



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**AUTOMATIZACIÓN DEL DEPÓSITO LACTO FERMENTADOR PARA LA
ELABORACIÓN DE YOGURT EN EL COLEGIO TÉCNICO AGROPECUARIO
“CARLOS UBIDIA ALBUJA” DE LA CIUDAD DE OTAVALO.**

AUTOR:

FRANKLIN ANDRÉS MONTALVO NÚÑEZ

DIRECTOR:

ING. ÁLVARO FUENTES

IBARRA – ECUADOR

DICIEMBRE 2013

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. 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:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100386437-6
APELLIDOS Y NOMBRES:	FRANKLIN ANDRÉS MONTALVO NÚÑEZ
DIRECCIÓN:	CIUDADELA ÁNGEL ESCOBAR (OTAVALO)
E-MAIL:	andresmusico@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL:	0980067285

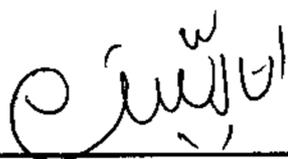
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	AUTOMATIZACIÓN DEL DEPÓSITO LACTO FERMENTADOR PARA LA ELABORACIÓN DE YOGURT EN EL COLEGIO TÉCNICO AGROPECUARIO "CARLOS UBIDIA ALBUJA" DE LA CIUDAD DE OTAVALO.
AUTOR:	FRANKLIN ANDRÉS MONTALVO NÚÑEZ
FECHA:	07/10/2013
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. ÁLVARO FUENTES

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Franklin Andrés Montalvo Núñez, con cédula de identidad Nro. 100386437-6, 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 forma 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.

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

Yo, Franklin Andrés Montalvo Núñez, con cédula de identidad Nro. 100386437-6, 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 de la obra o trabajo de grado denominado “Automatización del depósito Lacto fermentador para la elaboración de yogurt en el Colegio Técnico Agropecuario “Carlos Ubidia Albuja” de la Ciudad de Otavalo.” , que ha sido desarrollada 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 la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

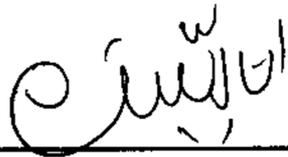


Franklin Andrés Montalvo Núñez
100386437-6

Ibarra, a los 6 días del mes de Diciembre del 2013

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor 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.



Franklin Andrés Montalvo Núñez
100386437-6

Ibarra, a los 6 días del mes de Diciembre del 2013

CERTIFICACIÓN

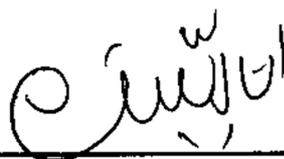
En calidad de Director del Trabajo de Grado “Automatización del depósito Lacto fermentador para la elaboración de yogurt en el Colegio Técnico Agropecuario Carlos Ubidia Albuja de la Ciudad de Otavalo”, presentado por el señor Franklin Andrés Montalvo Núñez, para optar por el título de Ingeniero en mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.



Ing. Álvaro Fuentes
DIRECTOR

DECLARACIÓN

“Yo Franklin Andrés Montalvo Núñez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Franklin Andrés Montalvo Núñez

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme y guiarme por el buen sendero.

A mis padres que sin ellos nunca hubiese podido hacer realidad este sueño. Mi triunfo es el de ustedes.

A mis hermanos por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A Gisela por estar conmigo en esta etapa de mi vida.

A todas las personas que de manera desinteresada me brindaron su ayuda para la realización y culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la oportunidad de existir así, aquí y ahora; por mi vida.
Gracias por iluminarme, darme fuerzas y guiarme por tu sendero.

A mis Padres, por apoyarme en todo momento, por su dedicación, por los valores inculcados. Sobre todo por ser ejemplo de arduo trabajo.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, especialmente a mi hermana por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

A mi familia, ustedes queridos abuelitos, tíos y primos, porque de una u otra forma, con su apoyo moral me han incentivado a seguir adelante, a lo largo de toda mi vida.

A la UTN, y a mis estimados maestros, que, a lo largo de mi carrera, me han transmitido sus amplios conocimientos y sus sabios consejos; especialmente al Ing. Jorge Terán e Ing. Álvaro Fuentes, quien, muy acertadamente, dirigieron este trabajo de grado.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	ii
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	iv
3. CONSTANCIAS	v
CERTIFICACIÓN	vi
DECLARACIÓN	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE TABLAS	xx
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxii
ÍNDICE ABREVIATURAS	xxiv
RESUMEN.....	xxv
SUMMARY.....	xxvi
PRESENTACIÓN.....	xxvii
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1 YOGURT	1
1.1.1 PROPIEDADES.....	2
1.1.2 PROCESO DEL YOGURT	3
1.1.3 ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE PROCESAMIENTO*	4
1.1.3.1 Filtración	4
1.1.3.2 Estandarización	4
1.1.3.3 Homogenización	4
1.1.3.4 Pasteurización	5

1.1.3.5 Inoculación.....	5
1.1.3.6 Incubación.....	5
1.1.3.7 Enfriamiento.....	6
1.1.3.8 Batido.....	6
1.1.3.9 Adición de Sabor y Color.....	6
1.1.3.10 Envasado y Almacenamiento.....	6
1.2 SISTEMAS DE CONTROL.....	7
1.2.1 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO.....	8
1.2.2 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO.....	8
1.2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTROLES AUTOMÁTICOS.....	10
1.2.3.1 Control de dos posiciones (on/off).....	10
1.2.3.2 Control de acción proporcional.....	11
1.2.3.3 Control de acción integral.....	12
1.2.3.4 Control de acción proporcional integral (PI).....	12
1.2.3.5 Control de acción proporcional derivativo (PD).....	13
1.2.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.....	14
1.2.5 COMPONENTES.....	15
1.2.5.1 Fuente de alimentación.....	15
1.2.5.2 Unidad Central de Procesamiento.....	16
1.2.5.3 Módulos entradas y salidas digitales.....	16
1.2.5.4 Módulos entradas y salidas analógicas.....	16
1.2.5.5 Módulos especiales.....	17
1.2.6 PROGRAMACIÓN.....	17
1.2.6.1 Lenguaje de contactos o Ladder.....	18
1.2.6.2 Lenguaje Booleano (lista de instrucciones).....	19
1.2.6.3 Diagrama de funciones.....	20
1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	20
1.3.1 CONDUCCIÓN.....	21
1.3.2 CONVECCIÓN.....	21
1.3.3 RADIACIÓN.....	22

1.4 ELECTRÓNICA DE POTENCIA.....	22
1.5 ACTUADORES	23
1.5.1 MOTOR-REDUCTOR	25
1.5.2 ELECTROVÁLVULA	26
1.6 SENSORES.....	27
1.6.1 SENSOR DE TEMPERATURA	27
1.6.1.1 Termistor	28
1.6.1.2 RTD.....	29
1.6.1.3 Termopar	30
1.6.2. SENSOR DE NIVEL.....	30
1.7 INDICADORES.....	31
1.7.1 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA	31
1.7.2 INDICADORES LUMINOSOS	32
1.7.3 INDICADORES ACÚSTICOS	33
CAPÍTULO II	34
ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y REQUERIMIENTOS .	34
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LACTO FERMENTADOR.....	34
2.1.1 DEPÓSITO LACTO FERMENTADOR	35
2.2 REQUISITOS DEL SISTEMA	35
CAPÍTULO III.....	40
DESARROLLO DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS	40
3.1 SISTEMA DE CONTROL	40
3.1.1 MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA.....	42
3.1.2 ANÁLISIS DEL MÉTODO ON – OFF CON HISTÉRESIS.....	47
3.1.3 PLC	49
3.1.4 MÓDULOS DE EXPANSIÓN E IMPLEMENTOS	53
3.1.4.1 Modulo de Entradas y Salidas Digitales DM8 12/24 R.....	53

3.1.4.2 Módulo Analógico de expansión AM2 PT100.	54
3.2 PROGRAMACIÓN PLC LOGO!	57
3.2.1 INTERFAZ DE USUARIO Y ENTORNO DE PROGRAMACIÓN	58
3.2.2 HMI LOGO! TD	60
3.2.2.1 Configuración HMI.....	62
3.3 SENSORES.....	65
3.3.1 SENSOR PT 100.....	65
3.3.2. SENSOR DE NIVEL.	67
3.4 ACTUADORES	67
3.4.1 AGITADOR.....	67
3.4.2 ELECTROVÁLVULA	70
3.4.3 CALENTADOR.....	71
3.4.4 BOMBA SUMERGIBLE.....	72
3.5 INDICADORES Y OTROS.	77
3.5.1 INDICADOR LUMINOSO	78
3.5.2 INDICADOR ACÚSTICO	78
3.5.3 PARADA DE EMERGENCIA.....	79
3.5.4 GABINETE PLÁSTICO.....	79
CAPÍTULO IV	81
IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y ANÁLISIS	81
4.1 IMPLEMENTACIÓN	81
4.1.1 DIAGRAMA DE CONTROL.....	81
4.1.1.1 Distribución de Entradas y Salidas del PLC	82
4.1.1.2 Conexión HMI LOGO! TD.....	83
4.1.1.3 Conexión del PLC LOGO!	84
4.1.1.4 Conexión etapa de potencia	86
4.1.1.5 Conexión del enfriador.....	87
4.1.2 DIAGRAMA DE FLUJOS	88
4.1.2.1 Análisis del software	88

4.1.2.2 Estructura del diagrama de flujo	89
4.1.3 DESARROLLO DEL SOFTWARE	91
4.1.3.1 Inicio del sistema.....	91
4.1.3.2 Etapa del calentador.....	93
4.1.3.3 Etapa del Agitador.....	95
4.2.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	103
4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	115
CAPÍTULO V.	120
COSTOS.....	120
5.1 COSTO DEL PROYECTO	120
5.1.1 COSTOS DIRECTOS.....	120
5.1.2 COSTOS INDIRECTOS.....	122
5.1.3 COSTO TOTAL	122
5.2 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	123
5.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN SIN MAQUINA.....	123
5.2.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN CON EL DEPOSITO LACTO FERMENTADOR	124
5.2.3 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	126
5.2.4 CÁLCULO DEL COSTO BENEFICIO	127
CAPÍTULO VI.....	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
6.1 CONCLUSIONES	128
6.2 RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS.....	132

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DEL MOTOREDUCTOR

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS BOMBA SUMERGIBLE

ANEXO D: CARACTERÍSTICAS PROTECCIONES,
CONTACTORES GUARDA MOTOR

ANEXO E: DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

ANEXO F: DIMENSIONES DEL DEPOSITO LACTOFERMENTADOR

ANEXO G: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN GRÁFICA DEL PLC
LOGO!

ÍNDICE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.01 – Línea de Flujo del Yogurt	3
Figura 1.02 – Esquema general de un sistema	7
Figura 1.03 – Sistema de Control de lazo abierto	8
Figura 1.04 – Sistema de Control de lazo cerrado	9
Figura 1.05 – Control de dos posiciones	10
Figura 1.06 – Control de acción proporcional	11
Figura 1.07 – Control de acción integral	12
Figura 1.08 – Control de acción proporcional integral (PI)	13
Figura 1.09 – Control de acción proporcional derivativo (PD)	13
Figura 1.10 – Controladores Lógicos Programables (PLC)	14
Figura 1.11 – Componentes principales de los PLC'S	15
Figura 1.12 – Ejemplo de programación mediante diagrama de funciones	20
Figura 1.13 – Clasificación de los actuadores según el tipo de energía empleada	23
Figura 1.14 – Electroválvulas	26
Figura 1.15 – Funcionamiento de una electroválvula	26
Figura 1.16 – Sensores de Temperatura	27
Figura 1.17 – Sensores de nivel	30
Figura 1.18 – interfaz hombre maquina	31
Figura 1.19 – indicador luminoso	32
Figura 1.20 – indicador acústico	33

CAPÍTULO II

Figura 2.01 – Estructura general del Depósito Lactofermentador	36
Figura 2.02 – Estructura interna del Depósito Lactofermentador	37

Figura 2.03 – Depósito Lactofermentador con el nuevo sistema	38
Figura 2.04 – Sistema de Enfriamiento	39

CAPÍTULO III

Figura 3.01 – Sistema físico del depósito lacto fermentador	41
Figura 3.02 – Diagrama de bloques	41
Figura 3.03 – Polos y ceros del sistema	47
Figura 3.04 – Controlador ON-OFF con histéresis	48
Figura 3.05 – Comportamiento del sistema	49
Figura 3.06 – Estructura del PLC LOGO! 12/24 RC	51
Figura 3.07 – Estructura del Módulo DM9 12/24R	53
Figura 3.08 – Estructura del Módulo Analógico AM2 PT100	55
Figura 3.09 – Posibilidades de conexión de una termo resistencia Pt100	57
Figura 3.10 – Interfaz de la ventana de LOGO! Soft Comfort con el usuario ...	59
Figura 3.11 – LOGO TD!	60
Figura 3.12 – Estructura del HMI LOGO! TD	61
Figura 3.13 – Particularidades de la parametrización	63
Figura 3.14 – Sensor Pt100	65
Figura 3.15 Curva característica de resistencia de un sensor Pt100	65
Figura 3.16 – Sensor de Nivel	67
Figura 3.17 – Motor-reductor del depósito Lactofermentador	68
Figura 3.18 – Diagrama de conexiones del agitador	70
Figura 3.19 – Electroválvula de agua	71
Figura 3.20 – Calentador de agua	71
Figura 3.21 – Diagrama de conexiones calentador	72
Figura 3.22 – Dimensiones del depósito lacto fermentador	74
Figura 3.23 – Indicador luminoso	78
Figura 3.24 – Indicador acústico	78
Figura 3.25 – Parada de emergencia	79

Figura 3.26 – Gabinete Plástico	80
--	----

CAPÍTULO IV

Figura 4.01 – Esquema de Conexión LOGO! TD	84
Figura 4.02 – Conexión PLC 12/24 rc Y LOGO! TD	85
Figura 4.03 – Diagrama de Potencia	86
Figura 4.04 – Enfriador del agua	88
Figura 4.05 – Diagrama de flujo del sistema de control	90
Figura 4.06 – Inicio del sistema	91
Figura 4.07 – Pantalla de bienvenida	92
Figura 4.08 – Pantalla Continuar	92
Figura 4.09 – Pantalla proceso # 1	93
Figura 4.10 – Parada de emergencia	93
Figura 4.11 – Etapa del calentador	94
Figura 4.12 – Pantalla adición de ingredientes	94
Figura 4.13 – Pantalla de procesos	95
Figura 4.14 -- Etapa del agitador	96
Figura 4.15 – Etapa del enfriador	96
Figura 4.16 – Pantalla del enfriador	97
Figura 4.17 – Distribución de indicadores	98
Figura 4.18 – Tablero de instrumentos	99
Figura 4.19 – Protecciones	100
Figura 4.20 – Contactores y PLC	101
Figura 4.21 – Borneras de conexión para riel DIN	101
Figura 4.22 – Electroválvula del sistema	102
Figura 4.23 – Bomba Sumergible	102
Figura 4.24 – Sistema de enfriamiento del agua	103
Figura 4.25 – Configuración conmutador analógico valor umbral	104
Figura 4.26 – Limpieza de maquinaria y planta	105

Figura 4.27 – Recepción de materia prima	106
Figura 4.28 – Tratamiento preliminar de la leche	106
Figura 4.29 – Medición de la densidad de la leche	107
Figura 4.30 – Adición de materia prima para la elaboración del yogurt	108
Figura 4.31 – Puesta en marcha del lacto fermentador	109
Figura 4.32 – funcionamiento de los indicadores	110
Figura 4.33 – Proceso de Inoculación	110
Figura 4.34 -- Proceso de Fermentación	111
Figura 4.35 – Prueba visual y consistencia del producto	112
Figura 4.36 – Fase de enfriamiento	112
Figura 4.37 – Elaboración de la mermelada	113
Figura 4.38 – Fruta, persevante y colorante	113
Figura 4.39 – Proceso terminado y flamear envases	114
Figura 4.40 -- Envasado	114
Figura 4.41 – Limpieza final de maquinaria y planta	115
Figura 4.42 – Fase de pasterización (tiempo vs temperatura)	117
Figura 4.43 – Fase de Incubación (tiempo vs temperatura	118
Figura 4.44 – Etapa de enfriamiento (tiempo vs temperatura)	119
Figura 4.45 – Elaboración del yogurt (tiempo vs temperatura)	119

ÍNDICE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.01 – símbolos de los elementos básicos del lenguaje Ladder.....	18
Tabla 1.02 – Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de cada tipo de actuador.....	24

CAPÍTULO III

Tabla 3.01 – Requerimientos del Sistema	50
Tabla 3.02 – Características del módulo de expansión DM8 12/24R	54
Tabla 3.03 – Características del módulo de expansión analógico AM2 PT100.....	55
Tabla 3.04 – Conexiones de un sensor PT100.....	66

CAPÍTULO IV

Tabla 4.01 – Interacción del proceso de fabricación	81
Tabla 4.02 – Distribución de entradas y salidas	82
Tabla 4.03 – Función de los indicadores	98
Tabla 4.04 – Porcentajes de ingredientes	108
Tabla 4.05 – Comportamiento del lacto fermentador con el sistema implementado	116

CAPÍTULO V

Tabla 5.01 – Costos directos de fabricación	121
Tabla 5.02 – Costos indirectos de fabricación	122

Tabla 5.03 – Costo total	122
Tabla 5.04 – Costos de ingredientes sin implementación	123
Tabla 5.05 – Costos de ingredientes con maquinaria	125
Tabla 5.06 – Análisis de ganancia	126
Tabla 5.07 – Periodo de recuperación	126
Tabla 5.08 – Costo - beneficio	127

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO III

Ecuación 3.01 – Balance de energía	43
Ecuación 3.02 – Relación de la energía calorífica	43
Ecuación 3.03 – Energía calorífica del agua	44
Ecuación 3.04 – Potencia térmica inferida del agua	44
Ecuación 3.05 – Potencia térmica extraída del agua	44
Ecuación 3.06 – Función de transferencia del sistema	45
Ecuación 3.07 – Volumen del cubo	45
Ecuación 3.08 – Volumen del cilindro	45
Ecuación 3.09 – Masa del producto	69
Ecuación 3.10 – Fuerza total que ejerce el motor	69
Ecuación 3.11 – Potencia necesaria del motor	69
Ecuación 3.12 – Balance de energía en el intercambiador	72
Ecuación 3.13 – Calor específico en el alimento	73
Ecuación 3.14 -- Masa de la leche	73
Ecuación 3.15 – Calor cedido por la leche	73
Ecuación 3.16 – Volumen de la pared del cubo	74
Ecuación 3.17 – Volumen total del cubo	74
Ecuación 3.18 – Volumen lateral del cilindro	74
Ecuación 3.19 – Masa del acero inoxidable	75
Ecuación 3.20 – Calor cedido por el acero inoxidable	75
Ecuación 3.21 – Volumen de la cámara del intercambiador	75
Ecuación 3.22 – Masa del agua de la cámara	76
Ecuación 3.23 – Calor cedido por el agua de la cámara	76
Ecuación 3.24 – Calor absorbido por el agua del enfriador	76
Ecuación 3.25 – Volumen del agua	77
Ecuación 3.26 – Caudal de la bomba	77

CAPÍTULO V

Ecuación 5.01 – Potencia por fase	124
Ecuación 5.02 – Potencia total consumida del sistema	124
Ecuación 5.03 – Consumo energético	125

ÍNDICE ABREVIATURAS

PLC: Controlador Lógico Programable.

PAC: Controladores de Automatización Programables.

CPU: Unidad Central de Procesamiento

HMI: Human Machine Interface o Interfaz Hombre – Máquina

I/O: Inputs (entradas) / Outputs (salidas)

AC: Corriente Alterna

DC: Corriente Directa

PC: Computador Personal

NO: Normalmente Abierto

NC: Normalmente Cerrado

RS-485: Es un estándar de comunicación serial.

USB: Bus Universal en Serie.

Kg: Medida de peso en kilogramos

KUP: Esquema de contactos

FUP: Diagrama de funciones

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo tiene como finalidad la de automatizar el proceso de fabricación del yogurt en el Colegio Técnico Agropecuario “Carlos Ubidia Albuja” de la ciudad de Otavalo”.

Para la fabricación del yogurt, el Colegio Técnico Agropecuario “Carlos Ubidia Albuja” posee maquinaria en sus instalaciones pero lamentablemente no están en condiciones para su funcionamiento.

El proyecto consiste en la implementación de un sistema que permita controlar todo el proceso de fabricación del yogurt, a través de la automatización del Depósito Lacto fermentador, el sistema cuenta con un controlador principal que es en este caso es un PLC LOGO! de Siemens.

Para la interfaz de visualización del proceso y control se utiliza un HMI propio del PLC LOGO! de Siemens, que facilita la interacción del operario con el depósito lacto fermentador, el HMI principalmente nos permitirá visualizar la temperatura y la fase en que se encuentra el proceso de elaboración del yogurt.

Con la implementación del Depósito Lactofermentador se ha conseguido el mejoramiento en el proceso de fabricación del yogurt, tomando en cuenta el tiempo y la calidad del producto.

SUMMARY

The development of the present work aims the automation of yogurt fabrication in the Agricultural Thecnical Highschool "Carlos Ubidia Albuja" In the city of Otavalo.

For the production of yogurt, the Agricultural Technical Institute "Carlos Ubidia Albuja" owns machinery in their facilities but unfortunately were unable to function.

The project consists of implementing a system to control the entire yogurt production process. By automating the Lacto Deposit Fermenter, the system counts with a a main controller; in this case, a Siemens PLC LOGO!.

The process visualization interface is managed by the HMI, a feature of the PLC LOGO! Which eases the user interaction with the Lacto Deposit Fermenter. The HMI allows the user to monitor the temperature and the current stage of the process.

With the implementation of the Lacto Deposit Fermenter, the improvement of the yogurt fabrication process has been achieved, taking the time and product quality into account.

PRESENTACIÓN

En esta tesis se presentan los resultados de una investigación realizada para determinar si la automatización del depósito Lacto fermentador del Colegio Técnico Agropecuario “Carlos Ubidia Albuja” de la ciudad de Otavalo”, garantiza que la elaboración del yogurt sea la más adecuada.

El objetivo principal de esta tesis es que los estudiantes elaboren yogurt optimizando sus recursos, y puedan ofrecer un producto de buena calidad.

La ejecución de dicho estudio se lo realizara utilizando el PLC LOGO! de SIEMENS, el cual tendrá una interfaz con una pantalla Logo TD! que nos permitirá visualizar las características del proceso de fabricación del yogurt

CAPÍTULO I.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El desarrollo de este capítulo consiste en dar a conocer todos los fundamentos teóricos que servirán de base para el estudio y cumplimiento de los objetivos propuestos.

1.1 YOGURT

El nombre del yogurt tiene su origen en la palabra búlgara: jaurt. Es precisamente de la zona de los Balcanes y Asia Menor de donde procede este manjar lácteo. Las tribus nómadas notaron que la leche se convertía en una masa semisólida al transportarla en sacos de piel de cabra. El calor y el contacto de la leche con la piel de cabra fomentaban la acción de bacterias ácidas que derivaron en su fermentación. (Ferriz, 2013).

