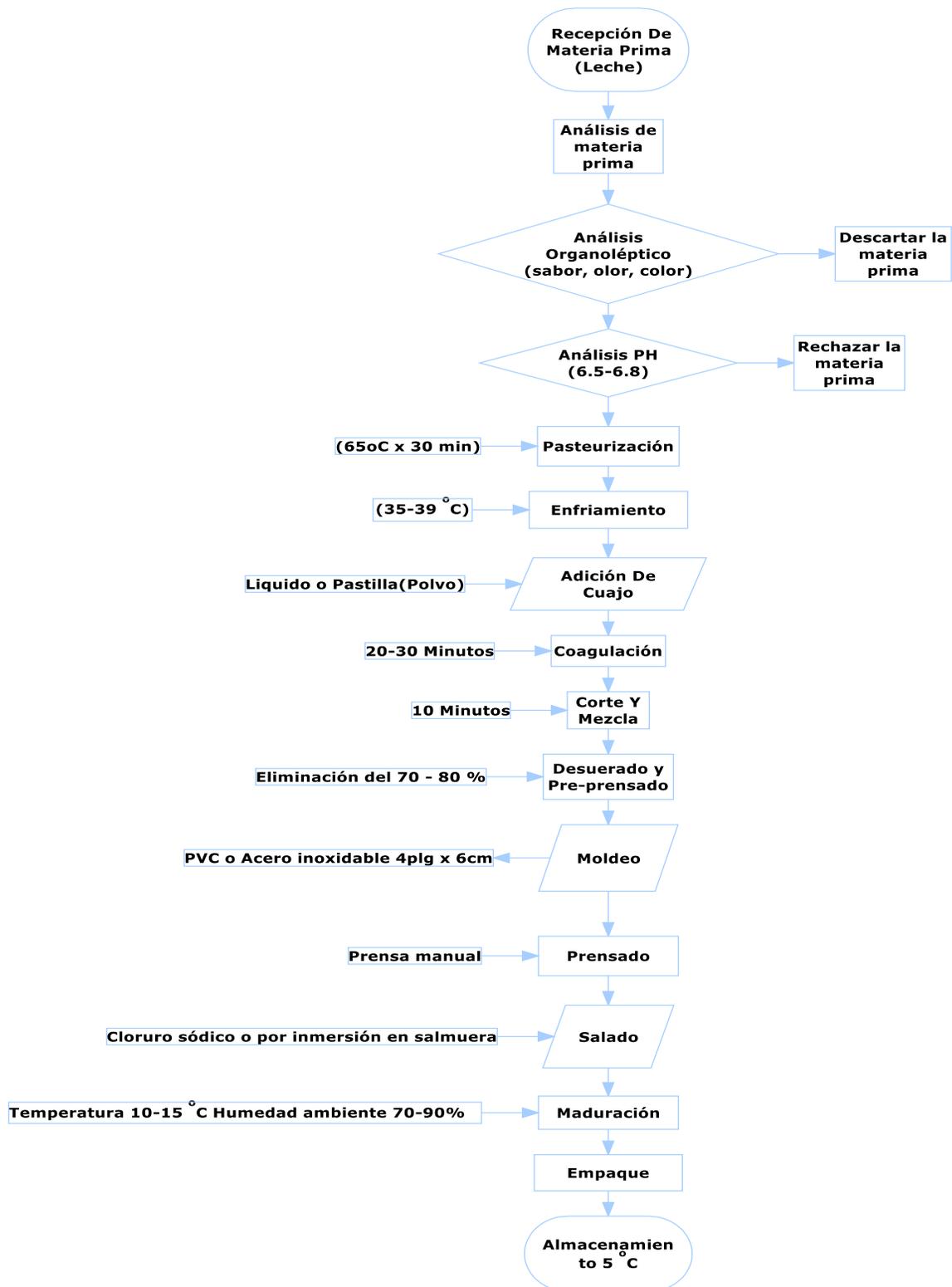


Figura 6 Diagrama de flujo del Prototipo

Elaborado por: Autor

**Adición del cuajo.**

Se agrega entre 7 y 10 cc de cuajo líquido por cada 100 litros de leche o bien 2 pastillas para 100 litros (siguiendo las instrucciones de cada fabricante).

Se agita la leche durante un minuto para disolver el cuajo y luego se deja en reposo para que se produzca el cuajado, lo cual toma de 20 a 30 minutos a una temperatura de 30-41 °C la cuajada toma consistencia y un brillo aporcelanado. Sobre la temperatura máxima el coagulo vuelve a tornarse esponjoso y blando. Sobre los 61°C muere el fermento. (Ramírez)

**Mezcla y Corte**

Una vez que se adiciono el cuajo se determinara el tiempo óptimo de cuajado normalmente el tiempo de cuajado varía entre 15 y 35 minutos dependiendo de factores como el tipo de cuajo y el volumen de la leche. (Ortiz)

El corte de la cuajada se hará con liras de acero inoxidable según la norma (NTE INEN 009). El corte mejora la consistencia de la cuajada, una vez transcurrido el tiempo de coagulación y comprobando que el gel o cuajada tienen la consistencia y textura adecuada, se procede a su corte mediante unos instrumentos denominados liras que presentan una serie de hilos tensos y paralelos entre sí. (Poncelet, 2006) El tamaño del corte de la cuajada (en granos) determinara el tipo de queso a elaborar. Como consecuencia de dicho corte se produce un drenaje inicial del suero. El siguiente paso es trabajar en la cuba de preparación, el grano mediante agitación y elevación de la temperatura favoreciendo todavía más la expulsión del suero y su unión.

**El proceso de eliminación del suero**

Para evitar que la cuajada se acidifique demasiado y controlar el ritmo de maduración para separar Este Subproducto (suero) se deberá cortar la cuajada, a través de liras y agitarla

para facilitar la expulsión del suero del grano de la masa. (Poncelet, 2006) El pre prensado de la cuajada en la tina o zaranda facilita el moldeo, eliminando el aire y exceso de suero existente entre los granos de la masa para este procedimiento existen varios métodos; los artesanales el operario retira gran parte del suero separando de una forma manual y dejándolo escurrir a través de un colador puesto en un recipiente o en el desagüe del tanque o la marmita donde se realizó el cuajado de la cuajada con la ayuda de varios instrumentos artesanales. Por el lado de la industria con un grado de mayor tecnificación emplea otro tipo de mecanismos como accionamientos neumáticos y vibraciones con mallas metálicas para facilitar la extracción del suero con una menor intervención y manipulación de parte del operario sobre la materia prima.

En este proceso de Desuerado Se debe separar entre el 70 y el 80% del suero. El suero se recoge en un recipiente y por lo general se destina para alimentación de animales de granja o diferentes procesos. (CARBALLO, 1999)

### **Moldeo.**

Consiste la colocación de la cuajada en moldes diseñados para eliminar el excedente de suero aun retenido en la cuajada. Estos moldes son actualmente de acero inoxidable o de plástico alimenticio cuya forma y tamaño varía con cada tipo de queso, se cubren con un lienzo y se llenan con la cuajada. En este momento, se debe hacer una pequeña presión al queso para compactarlo mejor... En los quesos tradicionales se ha mantenido las marcas o formas antiguas de los moldes. (Pérez , 2005)



*Figura 7 Proceso de moldeo artesanal.*

**Elaborado por: Autor**

### **Prensado**

Una vez llenados los moldes pasamos al prensado, que tiene como finalidad dar la forma definitiva al queso, evacuar el suero sobrante y el aire atrapado entre los granos y favorecer la unión de la cuajada y Alcanzar el pH deseado. (Poncelet, 2006) Al Unir el grano Prensado hasta un pH=5,2 La presión y la duración del prensado dependerán del tipo de quesos que se desee elaborar. En la mayoría de las queserías actualmente se realiza la presión de forma mecánica.

Se efectúa en prensas, con las que se ejerce determinada presión sobre la cuajada que se puede aumentar progresivamente durante el tiempo de prensado. Las condiciones del prensado son distintas para cada tipo de queso, variando el desarrollo y la duración de la operación. (Pérez , 2005)



*Figura 8 Proceso de prensa por gravedad*

**Elaborado por: Autor**

## Salado

Es una operación que se efectúa en todos los quesos tiene el propósito fundamental de regular el desarrollo microbiano, tanto suprimiendo bacterias indeseables como controlando el crecimiento de los agentes de la maduración, contribuir al desuerado de la cuajada, formar la corteza y potenciar el sabor. Puede realizarse en seco recubriendo la superficie del queso, o directamente en la cuajada con cloruro sódico (sal), o por inmersión en un baño de salmuera (agua y sal) este es el más extendido en nuestro país. Los quesos se mantienen sumergidos en un baño de salmuera durante un periodo variable, dándose la vuelta en a los quesos periódicamente. El porcentaje de sal en la salmuera deberá ser de un 17-18 %. (Villarreal, 2002).



*Figura 9 Salmuera para el proceso de salado*

**Elaborado por: Autor**

## Maduración.

Es el periodo de reposo que llevan los quesos de pasta dura, semidura y semiblando, ya moldeados, antes de su consumo, el tiempo de maduración es variable según el tipo de queso a producir y puede ir de un mínimo de dos semanas hasta dos años con una pasta dura, los quesos maduran por la acción enzimática de la renina, por las enzimas producidas por los microorganismos de los cultivos iniciadores y de otros microorganismos, en los quesos elaborados con leche cruda, de las enzimas propias de la leche. En esta fase adquieren su

consistencia, textura, aroma y el sabor que caracteriza a cada tipo de queso. en el proceso de maduración se puede observar en sus primeras etapas el cambio de pasta esto dependerá del tipo de queso que se está elaborando (Pérez , 2005).



*Figura 10 Proceso de maduración en cuarto frio*

Elaborado por: Autor

### 2.5.3 Descripción de los equipos del sistema.

En el sistema se emplean diferentes dispositivos los cuales fueron explicados en el análisis funcional y el análisis modular con sus correspondientes agrupaciones según su interrelación tanto en sus entradas como en sus salidas. En la tabla se representan los sensores y actuadores a ser usados en el prototipo con sus características.

*Tabla 49 Sensores y actuadores a ser usados en el prototipo con sus características.*

<b>Características del Sistema</b>			
<b>Procesó</b>	<b>Sensores y actuadores</b>	<b>Señal</b>	<b>Funcionamiento</b>
Preparación	pH	Analógica	Sensado del pH permitido de la materia prima.
	Electro válvula	Digital	Permitirá el paso de materia prima si el censado esta fuera de los limites.

---

Nivel	Analógica	Evitará derrames de materia prima en su capacidad máxima.
Sensor de Temperatura.	Analógica	Censara la temperatura ideal de Pasteurización y de preparación.
Variador de Frecuencia.	Digital	Realizara el control de velocidad rotacional del motor.
Extracción de suero Electro válvula.	Digital	Accederá el paso de la materia Prima después de la preparación.
Final de carrera	Digital	Determinar las distancias de la carrera de los cilindros neumáticos
Variador de frecuencia	Digital	Control de la velocidad de la zaranda vibratoria
Electro válvula	Digital	Permite el paso del aire hacia los cilindros
Nivel	Analógica	Control del máximo capacidad de la zaranda evitar derrames

---

---

Maduración	Sensor digital (Temperatura Digital y humedad)	Control de temperatura y humedad de la cámara
------------	--	---

---

Elaborado por: Autor

#### 2.5.4 Selección del PLC

En la Automatización del prototipo de línea de producción de queso, este proyecto tiene fin llegar a una industrialización del proceso antes mencionado partiremos en emplear como controlador un autómatas programable o conocidos como PLC. La determinación de entradas y salidas requeridas en el sistema es típicamente la característica principal en la selección de un controlador contar con un número amplio de entradas y salidas tanto digitales como analógicas (señales de tensión o corriente, pulsos de 0/5 V, 0/24 V, tensiones alternas 110 V, 220 V, tensiones continuas 12/24/48 V, etc.), llegando a manejar múltiples equipos de una manera simultánea (sensores, actuadores etc.), con un control más preciso del proceso dependiendo la marca y configuración de estos equipos, brindan una mayor velocidad de respuesta, flexibilidad en su programación, dependiendo de la aplicación se puede emplear módulos de expansión en operaciones más específicas, podemos emplear HMI dependiendo del fabricante una opción de visualización y de relación con el operario. Son algunas de las características que se tomaron en cuenta al momento de seleccionar un PLC por lo tanto la selección de este dispositivo. (Macías, 2004)

Se necesita controlar el proceso de preparación y de extracción de suero por lo que se ha empleado la siguiente instrumentación:

*Tabla 50* Resumen de instrumentación a ser usada

<b>Sensores y actuadores</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Señal</b>
<b>pH</b>	1	Digital
<b>Nivel</b>	2	Digital
<b>Sensor de Temperatura</b>	1	Analógica
<b>Finales de carrera</b>	6	Digital
<b>Sensor digital</b>	1	Digital
<b>(Temperatura y humedad)</b>		
<b>Variadores de Frecuencia</b>	2	Analógica
<b>Electroválvulas</b>	6	Digital

---

Elaborado por: Autor

Con un número mínimo de 4 entradas analógicas y 6 entradas digitales, en salidas 2 analógicas y 9 digitales con estos requisitos mínimos se realizará a la selección del PLC.

#### **2.5.4.1 Características del PLC Allen Bradley Micrologix 1400**

- Alimentación 24 VDC.
- 3 puertos de comunicación (Ethernet/IP, RS232 y RS232/RS485).
- 20 entradas Digitales.
- 12 salidas digitales.
- 2entradas analógicas 0-10v
- 2 salidas analógicas 0-10.
- Opciones de expansión de E/S de gran rendimiento.

#### **2.5.4.2 Características PLC XC3- 24RT-E de 24 I/O XINJE**

- Disponible en modelo con fuente de poder de AC 110 a 220 VAC.

- 14 entradas digitales opto-aisladas (maneja entradas NPN para sensores)
- 10 salidas (2 digitales NPN de transistor y 8 de Relé).
- 3 entradas de alta frecuencia para encoder incremental A/B
- Reloj en tiempo Real, memorias de retención al apagar.
- Soporta operaciones matemáticas de punto flotante.
- Funciones en Lenguaje “C”.
- Soporta contadores de alta velocidad (high speed count)
- Salidas de transistor de alta frecuencia (200Kz) para servomotores o motores de pasos.
- Interrupciones
- Lazos de control PID
- COM1 para comunicaciones con PC o Pantalla (Modbus RS232)
- COM2 para protocolo serial libre o MODBUS (RS232 / RS485)
- Software de programación Gratis
- Programación en lenguaje Ladder Logic y con Lista de Instrucciones.
- Módulos de Expansión.

#### **2.5.4.3 Características PLC SIEMENS. S7-300.**

- Alimentación 24 vdc.
- 16 Entradas digitales 24vdc.
- 16 Salidas digitales 24vdc.
- 1 Puerto serie mpi para programación y conexión a bus de campo.
- 1 Puerto serie profibus-dp para programación y conexión a bus de campo.

#### 2.5.4.4 Características plc Mitsubishi AI-10MR-D

- Pantalla integrada.
- Reloj en tiempo real.
- Programación vía teclas frontales-
- Entradas análogas.
- Suministro de poder 100-240VDC.
- Salidas a Relé arriba de los 8 amperios.
- Protección de programas con contraseña.
- Función de comunicación remota vía MODEM
- Memoria de 64 bloques de función o 1500 bytes.
- Posibilidad de módulos de expansión.
- Análogas Entradas 6.
- Digital entradas 6.
- Salidas 4 tipo relé.

#### 2.5.4.5 Matriz de decisión para selección de PLC

Con una valoración sobre 5 puntos

*Tabla 51* Criterios de selección de PLC

	<b>Allen Bradley</b>	<b>PLC XINJE</b>	<b>SIEMENS</b>	<b>Mitsubishi</b>
<b>Costo</b>	2	4	3	2
<b>Costo de Software</b>	2	5	2	2
<b>Capacidad de ampliación</b>	4	5	5	4
<b>Fuente extra</b>	3	3	3	3
<b>Mínimas entradas</b>	3	4	4	2

<b>Mínimas Salidas</b>	3	4	3	2
<b>Intercomunicación</b>	4	5	4	2
<b>HMI</b>				
<b>Modular</b>	3	4	4	1
<b>Total</b>	24	34	28	18

Elaborado por: Autor

#### **2.5.4.6 Selección de la alternativa de PLC más viable**

Posterior a la evaluación de las ventajas y desventajas señaladas de las diferentes alternativas en los incisos, se tomó en cuenta los datos obtenidos en la matriz de decisión y considerando las necesidades de este prototipo, se puede determinar que la alternativa más óptima y viable para el caso presentado, y para las características señaladas de entradas y salidas, se utilizara un PLC XC3- 24RT-E de 24 I/O XINJE por las características antes mencionadas.

#### **2.5.5 Selección del sensor de temperatura**

Las Termocupla J y K junto con los Pt100 son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, económicos y fáciles de reemplazar que existen en el mercado.

##### **2.5.5.1 Características Termocupla J.**

- Mediciones de 0 a 700 °C.
- No es recomendable usar cuando el sitio de medición y el instrumento están lejos (más de 10 a 20 metros de distancia).
- La Termocupla introduce un error típicamente del orden de 0.5 °C
- Industria del plástico y goma (extrusión e inyección).
- Medición en tambores rotatorios con Termocupla de contacto.
- Temperatura de motores (carcaza) con Termocupla autoadhesiva.

- Procesos en general donde el sensor está sometido a vibración.

### **2.5.5.2 Características Termocupla K.**

- Fundición de metales hasta 1300°C (no ferrosos)
- No es recomendable usar cuando el sitio de medición y el instrumento están lejos (más de 10 a 20 metros de distancia).
- La Termocupla introduce un error típicamente del orden de 0.5 °C
- Hornos en general
- Usar cuando hay que poner las Termocupla en vainas muy delgadas

### **2.5.5.3 Características Pt100.**

- Medición de -100 a 200 °C con muy buena precisión y estabilidad.
- Mecánicamente no tan rígidas.
- Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado.
- Industria de alimentos en general (envasado, pasteurizado, cocción, conservación, etc.).
- Circuitos de líquidos. (aguas de enfriamiento, aceites, etc.).
- Industria química (temperatura de reactivos).
- Cámaras de secado (textiles, alimentos, papel, etc.).
- La Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros). Aun así, deben tomarse ciertas precauciones en la instalación.

### **2.5.5.4 Matriz de decisión para selección del sensor de temperatura.**

Con una valoración sobre 5 puntos.

*Tabla 52 Criterios de selección sensor de temperatura*

<b>Características</b>	<b>Termocupla J</b>	<b>Termocupla K</b>	<b>Pt100</b>
<b>Aplicación industrial</b>	5	5	5
<b>Precisión en medidas</b>	3	3	5
<b>Rango de Medición</b>	2	2	4
<b>Distancia de medición</b>	2	2	4
<b>Procesos Alimenticios</b>	3	3	5
<b>Costo</b>	4	4	3
<b>Total</b>	19	19	26

Elaborado por: Autor

### **2.5.5.5 Selección de la alternativa del sensor más viable**

De acuerdo con la evaluación de las ventajas y desventajas señaladas de las diferentes alternativas de los sensores en los incisos anteriores, se tomó en cuenta que los datos obtenidos en la matriz de decisión, considerando las necesidades de este prototipo, se determinó que la alternativa más óptima y viable para las características de aplicación como es mediciones de temperatura en pasteurización y preparación, se utilizara un PT10 por las características antes mencionadas.

## **2.6 Programación del PLC**

Existen dos formas de programación para el PLC: El método heurístico o informal (función memoria) y el método formal (GRAFSET), El método grafset es el que mejor se acopla a nuestra automatización por lo tanto es el método por usar. Primero para realizar el diagrama, el cual consiste en un diagrama gráfico de etapas y transiciones, por medio del cual se puede llevar a cabo con facilidad la programación del PLC elegido de acuerdo con el software del mismo. (José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A., 2005)

De acuerdo con el diagrama del GRAFCET se describen las entradas y salidas que intervienen en el programa para tener una mejor visualización del mismo. Esto ayuda en mayor parte para la siguiente etapa que se refiere a la programación del PLC.

Se debe tener en cuenta realizar un diagrama de ambiente como se ve en la figura tenemos las entradas las cuales entregan la información necesaria para que el sistema de control inicie el proceso y por ende brinde salidas del sistema de control que maneja o controle el PLC.

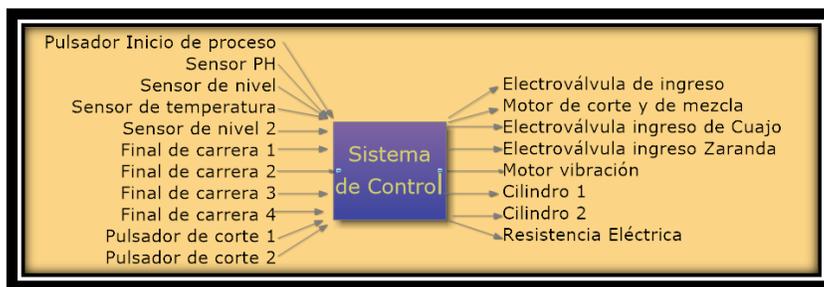


Figura 11 Diagrama de ambiente

Elaborado por: Autor

### 2.6.1 Diagrama de entradas y salidas

En este diagrama colocamos las siglas de cada entrada y cada salida como se puede apreciar en la figura 12 y en la tabla 53 se aprecia la descripción de cada una de las siglas de nuestro diagrama de entradas y salidas.

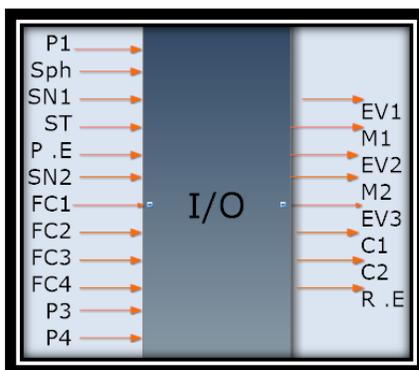


Figura 12 Diagrama de entradas y salidas

Elaborado por: Autor

*Tabla 53 Tabla de descripción de Variables del Prototipo*

<b>Nombre</b>	<b>Sigla</b>	<b>Descripción</b>
<b>Pulsador 1</b>	P1	Inicia el ciclo (estar)
<b>Sensor pH</b>	SPH	Detecta si el nivel de pH es el permitido
<b>Sensor Nivel 1</b>	SN1	Indica el llenado del tanque de preparación
<b>Sensor Temperatura</b>	ST	Realiza el censado de temperatura de Pasteurización y preparación
<b>Pulsador 2</b>	PE	Detiene el ciclo (Paro d emergencia)
<b>Sensor Nivel 2</b>	SN2	Indica el llenado de la zaranda
<b>Final de carrera 1</b>	FC1	Salida del vástago cilindro 1
<b>Final de carrera 2</b>	FC2	Vástago cerrado cilindro 1
<b>Final de carrera 3</b>	FC3	Salida del vástago cilindro 2
<b>Final de carrera 4</b>	FC4	Vástago cerrado cilindro 2
<b>Pulsador 3</b>	P3	Proceso de corte
<b>Pulsador 4</b>	P4	Proceso de corte
<b>Electroválvula 1</b>	EV1	Paso de materia prima aceptada
<b>Resistencias eléctricas</b>	RE	Calentar marmita
<b>Variador Mezcla y corte</b>	M1	Realiza la mezcla de la preparación y el corte de la cuajada
<b>Electroválvula</b>	EV2	Dosificación de cuajo
<b>Cilindro 1</b>	C1	Realiza e pre prensado de la cuajada
<b>Cilindro 2</b>	C2	Realiza e pre prensado de la cuajada
<b>Vibradora zaranda</b>	M2	Encargado de las vibraciones de la zaranda

Elaborado por: Autor

## **2.6.2 Diagrama GRAFCET**

De acuerdo con el diagrama del GRAFCET se describen las entradas y salidas que intervienen en el programa para tener una mejor visualización del mismo. Esto ayuda en

mayor parte para la siguiente etapa que se refiere a la programación del PLC como se aprecia en la Figura 13.

### **2.6.3 Programacion en el software xcpro**

La programación del PLC Xinje XC3- 24RT-E de 24 I/O emplearemos el software xcpro version 3.3 gratuito, El lenguaje de dicho software es el ladder o programación gráfica muy popular dentro de los autómatas programables. Para la parte de la interface humano-maquina (HMI) empleamos un panel operador de 4 lineas monocromatico con el software OP20 TOOL con un lenguaje grafico de programcion con comunicación con el plc.

En nuestro programa se tomaron como base tres etapas como son:

#### **2.6.3.1 Adquisicion de Datos.**

Lectura de las señales de los diferentes sensores distribuidos por todo el prototipo como por ejemplo los sensores de pH, temperatura, llenado del tanque, zarana y finales de carrera.

#### **2.6.3.2 Control**

Desarrollar acciones de control o de mando del sistema enviadas desde el PLC hacia los accionadores y preaccionadores del prototipo.

#### **2.6.3.3 Dialogo Hombre Máquina**

Mantener una comunicación con el operario del proceso, obedeciendo sus ordenes e informando del estado del proceso. Para estaetapa se cuenta con un panel operador en el cual se mantendra informado al operario del estado del proceso tambien con señales luminosas en diferentes puntos criticos del sistema.

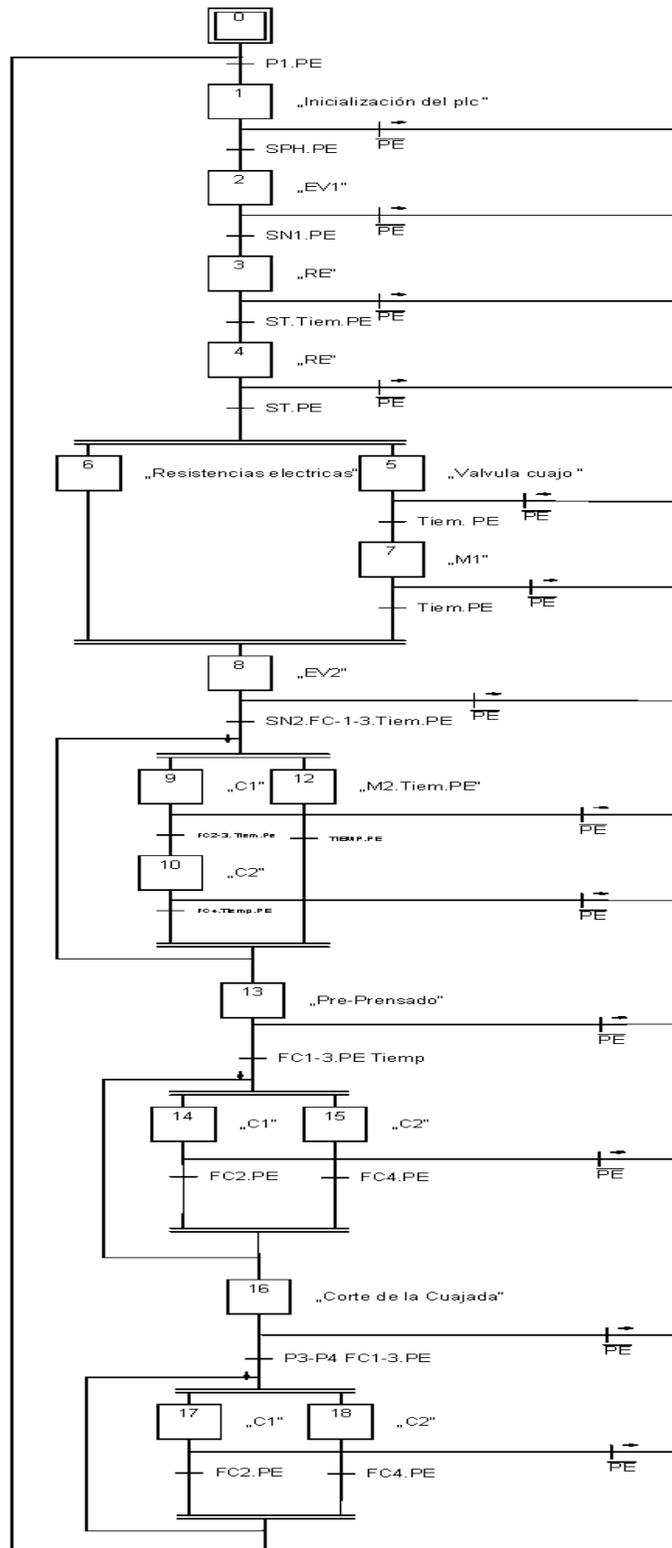


Figura 13 Diagrama Grafcet del prototipo  
Elaborado por: Autor

Para el desarrollo de la programación de este PLC se toma como base el diagrama de flujo y el diagrama graficet de todo el sistema. Estos diagramas empleados para dar a conocer las variables, sensores y actuadores a ser usados indican el camino a seguir por parte del programador en cuanto al comportamiento del sistema En los anexos se puede evidenciar la parte de la programación realizada.

## **2.7 Modelacion matematica de la parte de preparaci3n.**

En cuanto a la modelaci3n matemática de la parte de temperatura de preparaci3n se empleó el método de adquisici3n de datos. Básicamente el modelo es una herramienta que permite predecir el comportamiento de nuestro proceso. ´preparaci3n

### **2.7.1 Adquisici3n de Datos**

En cuanto a la toma de datos empleamos una tarjeta de adquisici3n (NI MYDAQ). Esta tarjeta realizo un censado y un almacenamiento en un archivo .xlsx, con un sensor de temperatura PT100 y una niquelina a ser utilizados en el proceso. Los datos adquiridos a ser usados en la modelaci3n son: la seńal de entrada la temperatura obtenida mediante el acondicionador de seńal del sensor de temperatura (Voltaje del acondicionador 0-10V) y Seńal de salida el voltaje de la tarjeta hacia el relé de estado s3lido (Voltaje de salida de 0-10V) los dos valores almacenados en el archivo .xlsx para realizar la modelaci3n de la planta.

### **2.7.2 Modelaci3n de los Datos.**

La parte de manejo de los datos la realizamos en el software MATLAB con su herramienta ident para la construcci3n del modelo matemático del sistema a partir de datos de entrada-salida (Voltaje-Voltaje del acondicionador). Utilizando los datos en dominio de

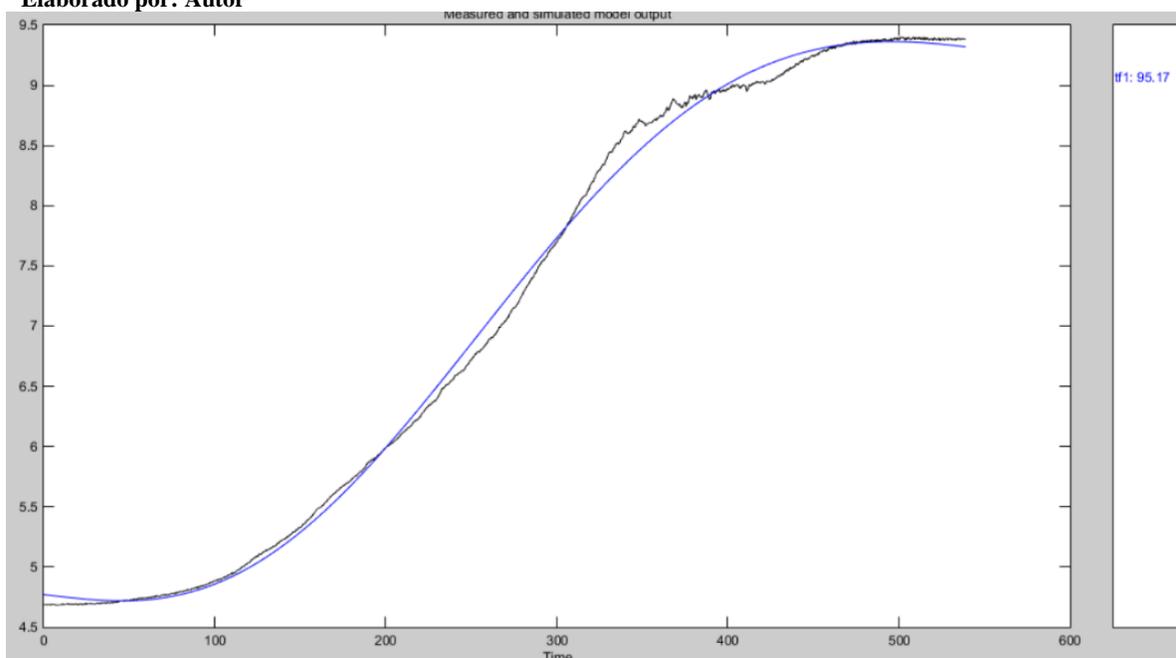
tiempo para identificar la función de transferencia. La herramienta también proporciona algoritmos para la estimación de diferentes parámetros y la reducción al mínimo de predicción de errores.