El yogurt es un producto lácteo obtenido mediante la fermentación bacteriana de la leche. Si bien se puede emplear cualquier tipo de leche, la producción actual usa en su mayoría leche de vaca. La fermentación de la lactosa (el azúcar de la leche) en ácido láctico es lo que da al yogur su textura y sabor tan distintivo. A menudo, se le añade fruta, vainilla, chocolate y otros saborizantes, pero también puede elaborarse sin añadirlos.

Su sabor inconfundible y sus beneficiosas bacterias, excelentes para el sistema inmunológico, han sido fundamentales en la alimentación del ser humano durante siglos. Tanto es así, que muchos expertos creen que el yogur fue conocido mucho antes que la agricultura. Además, no sólo es exquisito como postre, solo o con azúcar, mermelada, miel o frutas, además es un ingrediente

imprescindible de numerosas salsas para pastas, ensaladas y carnes. (Ferreira, 2011)

La facilidad de transporte, conservación y propiedades nutritivas convirtieron al yogur en un alimento esencial para estos pueblos

1.1.1 PROPIEDADES

Desde el punto de vista nutricional el yogurt es un excelente producto alimenticio de alto valor biológico, presenta un considerable enriquecimiento del patrimonio vitamínico, en especial de las vitaminas del complejo B, además de la presencia de ácido láctico que aumenta la disponibilidad de micro elementos, como el calcio y fósforo.

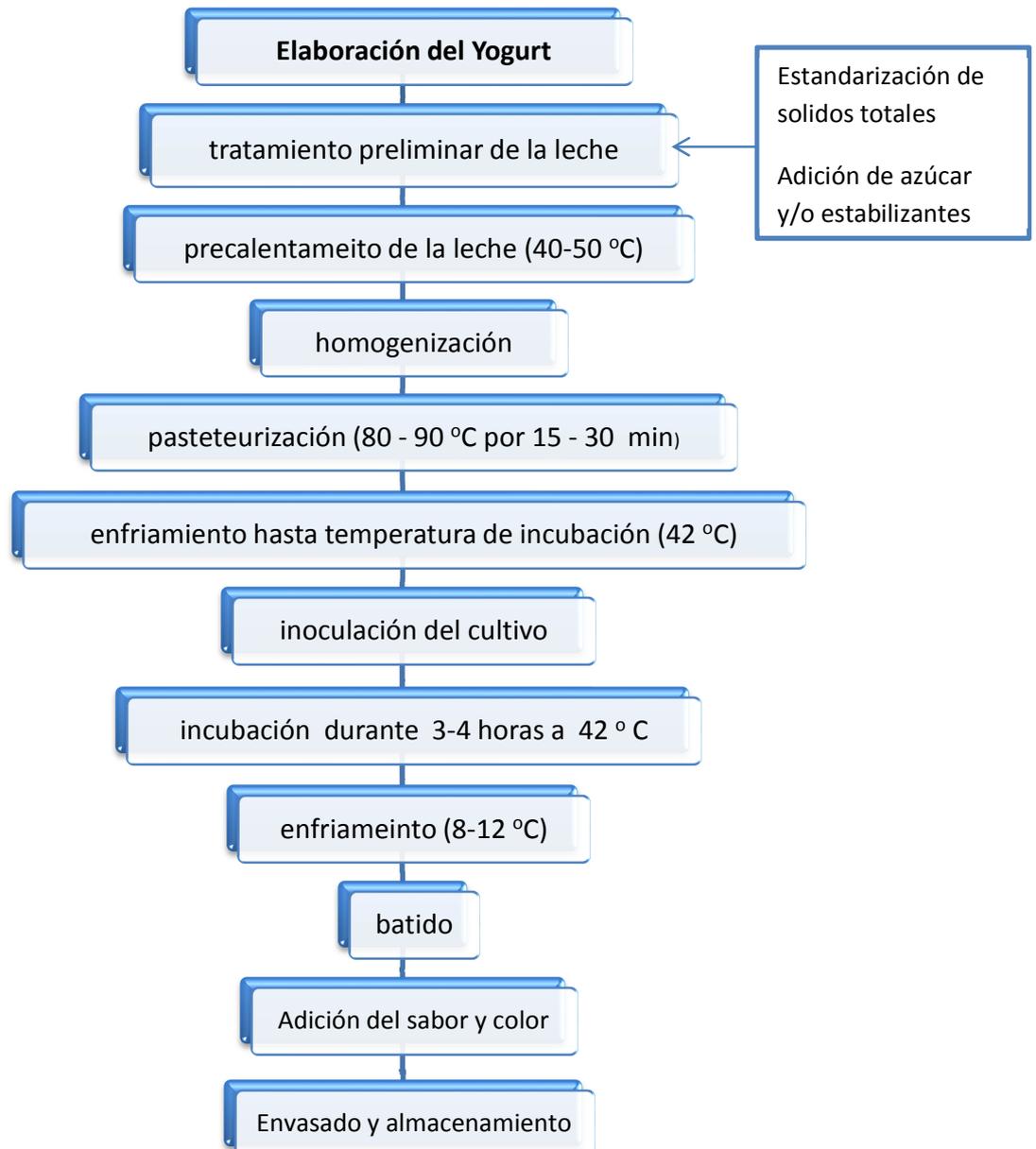
El yogurt es un alimento de fácil digestibilidad la caseína que es la principal proteína de la leche es parcialmente hidrolizada en el proceso de fermentación, por tanto el organismo lo asimila con mayor facilidad. La lactosa, que es el azúcar de la leche es transformada en ácido láctico, esta acidez favorece el desarrollo de una flora intestinal benéfica que destruye los componentes de la putrefacción presentes al interior del intestino humano. En aquellas personas cuyo sistema digestivo carece de la enzima lactasa, la lactosa no es descompuesta en azúcares más simples. Estas personas no pueden beber leche, sin embargo pueden tomar yogurt, en el cual la lactosa ha sido desdoblada por las enzimas bacterianas.

Según Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial. (s.f.), se han desarrollado y se continúan realizando diferentes investigaciones referente a las propiedades terapéuticas del yogurt y otras leches fermentadas, razón por la cual el consumo de este tipo de productos sigue creciendo a nivel nacional e internacional.

1.1.2 PROCESO DEL YOGURT

En la figura 1.1 se muestra el flujo grama del proceso de fabricación del yogurt.

Figura 1.01 – Línea de Flujo del Yogurt



Fuente: Autor

1.1.3 ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE PROCESAMIENTO*1

1.1.3.1 Filtración

Se realiza principalmente para remover partículas extrañas (impurezas microscópicas).

1.1.3.2 Estandarización

En general la leche usada en la elaboración de productos fermentados debe ser estandarizada con respecto al contenido de materia grasa y sólidos no grasos, para uniformar el producto final.

Aditivos usados en la elaboración. Se pueden usar:

- Agentes estabilizantes, como los sólidos lácteos, tienen influencia positiva sobre la consistencia y estabilidad del yogurt, los más usados son: gelatina, almibares y gomas vegetales. se pueden usar del 0.05% al 0.3%
- Agentes endulzantes, para atenuar el sabor ácido, el más ampliamente utilizado es la sacarosa por su disponibilidad, buena solubilidad, alto poder endulzante y por la facilidad con que se puede manipular, generalmente se utilizan cantidades del 5% al 15%.
- Frutas y saborizantes, para ampliar la gama de sabores de un mismo producto y la gama que actualmente existe es extremadamente amplia.

1.1.3.3 Homogenización

¹ Gutiérrez, J. (2011). *Elaboración del Yogurt. Bachillerato Técnico en Industria de los Alimentos Especialización de Transformados y Elaborados Lácteos* (1ra Ed.) Ecuador: EDUCTRADE S.A

El objetivo principal que se persigue con la homogenización en producción de productos fermentados es la obtención de un mejoramiento de la viscosidad, consistencia y estabilidad del producto final, en general con la homogenización se consigue:

- Evitar la separación de crema y obtener una mezcla más uniforme
- Aumentar la viscosidad.
- Disminuir la posibilidad de dar un sabor oxidado.

1.1.3.4 Pasteurización

Para todos los productos lácteos, el principal objetivo de la pasteurización consiste en destruir las bacterias patógenas y bacterias que afectan la conservación de la leche.

La temperatura y tiempo de retención varían entre 80 - 90 °C por 15 – 30 minutos con este tratamiento térmico, se consigue una mejor consistencia en el producto terminado.

1.1.3.5 Inoculación

Consiste en adicionar a la leche el fermento que contiene las bacterias que la transforman en yogurt, la adición del fermento que va del 2 al 3%, o de acuerdo a las especificaciones del fabricante en el caso de fermento de adición directa.

1.1.3.6 Incubación

Si la leche está libre de inhibidores, la cantidad de los microorganismos está determinada principalmente por la temperatura de incubación y la cantidad de inóculo agregado. Mientras mayor sea la diferencia con la temperatura óptima y menor sea la cantidad de inóculo agregado mayor será el tiempo de fermentación. Sea estimado que el tiempo de incubación es aproximadamente de 3 - 4 horas, a 42 - 43 °C.

1.1.3.7 Enfriamiento

Luego de haber transcurrido el tiempo de incubación, el yogurt es enfriado a una temperatura de 8 a 12 °C para terminar la acidez.

1.1.3.8 Batido

Consiste en la ruptura del coágulo del yogurt por agitación para conseguir una masa homogénea.

El batido del coágulo debe ser vigoroso y durante cierto tiempo, hasta que la masa homogénea presente una consistencia suave (cremosa), pero sin permitir la incorporación de aire, ya que está atenta contra la estabilidad del producto. Si el batido es insuficiente, quedarán pequeños grumos que dan al yogurt una estructura harinosa.

En especial se pueden verlas fácilmente en producto con adiciones de frutas o colorantes fuertes.

1.1.3.9 Adición de Sabor y Color

Una vez batido el yogurt se procede a añadir las frutas (mermelada), de 18 a 18% o sabores y colores permitidos para alimentos en proporciones establecidas.

1.1.3.10 Envasado y Almacenamiento

El envasado es uno de los puntos críticos que se debe tomar en cuenta ya que el yogurt puede contaminarse con facilidad, por lo que el sitio donde se va a realizar dicha actividad debe ser desinfectado.

El almacenamiento del yogurt siempre debe efectuarse bajo refrigeración a una temperatura de 4 °C, la cámara de almacenamiento debe mantenerse limpia y

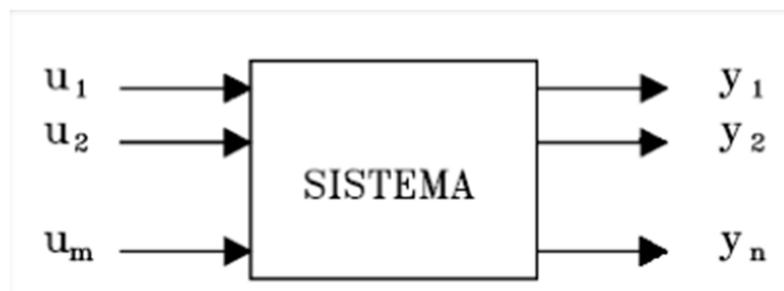
aseada y no debe emplearse para otros productos que puedan causar mal sabor y olor.

1.2 SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema dinámico puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. (Giraldo & Tabares, 1997)

La **Figura 1.02** ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.

Figura 1.02 – Esquema general de un sistema



Fuente: Giraldo y Tabares, Teoría de control, 1997, página 2

Hoy en día los procesos de control son síntomas del proceso industrial que estamos viviendo. Estos sistemas se usan típicamente en sustituir un trabajador pasivo que controla una determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error, y un grado de eficiencia mucho más grande que el de un trabajador. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos en base a muchos parámetros y reciben el nombre de PAC.²

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

² PAC: Controladores de Automatización Programables.

Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.

Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.

1.2.1 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO

Son los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control, es decir, un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. (Ogata, 1998)

Figura 1.03 – Sistema de Control de lazo abierto



Fuente: <http://www.librosvivos.net/smt/PagPorFormulario.asp?TemaClave=1164&est=0>

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

1.2.2 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de

realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (Ogata, 1998)

El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala
- Vigilar un proceso es especialmente difícil

Figura 1.04 – Sistema de Control de lazo cerrado



Fuente: <http://www.librosvivos.net/smt/PagPorFormulario.asp?TemaClave=1164&est=0>

Sus características son:

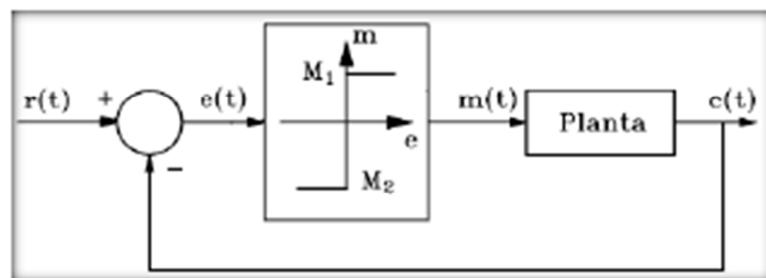
- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

1.2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTROLES AUTOMÁTICOS

1.2.3.1 Control de dos posiciones (on/off)

Un control de dos posiciones, el controlador tiene solamente dos posiciones fijas. Son generalmente dispositivos eléctricos en donde habitualmente hay una válvula accionada por un solenoide eléctrico. También los controles neumáticos proporcionales con muy altas ganancias actúan como controles de 2 posiciones.

Figura 1.05 – Control de dos posiciones.



Fuente: Giraldo y Tabares, Teoría de control, 1997, página 148

El rango en que $e(t)$ se debe desplazar antes de que se produce la conmutación se llama brecha diferencial o histéresis como se indica en la figura 1.21, la brecha diferencial hace que la salida del control $m(t)$ mantenga su valor hasta que la señal de error actuante haya pasado del valor cero. Debe notarse que la brecha diferencial evita la acción excesivamente frecuente del control on / off. (Giraldo & Tabares, 1997)

Si $m(t)$ es la salida del controlador y $e(t)$ es la señal de error actuante:

$$m(t) = \begin{cases} M_1, & e(t) > 0 \\ M_2, & e(t) < 0 \end{cases}$$

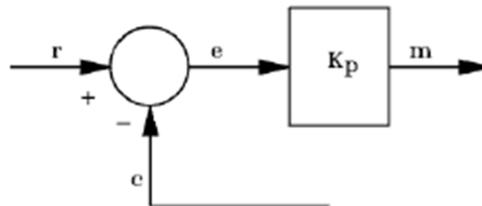
Generalmente $M_2 = -M_1$ ó $M_2 = 0$. (Giraldo & Tabares, 1997)

1.2.3.2 Control de acción proporcional

Un control de acción proporcional produce una señal de control ajustado a la señal de error.

Ganancia proporcional (K).- es la constante de proporcionalidad en la acción de control proporcional.

Figura 1.06 – Control de acción proporcional.



Fuente: Giraldo y Tabares, Teoría de control, 1997, página 151

Características:

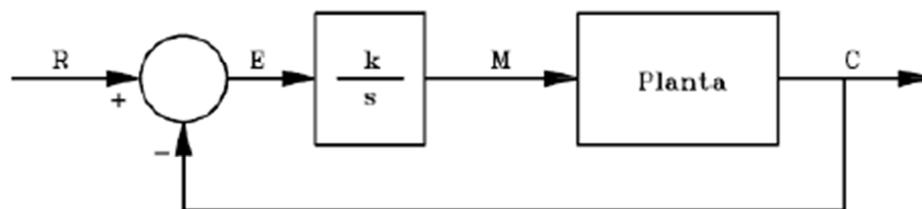
- Simple
- Fácil de implementar
- Reduce el error pero no lo elimina.

1.2.3.3 Control de acción integral

Un control de acción integral proporciona una corrección para compensar las perturbaciones y mantener la variable controlada en el punto de consigna.

Constante de tiempo integral (T_i).- Es el tiempo requerido para que la acción integral contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción Proporcional.

Figura 1.07 – Control de acción integral.



Fuente: Giraldo y Tabares, Teoría de control, 1997, página 155

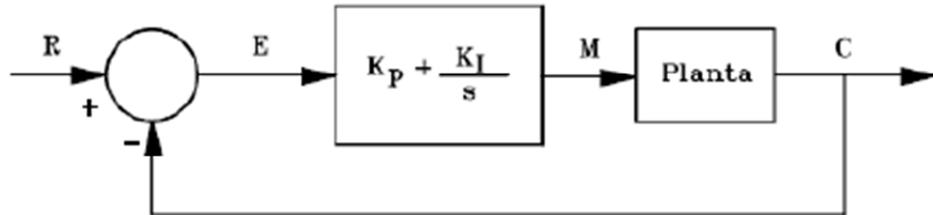
Características:

- Elimina errores en estado estacionario.
- Si T_i disminuye el sistema tiende a ser inestable.

1.2.3.4 Control de acción proporcional integral (PI)

Este tipo de control combina las características de los anteriores controles. K_p ayuda a corregir más rápidamente el error. K_i elimina totalmente el error. Con este tipo de controlador, las condiciones de estabilidad se mejoran con respecto al control integral puro. (Giraldo & Tabares, 1997)

Figura 1.08 – Control de acción proporcional integral (PI).



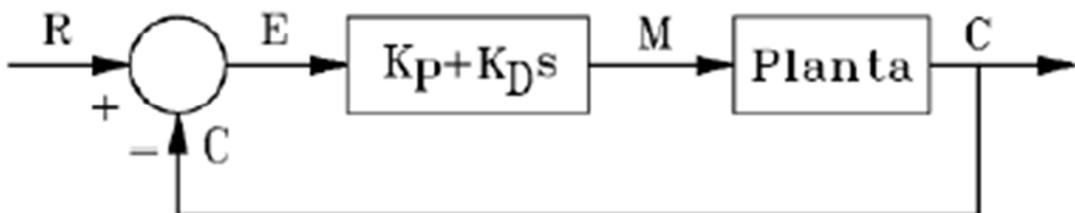
Fuente: Giraldo y Tabares, Teoría de control, 1997, página 155

1.2.3.5 Control de acción proporcional derivativo (PD)

Un control de acción proporcional derivativo anticipa el efecto de la acción proporcional para estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier perturbación.

Constante de tiempo derivativa (T_d).- El tiempo requerido para que la acción proporcional contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción derivativa. (Giraldo & Tabares, 1997)

Figura 1.09 – Control de acción proporcional derivativo (PD).



Fuente: Giraldo y Tabares, Teoría de control, 1997, página 158

1.2.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Los controladores lógicos programables o PLC³ (*programmable logic controller* en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial.

Como su nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Figura 1.10 – Controladores Lógicos Programables (PLC)



Fuente: http://www.cursosdeplc.com/que-es-plc.html/plc_01

Un autómatas programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades. (ProfesorMolina, 2012)

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

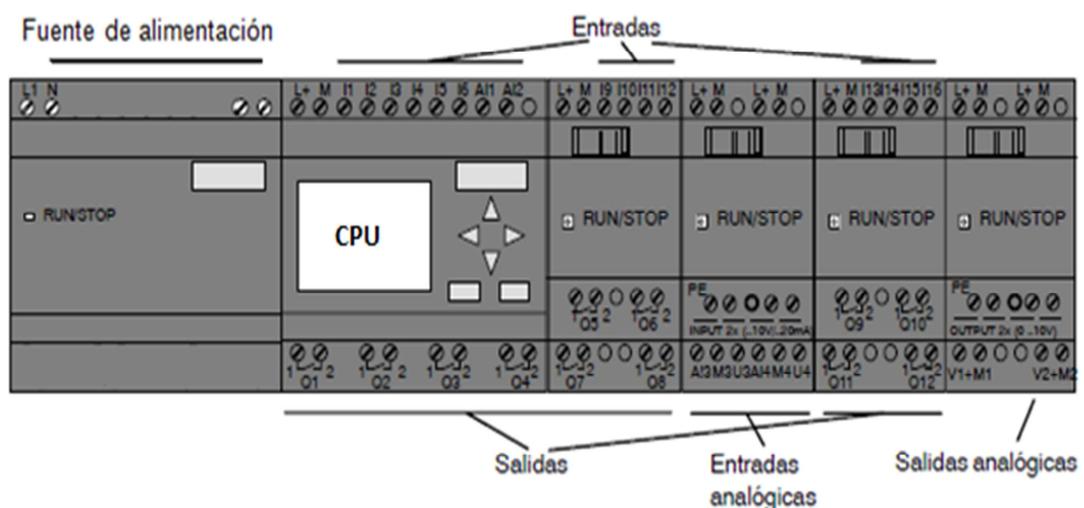
³ PLC: Controlador Lógico Programable por sus siglas en inglés.

Se debe considerar la ubicación del controlador cerca del equipo, para minimizar el recorrido de cables y simplificar la instalación y mantenimiento.

1.2.5 COMPONENTES

Los PLC'S se componen de diferentes elementos dependiendo su fabricante, a continuación se define los componentes principales para el funcionamiento de un PLC.

Figura 1.11 – Componentes principales de los PLC'S



Fuente: Manual de Producto LOGO! de Siemens.

1.2.5.1 Fuente de alimentación

Es la encargada de suministrar la tensión y corriente necesarias tanto a la CPU como a las tarjetas (según fabricante). La tensión de entrada es normalmente de 110/220 VAC de entrada y 24 DCV de salida que es con la que se alimenta a la CPU⁴

⁴ CPU: Unidad Central de Procesamiento.

1.2.5.2 Unidad Central de Procesamiento

Es el cerebro del PLC. Consta de uno o varios microprocesadores (según fabricante) que se programan mediante un software propio. La mayoría de ellos ofrecen varias formas de programación. Según los modelos de CPU ofrecen en principio más o menos capacidad de memoria pero también va ligado esto a un aumento de la velocidad del reloj del procesador y prestaciones de cálculo o funciones matemáticas especiales (Ubiria, 2001).

1.2.5.3 Módulos entradas y salidas digitales

Se enchufan o conectan al rack⁵ y comunican con la CPU a través de la citada conexión. En el caso de las entradas digitales transmiten los estados 0 o 1 del proceso (presostatos, finales carrera, detectores, conmutadores, etc.) a la CPU. En el caso de las salidas, la CPU determina el estado de las mismas tras la ejecución del programa y las activa o desactiva en consecuencia. (Ubiria, 2001).

1.2.5.4 Módulos entradas y salidas analógicas.

Se enchufan o conectan al rack de igual manera que las anteriores, pero teniendo en cuenta que en algunos modelos de PLC'S han de estar situadas lo más cerca posible de la CPU. Estos módulos leen un valor analógico e internamente lo convierten en un valor digital para su procesamiento en la CPU.

Esta conversión la realizan los convertidores analógico-digitales internos de las tarjetas que en algunos casos es uno para todos los canales de entrada o salida aunque actualmente se tiene uno por cada canal de entrada o salida. En este último caso el procesamiento de las señales analógicas es mucho más rápido que en el otro.

⁵ Rack: soporte metálico destinado a alojar equipamiento electrónico.

Estos módulos son normalmente de 2, 4, 8 o 16 entradas/salidas analógicas, los rangos de entrada están normalizados siendo lo más frecuente el rango de 4-20 mA (miliamperios) y 0-10 DCV, aunque también existen de 0-20 mA, 1-5V, 0-5V, etc. (Ubiria, 2001).