Con un tiempo de muestreo de 100ms y los datos obtenidos mediante la tarjeta de adquisición de datos (MyDAQ) se los llevó al software Matlab y su herramienta ident obteniendo la función de transferencia que rige la relación entre la entrada de 10V a la niquelina con su respectivo circuito de potencia y la salida de nuestro sensor pt100 con su acondicionador de señal de 0-10v con un rango de -50 °C a 100 °C se obtuvo una función de nuestro sistema con un porcentaje de aceptación de 95.17%.

*Ecuación 1 Función de transferencia con 97.21% de aproximación*

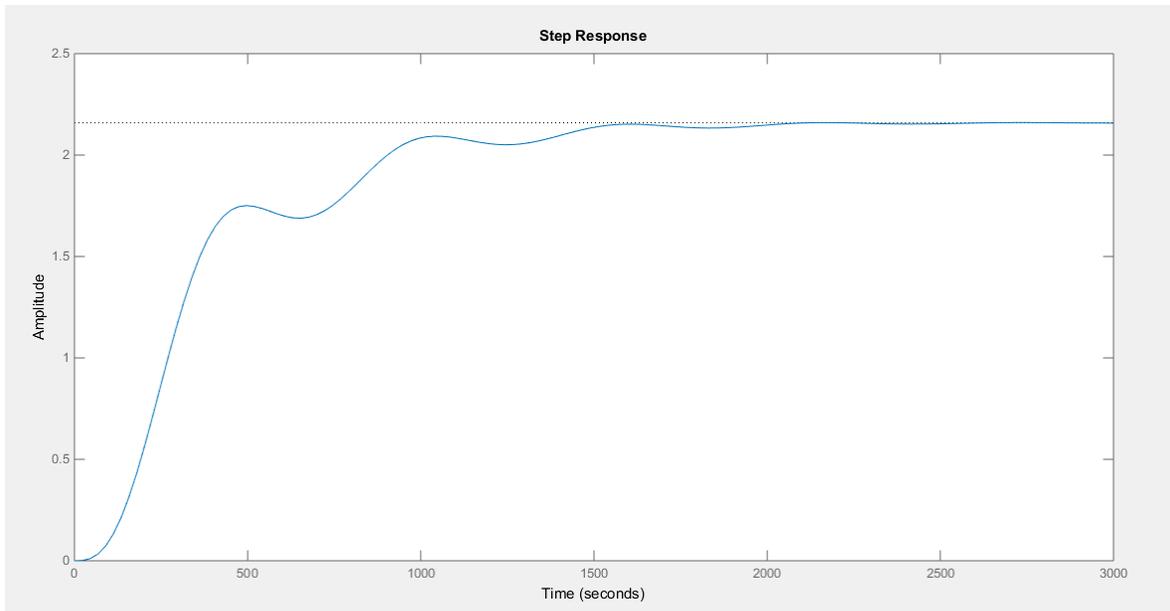
$$\frac{7.031e-07}{s^3 + 0.006814 s^2 + 0.000135 s + 3.385e-07}$$

Elaborado por: Autor



*Figura 1 Planta real y Función de transferencia con el 97.21% de aproximación*

Elaborado por: Autor



*Figura 14 Respuesta paso de la función de transferencia*

**Elaborado por: Autor**

## 2.8 Sintonización del controlador

Una vez encontrada la función de transferencia de nuestra planta se seleccionó emplear un controlador PID. El controlador es realimentado, el propósito de la parte proporcional es acelerar la respuesta de nuestro sistema produciendo un offset o error de estado estacionario, mediante el uso de una acción integral se logra disminuir y eliminar dicho offset provocado por la acción proporcional. La parte derivativa del controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro con un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

Para la sintonización del controlador se utilizará las Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID. Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional  $K_p$ , del tiempo integral  $T_i$  y del tiempo derivativo  $T_d$ , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica.

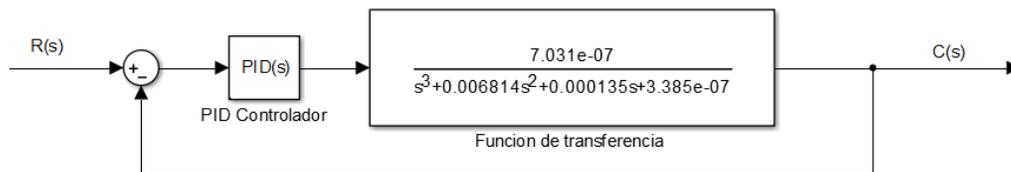
## 2.8.1 Regla de sintonización de Ziegler – Nichols

El controlador PID tiene la función de transferencia.

*Ecuación 2 Función de transferencia controlador PID (Ogata, 2010)*

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Aplicando una regla de sintonización de Ziegler-Nichols para la determinación de los valores de los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$ .



*Figura 15 Sistema con un controlador PID*

**Elaborado por: Autor**

Estableciendo  $T_i = \infty$  y  $T_d = 0$ , obtenemos la función de transferencia en lazo cerrado del modo siguiente:

*Ecuación 3 Función de transferencia en lazo cerrado*

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{7.031e^{-7} \cdot K_p}{s^3 + 0.006814s^2 + 0.000135s + 3.385e^{-7} + 7.031e^{-7} \cdot K_p}$$

**Elaborado por: Autor**

El valor de  $K_p$  que hace al sistema marginalmente estable para que ocurra una oscilación sostenida se obtiene mediante el criterio de estabilidad de Routh. Dado que la ecuación característica para el sistema en lazo cerrado es:

*Ecuación 4 Ecuación característica para el sistema en lazo cerrado*

$$s^3 + 0.006814s^2 + 0.000135s + 3.385e^{-7} + 7.031e^{-7} \cdot K_p = 0$$



**Determinamos los valores de Kp, Ti, Td del modo siguiente:**

$$K_p = 0.6K_{cr} = 0.496137$$

$$T_i = 0.5P_{cr} = 0.285184$$

$$T_d = 0.125P_{cr} = 0.35124$$

Por lo tanto, la función de transferencia del controlador ecuación 2:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

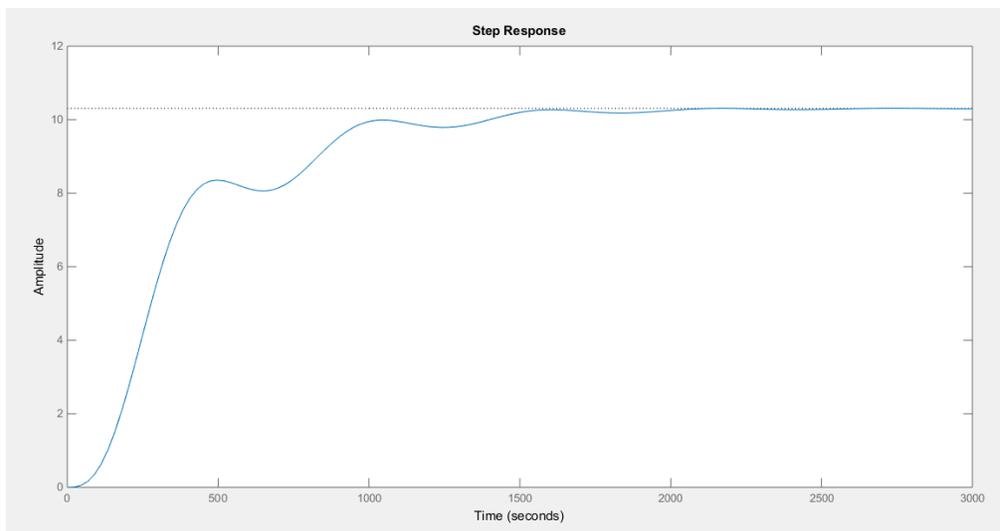
$$G_c(s) = 0.4961 \left( 1 + \frac{1}{0.28518s} + 0.07129s \right)$$

$$G_c(s) = \frac{0.035366969s^2 + 0.141477s + 0.4961}{0.2851s}$$

La función de transferencia en lazo cerrado  $C(s)/R(s)$  se obtiene mediante.

*Ecuación 5 Función de transferencia lazo cerrado aplicado un PID teórico.*

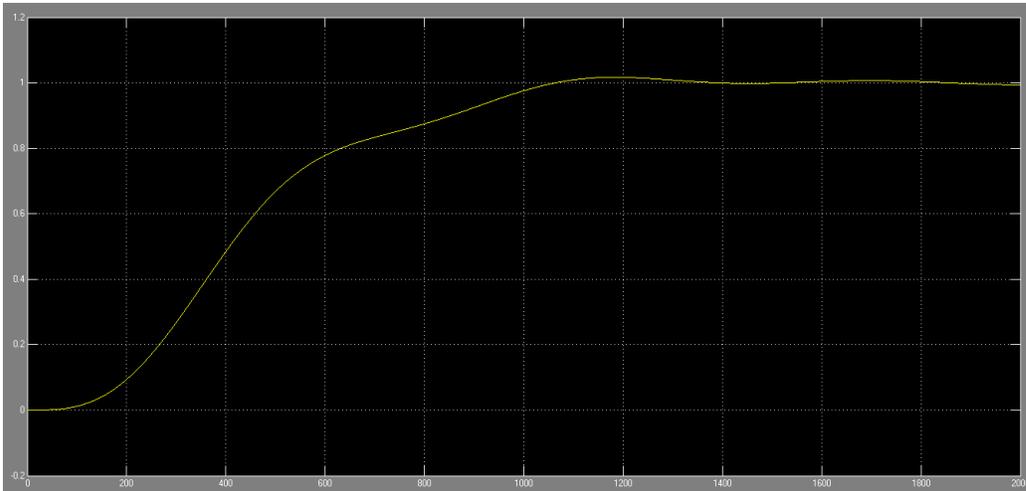
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{7.09143e^{-9}s^2 + 3.48807e^{-8}s + 9.9472e^{-7}}{0.2851s^4 + 1.9426714e^{-3}s^3 + 3.84885e^{-5}s^2 + 9.65e^{-8}s}$$



*Figura 16 Respuesta paso aplicado el controlador*

**Elaborado por: Autor**

La cantidad sobrepaso máximo es excesiva. Se reducen los parámetros del controlador mediante un sintonizado fino. Dicha sintonización se hace en la computadora reduciendo los valores referenciales de Kp, Ti Y Td, Después de haber reducido los valores referenciales con la ayuda del software Matlab y su herramienta Simulink se encontró la siguiente respuesta de le figura.



*Figura 2 Respuesta después de aplicar el controlador PID*

**Elaborado por: Autor**

Controller parameters	
Proportional (P):	<input type="text" value="0.2369"/>
Integral (I):	<input type="text" value="0.000897"/>
Derivative (D):	<input type="text" value="-45.2970"/>
Filter coefficient (N):	<input type="text" value="0.00341"/>

[Compensator formula](#)

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

*Figura 3 Valores del controlador*

**Elaborado por: Autor**

Por lo tanto, la función de transferencia del controlador:

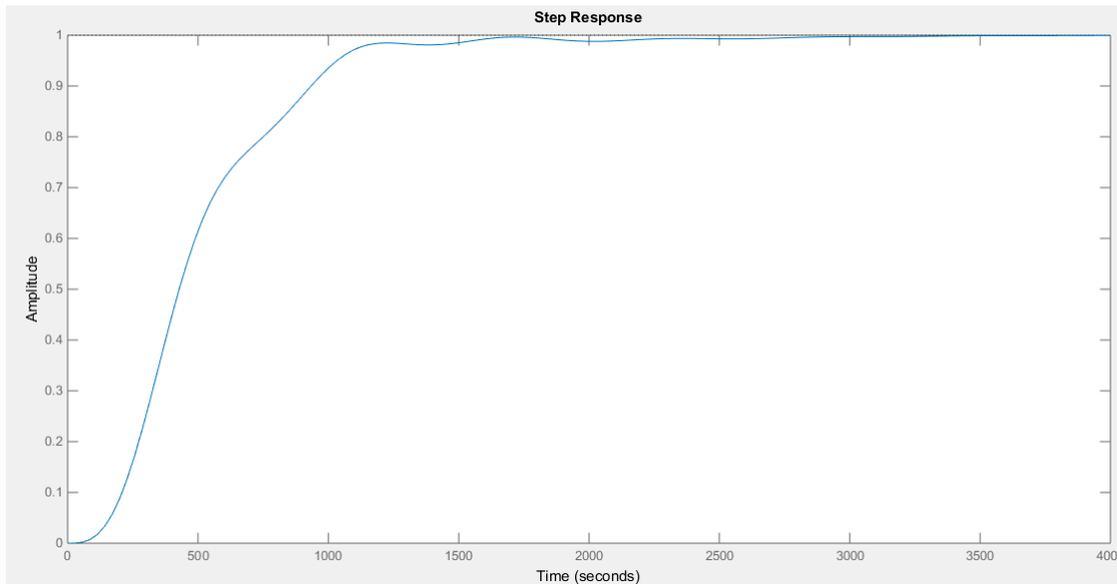
*Ecuación 6 Función de transferencia del controlador sintonizado en Matlab.*

$$Gc(s) = \frac{0.0825s^2 + 1.70048e^{-3}s + 3.058e^{-6}}{s^2 + 0.0034s}$$

La función de transferencia en lazo cerrado  $C(s)/R(s)$  se obtiene mediante.

*Ecuación 7 Función de transferencia aplicando un controlados sintonizado.*

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{6.03075e^{-8}s^2 + 1.2462e^{-9}s + 2.2353e^{-12}}{s^5 + 0.01022s^4 + 0.0001582s^3 + 8.594e^{-7}s^2 + 2.4e^{-9}s + 2.235e^{-12}}$$



*Figura 17 Respuesta paso de función de transferencia con una sintonía fina al controlador.*

**Elaborar por: Autor**

Al realizar una breve comparación entre la función de transferencia de la planta y la función de transferencia aplicada un controlador PID sintonizado se encuentran grandes diferencias como el tiempo de levantamiento es el requerido para que la respuesta llegue a un 95% de su valor final. Las figuras 18-19 y la tabla 54 detallan las diferencias entre estos tiempos.