1.2.5.5 Módulos especiales.

Se enchufan o conectan al rack y comunican con la CPU a través de la citada conexión. Se utilizan normalmente para control o monitorización de variables o movimientos críticos en el tiempo, ya que usualmente realizan esta labor independientemente de la CPU. Son algunas muestras las siguientes:

- a) Modulo de contaje rápido
- b) Modulo de posicionamiento de motores
- c) Modulo de regulación (Ubiria, 2001).

1.2.6 PROGRAMACIÓN

Para definir la programación de un PLC es necesario conocer que es un programa y un lenguaje de programación. Se puede definir un programa como un conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el PLC, a través de su unidad de programación, que le permiten ejecutar una secuencia de control deseada. El Lenguaje de Programación en cambio, permite al usuario ingresar un programa de control en la memoria del PLC, usando una sintaxis establecida.

Existen varios lenguajes de programación como tipos de PLC'S existentes, los lenguajes de hoy en día tienen nuevas y más versátiles instrucciones, el desarrollo de nuevos módulos de entradas y salidas también ha obligado a cambiar las instrucciones existentes.

En la actualidad cada fabricante diseña su propio software de programación, lo que significa que existe una gran variedad comparable con la cantidad de PLC's que hay en el mercado, actualmente existen tres tipos principales de lenguajes de programación de PLC'S como los más difundidos a nivel mundial; estos son:

1.2.6.1 Lenguaje de contactos o Ladder.

También denominado lenguaje de contactos o de escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los PLC, debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. De este modo, con los conocimientos que todo técnico eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según normas NEMA⁶ y son empleados por todos los fabricantes.

En la tabla 1.01 podemos observar los símbolos de los elementos básicos junto con sus respectivas descripciones correspondientes a lenguaje Ladder.

Tabla 1.01 – símbolos de los elementos básicos del lenguaje Ladder

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit del sistema
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.

⁶ NEMA: Asociación Norteamericana de Manufacturas Eléctricas

	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bobina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

1.2.6.2 Lenguaje Booleano (lista de instrucciones).

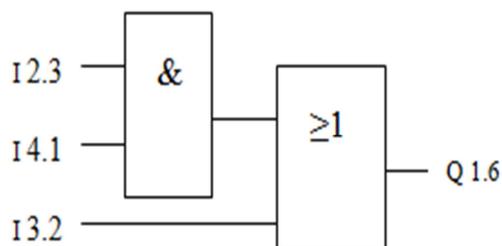
El lenguaje Booleano utiliza la sintaxis del Álgebra de Boole para ingresar y explicar la lógica de control. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos, haciendo uso de operadores Booleanos (AND, OR, NOT, etc.) y otras instrucciones nemónicas, para implementar el circuito de control.

1.2.6.3 Diagrama de funciones.

Es un lenguaje gráfico que permite al usuario programar elementos (bloque de funciones del PLC) en tal forma que ellos aparecen interconectados al igual que un circuito eléctrico. Generalmente utilizan símbolos lógicos para representar al bloque de función. Las salidas lógicas no requieren incorporar una bobina de salida, porque la salida es representada por una variable asignada a la salida del bloque.

El diagrama de funciones lógicas, resulta especialmente cómodo de utilizar, a técnicos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente. (Rosero, 2009).

Figura 1.12 – Ejemplo de programación mediante diagrama de funciones



Fuente: <http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/plc/introd.htm>

1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR

Proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura

El calor se asocia con la energía interna cinética y potencial de un sistema (movimiento molecular aparentemente desorganizado)

El calor siempre fluye desde una región con temperatura más alta hacia otra región con temperatura más baja. La transferencia o dispersión del calor puede

ocurrir a través de tres mecanismos posibles, conducción, convección y radiación.

1.3.1 CONDUCCIÓN

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción flujo de calor a través de medios sólidos por la vibración interna de las moléculas y de los electrones libres y por choques entre ellas. Las moléculas y los electrones libres de la fracción de un sistema con temperatura alta vibran con más intensidad que las moléculas de otras regiones del mismo sistema o de otros sistemas en contacto con temperaturas más bajas. Los metales son los mejores conductores térmicos; mientras que los materiales no metálicos son conductores térmicos imperfectos. (Hernández, 2006)

1.3.2 CONVECCIÓN

Es el flujo de calor mediante corrientes dentro de un fluido (líquido o gaseoso). La convección es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas. Cuando una masa de un fluido se calienta al estar en contacto con una superficie caliente, sus moléculas se separan y se dispersan, causando que la masa del fluido llegue a ser menos densa.

Mediante este mecanismo los volúmenes más calientes transfieren calor a los volúmenes menos calientes de ese fluido (un líquido o un gas). (Hernández, 2006)

1.3.3 RADIACIÓN

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas

No se requiere de un medio para su propagación. La energía irradiada se mueve a la velocidad de la luz. El calor irradiado por el Sol se puede intercambiar entre la superficie solar y la superficie de la Tierra sin calentar el espacio de transición. (Hernández, 2006)

1.4 ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Utilizada para diferenciar el tipo de aplicación que se le da a dispositivos electrónicos, en este caso para transformar y controlar voltajes y corrientes de niveles significativos. Se diferencia así este tipo de aplicación de otras de la electrónica denominadas de baja potencia o también de corrientes débiles

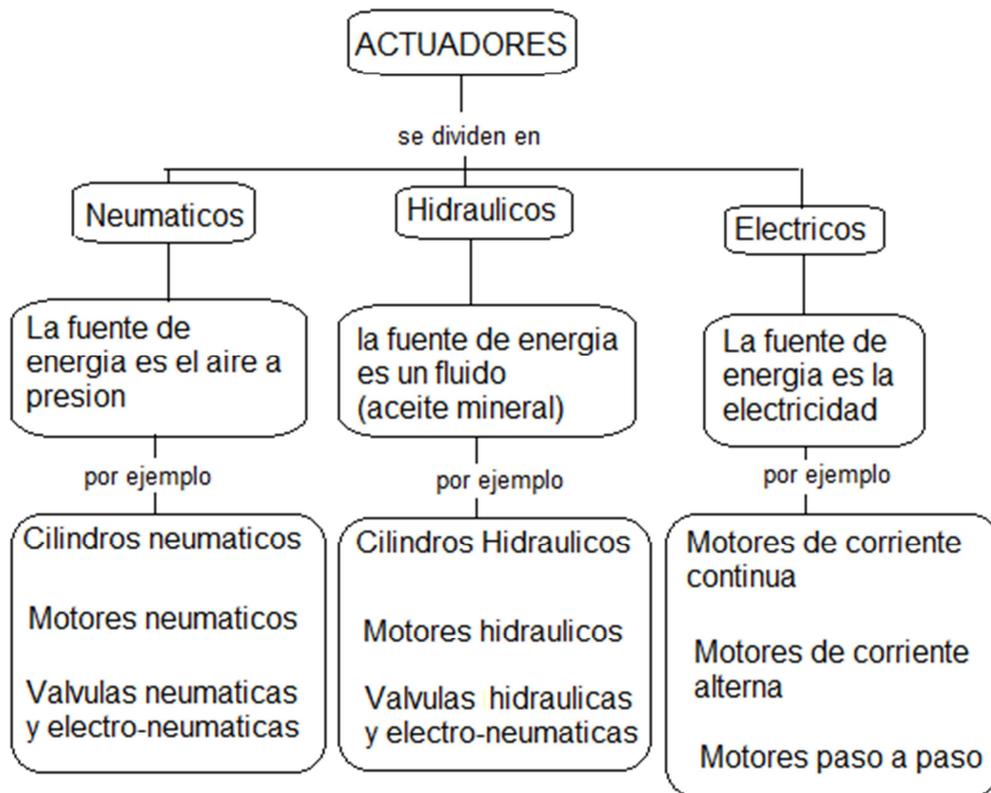
Para aplicaciones de electrónica de potencia, se utiliza el control que permiten los circuitos electrónicos para controlar la conducción (encendido y apagado) de semiconductores de potencia para el manejo de voltajes y corrientes.

La electrónica de potencia permite adaptar y transformar la energía eléctrica para distintas funciones como alimentar de una manera controlada a otros equipos, transformar la energía eléctrica de alterna a continua o viceversa, permite también el control del funcionamiento de máquinas eléctricas como también la velocidad.

1.5 ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica. Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

Figura 1.13 – Clasificación de los actuadores según el tipo de energía empleada



Los elementos que conforman un actuador son los siguientes:

- Sistema de accionamiento: es el encargado de producir el movimiento
 - Sistema de transmisión: es el encargado de transmitir el movimiento del actuador a otros elementos.
 - Sistema reductor: encargado de adecuar el torque y la velocidad del actuador a los valores requeridos.
- Sistema de control: encargado de enviar las órdenes al actuador para que se mueva de cierta manera.

La tabla 1.02 presenta las ventajas y desventajas de cada tipo de actuador:

Tabla 1.02 – Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de cada tipo de actuador

TIPO DE ACTUADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Neumático	Bajo costo Sencillos Robustos	Instalaciones especiales Ruidosos
Hidráulico	Rápidos Estables Capacidad de carga	Difícil Mantenimiento Costosos Instalaciones especiales
Eléctrico	Silencioso Preciso Fácil instalación	Potencia limitada Suministro de energía

Fuente: Autor

1.5.1 MOTOR-REDUCTOR

Un reductor de velocidad es apropiado para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Al emplear reductores o motor reductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los motor reductores se suministran normalmente acoplado a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz.

Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo Motor reductor un guarda motor que limite la intensidad y un relé térmico de sobrecarga. Los valores de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor.

1.5.2 ELECTROVÁLVULA

Una electroválvula está diseñada para controlar el flujo de un líquido a través de un conducto como una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoide.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

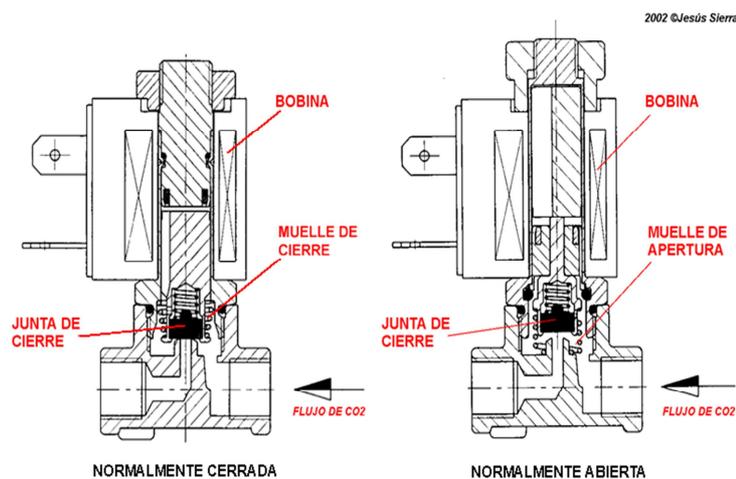
Figura 1.14 – Electroválvulas



Fuente: <http://www.enercontrolsl.com/cprodneujouco.html>

A continuación en la figura 3.10 se muestra el funcionamiento de una electroválvula

Figura 1.15 – Funcionamiento de una electroválvula



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Valvulas>

1.6 SENSORES

Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Un sensor nos permite detectar y señalar una condición de cambio. Existen diferentes tipos de sensores, según su aplicación o variable de medición pueden ser: de posición, desplazamiento, velocidad, temperatura, caudal, luz, nivel, entre otros

1.6.1 SENSOR DE TEMPERATURA

Un sensor de temperatura es un dispositivo que transforma los cambios de temperatura, en cambios de señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico.

Figura 1.16 – Sensores de Temperatura



. Fuente: http://www.innovantis.biz/detalle_productos.php?id_producto=13

1.6.1.1 Termistor

Es un sensor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor. (Malvino, 2000)

Existen dos tipos de termistor:

- NTC (Negative Temperature Coefficient) – coeficiente de temperatura negativo.
- PTC (Positive Temperature Coefficient) – coeficiente de temperatura positivo.

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura, debido a la variación de la concentración de portadores. Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo.

Para los termistores PTC, en el caso de un semiconductor con un dopado muy intenso, éste adquirirá propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado. Usualmente, los termistores se fabrican a partir de óxidos semiconductores, tales como el óxido férrico, el óxido de níquel, o el óxido de cobalto.

1.6.1.2 RTD

RTD significa Resistive Temperature Detector. Son sensores de temperatura cuyo principio físico se basa en la resistividad de los metales, es decir, en variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Esto se debe a que al incrementar la temperatura los iones vibran con mayor amplitud y así se dificulta el paso de los electrones a través del conductor.

Las características que deben tener los metales son un alto coeficiente de resistencia y alta resistividad para que tenga mayor sensibilidad y que haya una relación lineal entre la resistencia y la temperatura. El platino es el metal más óptimo, ya que, además de cumplir las características, tiene un rango de temperatura mayor; pero, puesto que es muy caro, se utilizan otros como el níquel o cobre.

Ventajas de los RTD. (Pérez, 2012)

- Salida de gran amplitud.
- Rango amplio de medidas de temperatura.
- Sensibilidad a cambios de temperatura alta.
- Excelente linealidad.
- Alta exactitud, estabilidad, repetitividad y resistencia de choques térmicos.
- Sensibilidad 10 veces mayor a la de un termopar.

1.6.1.3 Termopar

El termopar, también llamado termocupla y que recibe este nombre por estar formado por dos metales, es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico.

Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica.

El termopar genera una tensión que está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor. Midiendo con un voltímetro la tensión generada, conoceremos la temperatura.

1.6.2. SENSOR DE NIVEL.

Es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente.

Figura 1.17 – Sensores de nivel



Fuente: <http://www.sensorstecnics.net>

Integral para el control de procesos en muchas industrias, los sensores de medición de nivel se dividen en dos tipos principales. Los sensores de medición de punto de nivel se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido. Generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o al contrario una alarma de nivel bajo. Los sensores de nivel continuos son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de

todo un sistema. Estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado, en lugar de en un único punto, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de gestión de nivel, la señal de salida está vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual. (Omega, 2013)

1.7 INDICADORES

Los indicadores son instrumentos que sirven para visualizar, escuchar y obtener información de un proceso.

1.7.1 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite la interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la maquina o proceso. En la actualidad, dado que las maquinas u procesos en general están implementados con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o maquinas.

Figura 1.18 – Interfaz hombre máquina



Fuente:<http://www.blogelectronica.com/hmi-plc-pro-face-automata-programables>

Descontando el método tradicional, podemos distinguir básicamente dos tipos de HMI'S:

- Terminal de operador, consiste en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen)
- PC + Software, esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador. (Cobo, s.f)

1.7.2 INDICADORES LUMINOSOS

Representan la guía inmediata para saber si un equipo se encuentra apagado o encendido, si funciona correctamente o de forma incorrecta, si la medida tomada es la correcta o es errónea.

Existen de diferentes tipos de indicadores dependiendo la aplicación, su funcionamiento puede ser con voltajes AC, DC o ambos.

Figura 1.19 – indicador luminoso



Fuente: <http://www.curto-circuito.com>

1.7.3 INDICADORES ACÚSTICOS

Sirve como mecanismo de señalización o aviso audibles, y son utilizados en múltiples sistemas

Figura 1.20 – indicador acústico



Fuente: http://www.educared.org/global/concurso2009/WEB_1133/vari0s.html

CAPÍTULO II

ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y REQUERIMIENTOS

En este capítulo se determina las características y necesidades del sistema, además se detalla todos los requerimientos y funcionalidades necesarias para cumplir con el proceso de automatización para la elaboración del yogurt.

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LACTO FERMENTADOR

El Colegio Técnico Agropecuario “Carlos Ubidia Albuja” es una Institución de educación secundaria, que tiene como misión brindar a sus alumnos una formación académica de acuerdo a los retos de una sociedad dinámica, procurando que logren una evolución personal coherente a los cambios tecnológicos.

El Colegio Carlos Ubidia Albuja a pesar de ser una institución basada en el desarrollo agropecuario y de la industria láctea tienen en sus instalaciones maquinaria que sirve para la elaboración de yogurt, quesos, mantequilla, helados y manjar de leche. Pero lamentablemente la institución no cuenta con la información suficiente sobre el funcionamiento de esta maquinaria.

Esto conlleva a que los estudiantes realicen la elaboración de sus productos de una forma manual, teniendo como desventaja la pérdida de tiempo y optimización de sus recursos. El Colegio necesita contar con el equipo lacto fermentador para la fabricación de yogurt

La automatización de este depósito lacto fermentador permite que el proceso de fabricación del yogurt sea el más adecuado, que los estudiantes optimicen sus recursos como la mano de obra, e ingredientes que utilizan en la fabricación.

2.1.1 DEPÓSITO LACTO FERMENTADOR

Diseñado para la elaboración del yogurt, es capaz de realizar todas las operaciones necesarias para la fabricación del yogurt en un solo equipo, como son; pasteurización, enfriamiento, agitación, mantenimiento de la temperatura y dosificación.

El depósito lacto fermentador está construido de acero inoxidable AISI 304 con una tapa abatible en su parte superior donde se encuentra un agitador motor-reductor. En el tanque se recibe la leche que va a ser transformada en yogurt. Presenta forma rectangular exteriormente y cilíndrica en su interior, está compuesto por una pared exterior y otra interior llamada “camisa de agua”, que su finalidad es ser llenada de agua y permitir el calentamiento indirecto, homogéneo y gradual de la leche del interior del tanque.

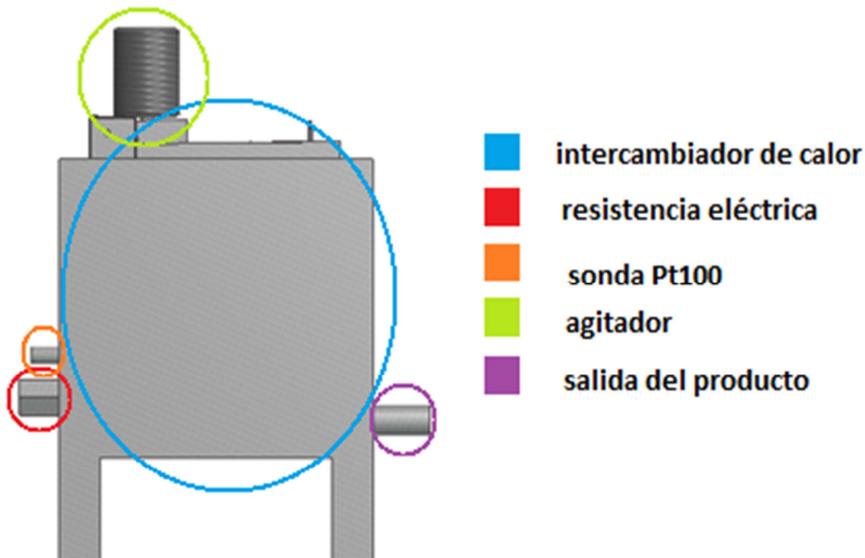
El sistema empleado para el calentamiento de la leche es a través de una resistencia eléctrica sumergible. La resistencia consta de una sección tubular, que va dentro de la camisa de agua y es la que calienta la misma, y de un cabezal de conexión, situado en el exterior, en la parte trasera del tanque. (Talleres Azuara, 2000)

2.2 REQUISITOS DEL SISTEMA

La automatización del depósito lacto fermentador permitirá realizar a los estudiantes la elaboración del yogurt optimizando sus recursos, y ofreciendo un producto de buena calidad.

A continuación en la figura 2.01 se muestra las partes fundamentales del depósito lacto fermentador.

Figura 2.01– Estructura general del Depósito Lactofermentador.

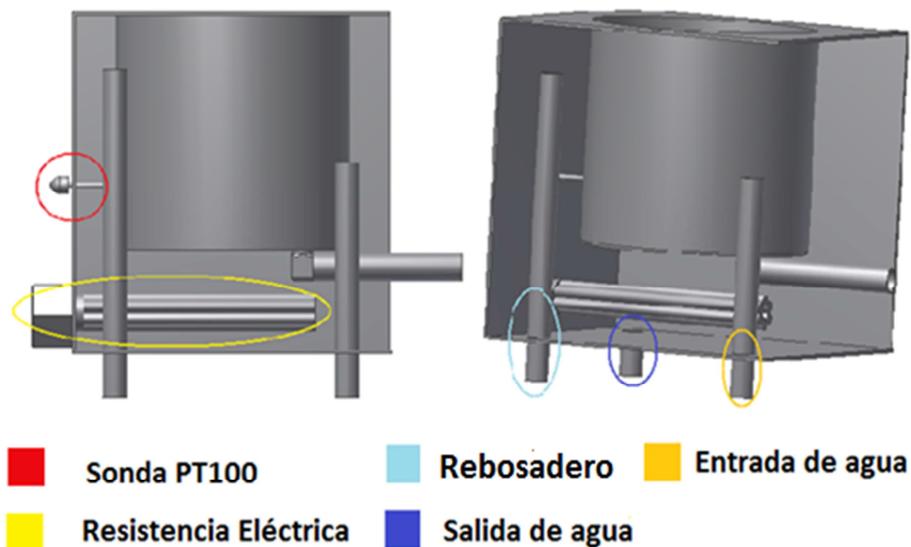


Fuente: Autor

Para la implementación del sistema, se debe considerar las características y componentes que posee el depósito lacto fermentador, al ser una máquina de origen europeo su alimentación de sus elementos se realiza a 220v 50 – 60 Hz, por lo cual se implementara la electrónica de potencia para controlar dichos elementos como el motor-reductor que es el agitador y la resistencia eléctrica que sirve para el calentamiento homogéneo de la mezcla.

El deposito lacto fermentador internamente posee una doble camisa como se muestra en la figura 2.02, que permite el intercambio de temperatura para la fabricación del yogurt.

Figura 2.02 – Estructura interna del Depósito Lactofermentador.



Fuente: Autor

Para realizar el calentamiento del producto a baño maría posee una resistencia eléctrica sumergible en el interior de la camisa que se conecta a 220 v, se debe considerar que para poner en funcionamiento la resistencia eléctrica para el calentamiento del producto, el nivel del agua dentro de la doble camisa debe estar sobre la resistencia eléctrica para evitar deformaciones y un mal funcionamiento.

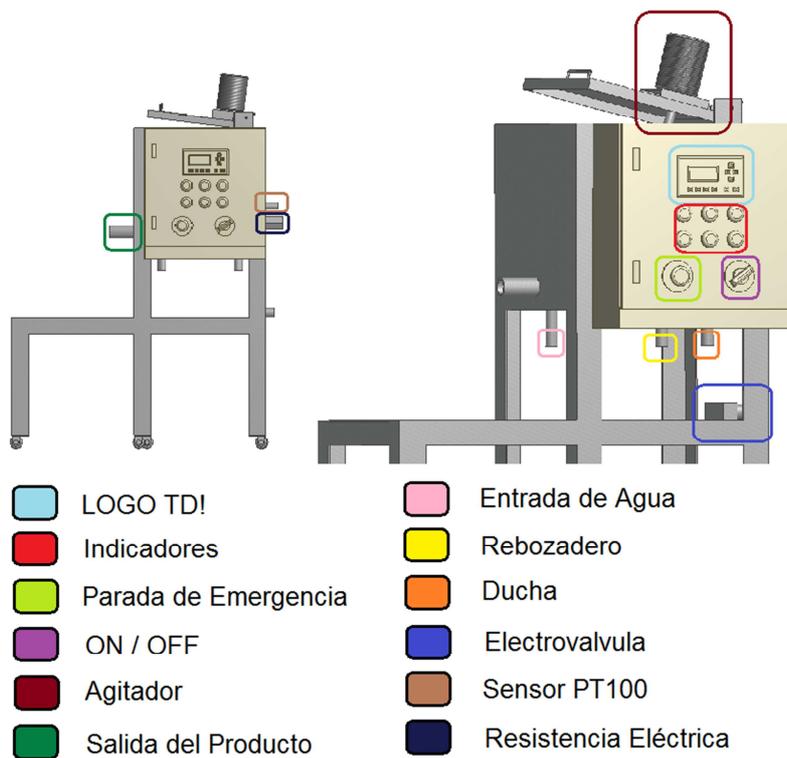
Para determinar si el nivel del agua es el adecuado para poner en funcionamiento la resistencia eléctrica, el depósito lacto fermentador en el interior posee un rebosadero que nos indica, si el nivel del agua en el interior de la doble camisa es el adecuado para poner en marcha el proceso, también nos permite llenar el depósito de agua del enfriador.

El controlador principal para la automatización será un PLC que es el encargado de controlar todo el proceso de fabricación del yogurt, indicando en una pantalla la etapa del proceso que se encuentre el depósito lacto fermentador, permitiendo controlar:

- La entrada o salida de agua al interior de la doble camisa del deposito
- La acción del agitador y la temperatura
- El ingreso de los ingredientes (azúcar, leche, fermento, saborizantes, fruta y aditivos químicos)
- El tiempo de pasteurización de la leche y de incubación del fermento a una determinada temperatura.

A continuación en la figura 2.03 se muestra el depósito lacto fermentador con la implementación del sistema.

Figura 2.03 –Depósito Lacto fermentador con el nuevo sistema



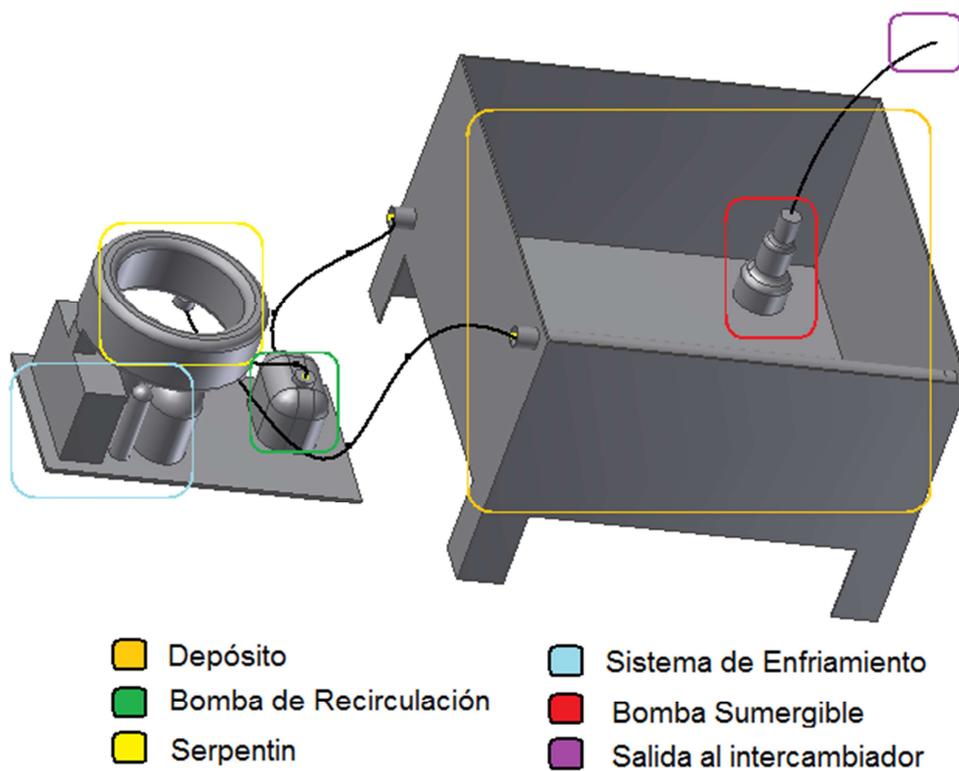
Fuente: Autor

Para enfriar el agua para la etapa del intercambio de la temperatura dentro de la doble camisa del lacto fermentador, se utiliza el sistema de enfriamiento que consiste en la recirculación del agua dentro de un serpentín.

El sistema de enfriamiento del agua es independiente, y para realizar el intercambio del agua desde el depósito de enfriamiento y la doble camisa del lacto fermentador se utiliza una bomba sumergible, que es controlada desde el PLC, dependiendo de las necesidades del sistema.

En la figura 2.04 se muestra el sistema de enfriamiento con sus partes correspondientes para la elaboración del yogurt.

Figura 2.04 –Sistema de Enfriamiento



Fuente: Auto

CAPÍTULO III.

DESARROLLO DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

En este capítulo se detallan todos los elementos que conforman parte del sistema de control para la automatización del depósito lacto fermentador.

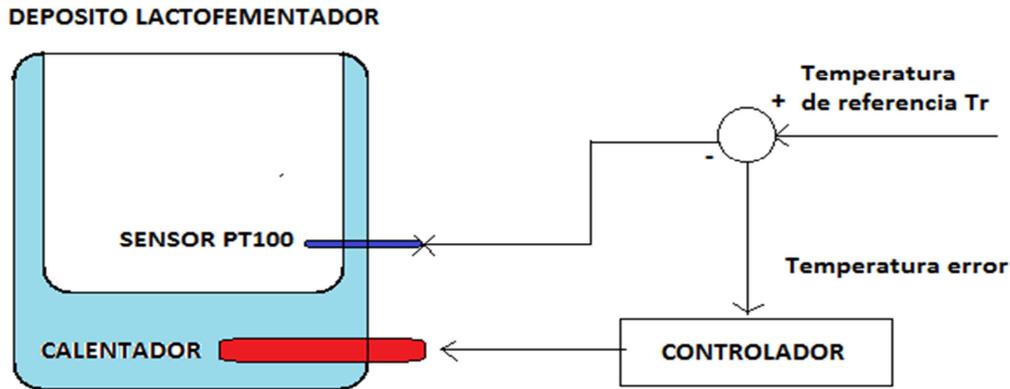
3.1 SISTEMA DE CONTROL

Para realizar la selección del sistema de control implica emplear una metodología de tres pasos:

- Definir las especificaciones de diseño. Determinar que debe hacer el sistema y como debe hacerlo
- Determinar la estructura del sistema de control y el tipo de controlador
- Determinar los parámetros del controlador para cumplir con las especificaciones de diseño.

La figura 3.01 muestra el control de temperatura del sistema físico del depósito Lactofermentador. El sensor PT100 mide la temperatura del depósito y la envía para ser comprobada con la temperatura de referencia T_r . El error de temperatura se envía al controlador. La salida del controlador da una señal eléctrica, la misma que controla la acción del calentador.

Figura 3.01 – Sistema físico del depósito lacto fermentador.

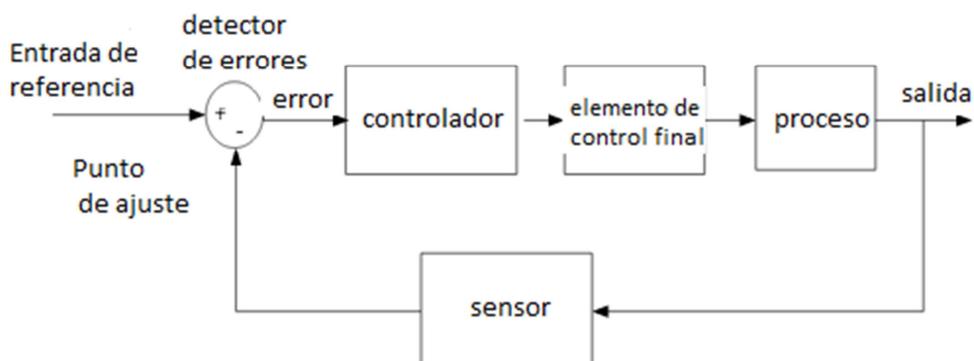


Fuente: Autor

La implementación del sistema de control es un lazo cerrado donde la variable de salida del proceso se mide (temperatura) y retroalimenta al controlador (PLC) quien determina el error de dicha medida con su valor de referencia y genera una acción que ejecuta el elemento de control final (calentador) para ajustar la variable de control al valor deseado

En la siguiente figura 3.02 se muestra el sistema.

Figura 3.02 – Diagrama de bloques.



Fuente: Autor

Para la selección del sistema de control se realizó el análisis del comportamiento del sistema, relacionando el incremento de la temperatura del producto con relación al tiempo hasta alcanzar la temperatura de pasteurización.

3.1.1 MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA

Para dimensionar y calcular las características de un sistema de control es necesario que se conozca la relación entre las señales de entrada y de salida de los bloques que lo constituyen. Esta relación se puede expresar como funciones de transferencia o como ecuaciones diferenciales. Existen dos formas básicas para obtener esta relación:

- Modelado teórico

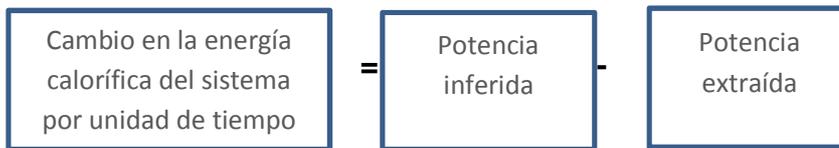
A partir de las leyes físicas se encuentra la función de transferencia

- Identificación experimental

A partir de diferentes experimentos prácticos se encuentra la función de transferencia

Nuestro modelo matemático se determinó con el modelado teórico que utiliza procesos en los cuales de manera sencilla se pueden llegar a las leyes físicas que relacionan las señales de entrada y salida.

El sistema de transferencia de calor del depósito Lacto fermentador es un sistema térmico, en el cual se intercambia energía calorífica con su medio ambiente, la ley básica para los sistemas térmicos es el balance de energía, esta nos dice que el cambio en la energía calorífica por unidad de tiempo es igual a la potencia inferida menos la extraída.



En forma matemática esta relación se escribe:

Ecuación 3.01 – Balance de energía

$$\frac{dE}{dt} = P_i - P_e \quad (3.1)$$

Cuando se utiliza la relación de balance de energía para sistemas sencillos se puede usar la relación de la energía calorífica de una cierta materia con la temperatura T.

Ecuación 3.02 – Relación de la energía calorífica.

$$E = T * V * c * \rho \quad (3.2)$$

E = energía calorífica de cierta masa

T = temperatura de cierta materia

V = volumen de cierta materia

C = capacidad térmica

ρ = densidad

Si se supone que el volumen V, la capacidad térmica c y la densidad son constantes se obtiene que:

$$V * c * \rho * \frac{dT}{dt} = P_i - P_e \quad (3.3)$$

Tanto la potencia inferida como la extraída pueden expresarse en función de la temperatura

$$P = T * Q * c * \rho \quad (3.4)$$

Donde Q es el flujo del fluido a tratar, es importante recalcar que tanto la capacitividad, como la densidad pueden estar en función de la temperatura y que en situaciones especiales (no lineales) existe intercambio de calor entre gases, por ejemplo entre agua y vapor.

En nuestro sistema se supone que en el tanque hay una buena mezcla por lo que existe la misma temperatura en todo el líquido.

La energía inferida en el tanque se extrae del balance

$$\frac{dE}{dt} = P_i - P_e$$

Dónde:

Energía calorífica del agua es:

Ecuación 3.03 – Energía calorífica del agua

$$E = T * V * c * \rho \quad (3.5)$$

La potencia térmica inferida del agua es:

Ecuación 3.04 – Potencia térmica inferida del agua

$$P_i = T_i * Q * c * \rho \quad (3.6)$$

La potencia térmica extraída del agua es:

Ecuación 3.05 – Potencia térmica extraída del agua

$$P_e = T * Q * c * \rho \quad (3.7)$$

Sustituyendo (5),(6) y (7) en (1) se tiene:

$$V * c * \rho * \frac{dT}{dt} = T_i * Q * c * \rho - T * Q * c * \rho \quad (3.8)$$

Dado que la capacitividad, el flujo y la densidad son constantes en el sistema del intercambiador del depósito Lactofermentador nos da:

$$V * \frac{dT}{dt} = T_i - T$$

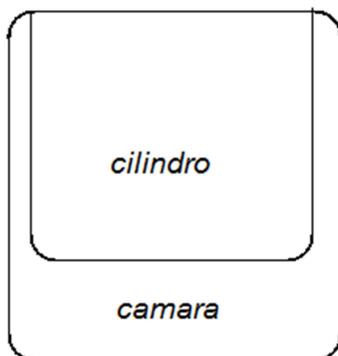
Al usar la transformada de Laplace, se obtiene:

$$V * sT(s) + T(s) = T_i(s)$$

Tomando T_i como la entrada y T como la salida se obtiene:

Ecuación 3.06 – Función de transferencia del sistema

$$G(s) = \frac{1}{1+Vs} \quad (3.9)$$



$$V_{\text{cámara}} = V_{\text{cubo}} - V_{\text{cilindro}}$$

Ecuación 3.07 – Volumen del cubo

$$V_{\text{cubo}} = l * l * l \quad (3.10)$$

$$V_{\text{cubo}} = 0.55m * 0.55m * 0.55m \quad (3.13)$$

$$V_{\text{cubo}} = 0.1663 \text{ m}^3$$

Ecuación 3.08 – Volumen del cilindro

$$V_{\text{cilindro}} = \pi * r^2 * h \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned}
 V_{cilindro} &= \pi * (0.2m)^2 * 0.42m \\
 V_{cilindro} &= 0.052 m^3 \\
 V_{camara} &= (0.1663 - 0.0527)m^3 = 0.113m^3 \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

Al sustituir (14) en (11), nos da una función de transferencia:

$$G(s) = \frac{1}{1 + 0.113s}$$

La función de transferencia del sistema es de primer orden, se realizó el análisis de polos y ceros del sistema en Matlab, a continuación se muestra el código utilizado.

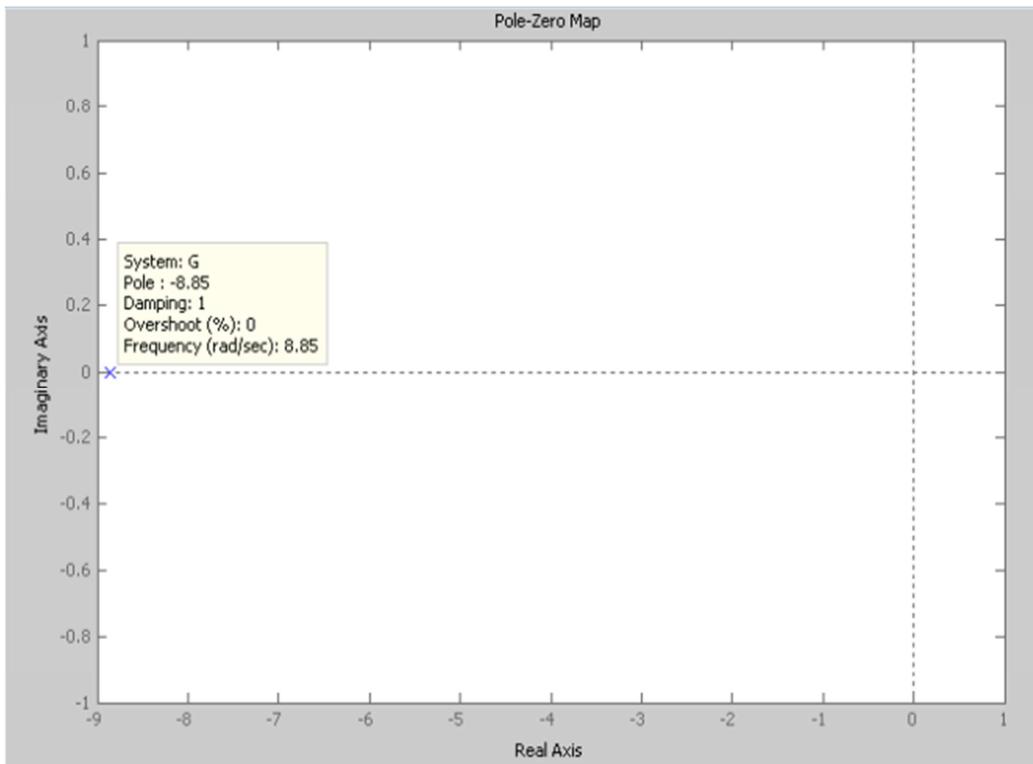
```

>> %-----ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO-----%
>> num=[1];          % numerador de la función de transferencia
>> den=[0.113 1];    % denominador de la función de transferencia
>> G=tf(num,den)     % obtenemos la función de transferencia
Transfer function:
    1
-----
0.113 s + 1

>> pzmap(G)         % obtenemos la gráfica los polos y ceros de la función de
transferencia

```

En la siguiente figura se muestra la ubicación de polos y ceros.

Figura 3.03 – Polos y ceros del sistema

Fuente: Autor

Se observa que el sistema solo tiene un polo, y este está ubicado a la izquierda del origen en el eje real, con lo cual se determina la estabilidad del sistema, por lo cual se elige un controlador simple, de fácil implementación y mantenimiento.

3.1.2 ANÁLISIS DEL MÉTODO ON – OFF CON HISTÉRESIS

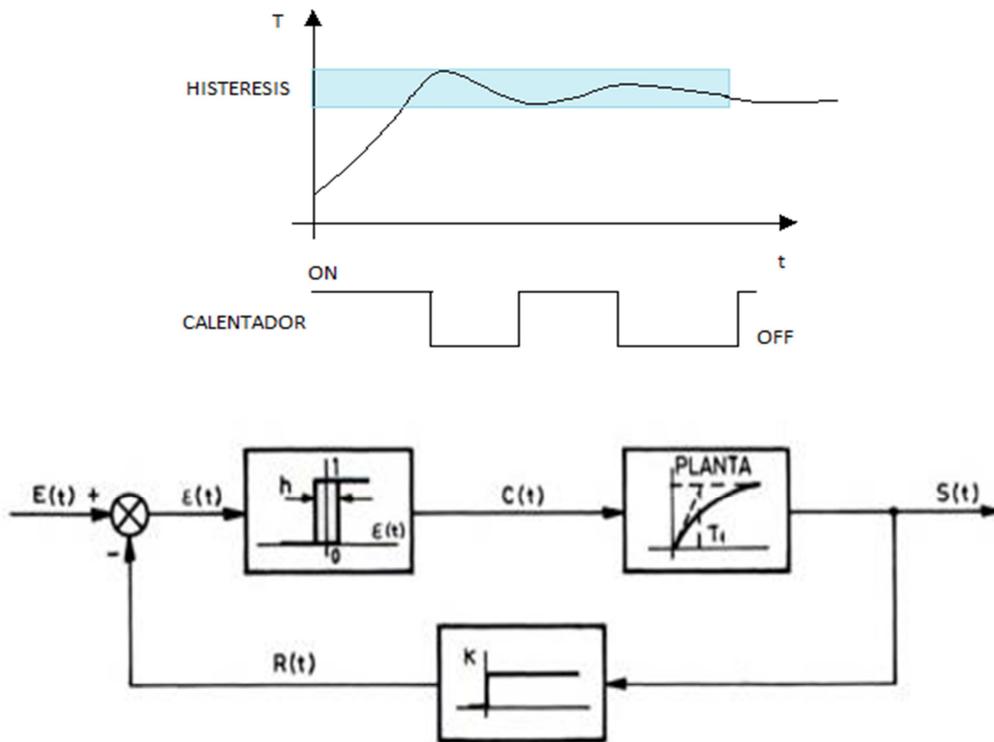
El método de control on-off, es la más simple y elemental forma de controlar una variable, es usada por casi todos los termostatos domésticos y sistemas de control de temperatura que posean una constante de tiempo muy grande.

En el depósito Lactofermentador la acción del control consiste en activar el mando del calentador cuando la temperatura está por debajo de la temperatura deseada y luego desactivarlo cuando la temperatura este por arriba.

Este método de control es conocido también como Todo-nada porque cuando se activa el calentador este trasfiere toda la potencia para calentar el deposito Lactofermentador y a su vez cuando se desactiva no hay transferencia de potencia.

En la implementación del sistema se considera un proceso de control on-off con histéresis que nos permite controlar de una manera adecuada la temperatura, en la siguiente figura se muestra el comportamiento de este sistema.

Figura 3.04 – Controlador ON-OFF con histéresis.



Fuente: Autor

La magnitud de la banda de histeris debe determinarse a partir de consideraciones tales como la precision requerida y la vida del componente, en la fabricación del yogurt se considera el comportamiento del sistema, el mismo que tiene una respuesta muy lenta con respecto al aumento de la temperatura.

Las ventajas de este sistema son:

- Es la forma mas simple de control
- Bajo precio de instalación
- Facil instalación y mantenimiento
- Amplia utilización en porcesos de poca precisión
- Tiene un simple mecanismo de construcción, por eso este tipo de controladores es de amplio uso, y mayormente son utilizados en sistemas de regulación de temperatura.

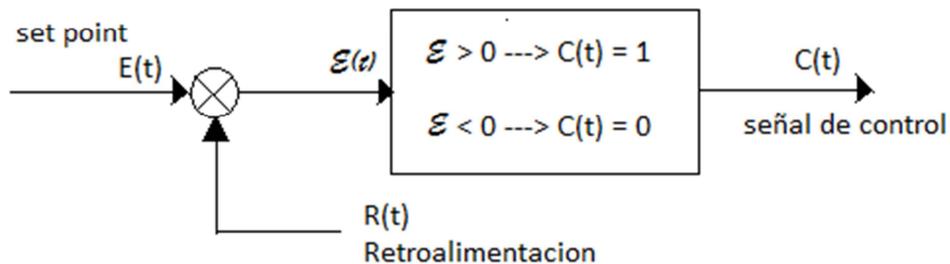
Las ecuaciones que expresan el comportamiento del sistema son las siguientes:

$$\mathcal{E}(t) = E(t) - R(t)$$

$$C(t) = 1 \text{ si } E(t) > R(t)$$

$$C(t) = 0 \text{ si } E(t) < R(t)$$

Figura 3.05 – Comportamiento del sistema



Fuente: Autor

3.1.3 PLC

La selección del Controlador Lógico Programable para la automatización del depósito Lactofermentador se realizó teniendo en cuenta el tipo de entradas y

salidas que necesita el sistema, a continuación se muestra una tabla con las necesidades y requerimientos del sistema

Tabla 3.01 – Requerimientos del Sistema

ENTRADAS		SALIDAS	
DESCRIPCIÓN	TIPO	DESCRIPCIÓN	TIPO
Parada de Emergencia	Digital	Calentador	Digital
Sensor de Nivel	Digital	Batidor	Digital
Batidor	Digital	Alarma Sonora	Digital
Falla Motor	Digital	Entrada de Agua	Digital
Sensor de Temperatura	Analógica	Bomba Sumergible	Digital
		Fin del Proceso	Digital

Fuente: Autor

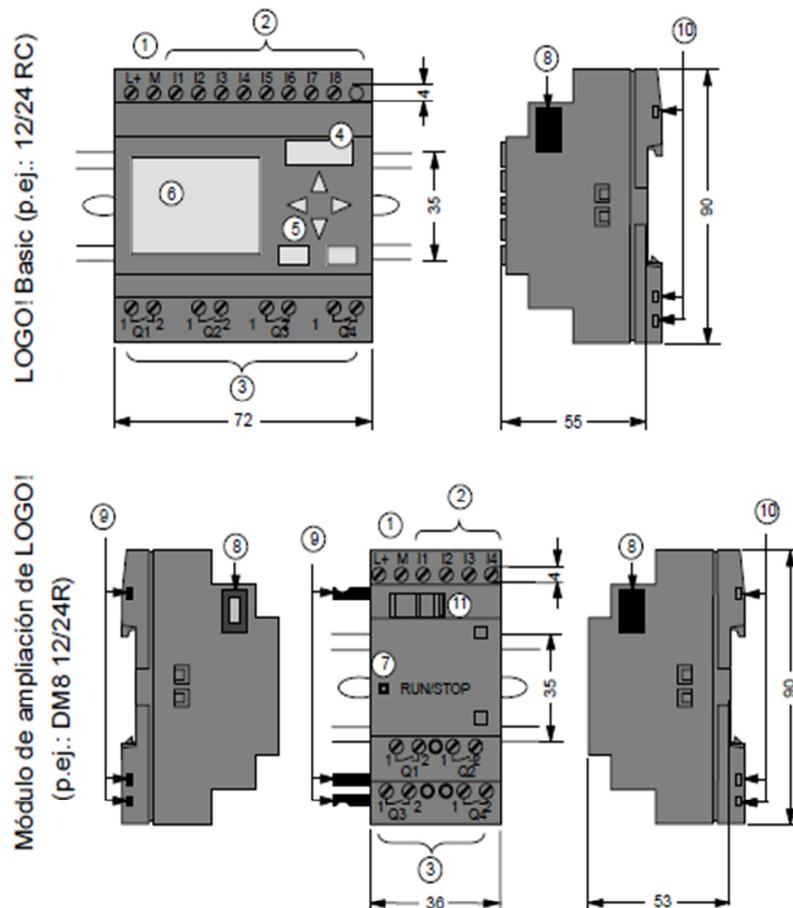
En la selección del PLC se consideró principalmente si cumple con los requerimientos del sistema y si su capacidad puede ampliarse para futuras modificaciones u ampliaciones.