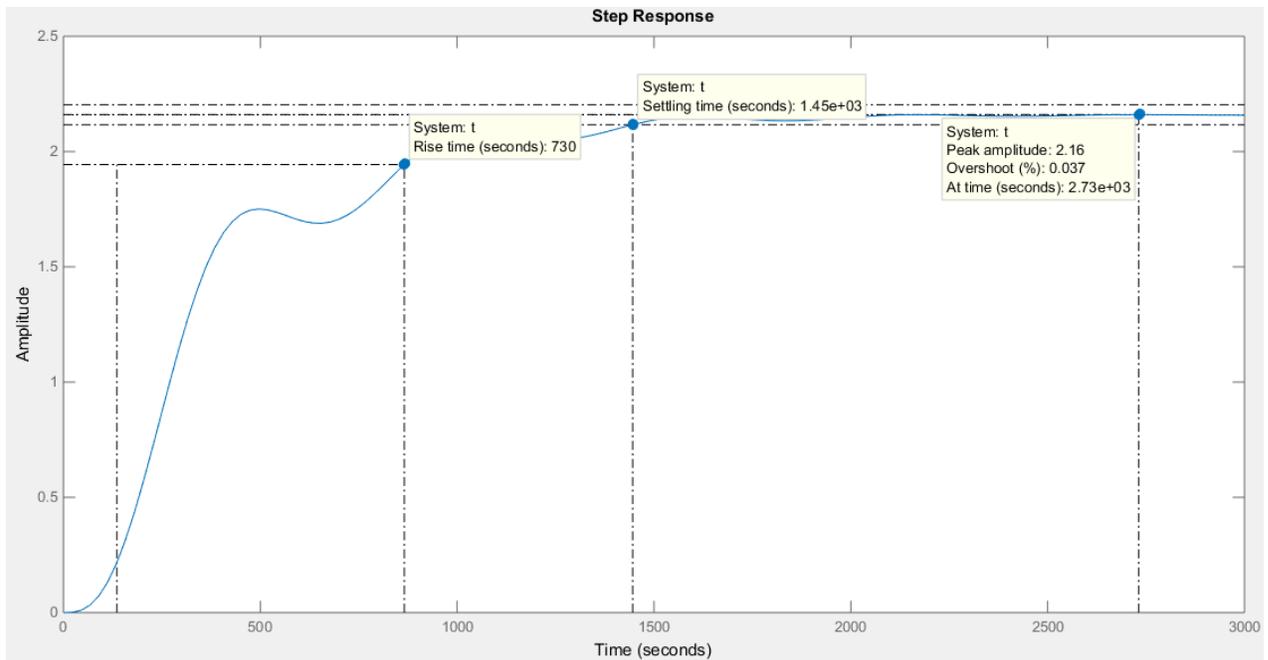


Figura 18 Características de la función de transferencia sin el controlador PID

Elaborado por: Autor

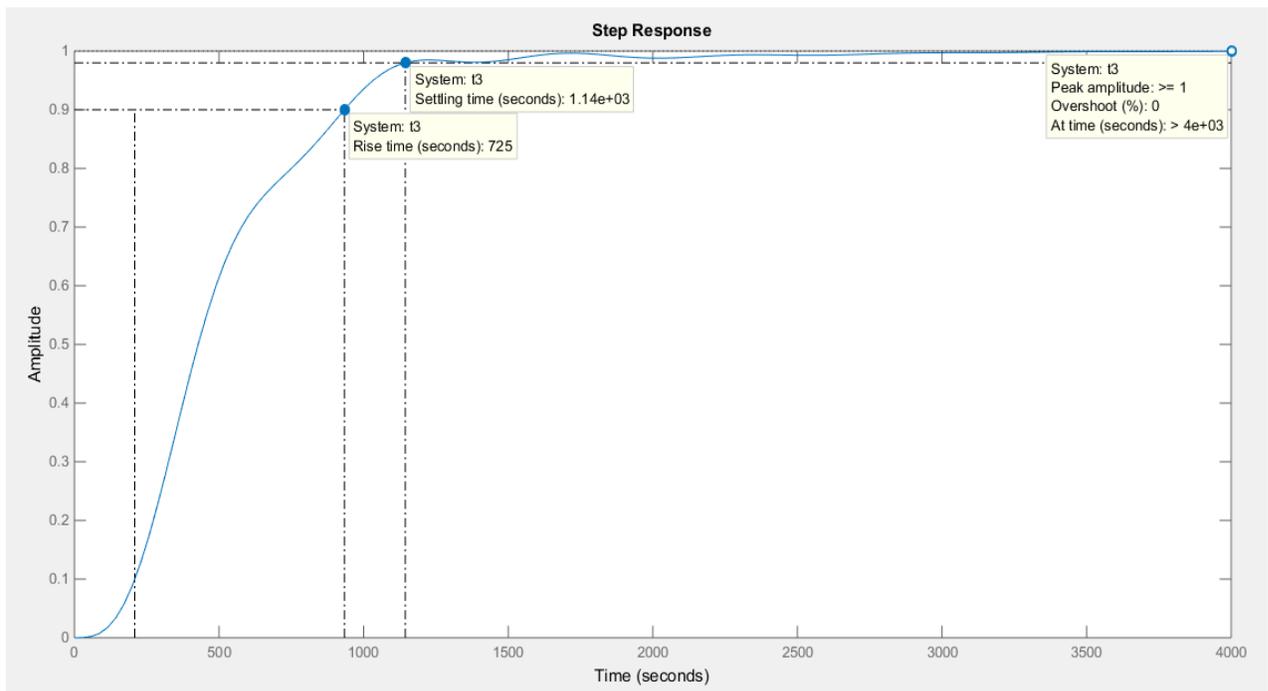


Figura 19 Características de la función de transferencia aplicada un control PID

Elaborado por: Autor

*Tabla 54 Características de las funciones de transferencia*

<b>Características de la respuesta</b>	<b>Función de transferencia</b>	<b>Función de transferencia aplicada un controlador PID</b>
<b>Tiempo de levantamiento</b>	730(seg)	725(seg)
<b>Tiempo de asentamiento</b>	1450(seg)	1400(seg)
<b>Sobre paso máximo</b>	2.16	$\geq 1$

Elaborado por: Autor

Diferencias significativas en los valores de los tiempos de levantamiento y de asentamiento, se aprecia que los tiempos son menores y dan un mejor rendimiento en la función de transferencia con un controlador PID. Con un sobre paso menor al de la función de transferencia indica que con una ganancia menor se puede llegar a estabilizar más rápido y sin sobre picos en la respuesta por lo tanto se tienen mejores resultados con un controlador PID.

## **2.9 Diseño del tablero de control**

Para el diseño del tablero de control se partió con medidas estándar del mercado, al existir una amplia gama de medidas partimos de 60x40x20 cm estas medidas encontradas con mayor facilidad y llevadas al software de diseño mecánico en el cual ensamblamos los dispositivos con medidas reales nos dan una idea del tablero final. Finalizado el ensamblaje se obtiene que las medidas son suficientes.

### 2.9.1 Panel Frontal

Para el panel frontal se tomó en cuenta características y recomendaciones las cuales faciliten la interacción del usuario y el sistema. Se consideró diferentes niveles partiendo de un primer nivel desde un interruptor de encendido que energiza todos los dispositivos del tablero de control, como segundo nivel se consideró el HMI en la parte superior central lo que permita al operario tener un mayor campo de visión de ella, una tercera disposición se tienen a las señales luminosas las cuales permiten observar que proceso se está desarrollando o el dispositivo que está en funcionamiento, A continuación, se dispuso de un paro de emergencia el cual este en un lugar de fácil y rápida operación. Finalmente se dispuso de los dos pulsadores colocados al final del panel frontal con la finalidad de que el operario emplee sus dos manos para dicha operación. En la figura 20 se puede apreciar un modelo del panel frontal planteado.



*Figura 20 Panel frontal del Tablero de control*

**Elaborado por: Autor**

## 2.9.2 Panel Interno

En dicho panel se tuvo varias consideraciones en la colocación de los dispositivos una disposición jerárquica. En la parte superior se tiene las protecciones de alimentación, borneras de alimentación y fuente de poder. A continuación, la parte de control en este caso se tiene el PLC el cual realiza todo el proceso. Finalmente se dispuso dispositivos de accionamiento, acondicionamiento, sensado y borneras las cuales tienen las conexiones exteriores al tablero.

En la figura 20 se puede apreciar la propuesta de panel interno del tablero.



*Figura 21 Panel interno del tablero*

*Elaborado por: Autor*

## 2.10 Calculo para la selección de cables

Para la parte de potencia y de alimentación desde un tomacorriente alterno de 120v se alimentará a: Fuente de poder de 24v/5A, un PLC, una niquelina de 1000w.

Tabla 55 Consumo de potencia de los elementos

Elemento	Potencia	Corriente
Fuente 24V/5A	120W/120V	1 A
Niquelina	1000/120V	8.33 A
PLC	12W/120V	0.1 A
	Total:	9.43 A

Elaborado por: Autor

En la tabla siguiente nos indica la cantidad máxima de corriente que soportan los cables por lo tanto se realizó una comparación entre en calibre 16 AWG que soporta 8 amperios y el conductor 14 con una capacidad máxima de corriente de 20 por lo tanto la selección es el de calibre 14. Para el cableado interno se tomó en cuenta la corriente de la fuente que es igual a 5 A como resultado se seleccionó el calibre número 16AWG.

Tabla 56 Tabla de características de cables awg y selección calibre 14-16

TIPO	CALIBRE	CONDUCTOR				AISLAMIENTO				PESO TOTAL APROX	CAPACIDAD CORRIENTE	
		# H	DIÁMETRO		PESO APROX	ESP PROM	DIAM APROX	PESO APROX	*		**	
		AWG	#	mm	mm	Kg/Km	mm	mm	Kg/Km		Kg/Km	Amp
TF	18	1	1,02	1,02	7,32	0,76	2,54	5,96	13,28	6	7	
TF	16	1	1,29	1,29	11,62	0,76	2,81	6,85	18,47	8	10	
TWS	14	1	1,63	1,63	18,51	0,76	3,15	7,98	26,49	20	25	
TWS	12	1	2,05	2,05	29,40	0,76	3,57	9,40	38,80	25	30	
TWS	10	1	2,59	2,59	46,76	0,76	4,11	11,19	57,96	30	40	
TWS	8	1	3,26	3,26	74,39	1,14	5,54	22,08	96,47	40	60	
TWS	6	1	4,12	4,12	118,23	1,14	6,40	26,35	144,58	55	80	
TWC	8	7	1,23	3,70	75,91	1,14	5,98	27,10	103,01	41	62	
TWC	6	7	1,55	4,66	120,39	1,52	7,70	45,80	166,19	57	82	
TWC	4	7	1,96	5,88	191,71	1,52	8,92	56,61	248,32	70	105	
TWC	2	7	2,47	7,42	305,13	1,52	10,46	71,12	376,25	95	140	
TWC	1/0	19	1,89	9,46	484,38	2,03	13,52	115,10	599,48	125	195	
TWC	2/0	19	2,13	10,63	611,61	2,03	14,69	128,83	740,44	145	225	
TWC	3/0	19	2,39	11,94	771,64	2,03	16,00	144,66	916,30	165	260	
TWC	4/0	19	2,68	13,40	971,89	2,03	17,46	162,87	1.134,76	195	300	

Elaborado por: Autor

## 2.11 Cálculo de protecciones

Para el cálculo de protecciones se toma en cuenta el consumo máximo de corriente de cada uno de los elementos de la tabla 55. Y la intensidad nominal como constante igual a 1,5.

*Ecuación 8 Formula de cálculo de protecciones*

$$Proteccion = 9.43Ax 1.5 = 14.15A$$

El valor obtenido fue de 14.15 A en el mercado se encontró un disyuntor contra sobre cargas de 16 A.

## 2.12 Selección del relé de estado sólido.

Para la selección de un SSR se tomó en cuenta dos características la señal digital entregada por le plc y la corriente máxima de la niquelina.

- Señal del PLC de 0-10 vcc.
- Máxima corriente de niquelina 8.33 A.

En el mercado se encontró un SSR-10DA se tomó en cuenta que la corriente de salida y se decidió a sobre dimensionar el relé de estado sólido por seguridad del dispositivo y seleccionar el siguiente en este caso SSR-20DA con las siguientes características.

Type	Input Voltage	Output Voltage	Output Current
SSR-10DA	3-32VDC	24-380VAC	10A
SSR-20DA	3-32VDC	24-380VAC	20A
SSR-25DA	3-32VDC	24-380VAC	25A
SSR-40DA	3-32VDC	24-380VAC	40A
SSR-10AA	80-250VDC	24-380VAC	10A

*Figura 22 Características SSR.*

**Elaborado por: Autor**

## Capítulo III

### 3. Resultados

En el desarrollo de este capítulo se detallarán los materiales y las diferentes secuencias de pasos a seguir para la construcción del modelo de automatización del prototipo de línea de quesos, el sistema cuenta con un tablero de control en el cual están ubicados los elementos de protección, control y potencia.

#### 3.1 Materiales Eléctricos

Materiales utilizados para el armado del tablero de control del prototipo de línea de quesos.

*Tabla 57 Materiales del tablero de control*

<b>Materiales eléctricos</b>		
<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (Unidades)</b>
<b>Gabinete</b>	Acero galvanizado (60x40x20 cm)	1
<b>Riel Din</b>	35x27x7.5 1m	1
<b>Canaleta Ranurada</b>	25x40 mm 2m	1
<b>Botón Paro de emergencia</b>	Rearme por giro,1NC, 22mm	1
<b>Interruptor</b>	1NA, 22mm	1
<b>Botón pulsador</b>	1 NA Perfil bajo,22mm	2
<b>Luces Piloto</b>	Verde 24V,22mm	6
<b>Luces piloto</b>	Azul 24V,22mm	1
<b>Luces piloto</b>	Rojo 24V,22mm	1
<b>Luces piloto</b>	Amarillo 24V, 22mm	1
<b>Cable de Alimentación</b>	Negro 14awg	5m
<b>Cable de Alimentación</b>	Azul 14 awg	5m
<b>Cable de Alimentación</b>	Verde 14 awg	5m
<b>Cable de conexión</b>	Amarillo 16 awg	50m

<b>Cable de conexión</b>	Negro 16 awg	50m
<b>Borneras</b>	Para riel din 2.5mm #16-14awg	40
<b>Pernos de sujeción</b>	3mm	20
<b>Etiquetas</b>	Adhesivos	1
<b>Terminales de cable tipo U</b>	16awg	60
<b>Breaker Para riel din</b>	16A	1

Elaborado por: Autor

### 3.2 Etapa de ensamblaje del tablero de control

- Diseño del tablero en software adecuado con medidas reales de los implementos del gabinete.
- Recortar la tapa frontal del gabinete de acuerdo con los tamaños de los diámetros de luces piloto, interruptor, botones y a medidas del HMI.
- Realizar las mediciones del diseño para transferir a la tapa base del gabinete de color anaranjado.
- Proceder al taladrado de los agujeros para los pernos de sujeción de riel din y canaleta.
- Recortar el riel din y canaleta con las medidas del diseño. Proceder a la sujeción a la tapa base
- Montaje de la parte frontal de la tapa tanto indicadores como pulsadores y HMI.
- Ensamblaje de la parte de protección, alimentación y control del gabinete.
- Proceder al respectivo cableado interno del gabinete con sus etiquetas correspondientes.
- Verificar que no existan puentes entre conexiones que no correspondan antes de energizar el tablero.
- Energizar el tablero de control para verificar su correcto funcionamiento.

### 3.3 Tablero de control

Se obtiene un tablero de control con las características antes mencionadas en la parte del diseño, con las medidas del mercado de 60cm de altura, 40 cm de ancho y 20cm de profundidad. Con la disposición de los dispositivos antes mencionadas del panel frontal el cual permite la visualización del desarrollo del proceso figura 22, La parte trasera del panel frontal se tiene las conexiones de interruptor, HMI, lámparas, paro de emergencia y pulsadores de corte figura 23. La parte interna se tiene las protecciones, control (plc) y borneras de conexión. En la figura 24 se aprecia el tablero final.



Figura 23 Panel frontal del tablero de control

Elaborado por: Autor



*Figura 24 Parte trasera del panel frontal*

**Elaborado por: Autor**



*Figura 25 Panel interno del tablero de control*

**Elaborado por: Autor**

### 3.4 Colores del Cableado interno

La lógica de colores empleado en este gabinete, para la parte de alimentación de corriente alterna se tomó los colores bases. La parte de control se tomó colores, amarillo tanto para voltajes positivos y negro para la parte negativa o común en la siguiente tabla se resume los colores usados.

*Tabla 58 Colores del cableado interno del tablero de control*

<b>Descripción</b>	<b>Asignación</b>	<b>Color</b>	<b>Calibre</b>
<b>Línea de alimentación para los 120v</b>	Línea	Azul	14AWG
<b>Neutro de alimentación de los 120v</b>	Neutro	Negro	14AWG
<b>Puesta tierra de alimentación 120v</b>	Tierra $\perp$	Verde	14AWG
<b>Fuente de alimentación</b>	24 +V	Amarillo	16AWG
<b>Fuente de alimentación</b>	0 -V	Negro	16AWG
<b>Señales de salida y entrada del PLC</b>	Y-X	Amarillo	16AWG
<b>Común del PLC</b>	Com	Negro	16AWG

Elaborado por: Autor

### 3.5 Colores de las lámparas de señalización.

La norma DIN EN 60073 define de una forma clara el significado de determinados colores. Además, la norma DIN EN 60204-1 también indica los colores de los pulsadores, pulsadores luminosos y lámparas de señalización las dos normas coinciden en su mayor parte.

En la tabla se describen los colores empleados.

*Tabla 59 Significado de los colores de las lámparas de señalización*

<b>Color</b>	<b>Significado</b>	<b>Aclaración</b>	<b>Acción por parte del operador</b>	<b>Ejemplo</b>
<b>Rojo</b>	Emergencia	Estado peligroso	Acción inmediata para reaccionar ante este estado	Temperatura fuera de límites seguros.
<b>Amarillo</b>	Anormal	Estado Anormal. Estado crítico Inminente	Supervisión y/o intervención del operario	Valor de pH sobrepasa las zonas normales.
<b>Verde</b>	Normal	Estado normal	Opcional	Temperatura dentro de zonas normales
<b>Azul</b>	Obligatorio	Indicación de un estado requiere de una acción por parte del operario	Acción obligatoria	Indicaciones para el operario cambio de herramienta.