Existe una gran variedad de PLC'S disponibles en el mercado, (Siemens, Telemecanique, AB, Festo, ABB, Omron, entre otros), en la automatización del depósito Lactofermentador se necesita contar con indicadores, y una pantalla que muestre todo el proceso para la fabricación del yogurt, por lo cual el PLC seleccionado será de Siemens por su flexibilidad, capacidad, costo e información disponible.

Siemens posee una gama de PLC denominados Logo! que pueden ser empleados en diferentes tipos de operaciones debido a que esta unidad y los módulos de ampliación de entradas y salidas permiten una adaptación muy flexible y precisa a cada aplicación especial.

El tipo de PLC Logo! de Siemens es 12/24RC (6ED1-1MD00-0BA6), ya que esta versión soporta la implementación de un HMI (Logo TD), que consiste en una pantalla para la visualización y el control del proceso de fabricación del yogurt, además este tipo de CPU soporta módulos específicos para realizar la medición de temperatura.

Figura 3.06 – Estructura del PLC LOGO! 12/24 RC



- | | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------------|
| ① Alimentación de tensión | ⑤ Panel de manejo (no en RCo) | ⑧ Interfaz de ampliación |
| ② Entradas | ⑥ Pantalla LCD (no en RCo) | ⑨ Codificación mecánica – pernos |
| ③ Salidas | ⑦ Indicación del estado RUN/STOP | ⑩ Codificación mecánica – conectores |
| ④ Receptáculo de módulo con revestimiento | | ⑪ Guía deslizante |

Fuente: Manual del Producto LOGO! de Siemens.

Especificaciones Técnicas:

- Módulo Básico con 8 entradas / 4 salidas integradas
- Posibilidad de expandir el LOGO! hasta 24 entradas digitales, 16 salidas digitales, 8 entradas analógicas y 2 salidas analógicas
- Módulos de expansión 4 entradas/4 salidas digitales, para DC 12/24 V y AC/DC 115, 230 V.
- Módulos de expansión 2 entradas análogas 0-10V ó 0-20mA.
- Módulos de expansión de 2 salidas analógicas para PT100.
- Módulos de expansión de 2 salidas analógicas de 0-10V.
- Programación sencilla e intuitiva directamente en el LOGO! o mediante PC con LogoSoft
- Programación en lenguaje de compuertas lógicas FBD o en lenguaje de contactos LADDER
- 8 funciones básicas con las cuales se puede obtener combinaciones de contactos NA y NC en serie o paralelo, así como inversores y conmutadores
- 28 funciones especiales entre las cuales se encuentran: retardo a la conexión, retardo a la desconexión, contadores adelante/atrás, relés de auto retención, generadores de impulsos, generador de salida aleatoria, switch de conmutación, comparador para señal análogo (para utilizar con LOGO! con entrada analógica o con módulos de expansión), función de reloj con programación semanal y anual, multiplexor analógico, etc.
- Reducido tamaño (72 x 90 x 55 mm) para el módulo básico.
- Montaje sobre riel DIN.
- Display para visualización del programa, parámetros y valores de proceso
- Salidas a relé libre de potencial⁷

⁷ Fuente: Lista de productos eléctricos industriales de Siemens.

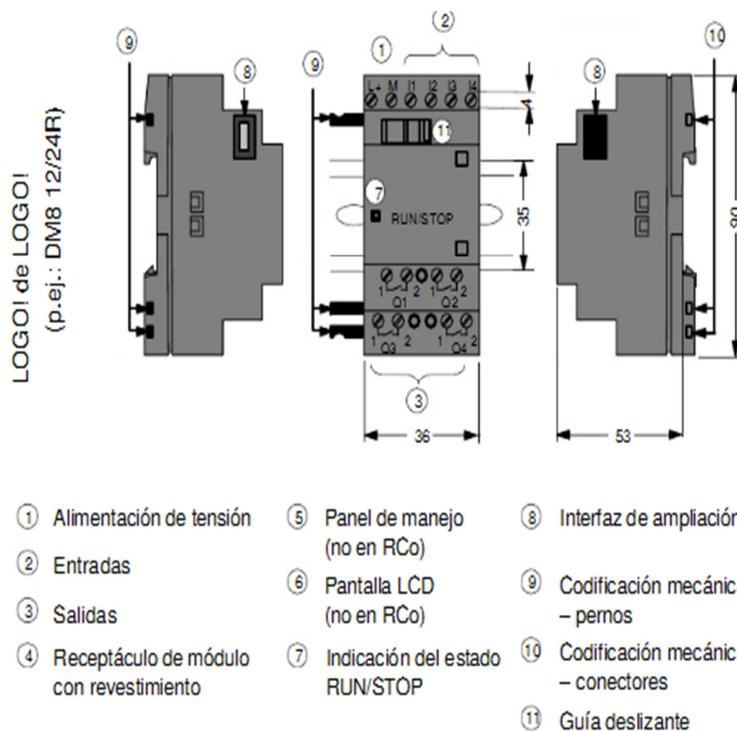
3.1.4 MÓDULOS DE EXPANSIÓN E IMPLEMENTOS

En la selección de los módulos de expansión para la implementación de la automatización Depósito Lactofermentador se consideró principalmente las características del sistema. Para la elaboración del yogurt, es necesario controlar varios elementos como son el agitador, parada de emergencia, on/off, alarma sonora, resistencia eléctrica, electroválvulas de entrada y salida de agua al interior del intercambiador, agitador.

El CPU cuenta con 4 salidas digitales y no abastece para controlar todos los dispositivos por lo cual se consideró al módulo DM8 12/24 R que posee entradas y salidas únicamente digitales.

3.1.4.1 Modulo de Entradas y Salidas Digitales DM8 12/24 R

Figura 3.07 – Estructura del Módulo DM9 12/24R



Fuente: Manual del Producto LOGO! de Siemens.

En la Tabla 3.01 se presenta las características generales del módulo de expansión DM8 12/24R.

Tabla 3.02 – Características del módulo de expansión DM8 12/24R ⁸

LOGO! DM8 12/24R	
Alimentación	12/24V DC
Entradas	4 digitales
Salidas	4 por relé, 5 ^a

Fuente: Autor.

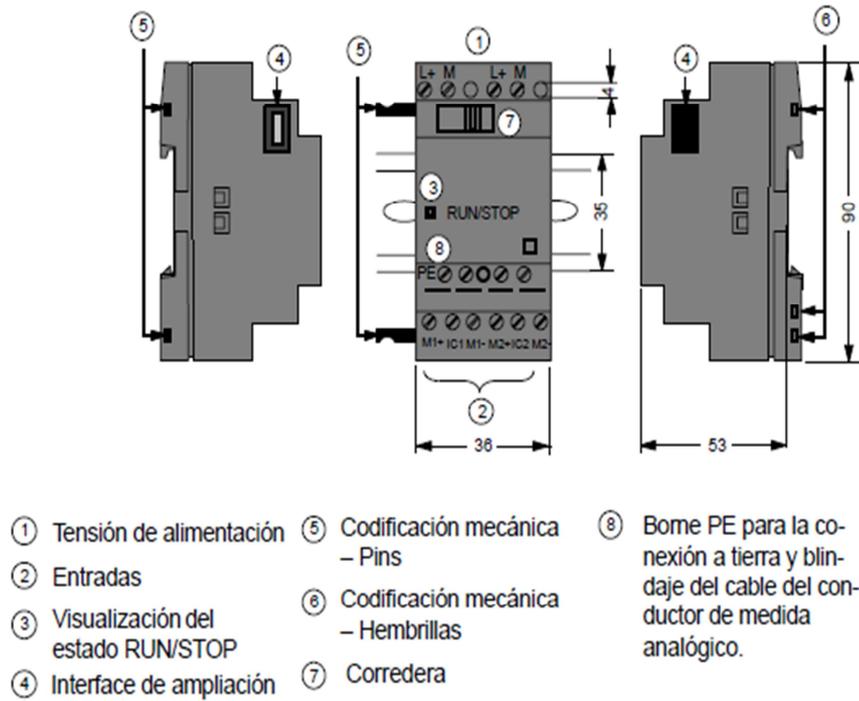
3.1.4.2 Módulo Analógico de expansión AM2 PT100.

El depósito Lactofermentador posee una sonda PT100 para la medición de la temperatura para el proceso de fabricación del yogurt

El módulo análogo AM2 PT100 es una expansión del controlador LOGO! que es utilizado para sensores PT100, El módulo presenta dos entradas, a cada una de las cuales se puede conectar una termo resistencia Pt100.

El módulo analógico de ampliación AM2 PT100 convierte el valor de resistencia de un termo-resistencia Pt100 conectada en el rango de temperaturas de –50 _C a +200 _C en pasos de medición de 1000.

⁸ Fuente: Manual del Producto LOGO! de Siemens.

Figura 3.08 – Estructura del Módulo Analógico AM2 PT100

Fuente: Manual del Producto LOGO! de Siemens.

En la Tabla 3.02 se presenta las características generales del módulo analógico de expansión AM2 PT100 para el LOGO! 12/24RC.

Tabla 3.03 – Características del módulo de expansión analógico AM2 PT100.

LOGO! AM2 PT100	
Suministro de corriente	
Tensión de entrada	12/24 V CC
Rango permitido	1,8 ... 15,6 V CC 20,4 ... 28.8V CC
Consumo de corriente	25 ... 50 mA
Compensación de fallos de tensión	Habitual 5ms
Potencia de pérdidas a	

<ul style="list-style-type: none"> • 12 V • 24V 	<p>0,3 ... 0,6 W</p> <p>0,6 ... 1,2 W</p>
Separación de potencial	No
Protección contra inversiones de polaridad	Si
Borne PE	Conexión a tierra y blindaje de cable del conductor de medida
Entradas de sensor	
Cantidad	2
Tipo	Termorresistencia Pt100
Conexión de los sensores <ul style="list-style-type: none"> • Técnica de dos conductores • Técnica de tres conductores 	<p>Si</p> <p>Si</p>
Rango de medida	<p>-50 °C ... +200 °C</p> <p>-58 °F ... +392 °F</p>

Fuente: Manual del Producto LOGO! de Siemens.

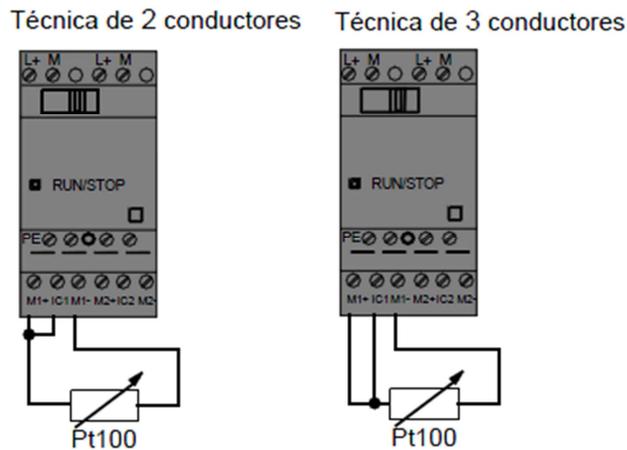
Es posible conectar un termo resistencia PT100 al módulo utilizando la técnica de conexión de dos o tres conductores.

Si se elige la técnica de conexión de dos conductores, deberá ubicar en el módulo una barra de cortocircuito entre los bornes M1+ e IC1 o M2+ e IC2. En este tipo de conexión no se corregirá la resistencia óhmica del error causado por el conductor de medida. Una resistencia de 1 Ω del conductor equivale a +2,5 °C de error de medida.

Con la técnica de conexión de tres conductores se evita que la longitud del conductor (resistencia óhmica) influya en el resultado de medida, en el sistema se realiza la conexión a tres conductores.

A continuación en la figura 3.04 se muestra las técnicas de conductores para el módulo de AM2 PT100

Figura 3.09 – Posibilidades de conexión de una termo resistencia Pt100



Fuente: Manual del Producto LOGO! de Siemens.

3.2 PROGRAMACIÓN PLC LOGO!

Para realizar la transmisión del programa realizado al PLC desde el computador se lo realiza mediante el software propio del fabricante SIEMENS LOGO! Soft Comfort, la versión de software es la V 6.0, ésta versión soporta un visualizador de texto.

Este módulo LOGO! TD (visualizador de textos) amplía las funciones de visualización y de la interfaz de usuario de LOGO! Basic. LOGO! Soft Comfort permite configurar la pantalla inicial, las teclas de función, textos de aviso y retroiluminación del módulo LOGO! TD. (SIEMENS, 2009)

El LOGO! Soft Comfort ofrece dos métodos para crear programas:

- Esquema de contactos (KOP)
- Diagrama de funciones (FUP)

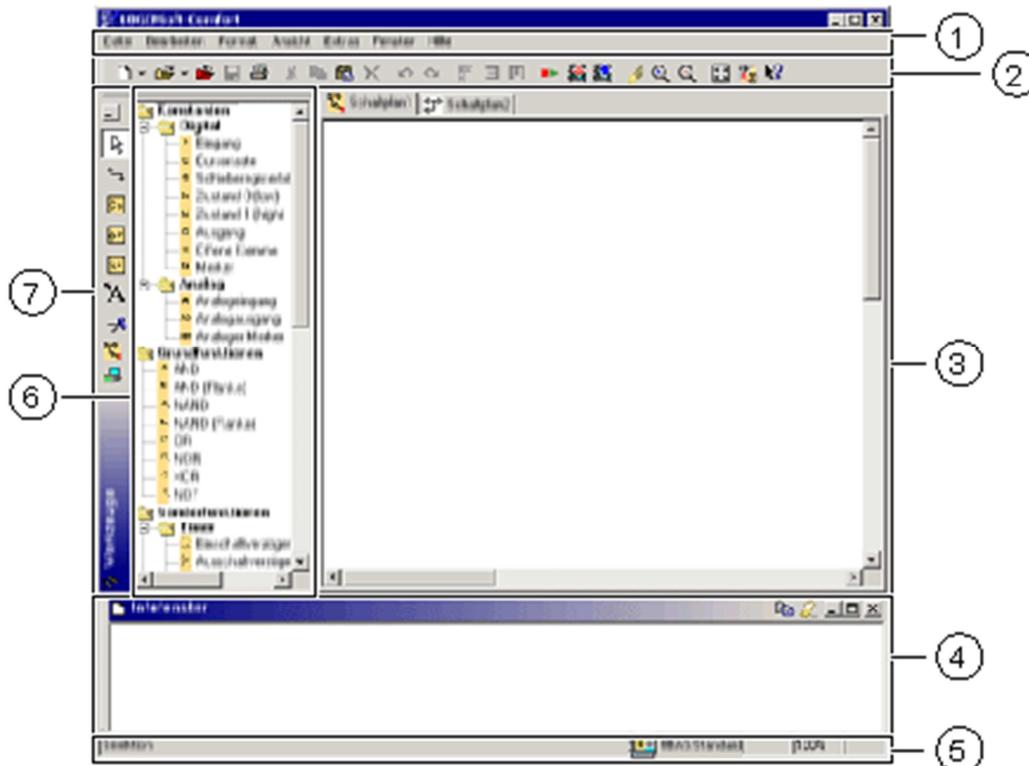
El método que se va utilizar es el diagrama de funciones FUP ya que mediante este, ayuda a que la programación sea más visible al momento de encontrar la lógica de interconexión.

3.2.1 INTERFAZ DE USUARIO Y ENTORNO DE PROGRAMACIÓN

La mayor parte de la pantalla la ocupa entonces el área dedicada a la creación de esquemas de conexiones. Esta área se denomina interfaz de programación. En la interfaz de programación se disponen los símbolos y enlaces del programa. (SIEMENS, 2009)

Para no perder la vista de conjunto, especialmente en el caso de programas grandes, en los extremos inferior y derecho de la interfaz de programación se dispone de barras de desplazamiento que permiten mover el programa en sentido horizontal y vertical. (SIEMENS, 2009)

Figura 3.10– Interfaz de la ventana de LOGO! Soft Comfort con el usuario



Fuente: Ayuda del programa LOGO! Soft Comfort V6

1. Barra de menús.
2. Barra de herramientas „Estándar“.
3. Interfaz de programación.
4. Ventana de información.
5. Barra de estado.
6. - Constantes y conectores.
 - Funciones básicas
 - Funciones especiales
7. Barra de herramientas. (SIEMENS, 2009)

3.2.2 HMI LOGO! TD

El LOGO! TD proporciona una interfaz hombre-máquina asequible para los constructores de equipos y sus clientes, incluso en los sistemas de control de relé más sencillos. Gracias a su display con funciones de operación integradas y mensajes de diagnóstico personalizados para el proceso, los usuarios finales podrán realizar ajustes y detectar fallos rápidamente.

Figura 3.11 – LOGO TD!



Fuente: Manual de usuario de SIEMENS

Características Generales

- Fuente de alimentación externa con 12/24 V DC
- Protocolo de comunicación RS – 485 con el controlador LOGO!
- Tiene 6 botones estándar del módulo básico de LOGO! mas 4 teclas de función como entradas adicionales
- Display retro iluminado de 4 líneas y de 32 caracteres por línea
- Retroiluminación automática de la pantalla ante determinados mensajes/gráficos
- Sencilla funcionalidad de grafico de barras
- Dimensiones de 128,2 x 86 x 38,7 mm

La pantalla Siemens LOGO TD! nos permitirá observar la temperatura, tiempos de pasterización, incubación, homogenización, batido y la fase en que se encuentra el proceso de fabricación del yogurt, permite también controlar el proceso y la adición de los ingredientes que intervienen en la fabricación.

Figura 3.12 – Estructura del HMI LOGO! TD



Fuente: Manual del Producto LOGO! de Siemens.

3.2.2.1 Configuración HMI

Para la configuración del LOGO! TD se realizan los siguientes ajustes:

Selección del juego de caracteres

Al crear un texto se puede seleccionar el juego de caracteres primario o secundario. Estos dos juegos de caracteres se seleccionan bien sea en el menú de configuración de avisos del LOGO! Soft Comfort mediante el comando menú en archivo y luego se selecciona configuración de textos de aviso. (SIEMENS, 2009)

Destino de aviso

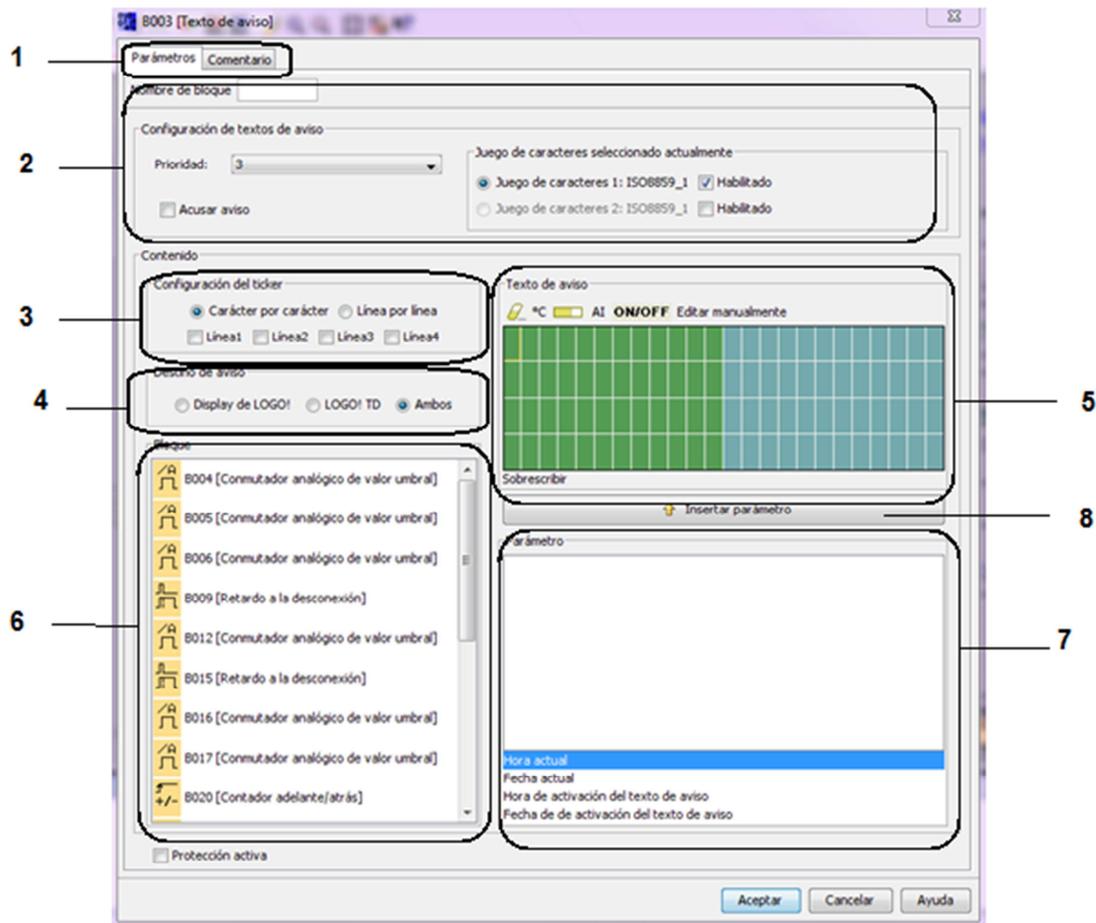
Aquí se selecciona si el texto de aviso se debe visualizar en la pantalla del LOGO! o en el HMI LOGO! TD o bien en ambos dispositivos. (SIEMENS, 2009)

Configuración del ticker

El texto de aviso puede visualizarse en un ticker (texto en movimiento) o de forma permanente. En el caso de los avisos de texto en movimiento, la velocidad del ticker determina que tan rápida o lenta debe desplazarse el texto por el display del LOGO! o por el HMI LOGO! TD. El valor se indica en milisegundos. (SIEMENS, 2009)

En la opción de la ventana de configuración se presenta las siguientes opciones para configurar el texto de aviso del HMI.