Elaborado por: Autor

### **3.6 Etiquetado del cableado interno del Tablero de control**

Para la parte del etiquetado del cableado tanto de alimentación como de control se tomó en cuenta la parte de origen del cableado hasta la parte final a donde llega su conexión, con los nombres propios de los elementos tomados como el origen y la final en el caso de borneras o diferentes dispositivos en la siguiente tabla 60 y en la figura 26 se detalla un resumen del correspondiente etiquetado.

*Tabla 60 Resumen del etiquetado realizado*

<b>Conexión</b>	<b>Etiqueta</b>
<b>Línea-Line del Breaker</b>	LINE.L
<b>Load del breaker-Terminal 3 del Switch</b>	LOAD.SW3
<b>Terminal 4 del switch-Bornera 1</b>	SW4.1
<b>Línea de la fuente -Bornera 1</b>	L SRC.1
<b>Terminal 1 del SSR-Bornera 1</b>	1~.1
<b>Línea del PLC -Bornera 1</b>	L PLC.1
<b>Neutro-Bornera 2</b>	N.2
<b>Neutro del PLC-Bornera 2</b>	N PLC.2

---

<b>Neutro de la niquelina- Bornera 2</b>	N NIQ.2
<b>Neutro de la Fuente-Bornera 2</b>	N SRC.2
<b>Tierra PLC-Bornera 3</b>	T SRC.3
<b>Tierra Fuente-Bornera 3</b>	FG PLC.3
<b>Entrada X0-Bornera 15</b>	X0.15
<b>Salida Y0-Bornera 12</b>	Y0.12
<b>Entrada Analógica VI1-Bornera27</b>	VI1.27
<b>Lampara1-Bornera 12</b>	Lamp1.12
<b>Paro de emergencia-Bornera 15</b>	PE.15

---

Elaborado por: Autor



*Figura 26 Etiquetado del PLC.*

Elaborado por: Autor

### **3.7 Lista de Alocaciones de la programación en el PLC.**

Es una lista de entradas y salidas del sistema, su función, dirección de cada una de las variables empleadas en la programación.

#### **3.7.1 Entradas Digitales**

Las entradas digitales o contactos que se identifican con la letra X son señales que pueden provenir de un sensor, de un relé o algún dispositivo que active a estas entradas. En el XC3-24RT-E existe 14 entradas, que van de la X0 – X7, X10 – X15,

*Tabla 61 Entradas digitales del PLC*

PLC I/O	Función del componente	Designación	Terminal
X0	Paro de emergencia	PE	Bornera 15
X1	Final de carrera 1	FC1	Bornera 22
X2	Final de carrera 2	FC2	Bornera 23
X3	Botón de corte 1	P3	Bornera 16
X4	Final de carrera 3	FC3	Bornera 24
X5	Final de carrera 4	FC4	Bornera 25
X6	Botón de corte 2	P4	Bornera 17

Elaborado por: Autor

### 3.7.2 Salidas Digitales

Las salidas digitales o bobinas se identifican con la letra Y, existiendo 10 salidas en el XC3-24RT-E, que van de la Y0 – Y7 e Y10 - Y11.

*Tabla 62 Salidas digitales del PLC*

PLC I/O	Función del componente	Designación	Terminal
Y0	Indicación inicio del proceso	I.P	Bornera 12
Y1	Electro válvula de ingreso de la leche	E. V1	Bornera 13
Y2	Indicación alteración pH	I.A.PH	Bornera 4
Y3	Motor Mezcla / corte / Ev2	M1/Ev2	Bornera 5
Y4	Electroválvula ingreso de cuajada a la zaranda	E.V3	Bornera 6
Y5	Cilindro 1	C1	Bornera 19
Y6	Motor de vibración	M2	Bornera 7
Y7	Cilindro 2	C2	Bornera 20
Y10	Indicación cambio herramienta de corte	I.C.C	Bornera 8
Y11	Indicación Paro de Emergencia	I.P. E	Bornera 9

Elaborado por: Autor

### 3.7.3 Memorias internas del PLC.

Identificadas con la letra M y sirven para activar alguna entrada o salida mediante software. Se los simboliza a través de contacto o bobinas, pero sin acceso a dispositivos externos y solo para uso lógico en la programación.

Tabla 63 Memorias internas del PLC

PLC I/O	Función del componente	Designación
M0	Pulsador 1 Inicio del proceso	P1
M1	Indicación inicio del proceso Pantalla	I.I.P
M2	Indicación Alteración pH	A.PH
M3	Indicación Inicio Proceso	T. L
M4	Reinicio de válvula de llenado de tanque	R. V
M5	Inicio Tiempo de pasteurización	I.T.PAS
M6	Fin tiempo de pasteurización	F.T.PAS
M7	Indicación proceso de pasteurización	I.I.PAS
M8	Inicio tiempo adición de cuajada y preparación	I.T.AD
M9	Fin tiempo de preparación	F.T.PRE
M10	Indicación preparación	I.PRE
M11	Fin del proceso de preparación tiempo de seguridad	F.PR
M12	Indicación Final del proceso	I.F. P
M13	Indicación zaranda llena	I.Z. LL
M14	Fin del tiempo de extracción	F. E
M15	Final de accionamiento de los cilindros	F.A. A
M16	Inicio de pre prensado	I.PRE
M17	Indicación pre-prensado	I.P.PR
M18	Tiempo de seguridad de PRENSADO	T.S.PR
M19	Indicación Cambio de cuchillas	I.C.C
M20	Indicación corte	I.C
M21	Fin del corte	F.C
M22	Indicación fin del proceso	F. P
M23	Indicación Extracción	I.EX
M25	Cantidad mínima de leche	C.Min
M26	Indicación Cantidad Mínima	I.C. Min
M27	Tanque lleno	T. LL
M29	Señal máxima pH	MapH
M30	Señal mínima pH	MipH

Elaborado por: Autor

### 3.7.4 Temporizadores

Temporizadores los cuales se los identifica con la letra T, son usados para calcular el tiempo de los pulsos como acumulativos y no acumulativos: 1ms, 10ms, 100ms, etc.;

Tabla 64 Temporizadores del PLC

PLC I/O	Función del componente	Designación
T100	Tiempo de Pasteurización	T.PAS

<b>T101</b>	Tiempo de preparación	T.PRE
<b>T3</b>	Tiempo de seguridad de fin del proceso	T.S.F. P
<b>T4</b>	Tiempo de extracción de suero	T.E. S
<b>T5</b>	Tiempo de seguridad de cilindros	T.S.C
<b>T6</b>	Tiempo de pre prensado	T. PREP
<b>T7</b>	Tiempo de seguridad de pre prensado	T.S. PREP
<b>T8</b>	Tiempo de encerado de cilindros del corte	T.E.C.C

Elaborado por: Autor

### 3.7.5 Contadores

Contadores se los denomina con la letra C

*Tabla 65 Contador del PLC*

PLC I/O	Función del componente	Designación
<b>C1</b>	Contador inicio de pasteurización.	C.I. P

Elaborado por: Autor

### 3.7.6 Entradas y salidas analógicas.

Las cuales se las denomina con los registros ID en el módulo de expansión XC-E4D2AD existen 4 entradas analógicas y dos salidas analógicas identificadas con QD.

*Tabla 66 Entradas y Salidas analógicas del PLC*

PLC I/O	Función del componente	Designación	Terminal
<b>ID100</b>	Sensor de temperatura	S. T	Acondicionador
<b>ID101</b>	Sensor de pH	S-PH	Bornera 27
<b>ID102</b>	Sensor llenado de Tanque	SN1	Bornera28
<b>ID103</b>	Sensor llenado de zaranda	SN2	Bornera 29
<b>QD100</b>	Salida señal PID	PID-OUT	SSR

Elaborado por: Autor

### 3.7.7 Registro de datos.

Se identifican con la letra D y permiten guardar valores Dword.

*Tabla 67 Registro de datos del PLC*

PLC I/O	Función del componente
<b>D1</b>	Valores de pH
<b>D3-D6</b>	Operaciones de conversión digital a valores pH

---

<b>D8</b>	Valores de nivel de tanque
<b>D9</b>	Constante de pasteurización
<b>D10</b>	Constante de preparación
<b>D11</b>	Sensado de valores de temperatura
<b>D13-D15-D19-D22-D25</b>	Operaciones para conversión digital de valor de temperatura real
<b>D29</b>	Salida de PID de pasteurización
<b>D30</b>	Salida de PID de preparación
<b>D35</b>	Sensor nivel de llenado de zaranda
<b>D45</b>	Indicación Tanque
<b>D46</b>	Indicación zaranda
<b>D47</b>	Indicación pH

---

Elaborado por: Autor

### **3.8 Pruebas y resultados del sistema de automatización**

Para las pruebas del sistema de automatización se emplearon sensores y actuadores de similares características a los cuales van a ser instalados en el prototipo por lo tanto las pruebas se realizaron en condiciones similares a las del prototipo.

#### **3.8.1 Medición de pH**

La parte del sensado se lo llevara cabo con un sensor de pH, nos da una salida tipo analógica con un rango de medición de 0-10v correspondientes a valores de 2 – 12 pH, dichos valores medidos son adquiridos por el PLC y analizados. Dicho análisis dentro de un rango de 6.5 a 6.8 son los valores mínimos y máximos, dentro de ese rango la materia prima puede ser empleada para la elaboración de quesos.

En la figura 26 se presenta la conversión análogo-digital para la presentación del valor de pH en la pantalla HMI. En la conversión se tiene un valor de 16383 correspondiente a los valores analógicos de entrada como se puede apreciar en la figura 27, empleamos un arreglo aritmético multiplicando por 10000 para obtener valores más exactos de pH.

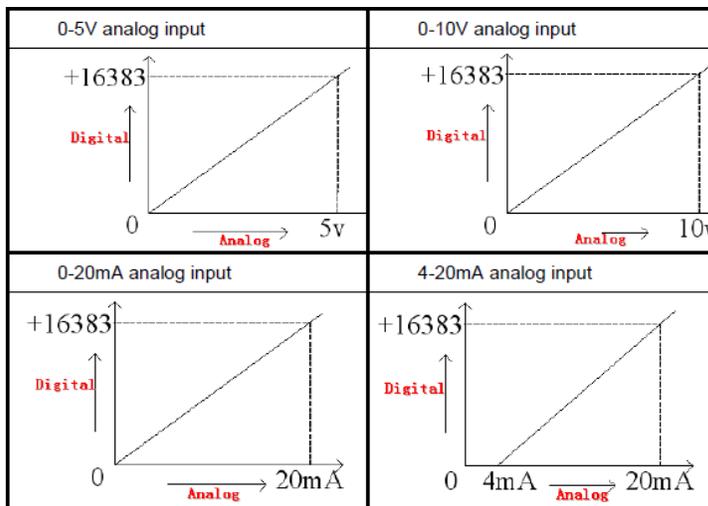


Figura 27 La relación entre el analógico de entrada y el digital convertido.

Elaborado por: Xinje Manual de Usuario.

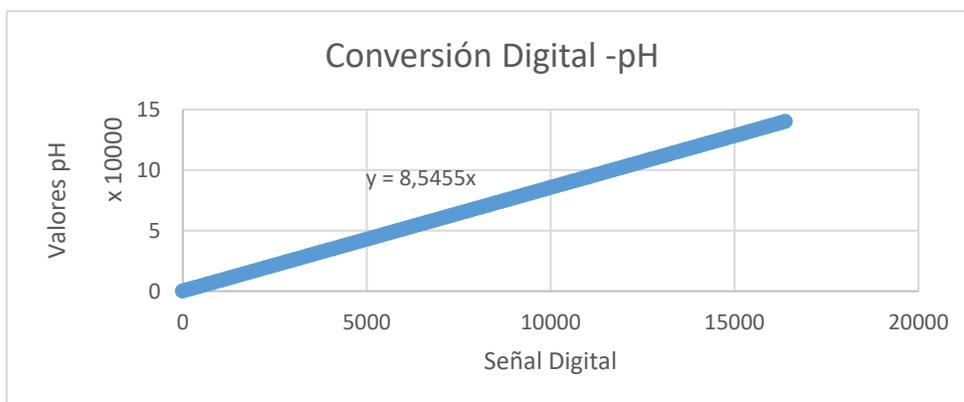


Figura 28 Valores pH - Valor Digital

Elaborado por: Autor

De acuerdo con la figura se encontró la ecuación que gobierna el sistema:

Ecuación 9 Formula de conversión pH-Valor Digital

$$Y = 8,54 \cdot X$$

Donde:

Y= Valores de pH.

X=Valor digital.

8.54=Pendiente de la recta.

En la Figura 28 se muestra una medición normal de pH dentro de los valores establecidos, en la figura 29 se indica una medición de pH mínima a la requerida en la elaboración y la figura 30 se presenta un valor máximo. En los dos casos se presenta una señal luminosa tanto para mediciones mínimas como para máximas en la figura 31. Al momento de sobre pasar los valores establecidos se cierra la electroválvula de ingreso por seguridad para no mezclar la materia prima que se encuentra en el tanque.



*Figura 29 Medición Normal pH.*

**Elaborado por: Autor**



*Figura 30 Valor mínimo de pH.*

**Elaborado por: Autor**



*Figura 31 Valor Máximo de pH*

Elaborado por: Autor



Figura 32 Señal luminosa de error de pH y Cierre de ingreso.

Elaborado por: Autor

### 3.8.2 Llenado del Tanque

En el ingreso de materia prima el tanque de preparación posterior el sensado de pH de la misma manera se empleó un sensor analógico con un control de llenado máximo del tanque, de acuerdo con la disposición de la cantidad de materia prima se empleó una opción manual en la programación el PLC se da un modo dinámico de diferente cantidad de leche. Para este proceso no se realizó una conversión análoga digital en la pantalla muestra directamente un valor digital que da referencia al nivel del tanque. En la figura 33 se muestra un llenado máximo del tanque para realizar la preparación.



Figura 33 Tanque lleno

Elaborado por: Autor

En la figura 34 se presenta un llenado dinámico seleccionado por el operario, una cantidad diferente a la máxima.



*Figura 34 Tanque lleno cantidad seleccionada por el operario*

**Elaborado por:** Autor

En los dos modos la señal luminosa de cierre del ingreso activa la válvula de paso de materia prima evitando derrames por cantidades superiores a las establecidas en la figura 35.



*Figura 35 Indicación luminosa de Cierre de ingreso*

**Elaborado por:** Autor

Durante el ingreso de la materia prima no se tiene un llenado normal por obstrucción o falta de leche de la cañería de ingreso se presenta una pantalla de error como en la figura 36.

Garantizando el desarrollo del proceso con la cantidad ideal o la cantidad seleccionada por el operario



*Figura 36 Indicación error de llenado*

**Elaborado por:** Autor

En el proceso solo se puede desarrollar con la puerta del gabinete cerrada caso contrario existirá una señal de emergencia y el proceso se pausará hasta que la puerta sea cerrada como se indica en la figura 37.

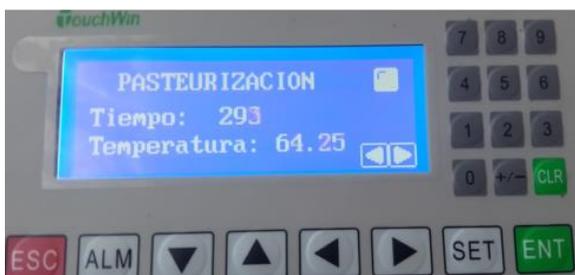


*Figura 37 Indicación Puerta del gabinete abierta.*

*Elaborado por: Autor*

### **3.8.3 Pasteurización**

El siguiente proceso después de llenarse el tanque se procese a una pasteurización por lotes o lenta la cual se tiene como temperatura mínima 62° C y máxima los 65° C. En este Proceso se tiene un tiempo de 30 minutos de acuerdo con la norma NTE INEN 0010 la cual especifica el tiempo y temperatura, en las pruebas realizadas aplicando el controlador PID se observa que se mantiene dentro de los rangos propuestos con pequeñas variaciones de temperatura por ejemplo 66. 4° C un valor máximo el cual es aceptable en el prototipo aceptable durante un tiempo de 5min. En las figuras 38-39 se puede apreciar el proceso de pasteurización y su control de temperatura.



*Figura 38 Pasteurización a 29.3 Segundos de inicio.*

*Elaborado por: Autor*

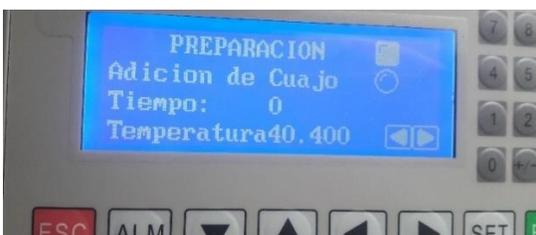


*Figura 39 Pasteurización a 4 minutos.*

*Elaborado por: Autor*

### **3.8.4 Preparación**

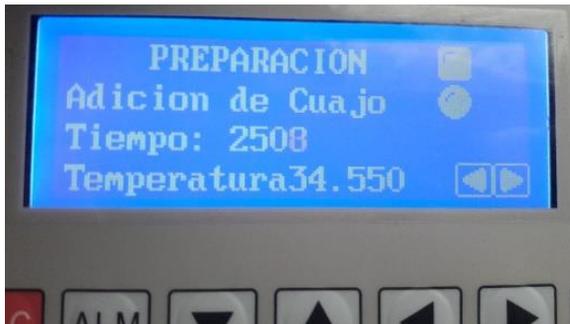
Mediante un enfriamiento natural una vez completado el proceso de pasteurización y de acuerdo con las características del cuajo, como temperatura promedio de adicionamiento 35-37° C, un tiempo de cuajado o de preparación de 40 minutos. La adición de cuajo se realizó mediante una electroválvula, La mezcla y corte son realizados mediante un motor con un mecanismo adecuado para este proceso. Igualmente, que el procedimiento anterior se tiene un control de temperatura mediante el control PID por parte del PLC. En la Figura 40 se aprecia la temperatura descende después de la pasteurización hasta llegar al valor ideal en el cual se activa la electroválvula para la dosificación del cuajo. La alerta de adición de cuajo tanto en el HMI y en el panel frontal se mantiene desactivada hasta alcázar la temperatura ideal.



*Figura 40 Pantalla del descenso de temperatura hasta la adición de cuajo*

*Elaborado por: Autor*

En la figura 41 se muestra el proceso de preparación una vez llegado a la temperatura y tiempo indicados por el fabricante del cuajo. La alerta circular del HMI y del tablero indica que fue adicionado el cuajo.



*Figura 41 Pantalla una vez adicionado de cuajo*

Elaborado por: Autor

Una vez llegada a la temperatura de adición de cuajo se activa la válvula de ingreso del cuajo y el motor de mezcla- corte como se puede apreciar en la figura las señales luminosas figura 42.



*Figura 42 Señal luminosa de Ingreso de Cuajo y mezcla-corte*

Elaborado por: Autor

### **3.8.5 Mediciones de temperatura**

El sensado de temperatura por medio del sensor PT100 con una señal resistiva la cual es ingresada al acondicionador de señal con un rango de temperatura desde -50 – 100° C de

0-10V figura 43. Este rango es aceptable en este sistema empleamos valores de temperatura que entra en los límites del acondicionador.



Figura 43 Acondicionador de PT100

Elaborado por: Autor

La conversión análogo digital de voltaje temperatura se parte desde la figura 44 con los valores dados por el fabricante. Para mostrar los valores de temperatura en el HMI empleamos la siguiente ecuación dada por la gráfica.

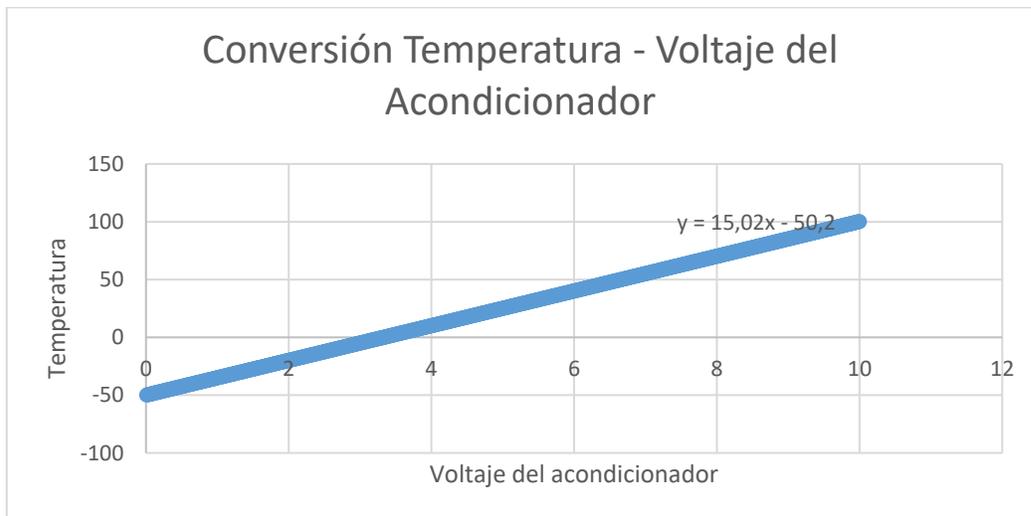


Figura 44 Temperatura - Voltaje acondicionador

Elaborado por: Autor

Ecuación que gobierna el sistema.

*Ecuación 10 Formula conversión Temperatura- Voltaje acondicionador*

$$Y = 15.02.X - 50.2$$

Donde:

Y= Valores de Temperatura.

X=Valor digital.

15.02 y 50.2 = Constantes.

Desacuerdo a las medidas se emplearon dispositivos como una pistola piro métrica, un termómetro de alcohol y un multímetro. En la tabla 68 se muestran diferentes temperaturas tomadas con los dispositivos.

*Tabla 68 Tabla de comparación de temperaturas de los instrumentos.*

<b>Pistola Piro métrica °C</b>	<b>Termómetro</b>	<b>Medida de voltaje</b>	<b>Transformación Voltaje- Temperatura</b>
20,3	21	4,75	21,145
20,8	21	4,77	21,4454
20,3	21,5	4,78	21,5956
28,8	31	5,41	31,0582
29,3	32	5,48	32,1096
92,7	93,5	9,6	93,992
91,3	92	9,5	92,49
89,1	90,5	9,4	90,988
88,2	89,5	9,31	89,6362
85,8	87	9,14	87,0828
80,8	82,5	8,85	82,727
47,05	48	6,55	48,181
43,9	45,5	6,39	45,7778
39,1	40	6,01	40,0702

Elaborado por: Autor

En la tabla 68 se mostraron medidas dadas por la pistola piro métrica la cual tiene una diferencia máxima de 1.9 grados entre mediciones del acondicionador y termómetro. Las medidas del termómetro son más precisas con una diferencia máxima 0.49 grados entre las medidas del acondicionador y el termómetro. Por lo tanto, las medidas de temperatura ya acondicionadas son aceptables para emplear en el uso del sistema. Las figuras 45-46 se muestran medidas tomadas con los dispositivos.



*Figura 45 Medidas de la pistola y multímetro.*

*Elaborado por: Autor*



*Figura 46 Medida tomada con termómetro*

*Elaborado por: Autor*

### **3.8.6 Llenado de la zaranda**

Una vez terminada la preparación la mezcla será llevada a la zaranda, el paso de la mezcla es controlado por medio de una electroválvula la cual cierra su paso una vez que el

sensor analógico de nivel detecta la cantidad máxima. Se dispuso mediante la programación de dos tipos de llenado

El llenado normal de la zaranda se muestra en la figura 47 la zaranda alcanzando los niveles máximos la válvula de paso se bloquea.



*Figura 47 Zaranda llena.*

**Elaborado por:** Autor.

Al igual que le ingreso de la materia prima el tanque la zaranda tiene la opción que el usuario escoja el nivel de cuajada que va a ingresar en la figura 48 se muestra la selección del usuario.



*Figura 48 Cantidad de la zaranda seleccionada por el operario.*

**Elaborado por:** Autor.

Una vez la zaranda llena tanto por cantidad máxima o por cantidad seleccionada por el usuario se tiene el cierre de la válvula de ingreso como se indica en la figura 49.



Figura 49 Señal luminosa de ingreso de la zaranda llena

Elaborado por: Autor

Al igual que en el ingreso de materia prima se dotó de una señal de emergencia al existir una obstrucción de cañería o cantidad de mezcla de cuajada y suero incompleta en la figura 50.



Figura 50 Señal luminosa de ingreso de la zaranda llena

Elaborado por: Autor

### 3.8.7 Extracción de suero

Para la extracción del suero de la mezcla se empleó un motor para el procedimiento de vibración y dos cilindros neumáticos los cuales con la secuencia +A, -A, +B, -B se logró una mayor extracción de suero con la combinación de los dos mecanismos. El tiempo de extracción para esta prueba fue de 2 minutos.

En la figura 51 se aprecia el diagrama de fase-tiempo de la secuencia de los cilindros C1 y C2 empleada para el proceso de extracción de suero.

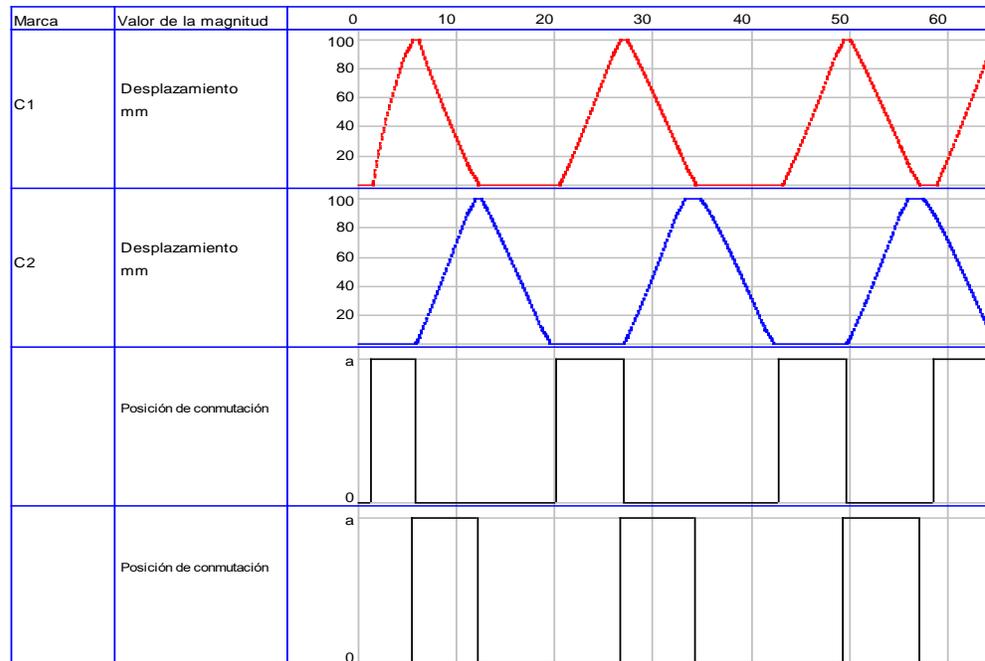


Figura 51 Diagrama de fase- tiempo de la extracción del suero

Elaborado por: Autor

En la figura 52 se muestra la pantalla de evacuación de suero o extracción en la cual se tiene presente el accionamiento del Cilindro 1 (C1) y Cilindro 2 (C2). Con un tiempo predeterminado de evacuación.



Figura 52 Pantalla de evacuación o extracción de suero.

Elaborado por: Autor

La figura 53 muestra la señal luminosa en el tablero de control cuando se activa el motor de vibración.



Figura 53 Señal luminosa de vibración activada

Elaborado por: Autor

### 3.8.8 Pre-prensado

Los procesos de extracción y pre prensado son usados para separar el excedente de suero de la cuajada, Para el pre prensado solo empleamos los cilindros, desactivando el motor de vibración. La secuencia de los actuadores es +A.+A, -B, -B. con un tiempo de 2 minutos. En la figura 54 se muestra el diagrama de fase de los cilindros C1 y C2 con la secuencia empleada para el proceso de pre-prensado en un tiempo determinado.

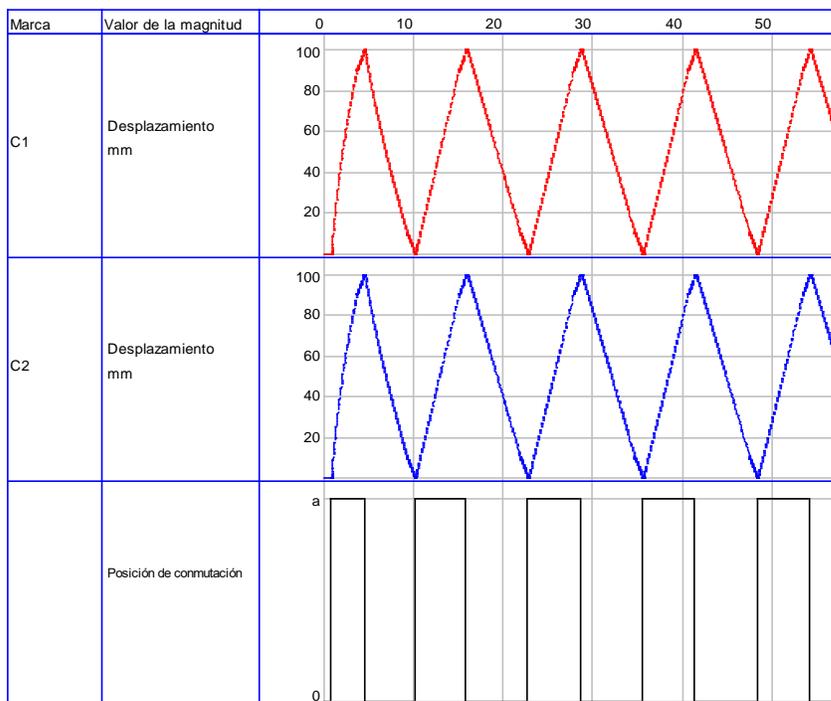


Figura 54 Diagrama fase-tiempo pre-prensado

Elaborado por: Autor

En la figura 55 se muestra una pantalla en la cual se presentan los accionamientos de los cilindros C1 Y C2, con un tiempo predeterminado de prensado.



Figura 55 Pantalla de indicación de pre-prensado

Elaborado por: Autor

### 3.8.9 Corte

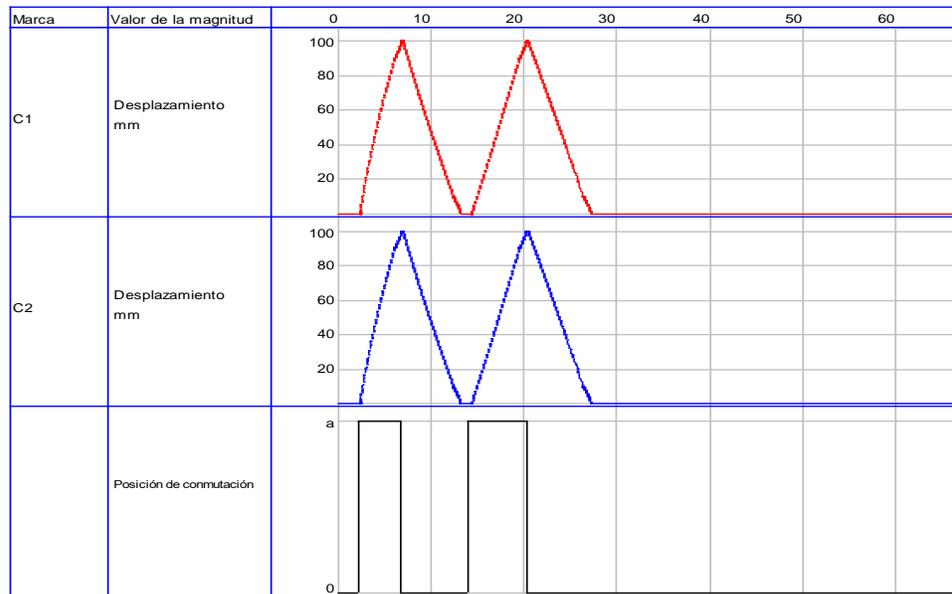
En el proceso de corte empleando el mismo mecanismo, al operario se le indicada con una señal luminosa figura 56 el cambio de las cuchillas de corte. Una vez realizado el cambio por las cuchillas se presentan dos pulsadores P1-P2 para realizar el corte.