Figura 3.13 – Particularidades de la parametrización



Fuente: Autor

1. Área “Nombre de bloque”

En esta parte se puede introducir un nombre para el bloque del texto de aviso. (SIEMENS, 2009)

2. Área “Configuración”

Aquí se puede configurar los siguientes ajustes: Prioridad del texto de aviso Casilla de verificación “Acusar aviso”. Si está activada un aviso se debe acusar para poder cerrarlo. Juego de caracteres para el texto de aviso. (SIEMENS, 2009)

3. Área “**Ticker**”

Aquí se definen los parámetros del ticker para el texto de aviso: Formato del ticker “Carácter por carácter” Formato de ticker “Línea por línea” Casilla de verificación para activar el ticker de cada línea. (SIEMENS, 2009)

4. Área “**Destino de aviso**”

Aquí se selecciona si el texto de aviso debe visualizarse en la pantalla del LOGO! o en el HMI LOGO! TD, o bien en ambos dispositivos. (SIEMENS, 2009)

5. Área “**Avisos**”

En esta sección se configura el texto de aviso. La información introducida en esta área se visualiza en la pantalla seleccionada. (SIEMENS, 2009)

6. Área “**Bloques**”

En esta área se selecciona los bloques de entre todos los bloques del programa. Luego se puede seleccionar los parámetros de estos bloques para visualizarlos en el texto de aviso. (SIEMENS, 2009)

7. Área “**Parámetros de bloque**”

Aquí se selecciona los parámetros a visualizar en el texto de aviso, conforme al bloque seleccionado en el área “Bloque”. (SIEMENS, 2009)

8. Botón “**Insertar parámetro**”

Este botón se utiliza para insertar un parámetro de bloque seleccionado en el texto de aviso. (SIEMENS, 2009)

3.3 SENSORES

3.3.1 SENSOR PT 100

Figura 3.14 – Sensor PT100

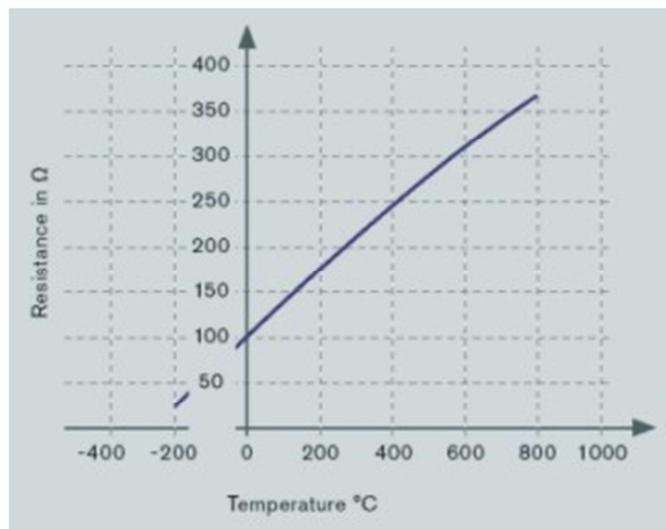


Fuente: http://www.tcdirect.co.uk/Default.aspx?level=2&department_id=230/18

El sensor PT100 tiene un valor óhmico par a 100 a una temperatura de 0°C y su coeficiente de variación es de 0,00385 ohm por °C. Ver anexo D

A continuación se muestra la curva característica de un sensor PT100

Figura 3.15 – Curva característica de resistencia de un sensor PT100



Fuente: <http://www.burkert.es/ESN/316.html>

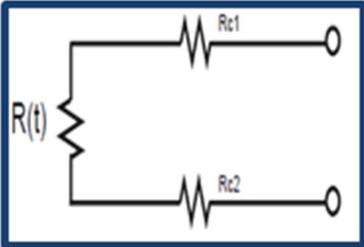
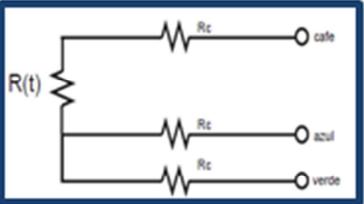
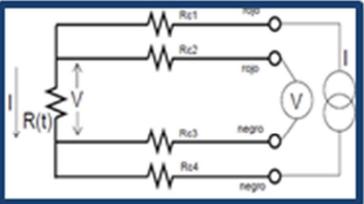
Un PT100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).

Los PT100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la PT100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor.

Existen 3 modos de conexión para los sensores PT100, cada uno de ellos requiere un instrumento de medición distinto.

En la tabla 1.03 se muestra los diagramas de conexiones posibles con sus respectivas características para un sensor PT100.

Tabla 3.04 – Conexiones de un sensor PT100

	<p>Conexion a 2 hilos</p> <ul style="list-style-type: none"> • es el modo mas sencillo (pero menos recomendado). • generan un error por la resistencia de los cables • usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia
	<p>Conexion a 3 hilos</p> <ul style="list-style-type: none"> • el modo mas conocido • resuelve bastante bien el problema generado por los cables • los 3 cables deben tener la misma resistencia.
	<p>Conexion a 4 hilos</p> <ul style="list-style-type: none"> • el método mas preciso de todos • los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia) • instrumento lector costoso

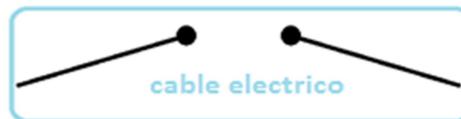
Fuente: Autor

El depósito lacto fermentador dispone del sensor PT100, es del tipo RTD, este

sensor de temperatura es estable, preciso, lineal, su rango de medición (-100 a 200 °C) abastece el proceso de fabricación para la elaboración del yogurt. La técnica de conexión utilizada es de 3 hilos ya que resuelve bastante bien el problema generado por los cables.

3.3.2. SENSOR DE NIVEL.

Figura 3.16– Sensor de Nivel



Fuente: Autor

Para poder determinar si el nivel del agua es el adecuado en el depósito del enfriador, se utiliza un sensor de nivel que simplemente son dos cables eléctricos separados una distancia para que al contacto con el agua envíen una señal al PLC, para que pueda dar inicio al proceso de fabricación del yogurt.

Se considera este tipo de sensor por ser de fácil implementación, costo, mantenimiento y por tener una respuesta muy rápida para enviar al PLC.

3.4 ACTUADORES

3.4.1 AGITADOR

El depósito Lactofermentador para la homogenización del producto dispone de un motor reductor o reductor de velocidad (SIREM R1C 225 F2 FC) de 70w que, nos permite homogenizar los ingredientes para obtener un buen producto.

Se debe considerar que la velocidad del agitador debe ser la correcta (30 - 40 rpm) para elaborar un producto de buena calidad y evitar que durante el

proceso de fabricación del yogurt la leche con sus ingredientes pierda su consistencia o se produzca un desuerado.

Figura 3.17 – Motor-reductor del depósito Lacto fermentador



Fuente: Autor

Para determinar si la potencia del motor abastece el proceso de fabricación del yogurt se realizó su respectivo análisis.

Tenido en cuenta la densidad de la leche, el volumen y la velocidad se procede con el siguiente análisis:

$$\rho = 1.023 \frac{kg}{litro}$$

$$V = 40 \text{ litros}$$

$$v = 30 - 40 \text{ rmp}$$

ρ = densidad de la leche

V = volumen del depósito máximo del lacto fermentador

v = velocidad del agitador

Radio del agitador =0.07m

Considerando el radio del agitador tenemos:

$$v = 30 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1\text{min}}{60\text{seg}} * \frac{2\pi}{1\text{rev}} * 0.07\text{m} = 0.2199 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \quad (3.13)$$

Calculamos la masa del producto.

Ecuación 3.09 – Masa del producto

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{1.023\text{kg}}{\text{litro}} * 40\text{litros} = 40.92\text{kg} \quad (3.14)$$

La fuerza total que debe ejercer el motor debe ser igual o superior al peso del producto más el peso del agitador 3kg de donde tenemos:

F = fuerza

p = peso

Ecuación 3.10 – Fuerza total que ejerce el motor

$$F = p = m * g$$

$$p = 40.92\text{kg} * \frac{9.8\text{m}}{\text{seg}^2} + 3\text{kg} * \frac{9.8\text{m}}{\text{seg}^2} = 430.416\text{N} \quad (3.15)$$

Como la fuerza va a actuar en el centro del eje, será dividido para dos por lo cual el cálculo de la potencia del motor será 216 N aproximadamente.

Ecuación 3.11 – Potencia necesaria del motor

$$P = F * v$$

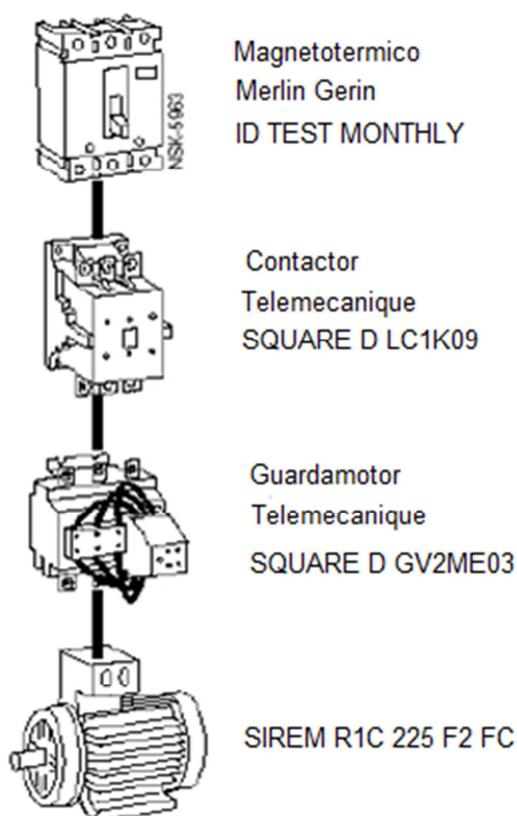
$$P = 216\text{N} * \frac{0.2199\text{m}}{\text{seg}} = 47.49\text{w} \quad (3.16)$$

La potencia del motor es de 70w y abastece el sistema para el agitador.

En la siguiente figura 3.17 se muestra el diagrama de conexiones de los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Las características se detallan en el ANEXO B.

Figura 3.18 – Diagrama de conexiones del agitador



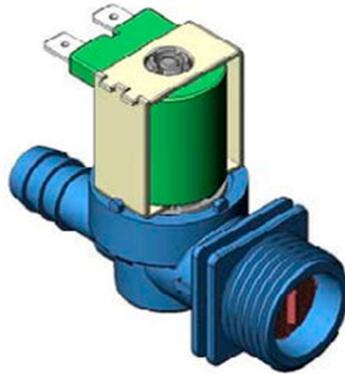
Fuente: Autor

3.4.2 ELECTROVÁLVULA

En la implementación del sistema la función que cumple la electroválvula es permitir la entrada del agua desde la red a la doble camisa del depósito Lacto fermentador, también permite el llenado del tanque de enfriamiento.

Las conexiones se realiza a 110 Vac

Figura 3.19 – Electroválvula de agua



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/delta-electronics-inc/electrovalvulas-para-agua-potable-19827-644291.html>

3.4.3 CALENTADOR

El deposito lacto fermentador posee un calentador de agua, básicamente son resistencias eléctricas sumergibles con un cabezal de conexión en el exterior, la potencia que indica el calentador es de 5400w a 400v ac.

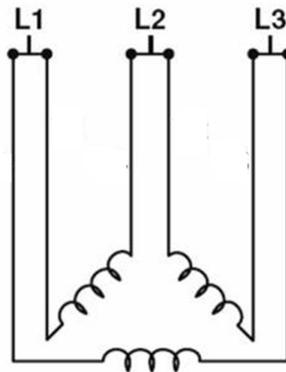
Figura 3.20 – Calentador de agua



Fuente: <http://www.venderya.es>

El diagrama de conexiones se presenta en la figura 3.20

Figura 3.21 – Diagrama de conexiones calentador



Fuente: Autor

3.4.4 BOMBA SUMERGIBLE

Para la selección de la bomba sumergible se realizó un análisis del balance de energía en el intercambiador, teniendo en cuenta los 40 litros de leche que debe enfriarse desde 85 °C hasta 42 ° C, cuando se ingresa agua en el intercambiador con una temperatura inicial de 18 °C.

Ecuación 3.12 – Balance de energía en el intercambiador

Calor cedido = Calor absorbido

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 \quad (3.17)$$

Q1 = Calor cedido por la leche

Q2 = Calor cedido por el acero inoxidable

Q3 = Calor cedido por el agua del intercambiador

Q4 = Calor absorbido por el agua del depósito del enfriador

Leche: Cede calor

Volumen leche V = 40 litros

Densidad leche $\rho = 1.023\text{kg/litro}$

Temperatura inicial $T_1 = 85\text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura final $T_f = 42\text{ }^\circ\text{C}$

Para determinar el calor específico en el alimento se utiliza la siguiente relación:

Ecuación 3.13 – Calor específico en el alimento

$$\text{Calor específico } C_p = 0.2 + 0.8x$$

Donde x es la fracción del agua en el alimento, si consideramos que la composición de la leche es 12% sólidos totales y 88% de agua tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Calor específico de la leche } \quad C_p &= 0.2 + 0.8 * 0.88 \\ C_p &= 0.904\text{Cal/gr}^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Ecuación 3.14– Masa de la leche

$$\begin{aligned} m &= \rho * V \\ m &= \frac{1.023\text{kg}}{\text{litro}} * 40\text{litros} = 40.92\text{kg} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Ecuación 3.15– Calor cedido por la leche

$$\begin{aligned} Q_1 &= m * C_p * (T_1 - T_f) \\ Q_1 &= 40920\text{gr} * \frac{0.904\text{cal}}{\text{gr}^\circ\text{C}} * (85 - 42)^\circ\text{C} \\ Q_1 &= 1590642.24\text{ cal} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Acero Inoxidable: cede calor

Densidad acero inoxidable $\rho = 7850\text{ kg/m}^3$

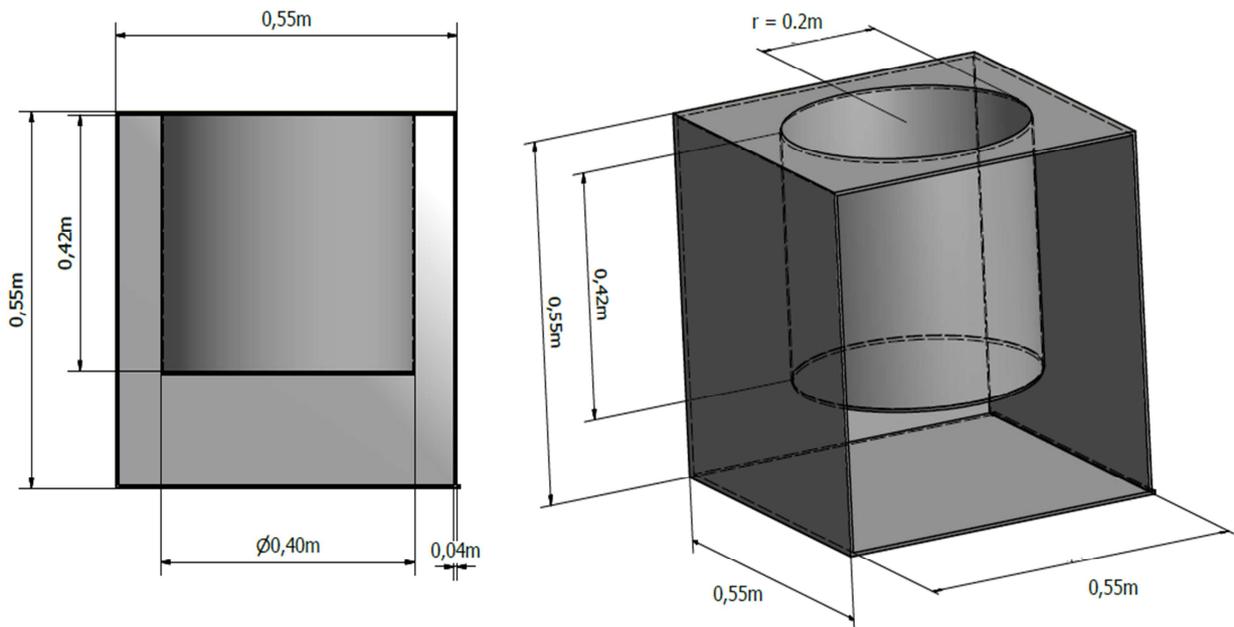
Calor específico del acero inoxidable $C_p = 0.12\text{ cal/gr}^\circ\text{C}$

Temperatura inicial $T_1 = 85\text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura final $T_f = 42\text{ }^\circ\text{C}$

En la figura 3.20 se muestra las dimensiones del depósito Lacto fermentador, se debe calcular el volumen total que ocupa el acero para encontrar su masa.

Figura 3.22 –Dimensiones del depósito lacto fermentador



Fuente: Autor

Ecuación 3.16 – Volumen de la pared del cubo

$$V1 = 0.55m * 0.55m * 0.04m = 0.0121m^3 \quad (3.21)$$

Ecuación 3.17 – Volumen total del cubo

$$V2 = 6 * V1 = 6 * 0.0121m^3 = 0.0726m^3 \quad (3.22)$$

Ecuación 3.18 – Volumen lateral del cilindro

$$V3 = 2 * \pi * r * h * e \quad (3.23)$$

$$V3 = 2 * \pi * 0.2m * 0.42m * 0.04m = 0.021m^3$$

Volumen del acero inoxidable = Volumen total del cubo + Volumen lateral del cilindro

$$V = 0.0726m^3 + 0.021m^3 = 0.0936m^3 \quad (3.24)$$

Calculamos la masa del acero inoxidable:

Ecuación 3.19 – Masa del acero inoxidable

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{7850kg}{m^3} * 0.0936m^3 = 734.76kg \quad (3.25)$$

Ecuación 3.20 – Calor cedido por el acero inoxidable

$$Q2 = m * Cp * (T1 - Tf)$$

$$Q2 = 734760gr * \frac{0.12cal}{grC} * (85 - 42)C$$

$$Q2 = 3791361.6 cal \quad (3.26)$$

Agua del intercambiador: cede calor

Densidad agua $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Calor específico del acero inoxidable $Cp = 1 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$

Temperatura inicial $T1 = 85 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura final $Tf = 42 \text{ }^\circ\text{C}$

Considerando las dimensiones de la figura 3.20 se calcula el volumen de la cámara del intercambiador.

Ecuación 3.21 – Volumen de la cámara del intercambiador

Volumen de la cámara $V = \text{volumen del cubo} - \text{volumen del cilindro}$

$$V = 0.55m * 0.55m * 0.55m - \pi * 0.2^2 * 0.42$$

$$V = 0.1663m^3 - 0.052m^3 = 0.1135m^3 \quad (3.27)$$

Calculamos la masa del agua de la cámara.

Ecuación 3.22 – Masa del agua de la cámara

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{1000kg}{m^3} * 0.1135m^3 = 113.5kg \quad (3.28)$$

Ecuación 3.23 – Calor cedido por el agua de la cámara

$$Q3 = m * Cp * (T1 - Tf)$$

$$Q3 = 11350gr * \frac{1cal}{grC} * (85 - 42)C$$

$$Q3 = 4880500 cal \quad (3.29)$$

Agua del depósito del enfriador: absorbe calor

Se debe calcular la cantidad de agua necesaria para descender la temperatura de 85 a 42 °C

$$m = ?$$

$$T1 = 18 °C$$

$$Tf = 42 °C$$

Ecuación 3.24 – Calor absorbido por el agua del enfriador

$$Q4 = m * Cp * (42 - 18)C$$

$$Q4 = m * \frac{1cal}{grC} * (24)C$$

$$Q4 = m * 24 \quad (3.30)$$

Remplazamos (20), (26), (29) y (30) en (17) de donde tenemos:

Calor cedido = Calor absorbido

$$Q1 + Q2 + Q3 = Q4$$

$$1590642.24 cal + 3791361.6 cal + 4880500 cal = m * 24$$

$$10262503.84 = m \cdot 24 \quad (3.31)$$

$$m = 427604.3 \text{ gr} = 427.60 \text{ kg} \quad (3.32)$$

Con la masa obtenida se determina el volumen de agua.

Ecuación 3.25 – Volumen del agua

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{427.60 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.42 \text{ m}^3 \quad (3.33)$$

Para el cálculo del caudal Q se considera el tiempo de 8 min, para el descenso de la temperatura

Ecuación 3.26 – Caudal de la bomba

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

$$Q = \frac{0.42 \text{ m}^3}{8 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 3.15 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (3.34)$$

La bomba sumergible es LEPONO XKS-400P con un caudal máximo de $9 \text{ m}^3/\text{h}$, se seleccionó esa bomba ya que en el mercado no se encontró de un menor caudal.

3.5 INDICADORES Y OTROS.

Para la implementación del sistema para la fabricación del yogurt en el depósito lacto fermentador se utilizara indicadores visuales y sonoros los mismos que se detallan a continuación.

3.5.1 INDICADOR LUMINOSO

En la implementación del sistema un indicador de este tipo, representara el correcto funcionamiento de la máquina y nos advertirá de alguna anomalía en el sistema.

Figura 3.23 – Indicador luminoso



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/gewiss/indicadores-luminosos-12320-511591.html>

3.5.2 INDICADOR ACÚSTICO

En sistema de control del depósito lacto fermentador nos indicará cuando cada etapa del proceso hay finalizado, es una advertencia para continuar con la siguiente etapa de la fabricación.

Figura 3.24 – Indicador acústico



Fuente: Productos y Servicios -Schneider Electric

3.5.3 PARADA DE EMERGENCIA

Los dispositivos de parada de emergencia deben ser instalados en todas aquellas máquinas en las cuales existan peligros de tipo mecánico durante las condiciones normales de trabajo.

La función principal del dispositivo de parada de emergencia es la de parar la máquina lo más rápidamente posible, es un auxiliar de mando dispuesto en el circuito auxiliar de modo que, al ser accionado, todos los circuitos que puedan originar peligro queden desconectados

Figura 3.25 – Parada de emergencia



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/idec-usa/botones-pulsadores-de-parada-de-emergencia-16475-643372.html>

3.5.4 GABINETE PLÁSTICO

Todos los dispositivos utilizados para la instalación que conforman el sistema de control del depósito lacto fermentador irán ubicados dentro de un gabinete plástico de 600 x 500 x 200 mm que los protege de la humedad y el polvo.

Generalmente en las industrias lácteas realizan la limpieza de los equipos con abundante agua directamente sobre las máquinas, por tal razón el gabinete plástico protegerá a todos los dispositivos que conforman el sistema de control,

Figura 3.26– Gabinete Plástico.