Figura 56 Indicación luminosa de cambio de herramienta de corte

Elaborado por: Autor

La figura 57 se tiene el diagrama de fase del proceso de corte de los cilindros C1 y C2 en este proceso el usuario tiene la opción de escoger el tiempo que el corte se va a realizar en la prueba fue de dos ciclos de corte.



*Figura 57 Diagrama fase-tiempo corte*

**Elaborado por: Autor**

Presionando los dos pulsadores se procede al corte por seguridad del operario se seleccionó este sistema figura 58, el operario obligatoriamente tiene que emplear sus dos manos por lo tanto aseguramos que el operario no sufra lesiones. En la figura 59 se muestra la pantalla de corte con la indicación de presionar los dos pulsadores para corte y con indicaciones luminosas.



*Figura 58 Pulsadores de corte*

**Elaborado por: Autor**



*Figura 59 Pantalla de Corte*

**Elaborado por: Autor**

### 3.9 Controlador PID

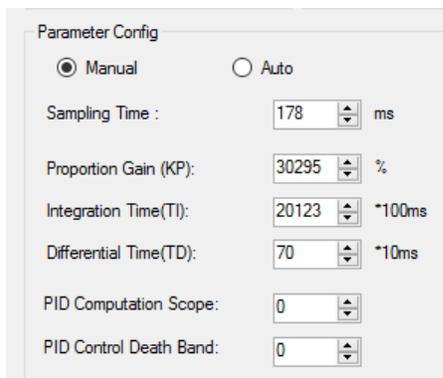
Del controlador planteado y al realizar varias pruebas partiendo de los valores teóricos obtenidos se tuvieron los siguientes resultados

#### 3.9.1 Valores Teóricos

Al implementar los valores teóricos en el PID del plc se obtuvo un pico máximo de 72° C, con un tiempo de estabilización 6 minutos por lo tanto en base a estos resultados se plantea una nueva sintonización del controlador PID partiendo de los valores teóricos. En la parte de preparación con una temperatura menor no tubo errores como en la pasteurización con un pico máximo de 36. 8° C.

#### 3.9.2 Calibración PID.

Al realizar una nueva calibración en el controlador PID del PLC con valores recomendados por el fabricante del PLC de acuerdo con procesos térmicos y teniendo en cuenta el controlador teórico de las reglas de sintonización de Ziegler Nichols se encontraron los valores de la figura 60.



Parameter	Value	Unit
Sampling Time	178	ms
Proportion Gain (KP)	30295	%
Integration Time (TI)	20123	*100ms
Differential Time (TD)	70	*10ms
PID Computation Scope	0	
PID Control Death Band	0	

Figura 60 Valores PID del PLC

Elaborado por: Autor

Con la calibración y los nuevos se obtuvo un pico máximo de 66. 5° C el cual es menor al pico teórico obtenido y un tiempo de estabilización de 2 minutos. El controlador PID con el pico máximo y tiempo de estabilización menor es aceptable para este proceso en el cual se tiene un rango máximo de temperatura de 65° C según la norma NTE INEN 0010 por lo tanto se establecieron como valores definitivos del controlador.

## Capítulo IV

### 4. Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

Como resultado de esta investigación presentada, es posible concluir que los factores que influyen en la calidad de la mezcla de la preparación son: La temperatura ideal en este caso la de pasteurización de 62-65° C, con una diferencia máxima obtenida de 0 49° C grados entre mediciones en un rango de medición de 3° C por lo tanto esta variación no afecta en el proceso. En la adición de cuajo es de 35° C dicho valor es dado por el fabricante del agente coagulante el que se debe tener muy en cuenta en el momento de la programación y calibración, La cantidad de cuajo hacer adicionada de acuerdo con el volumen de materia prima se determinó como un factor de gran impacto en la preparación. Otro factor muy importante es el tiempo de pasteurización 30 min, tiempo de mezcla 35 min y corte de la cuajada en estos casos el tiempo que indica el fabricante del cuajo o en base a la normativa de esta actividad.

La programación desarrollada en base al diagrama grafcet con secuencias de tiempos entre los procesos de preparación, extracción de suero, pre-prensado y corte. Implementada en el PLC influyo en la automatización del prototipo con una producción continua, eficiente y una intervención mínima del operario.

Un tablero de control en el cual abarcan características que faciliten la interacción humana maquina con una pantalla y señales luminosas. En dicho tablero se implementó el sistema de automatización con los dispositivos de control.

Se realizaron pruebas y calibraciones de acuerdo con normas como es la NTE INEN 0009 para manejo de leche cruda y la norma NTE INEN 0010 de acuerdo con características pasteurización.

## 4.2 Recomendaciones

Es recomendable al operario realice un análisis organoléptico de la materia prima antes de ser ingresada a la preparación, evitando posteriores problemas.

Al ingreso de la materia prima se recomienda la colocación de un dispositivo para medir el volumen de materia prima en este caso un caudalímetro para que el operario tenga un mayor control de la cantidad de leche.

Tener en cuenta las características del PLC en el momento de la adquisición de sensores a ser implementados en el prototipo en este caso el controlador es compatible con sensores NPN.

Es recomendable colocar el tablero de control lo más cerca del prototipo evitando así lecturas erróneas de los sensores al exceder la distancia del cableado de estos.

En el transcurso del desarrollo de los diferentes procedimientos del prototipo el operario debe de realizar un monitoreo continuo del proceso al presentarse algún percance.

Se recomienda seguir con el desarrollo del prototipo para poder producirlo de forma masiva ya que en el Ecuador y con énfasis en la zona norte se caracteriza por una gran producción de leche y quesos de una forma artesanal. Ninguna empresa que se dedique a la fabricación de estos lo realiza de una forma automatizada.

## Bibliografía

(s.f.).

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). *INEC*. Recuperado el 16 de Junio de 2016, de [http://www.inec.gob.ec/espac\\_publicaciones/espac-2011/INFORME\\_EJECUTIVO%202011.pdf](http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/INFORME_EJECUTIVO%202011.pdf)

Alais, C. (1985). *Ciencia de la leche*. Francia: Editorial continental.

ANDRADE, G. P. (2015). *CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA MADURADORA DE QUESOS PARA LA MICROEMPRESA*. Ibarra: Universidad Tecnica del Norte.

ARANGO Oscar, CASTILLO Manuel, OSORIO Oswaldo. (2012). *CONTROL EN LINEA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE. 19*.

CARBALLO, P. C. (1999). *Caracterizacion del queso de rueda en el municipio de Tlacolulan, Veracruz*. Mexico.

Erazo Catillo Susana Alexandra, Lata Morocho Martha Veronica. (2012). *Diseño y construcción de un amarmita automatizada para la elaboracion de queso* . Riobamba .

Garrido, A. N. (2006). *LA MADURACIÓN DEL QUESO*. Obtenido de <http://cosasdequesos.es/maduraci%C3%B3n/>

Gonzales, H. (19 de Septiembre de 2010). *Propiedades fisicas de la leche*. Obtenido de <http://fisicadelaleche.blogspot.com/>

José Guadalupe Castro Lugo, Juan José Padilla Ybarra, Eduardo Romero A. (2005). Metodología para realizar una automatización. *IMPULSO, REVISTA DE ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES*, 18-21.

Macías, E. J. (2004). *Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales*.

- Martínez, M. A. (2011). *El Libro Blanco de la leche y productos lácteos*. México.
- MILES, L. D. (1989). *Techniques of Value Analysis and Engineering*. USA: Miles Value Foundation;.
- NTE INEN. (2012). INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. Boston: Pearson Education.
- Ortiz, A. A. (s.f.). *Elaboración de quesos tipo Panela Y Oaxaca*. México.
- Pacheco Andrade, G. A. (2016). Obtenido de Construcción de una cámara maduradora de quesos para la microempresa.: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4614/1/04%20MEC%20093%20Tesis.pdf>
- Pérez, J. G. (2005). *Diccionario de la industria de la leche y los productos lácteos*. Mexico: El Manual Moderno : Universidad Autónoma de Aguascalientes .
- Pilicita Escobar, D. A. (2013). *Diseño y construcción de un equipo para la pasteurización de leche*. Quito .
- PONCE, D. A. (2011). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LA*. Quito.
- Poncelet. (2006). *Enciclopedia del queso*. Obtenido de <http://www.poncelet.es/enciclopedia-del-queso/elaboracion.html>
- Posso, M. (2011). *Proyectos, Tesis y Marco Lógico*. Quito.
- Ramírez, C. (s.f.). El Cuajo. *Facultad Nacional de agronomía*, 406-414.
- Robles Ponce, P. R. (2013). *Sistema semiautomático de mezclado de leche y corte de la cuajada para una cuba quesera de 500 litros en las Unidades Productivas de la FICAYA*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3521?mode=full>

Salud, I. N. (05 de 04 de 2015). *MedlinePlus*. Obtenido de <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000006.htm>

Tally, K. (2010). *Patente n° 7,657,951 B2*.

Teach, L. (02 de 04 de 2015). *LTI*. Obtenido de [http://www.liberatingtech.com/products/elbows/LTI\\_Boston\\_Digital\\_Arm\\_Systems\\_for\\_Adults.asp](http://www.liberatingtech.com/products/elbows/LTI_Boston_Digital_Arm_Systems_for_Adults.asp)

tectronixs. (30 de 05 de 2015). *tectronix*. Obtenido de <http://www.tectronix.cl/motor-paso-a-paso.html>

UNIDEG, I. d. (16 de Julio de 2013). *Factores que afectan a la maduración de los quesos*. Obtenido de <http://www.conocimientosweb.net/dcmt/ficha19323.html>

Universo, E. (10 de 01 de 2015). *El Universo*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/2010/03/27/1/1360/medico-guayaquileno-fabrica-protesis-bionicas.html>

Valarezo, M. C. (5 de Julio de 2013). *Ministerio de Inclusión Económica y Social*. Obtenido de <http://www.inclusion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/Modelo-de-Atenci%C3%B3n-de-Discapacidades.pdf>

Vildósola, E. (2014). *Actuadores*. Chile: Soltex Chile S.A.

Villarreal, M. G. (2002). *Tecnología para la Elaboración de*. Panamá.

## ANEXOS

### ANEXOS 1. Resultados encuestas a productores artesanales de leche

*Tabla 69 Resultado de Encuesta*

No	Pregunta	Respuesta	Cantidad
1	¿Cuántos años ha trabajado usted con vacas lecheras?		9,00
2	¿Por qué se dedicó usted a la producción de leche?	Sustentable	
3	Cantidad de leche producida por día: Promedio		261,43
4	Destino de la Leche	Autoconsumo	100%
		Elaboración de quesos	
		Recolector/Industria Láctea	83%
		Varios	17%
5	¿Estaría dispuesto a asociarse con otros productores para implementar una línea de producción de quesos?	SI	88%
		NO	13%
6	Cuenta Ud. con energía eléctrica de que tipo:	120	38%
		220	63%
7	Cree Ud. que al producir sus propios quesos aumentaría su ganancia	SI	88%
		NO	13%
8		SI	100%

	Estaría dispuesto a obtener un crédito para implementar una línea productiva de quesos constaría de las Maquinas de preparación, prensado y empaque.	NO	0%
9	Que otro tipo de máquinas cree Ud. que llegaría a utilizar o complementar la línea de producción antes mencionada.	Ordeño mecánico Desconoce otras maquinas	17% 83%
10	Cuenta Ud. con un espacio físico para implementar la línea productiva de quesos		100%

**Elaborado por: Autor**

La encuesta realizada a 5 productores de leche artesanal. Desacuerdo a los resultados las preguntas más importantes para el desarrollo de este prototipo fueron la 5, 7,8 y 10 dando una buena aceptación.

## **ANEXOS 2. Resultados encuestas a productores artesanales de quesos.**

*Tabla 70 Resultado encuesta productores*

No	Pregunta	Respuesta	Cantidad
1	¿Cuántos años ha trabajado usted en la elaboración artesanal de quesos?	Promedio	25,00
2	¿Por qué se dedicó usted a la producción de quesos?	Rentabilidad	

3	Cantidad de leche que procesa para la elaboración de quesos por día:		261,43
4	Cantidad de quesos producidos por día:		74,69
5	Cuál es el destino de su producción de quesos	Bajo pedido	50%
		Ventas propias	25%
		Tienda de abastos	25%
		micro mercados	
		Distribuidor	
6	¿Estaría dispuesto a asociarse con otros productores para implementar una línea de producción de quesos?	SI	100%
		NO	
7	Cuenta Ud. con energía eléctrica de que tipo:	120	38%
		220	63%
8	Cree Ud. que al producir quesos de forma automatizada aumentaría su ganancia	SI	100%
		NO	
9	Estaría dispuesto a obtener un crédito para implementar una línea productiva de quesos constaría de las Maquinas de preparación, prensado y empaque.	SI	100%
		NO	
10	Que otro tipo de máquinas cree Ud. que llegaría a utilizar o complementar la línea de producción antes mencionada.	Desconoce otras	83%
		maquinas	
		Pasteurizador	17%
11		SI	100%

---

	Le gustaría formar parte del cambio de la matriz productiva incrementando permisos sanitarios para estos procesos.	NO	
12	Qué tipo de materiales utiliza Ud. para moldes.		
13	Que parte del proceso le dificulta físicamente en la elaboración de quesos artesanales.	Prensado	100%
14	Que método utiliza Ud. para la elaboración de la cuajada o su cocción.	Cuajo pastilla	50%
		Cuajo/sal /cloruro de sodio	50%
15	¿Qué dimensiones tiene el molde que utiliza? Plgxcn	4x8	50%
		4x9	50%
16	¿Cuál es el peso promedio del queso que produce? (gr)	500	100%
17	¿Cuáles son las dimensiones del queso que más produce? Plgxcn	4x5	50%
		4x6	50%
18	¿Cómo realiza Ud. el proceso de pre-prensado y prensado de los quesos?		
19	Que hace Ud. con el suero.	Desecha	
		Reutiliza	50%
		Venta	50%
		Otros	
20	Como realiza Ud. el empaçado.	Empacado al vacío	50%
		/ fundas	

---

La encuesta realizada a 2 productores de leche artesanal. Desacuerdo a los resultados las preguntas más importantes para el desarrollo de este prototipo fueron la 6,8,9 y 11 dando una buena aceptación. Las demás respuestas con información importante usadas como la vos del cliente

### ANEXOS 3. Análisis Funcional

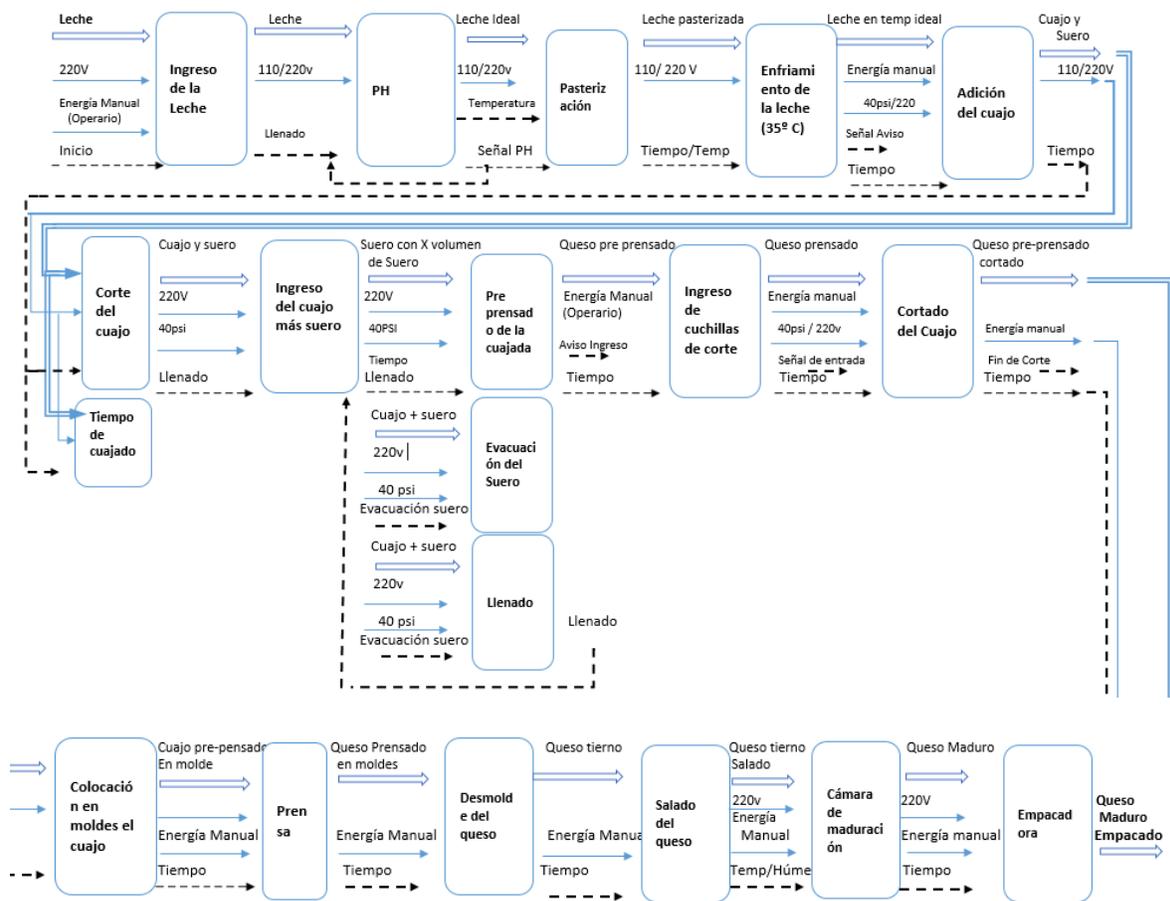


figura 61 Análisis Funcional.