Fuente:

http://www.inmaelectro.com/productos/22/volto/10/gabinetes/1/gabinetes_metalicos/155/gabinete_metalico_tbl_1663_medidas_600x600x250/

CAPÍTULO IV.

IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y ANÁLISIS

Este capítulo considera todas las conexiones, esquemas eléctricos, programación, calibración de los elementos que conforman la automatización del depósito lacto fermentador.

4.1 IMPLEMENTACIÓN

4.1.1 DIAGRAMA DE CONTROL

A continuación se muestra la interacción entre el proceso de fabricación del yogurt y el depósito lacto fermentador.

Tabla 4.01 – Interacción del proceso de fabricación

ELABORACIÓN DEL YOGURT	LACTOFERMENTADOR
Limpieza de la maquinaria y planta	
Revisión de los ingredientes	
Recepción de materia prima	
Tratamiento preliminar de la materia prima	
Determinar la densidad de la leche	
Calcular la cantidad de cada ingrediente	
Adición de leche y azúcar al lacto fermentador	
	Puesta en marcha
	Presionar F1 "Elaboración del yogurt"
	Llenado de la doble camisa y depósito de enfriamiento de agua
	Sensor de nivel envía señal al PLC
Pasterización	
	Control de temperatura hasta 85°C
	Mantener temperatura durante 15 min
	Bombear agua del depósito de enfriamiento

	Bajar temperatura a 42-43 °C
Inoculación e incubación	
	Presionar F2 "Continuar"
Prueba visual y de consistencia del producto	Mantener la temperatura a 42-43 °C de 3 - 4 horas
	Presionar F3 " Continuar"
Enfriamiento	
	Bombear agua del depósito de enfriamiento
	Bajar temperatura a 12 °C
Adición de fruta, perseverantes y colorantes	
	Presionar F4 " Continuar"
Batido	
	Homogenizar la mezcla
Envasado	
Fin proceso	

Fuente: Autor.

4.1.1.1 Distribución de Entradas y Salidas del PLC

Es necesario determinar las conexiones entre los elementos del PLC, para designar a cada elemento una entrada o salida según sea su función, en la tabla 4.02 que se muestra a continuación se detalla las entradas y salidas designadas a cada elemento, es importante tener en cuenta esta designación para poder realizar el software y hacer una correcta instalación.

Tabla 4.02 – Distribución de entradas y salidas

Descripción	Tipo	Módulo	Designación
Parada de Emergencia	Digital	LOGO!12/24 RC	I1
Sensor de Nivel	Digital	LOGO!12/24 RC	I2
Contactador NA - Batidor	Digital	LOGO!12/24 RC	I3

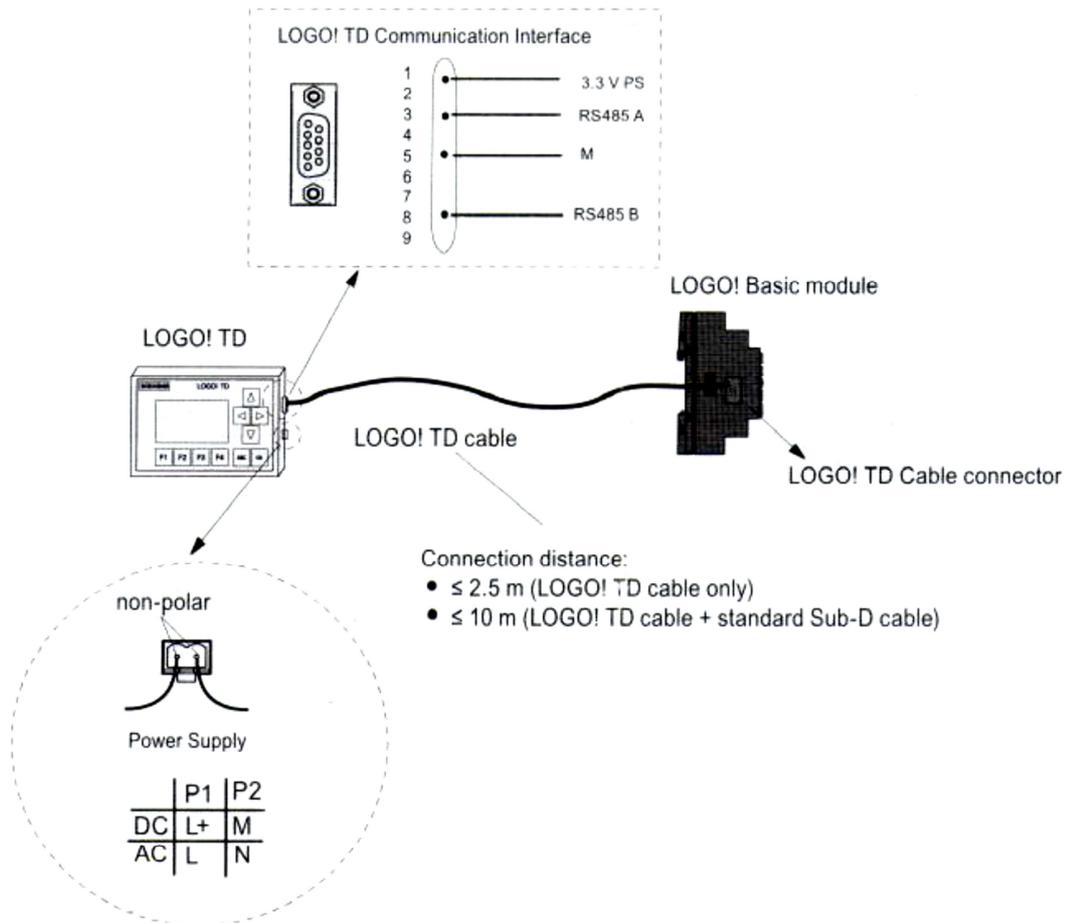
Falla Motor	Digital	LOGO!12/24 RC	I4
Calentador	Digital	LOGO!12/24 RC	Q1
Batidor	Digital	LOGO!12/24 RC	Q2
Alarma Sonora	Digital	LOGO!12/24 RC	Q3
Electroválvula	Digital	DM8	Q5
Bomba Sumergible	Digital	DM8	Q6
Fin del proceso	Digital	DM8	Q7
Sensor PT100	Análoga	AM2 PT100	AI3

Fuente: Autor.

4.1.1.2 Conexión HMI LOGO! TD

La pantalla LOGO! TD se comunica mediante el PLC por un protocolo de comunicación RS-485, en las versiones superiores 0BA6 de los CPU del PLC LOGO! traen incorporado una entrada de comunicación, la pantalla LOGO TD! requiere de una fuente de alimentación externa de 12/24VDC a continuación se muestra los diagramas de conexión entre el PLC LOGO! y la pantalla LOGO! TD.

Figura 4.01 – Esquema de Conexión LOGO! TD



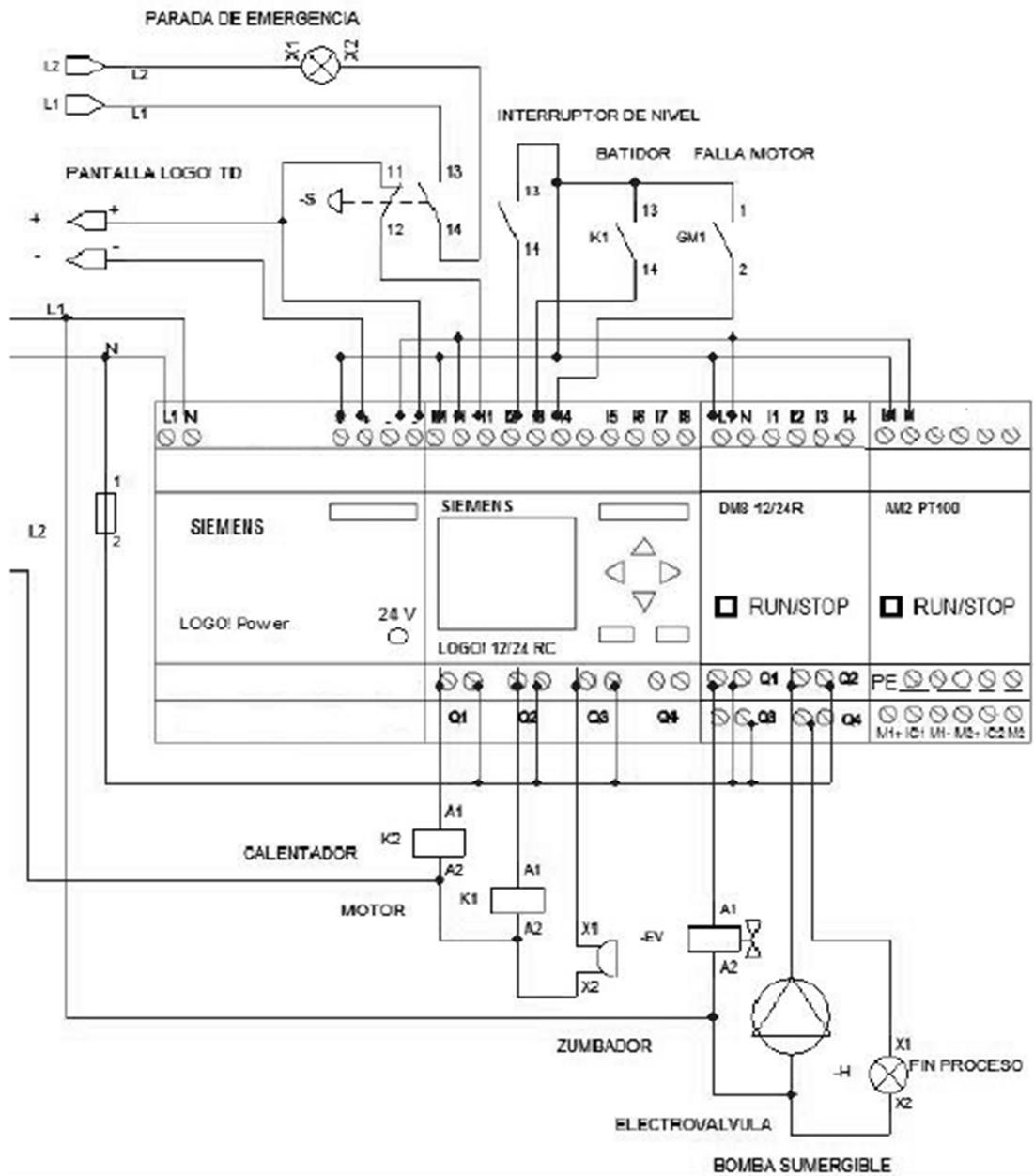
Fuente: Autor

4.1.1.3 Conexión del PLC LOGO!

El PLC LOGO! 12/24 RC necesita de una fuente de alimentación al igual que la pantalla LOGO! TD, la alimentación de estos componentes se lo realiza con una fuente LOGO! POWER que suministra 24 VDC.

En la figura 4.02 se muestra el diagrama completo de conexiones del PLC con los distintos componentes del sistema de control

Figura 4.02 – Conexión PLC 12/24 rc Y LOGO! TD



Fuente: Autor

En el diagrama de potencia la figura 4.03 indica los siguientes componentes:

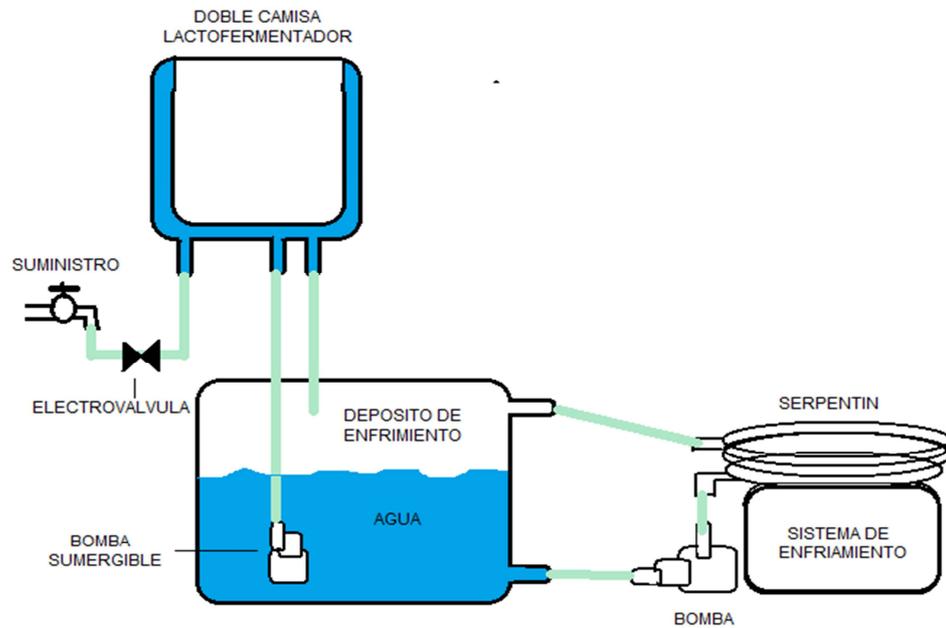
- ON/OFF -- Interruptor de encendido
- ID – Interruptor Diferencial
- I1 -- Interruptor para el circuito de fuerza
- I2 -- Interruptor para la fuente del PLC LOGO! POWER
- K1 -- Contactor del agitador
- GM1 – Guarda-motor del batidor
- M – Motor (batidor)
- P1 – Luz piloto batidor
- P2 – Luz piloto fallo Motor
- K2 – Contactor del Calentador
- P3 – Luz piloto del calentador

4.1.1.5 Conexión del enfriador

En la figura 4.04 se muestra las partes y conexiones del enfriador para cumplir con una fase del proceso para la fabricación del yogurt, es necesario enfriar agua para bombear al interior de la doble camisa del depósito Lactofermentador cuando el proceso de fabricación lo requiera.

Se debe considerar que el sistema de enfriamiento para el agua es independiente de la automatización del depósito Lactofermentador, ya que no es utilizado únicamente para la fabricación del yogurt, los estudiantes utilizan para realizar otros productos.

Figura 4.04 -- Enfriador del agua



Fuente: Autor

4.1.2 DIAGRAMA DE FLUJOS

Es una representación gráfica de los procesos, y son parte fundamental para una correcta programación.

4.1.2.1 Análisis del software

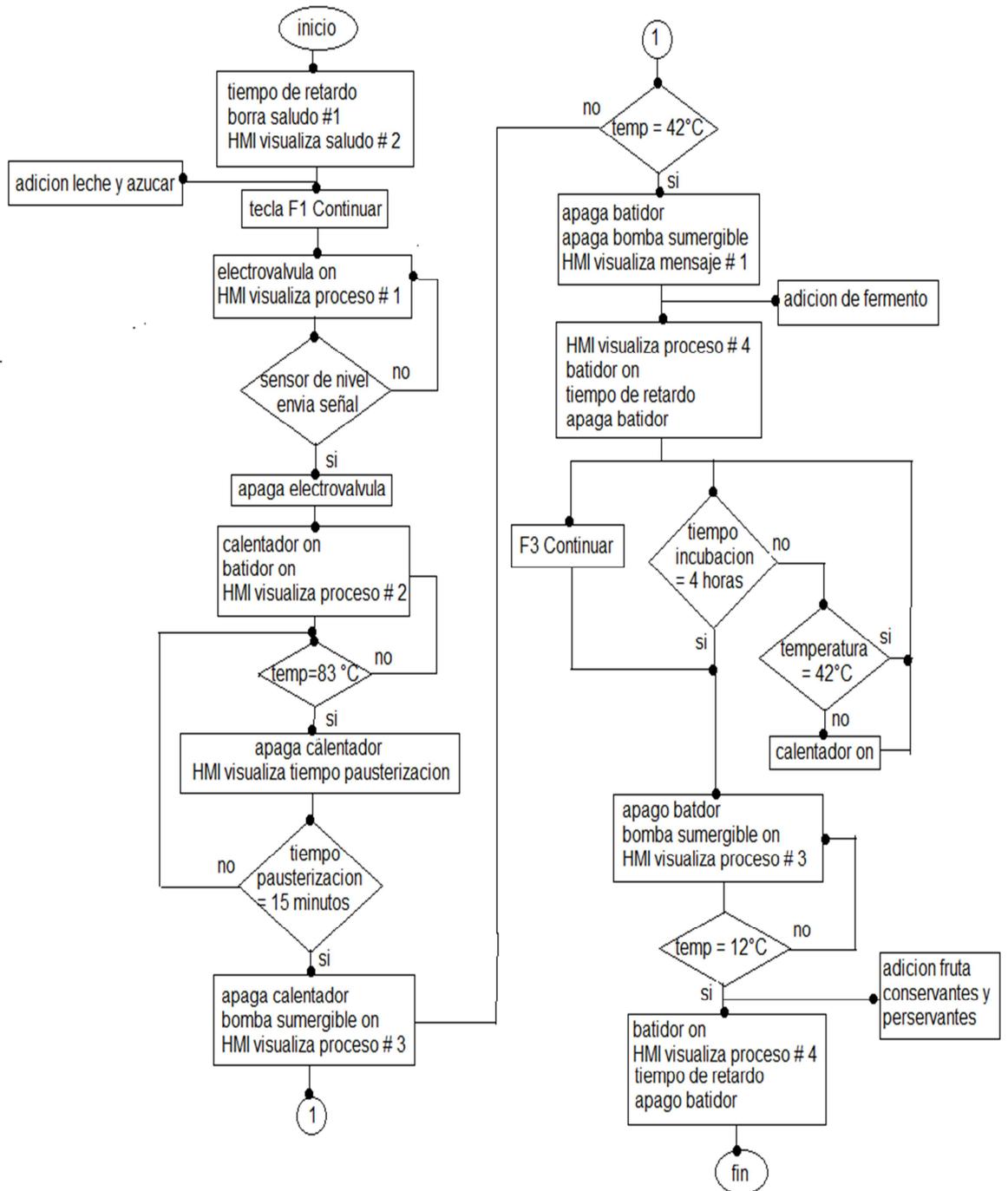
Es importante analizar las variables y realizar una planificación para ejecutar el proceso, además permitiendo obtener la menor cantidad de errores y generar un correcto desempeño en la aplicación, detallando el proceso:

- Encender el sistema
- Selección elaboración del Yogurt
- Adición de leche y azúcar al lacto fermentador
- Llenado de la doble camisa y depósito de enfriamiento del agua
- Sensor de nivel envía señal al PLC
- Pasterización
- Control de temperatura hasta 85°C por 15 min
- Enfriamiento hasta 42 – 43 °C
- Inoculación y incubación (adición del fermento) de 3 -4 horas
- Enfriamiento hasta 12 °C
- adición de fruta, preservantes y colorantes
- Batido
- Envasado

4.1.2.2 Estructura del diagrama de flujo

Con el análisis realizado del desarrollo del software, se continúa con el diseño del diagrama de flujo para facilitar la programación del PLC.

Figura 4.05 – Diagrama de flujo del sistema de control

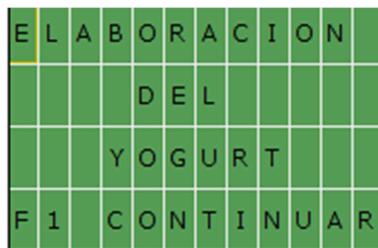


Fuente: Autor

Figura 4.07 – Pantalla de bienvenida

Fuente: Autor

Después del tiempo de retardo de 5 segundos que comanda el bloque B033 el mensaje en la pantalla cambia, para seleccionar con la tecla de función F1 Continuar. Para comenzar con el proceso de fabricación del yogurt.

Figura 4.08 – Pantalla Continuar

Fuente: Autor

Al presionar la tecla de función F1 entra en funcionamiento la salida Q5 (electroválvula), en la pantalla LOGO! TD se muestra el mensaje del proceso # 1, hasta que el sensor de nivel I2 de contacto NO (normalmente abierto) envíe la señal al PLC,

Figura 4.09 – Pantalla proceso # 1

Fuente: Autor

Si existe alguna anomalía en el proceso de fabricación o es necesario detener el proceso, en la entrada I1 está ubicada el paro de emergencia con un contacto NC que desactiva a todos los componentes que están en funcionamiento, en la pantalla LOGO! TD se muestra el mensaje.

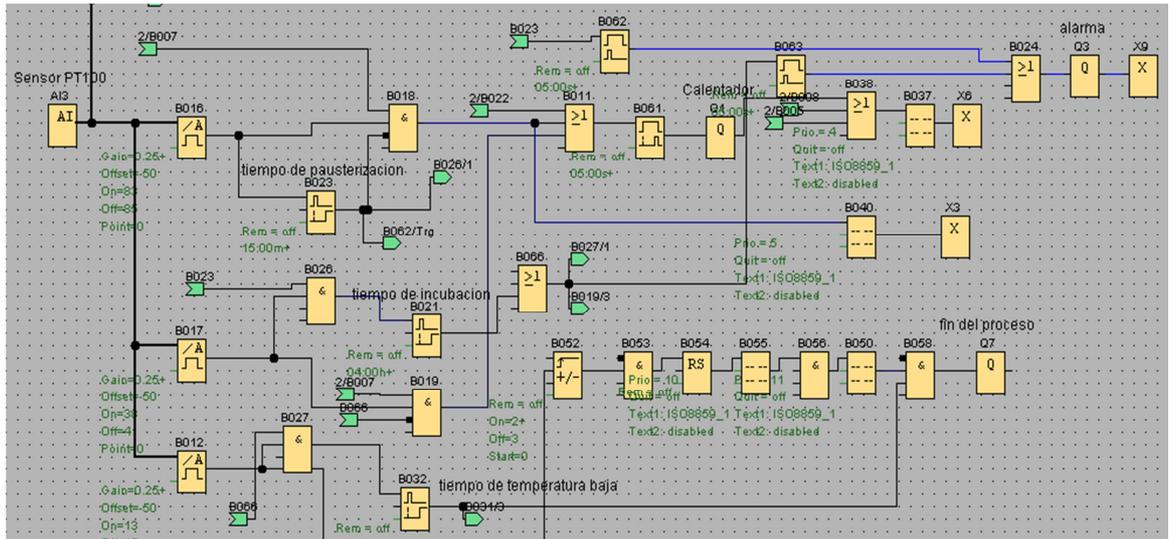
Figura 4.10 – Parada de emergencia.

Fuente: Autor

4.1.3.2 Etapa del calentador

La etapa del calentador permite determinar en qué condiciones se produce su activación, el sensor PT100 está conectado en el módulo AM2 PT100, y su configuración en el sistema es la entrada analógica 3 AI3, este módulo de siemens auto configura la señal, la configuración en el programa para el sensor se muestra en el punto 4.2.1 de este capítulo. El calentador se encuentra en la salida Q1 y actúa dependiendo del proceso en el que se encuentre.

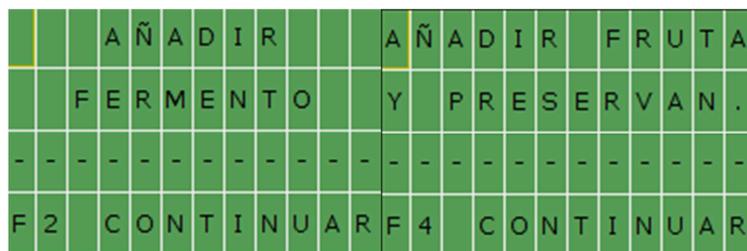
Figura 4.11 – Etapa del calentador



Fuente: Autor

Los bloques B016, B017, B012 son conmutadores analógicos de valor umbral, las configuraciones de estos bloques son ON-83 /OFF-85 (Pausterización), ON-38 /OFF-42 (Incubación), ON-11 /OFF-12 (Batido) respectivamente, se debe considerar que en los rangos de activación de estos bloques la salida Q1 se activa, en la pantalla LOGO! TD tambien se muestra un mensaje dependiedo la activacion de estos bloques para la adición de los ingredientes en la fabricacion del yogurt como son el fermento para la incubación, las frutas y perservantes para el proceso del batido.