Elaborado por: Autor

## ANEXOS 4. Programación para la adquisición de datos

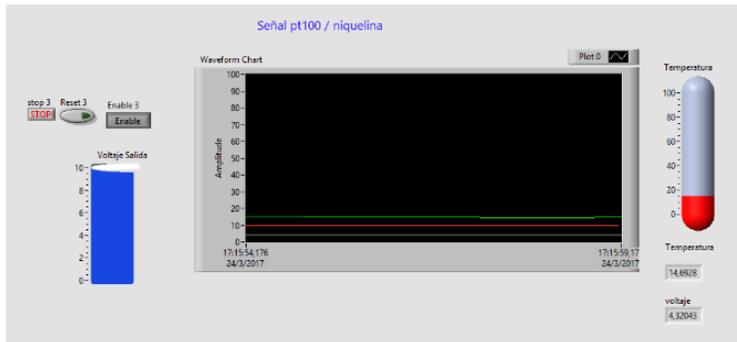


Figura 62 Panel frontal LabVIEW

Elaborado por: Autor

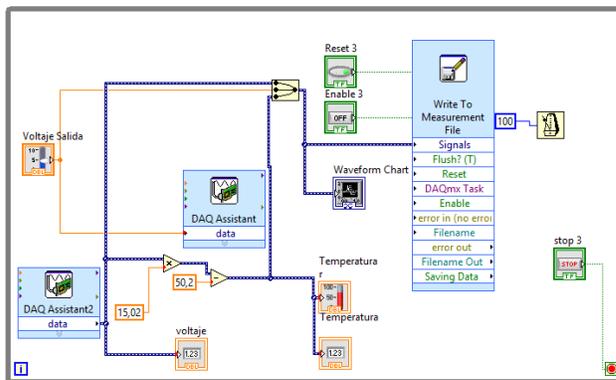


Figura 63 diagrama de bloques LabVIEW

Elaborado por: Autor

## ANEXOS 5. Manual de usuario

A continuación, se presenta un el manual de operación del prototipo de línea de quesos el cual cuenta con una interface humano-maquina amigable con los usuarios, este sistema está diseñado para personas ya familiarizadas con el proceso. El operario no necesita una capacitación especializada para su uso. Para su utilización se deben seguir estas sencillas instrucciones.

**Para el encendido.**

1. Antes del encendido y conexión comprobar que el interruptor este en la posición OFF.



*Figura 64 Interruptor ON / OFF*

**Elaborado por: Autor**

2. Verifique el valor del Breaker sea de 16 A.
3. Verificar el estado del Breaker se encuentre en posición de encendido I, caso contrario revisar las conexiones de alimentación.



*Figura 65 Breaker de 16 A*

**Elaborado por: Autor**

4. Conectar a la red de alimentación 120V / 60Hz.

5. Cambie la posición del interruptor de OFF a ON para alimentar al tablero.

### Puesta en marcha.



Figura 66 HMI

Elaborado por: Autor

Numero	Descripción
1	Siguiente Pantalla
2	Pantalla Anterior
3	Inicio de proceso
4	Reinicio sensado pH
5	Cantidad de Usuario
6	Regresar a pantalla Inicio

1. El sistema una vez energizado se tienen dos pantallas de presentación. Presionar la tecla  o presionar  para el cambio de pantallas. Las dos teclas antes mencionadas son empleadas en todo el sistema.
2. En el inicio del proceso se debe de presionar la tecla , se encenderá una señal luminosa la cual indicará el inicio del proceso.
3. Continuación se tiene la medición de pH con los rangos de 6.5 como mínimo y 6.8 como máximo en medición. Al tener valores mínimos o máximo se activa la válvula de ingreso la cual cierra el paso de la materia prima en mal estado, con una señal luminosa en

el tablero de indicación. Una vez retirada la leche en mal estado presionar  para continuar con el sensado.

4. El llenado del tanque se tiene dos modos. El primero el de cantidad máxima del tanque. El segundo modo dado por el usuario con cantidades diferentes de materia prima al presionar  se selecciona la cantidad del usuario. Por obstrucción o materia prima incompleta se presenta una pantalla de error.
5. Pasteurización en dicho proceso se tiene configurado tiempos y temperaturas ideales para dicha operación
6. Preparación una vez llegada a la temperatura ideal para la adición de cuajo de adición mediante una electroválvula, la mezcla y corte se realiza con un motor. Dos señales luminosas en el tablero nos indican el estado de adición, mezcla y corte.
7. Una indicación luminosa en la pantalla indicara el final de la preparación.
8. Llenado de la zaranda al igual que el tanque se tiene dos modos. El primer modo el de cantidad máxima de la zaranda. El segundo modo la cantidad seleccionada por el operario al presionar la tecla . Por obstrucción de cañería o mezcla incompleta se presenta una pantalla de error
9. La evacuación de suero se realiza con un tiempo predeterminado y la activación de los dos cilindros neumáticos y un motor que realiza la vibración. Al igual con indicaciones luminosas en el tablero.
10. Pre prensado con los mismos cilindros con una configuración diferente.
11. Antes corte se emplea una señal luminosa en el tablero la cual indica el cambio de herramienta.
12. Para realizar el corte se debe presionar al mismo tiempo los pulsadores 1 y 2.



*Figura 67 Pulsador 1.*

*Elaborado por: Autor*



*Figura 68 Pulsador 2*

*Elaborado por: Autor*

13. El paro de emergencia reiniciara el sistema.



*Figura 69 Paro de emergencia*

*Elaborado por: Autor*

14. Fin del proceso una vez realizado el corte.
15. Se presentan pantallas de seguridad durante el proceso en las cuales no se permite el desarrollo del proceso con la puerta abierta del gabinete.

16. El desarrollo normal del proceso se da con la puerta del gabinete cerrada caso contrario no existirá un paro de emergencia.

### **Apagado**

Una vez terminado con el proceso seguir los siguientes pasos para asegurar la protección del dispositivo.

1. Cambiar de posición el interruptor de on a off.
2. De ser necesario desconectar de la red de 120V/60Hz.

Nota: Procurar no encender ni apagar el dispositivo repetidamente, esto acortara el tiempo de vida útil de los diferentes dispositivos. Mantenerlo encendido el tiempo que se demora el proceso.

## **ANEXOS 6. Mantenimiento**

Asegurando el correcto funcionamiento del sistema seguir este plan de mantenimiento.

*Tabla 71 Acciones de mantenimiento*

Acción	Código	Duración
Inspección	Ins	5min
Limpieza	Limp	30 min
Cambio	Camb	60 min

Elaborado por: Autor

*Tabla 72 Tabla de mantenimiento del sistema de automatización.*

Componente	Cantidad	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
<b>Breaker 16 A</b>	1	Ins	Ins	Ins	
<b>Lámparas</b>	9		Ins		Ins
<b>HMI</b>	1	Limp	Limp	Limp	Limp
<b>Pulsadores</b>	3	Ins	Ins	Ins	Camb
<b>Interruptor</b>	1	Ins	Ins	Ins	Camb
<b>Fuente de 24v</b>	1		Cambiarlo por daño		
<b>PLC</b>	1		Cambiarlo por daño		
<b>Módulo de expansión</b>	1		Cambiarlo por daño		
<b>SSR</b>	1		Cambiarlo por daño		

---

<b>Acondicionador de pt100</b>	1	Cambiarlo por daño
<b>Borneras</b>	36	Cambiarlo por daño
<b>Pt100</b>	1	Cambiarlo por daño
<b>Finales de carrera</b>	4	Cambiarlo por daño
<b>Niquelina</b>	1	Cambiarlo por daño

---

**Elaborado por: Autor**

Para realizar el mantenimiento es necesario y se recomienda que el sistema este desconectado de la red de alimentación.

Para acceder a los dispositivos internos del tablero de control se debe de abrir la tapa frontal del gabinete.

En caso de limpieza se recomienda realizarlo con una solución para elementos eléctricos como limpia contactos.



## ANEXOS 8. Tabla de características del SSR20DA

Figura 71 Tabla de características de SSR20DA

Type	Input Voltage	Output Voltage	Output Current
SSR-10DA	3-32VDC	24-380VAC	10A
SSR-20DA	3-32VDC	24-380VAC	20A
SSR-25DA	3-32VDC	24-380VAC	25A
SSR-40DA	3-32VDC	24-380VAC	40A
SSR-10AA	80-250VDC	24-380VAC	10A
SSR-20AA	80-250VDC	24-380VAC	20A
SSR-25AA	80-250VDC	24-380VAC	25A
SSR-40AA	80-250VDC	24-380VAC	40A

Elaborado por: Autor

## ANEXO 9. Características PLC XINJE XC3-24RT-E

Tabla 73 Especificaciones de fuente de alimentación.

Rated voltage	AC100V~240V
Voltage allow bound	AC90V~265V
Rated frequency	50/60Hz
Allow momentary power-cut time	Interrupt time $\leq$ 0.5 AC cycle, alternation $\geq$ 1 sec
Impact current	Max 40A 5mS below/AC100V max 60A 5mS below /AC200V
Max power consumption	12W
Power for sensor use	24VDC $\pm$ 10% max 400mA

Elaborado por: XINJE

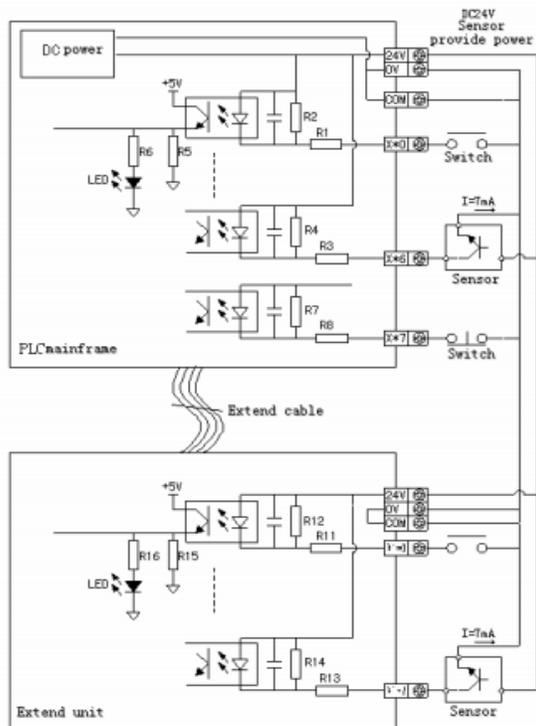


Figura 72 Conexiones de entrada.

Elaborado por: XINJE

Interior power		Below AC250V, DC30V
Circuit insulation		Mechanism insulation
Action denote		LED indicate lamp
Max load	Resistant load	3A
	Induce load	80VA
	Lamp load	100W
Open circuit's leak current		-
Mini load		DC5V 2mA
Response time	OFF→ON	10ms
	ON→OFF	10ms

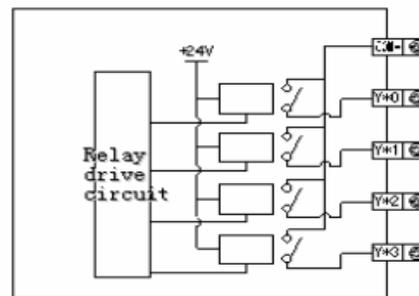


Figura 73 Salidas tipo relé

Elaborado por: XINJE

Interior power		Below DC5~30V
Circuit insulation		Optical coupling insulation
Action denote		Indicate lamp LED
Max load	Restance load	0.8A
	Induce load	12W/DC24V
	Lamp load	1.5W/DC24V
Open circuit's leak current		-
Mini load		DC5V 2mA
Response time	OFF→ON	Below 0.2ms
	ON→OFF	Below 0.2ms

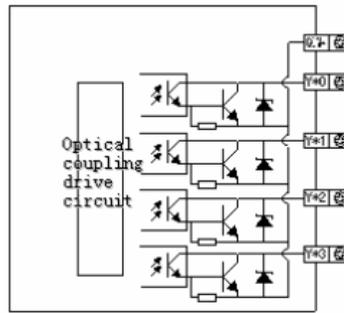


Figura 74 Salida tipo transistor

Elaborado por: XINJE

### ANEXOS 8. Tabla PT100

Tabla Pt100-1 -Termoresistencia Pt 100 según Norma IEC 751

T (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-200	18,493	18,926	19,358	19,790	20,221	20,653	21,083	21,514	21,944	22,374
-190	22,803	23,232	23,661	24,089	24,517	24,945	25,372	25,799	26,226	26,652
-180	22,078	27,504	27,929	28,354	28,779	29,203	29,627	30,051	30,474	30,897
-170	31,320	31,742	32,165	32,587	33,008	33,429	33,850	33,271	34,691	35,111
-160	35,531	35,951	36,370	36,789	37,208	37,626	38,044	38,462	38,879	39,297
-150	39,714	40,130	40,547	40,963	41,379	41,795	42,210	42,625	43,040	43,455
-140	43,869	44,283	44,697	45,111	45,524	45,937	46,350	46,763	47,175	47,587
-130	47,999	48,411	48,822	49,234	49,645	50,055	50,466	50,876	51,286	51,696
-120	52,106	52,515	52,924	53,333	53,742	54,151	54,559	54,967	55,375	55,783
-110	56,190	56,598	57,005	57,412	57,818	58,225	58,631	59,037	59,443	59,849
-100	60,254	60,659	61,065	61,469	61,874	62,279	62,683	63,087	63,491	63,895
-90	64,299	64,702	65,105	65,508	65,911	66,314	66,717	67,119	67,521	67,923
-80	68,325	68,727	69,128	69,530	69,931	70,332	70,733	71,134	71,534	71,934
-70	72,335	72,735	73,135	73,534	73,934	74,333	74,733	75,132	75,531	75,930
-60	76,328	76,727	77,125	77,523	77,921	79,318	78,717	79,115	79,512	79,910
-50	80,307	80,704	81,101	81,498	81,894	82,291	82,687	83,083	83,479	83,875
-40	84,271	84,667	85,063	85,458	85,853	86,248	86,643	87,038	87,433	87,828
-30	88,222	88,617	89,011	89,405	89,799	90,193	90,587	90,980	91,374	91,767
-20	92,160	92,553	92,946	93,339	93,732	94,125	94,517	94,910	95,302	95,694
-10	96,086	96,478	96,870	97,262	97,653	98,045	98,436	98,827	99,218	99,609
0	100,000	100,391	100,781	101,172	101,562	101,953	102,343	102,733	103,123	103,513
10	103,902	104,292	104,681	105,071	105,460	105,849	106,238	106,627	107,016	107,404
20	107,793	108,181	108,570	108,958	109,346	109,734	110,122	110,509	110,897	111,284
30	111,672	112,059	112,446	112,833	113,220	113,607	113,994	114,380	114,767	115,153
40	115,539	115,925	116,311	116,697	117,083	117,469	117,854	118,240	118,625	119,010
50	119,395	119,780	120,165	120,550	120,934	121,319	121,703	122,087	122,471	122,855
60	123,239	123,623	124,007	124,390	124,774	125,157	125,540	125,923	126,306	126,689
70	127,072	127,454	127,837	128,219	128,602	128,984	129,366	129,748	130,130	130,511

figura 75Tabla termo resistencia

Elaborado por: Autor