Figura 4.12 – Pantalla adición de ingredientes

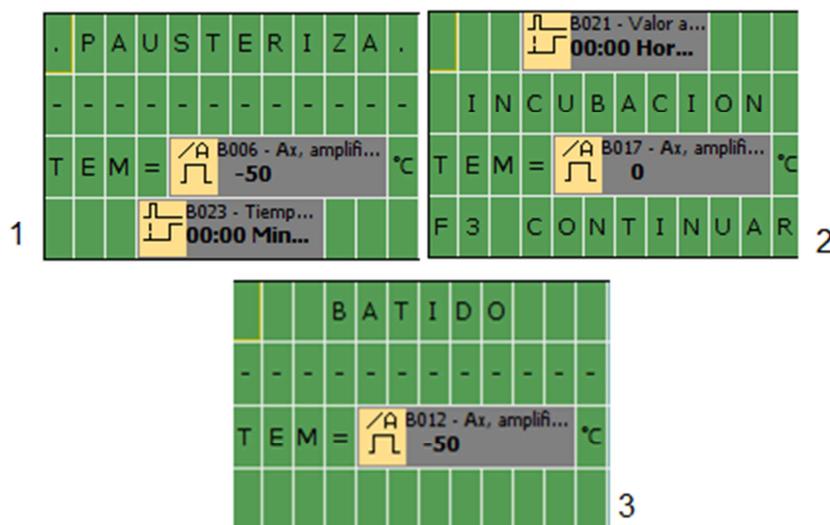


1. incubación, 2 Batido

Fuente: Autor

Los bloques para la configuración de los tiempos de cada proceso son B023 para la pasuterizacion, B021 para la incubación y el B032 para el proceso del batido, al final de estos procesos se activa la salida Q3 que es la alarma sonora durante 5 segundos los mensajes en el visualizador de texto para cada proceso tenemos las siguientes figuras.

Figura 4.13 – Pantalla de procesos.



1. Pasterización, 2. Incubación, 3. Batido

Fuente: Autor

En la pantalla LOGO TD! se encuentra configurado por software la tecla de función F2, F3 y F4 que sus funciones es continuar con el proceso de fabricación del yogurt.

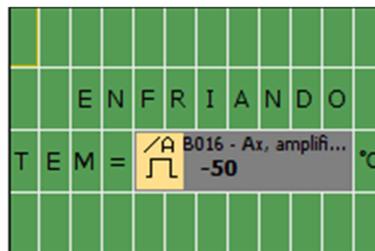
4.1.3.3 Etapa del Agitador

La función del agitador es la de homogenizar la mezcla de todos los ingredientes y realizar el proceso de batido.

La etapa del enfriador actúa al transcurrir el tiempo de pasteurización y de incubación, para realizar el enfriamiento se dispone de la salida Q6 que se encuentra conectada una bomba sumergible, el bloque B060 consiste en un tiempo de acción del intercambiador, ya que la etapa del enfriador realiza su función seguidamente de la etapa de calentamiento.

En la pantalla LOGO! TD se muestra el mensaje cuando la etapa del enfriador se encuentra activa.

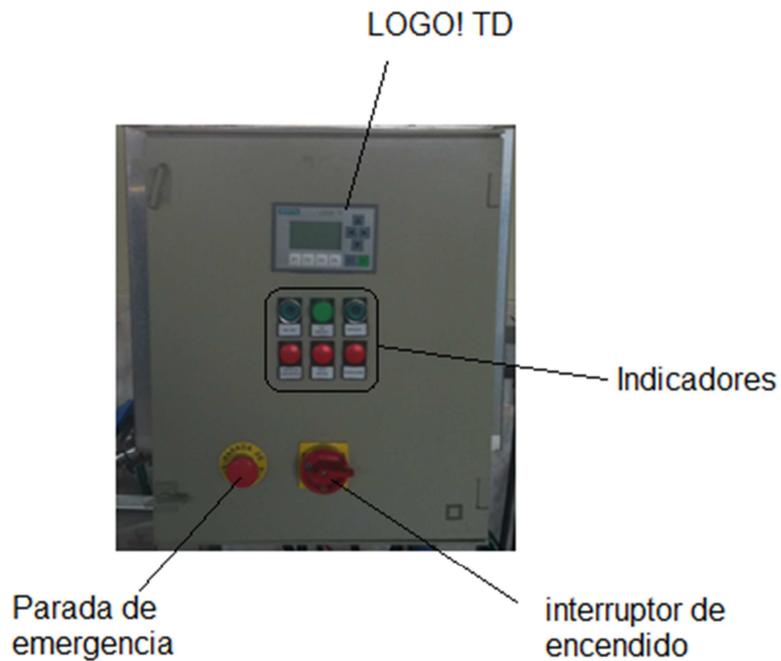
Figura 4.16– Pantalla del enfriador



Fuente: Autor

4.2 MONTAJE DEL SISTEMA

Para la implementación del sistema se consideró los elementos principales que componen todo el tablero de control, los indicadores y la pantalla logo TD están dispuestos de una forma ordenada para acceder a toda la información disponible sobre el proceso de fabricación.

Figura 4.17 – Distribución de indicadores.

Fuente: Autor

Entre los indicadores tenemos:

Tabla 4.03 – Función de los indicadores

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
ON/OFF	Indica si esta encendido el lacto fermentador
FIN DEL PROCESO	Indica si el proceso está terminado
BATIDOR	Indica si el batidor esta encendido
PARADA DE EMERGENCIA	Indica si esta activada la parada de emergencia
FALLO MOTOR	Indica si falla el motor o el guarda motor
CALENTADOR	Indica si el calentador esta encendido
ALARMA SONORA	Indica si cambia de fase el proceso

Fuente: Autor

La implementación de del tablero de control internamente consta de 3 partes principales que son: protecciones, sistemas de control, y conectores, además todo el cableado del sistema se encuentra en forma ordenada y protegida dentro de las canaletas plásticas.

Figura 4.18 – Tablero de instrumentos.



Fuente: Autor

Entre las protecciones se destacan el interruptor diferencial (disyuntor por corriente diferencia o residual), su función es proteger a las personas de las derivaciones causadas por falta de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos, seguidamente existen interruptores automáticos (breakers) uno de 3 polos que sirve para energizar a todos los componentes del sistema y uno de 1 polo que sirve para energizar la fuente del PLC.

La función de un interruptor automático es interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de corriente eléctrica que por él excede de un determinado valor o, en el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de no causar daños a los equipos eléctricos.

Figura 4.19 – Protecciones

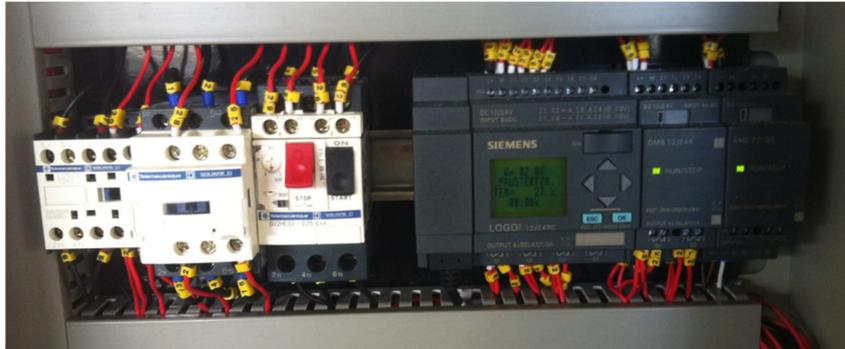
Fuente: Autor

Para el sistema de control se disponen de dos contactores, un guarda-motor el PLC y sus módulos respectivamente.

Los contactores son encargados de activar los actuadores de potencia como son el motor (monofásico) y el calentador (resistencia eléctrica trifásica sumergible), para el motor se dispuso de un guarda-motor o disyuntor magneto-térmico que está diseñado para la protección del mismo, proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase.

La parte principal del sistema de control lo compone el PLC logo 12/24RC de Siemens, sus dos módulos, un módulo de entradas y salidas digitales DM8 12/24R y otro módulo que sirve para el sensor PT100 el mismo que se encuentra en una conexión a 3 hilos.

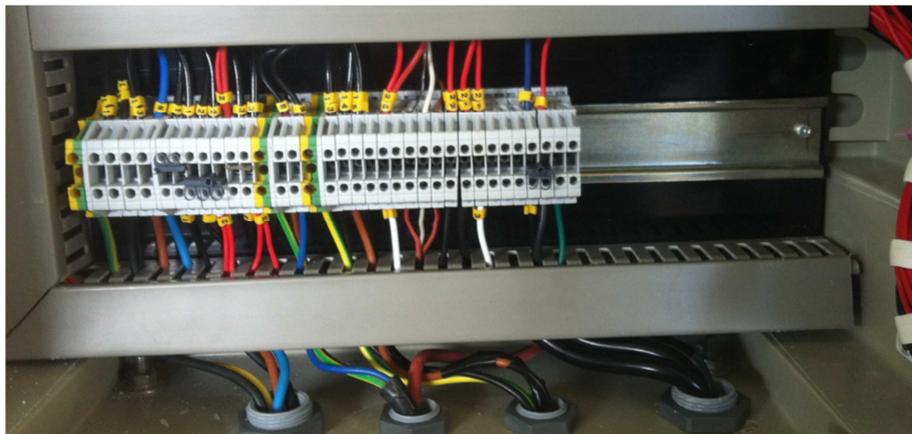
Figura 4.20 – Contactores y PLC



Fuente: Autor

Para tener un orden en el cableado del tablero de control se dispuso de borneras de conexión para riel DIN, todo el cableado de los componentes exteriores llegan a las borneras para ser distribuidos en el tablero de control, las conexiones y el cableado se rigen al mismo origen de la máquina que es el europeo.

Figura 4.21– Borneras de conexión para riel DIN.



Fuente: Autor

Para el ingreso del agua al sistema se instaló una electroválvula que va a ser controlada por el PLC, la electroválvula permite el ingreso de agua a la doble

camisa del lacto fermentador, también admite el llenado del depósito del enfriador del agua para su posterior uso.

Figura 4.22 – Electroválvula del sistema



Fuente: Autor

El en depósito del enfriador de agua se encuentra instalado una bomba sumergible, que nos permite realizar el intercambio del agua que se encuentra dentro de la doble camisa del lacto fermentador

Figura 4.23 – Bomba Sumergible



Fuente: Autor

El sistema de enfriamiento del agua consiste, en la recirculación del agua dentro de un serpentín, el agua en el depósito del enfriador recircula gracias a un sistema de enfriamiento y bombeo.

Figura 4.24 – Sistema de enfriamiento del agua



Fuente: Autor

4.2.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Al ser una máquina que se encontraba sin uso, se comprobó que todos sus componentes cumplan su función, en la configuración del sistema se comprobó el correcto funcionamiento del sensor PT100.

En la programación para la configuración del módulo AM2 PT100 con el sensor, es necesario el bloque conmutador analógico de valor umbral, en este bloque se encuentra todos los parámetros a configurar.

Figura 4.25 – Configuración conmutador analógico valor umbral.

The image shows a software configuration window titled "B006 [Conmutador analógico de valor umbral]". It features two tabs: "Parámetros" (active) and "Comentario". The "Parámetros" tab contains several sections:

- Nombre de bloque:** An empty text input field.
- Sensor:** A dropdown menu showing "PT100".
- Rango de medida:** Two input fields for "Mínimo" (value: -50) and "Máximo" (value: 200).
- Parámetro:** Two input fields for "Gain" (value: 0,25) and "Offset" (value: -50).
- Unidad:** Two radio buttons: "Celsius" (selected) and "Fahrenheit".
- Resolución:** Two radio buttons: "x 1" (selected) and "x 0,1".
- Valor umbral:** Two input fields: "ON" (value: 0) and "OFF" (value: 85). Each has a "Referencia" button next to it.
- Decimales en el texto de aviso:** An input field with value "0" and a "+12345" label.
- Protección activa:** A checkbox that is currently unchecked.

At the bottom of the window are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

Fuente: Autor

En la opción del señor seleccionamos PT100, automáticamente se establece el rango de medida que es de -50 a 200 °C y los parámetros como el Gain a 0.25 y el Offset -50, se puede configurar la unidad de temperatura a Celsius y Fahrenheit, en nuestro caso se configuró a °C con una resolución X1 el valor umbral es la ventana de activación.

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para la comprobación del funcionamiento del depósito lacto fermentador automatizado para la elaboración del yogurt, los estudiantes realizaron todo el proceso de fabricación.

Para iniciar el proceso de fabricación del yogurt es importante realizar la limpieza de toda la planta y la maquinaria con abundante agua clorada para eliminar los microorganismos.

Figura 4.26 – Limpieza de maquinaria y planta.



Fuente: Autor

La recepción de la materia prima se lo realiza a horas tempranas en la mañana.

Figura 4.27 – Recepción de materia prima.



Fuente: Autor

Se realiza el tratamiento preliminar de la materia prima con un tamiz para sustraer elementos sólidos que pueden afectar el producto final.

Figura 4.28 – Tratamiento preliminar de la leche.



Fuente: Autor

Para elaborar cualquier producto en base a la leche es necesario conocer su densidad, se lo realiza con un lactodensímetro que nos indica la cantidad de sólidos (grasa), así como la cantidad de agua que tiene la leche, la densidad obtenida es 1.023 kg/litro.

Figura 4.29 – Medición de la densidad de la leche



Fuente: Autor

En base a la densidad y el volumen total de la leche que se utiliza para la elaboración del yogurt se determinan las cantidades necesarias de cada ingrediente para su elaboración.

El volumen total de leche que se utilizó fue de 23 litros, obteniendo:

Tabla 4.04 – Porcentajes de ingredientes.

INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN		
Densidad (kg/litro) 1,023	Volumen (litros) 23	d= m/v
Ingrediente	Porcentaje %	Cantidad
Leche	100	23,52 kg
Azúcar	18	4,24 kg
Fermento	3	705,87 ml
Fruta	3	1,55 libras
conservante	0,05	11,76 gr
colorante y saborizante	0,05	11,76 gr

Fuente: Autor

Conociendo las cantidades de cada ingrediente se procede a la elaboración del yogurt, se añade la leche en el depósito lacto fermentador adicionando el azúcar, tomando en cuenta que el nivel de la leche supere el sensor de temperatura y se pone en marcha la máquina.

Figura 4.30 – Adición de materia prima para la elaboración del yogurt.

Fuente: Autor

Al poner en funcionamiento la máquina, el agua ingresa a la doble camisa del lacto fermentador permitiendo además llenar el depósito de enfriamiento de agua para su posterior uso.

Figura 4.31 – Puesta en marcha del lacto fermentador



Fuente: Autor

Comienza el proceso de pasterización hasta llegar a una temperatura de 86°C y mantenerla durante 15 minutos, seguidamente bajar la temperatura hasta 40°C para terminar con el proceso de pasterización.

En el tablero de control la pantalla nos indica la fase en que se encuentra el proceso de fabricación así como también, el tiempo faltante para cumplir con la etapa de pasterización, al igual que los indicadores nos muestran el actuador que está en funcionamiento para cumplir con las condiciones deseadas.

Figura 4.32 – funcionamiento de los indicadores.



Fuente: Autor

Luego de la fase de pasterización se procede al enfriamiento, el agua del enfriador se encuentra a 17 °C, y es bombeada al interior de la camisa del lactofermentador para disminuir la temperatura hasta llegar a 42°C.

Seguidamente continúa la fase de inoculación, que es la adición del fermento para proceder a la incubación, en la pantalla logo TD se muestra todas las instrucciones para continuar con el proceso de fabricación, en este caso la tecla de función F2 continúa el proceso.

Figura 4.33 – Proceso de Inoculación



Fuente: Autor

Figura 4.34 – Proceso de Fermentación



Fuente: Autor

En la fase de incubación se debe mantener la temperatura a 42 - 44 °C durante un tiempo de 3 – 4 horas, los estudiantes realizan una prueba visual y de sabor de la consistencia del producto que se encuentra en elaboración, si determinan que el tiempo transcurrido es el adecuado pueden proceder con la siguiente etapa del proceso que es el enfriamiento, el tiempo de incubación puede variar en cada proceso ya que la densidad y los ingredientes no poseen las mismas características, el tiempo de incubación fue de 3 horas con 6 minutos.

Figura 4.35 – Prueba visual y consistencia del producto.



Fuente: Autor

Para la fase de enfriamiento es necesario mantener la temperatura del enfriador de agua a 10 °C, esto se consigue con el sistema de enfriamiento que consiste en la recirculación del agua, para posteriormente ser bombeada dentro de la doble camisa del depósito lacto fermentador, para conseguir bajar la temperatura del producto a 12°C.

Figura 4.36 – Fase de enfriamiento.



Fuente: Autor

Para la adición de la fruta es necesario realizar mermelada del sabor y fruta deseada, en este caso los estudiantes realizaron previamente la mermelada de frutilla que consiste en la disolución de 500 gr de azúcar a fuego lento y la adición de la fruta.

Figura 4.37 – Elaboración de la mermelada



Fuente: Autor

Se realiza la adición de la fruta, del conservante (Sorbato de Potasio) y colorante para proceder a la fase del batido.

Figura 4.38 – Fruta, conservante y colorante



Fuente: Autor

Para el envasado es necesario flamear los envases para eliminar y evitar la proliferación de microorganismos.

Figura 4.39 – Proceso terminado y flamear envases.



Fuente: Autor

Figura 4.40 – Envasado



Fuente: Autor

Finalmente se realiza la limpieza de toda la planta y de los equipos utilizados.

Figura 4.41 – Limpieza final de maquinaria y planta.



Fuente: Autor

4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El resultado final de este plan de tesis se proyectó a realizar el proceso de fabricación del yogurt en una sola máquina, poner en funcionamiento el deposito lacto fermentador, aumentar la producción, y que los estudiantes tengan acceso a una máquina que esté acorde con la tecnología actual.

En la tabal 4.05 se muestra las fases del proceso para la fabricación del yogurt, con sus respectivos tiempos y temperatura.

Tabla 4.05 – Comportamiento del lacto fermentador con el sistema implementado

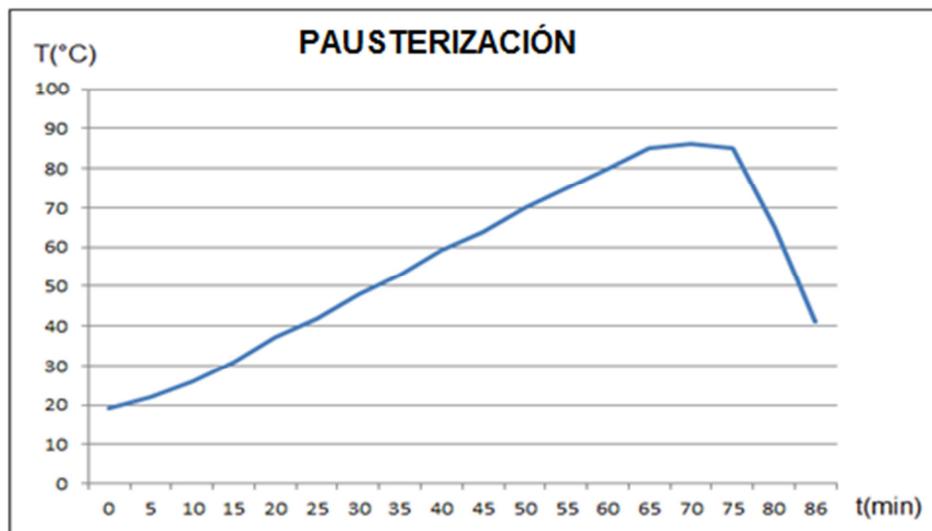
ELABORACIÓN DEL YOGURT		
FASE	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
PASTERIZACIÓN (adición leche y azúcar)	0	19
	5	22
	10	26
	15	31
	20	37
	25	42
	30	48
	35	53
	40	59
	45	64
	50	70
	55	75
	60	80
	65	85
	70	86
	75	85
	80	65
	86	41
INOCULACIÓN (adición del fermento) INCUBACIÓN	90	41
	100	41
	110	41
	120	41
	130	42
	140	42
	150	42
	160	42
	170	42
	180	42
	190	42
	200	43
	210	43
	220	43

	230	42
	240	42
	250	42
	260	42
	270	42
	275	42
ENFRIAMIENTO	280	35
	285	27
	290	20
	295	16
	300	12

Fuente: Autor

En la siguiente figura 4.42 se muestra la gráfica de la fase de pasteurización, que consiste en el calentamiento del producto (leche y azúcar) desde la temperatura ambiente hasta llegar a 85 °C, para mantener dicha temperatura durante 15 min, seguidamente es necesario realizar un descenso de temperatura para completar con la fase de pasteurización

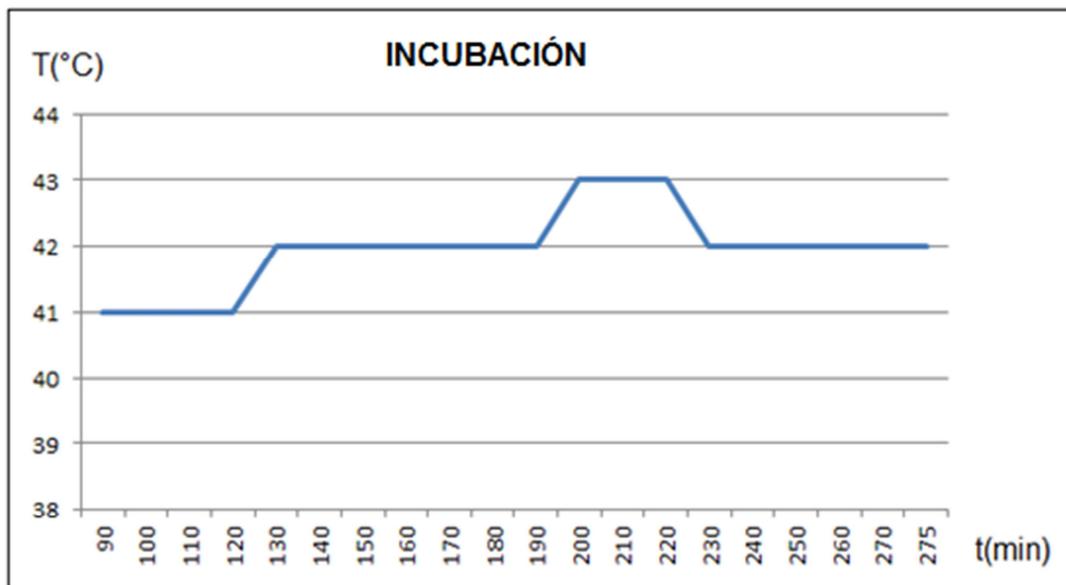
Figura 4.42 – Fase de pasterización (tiempo vs temperatura).



Fuente: Autor

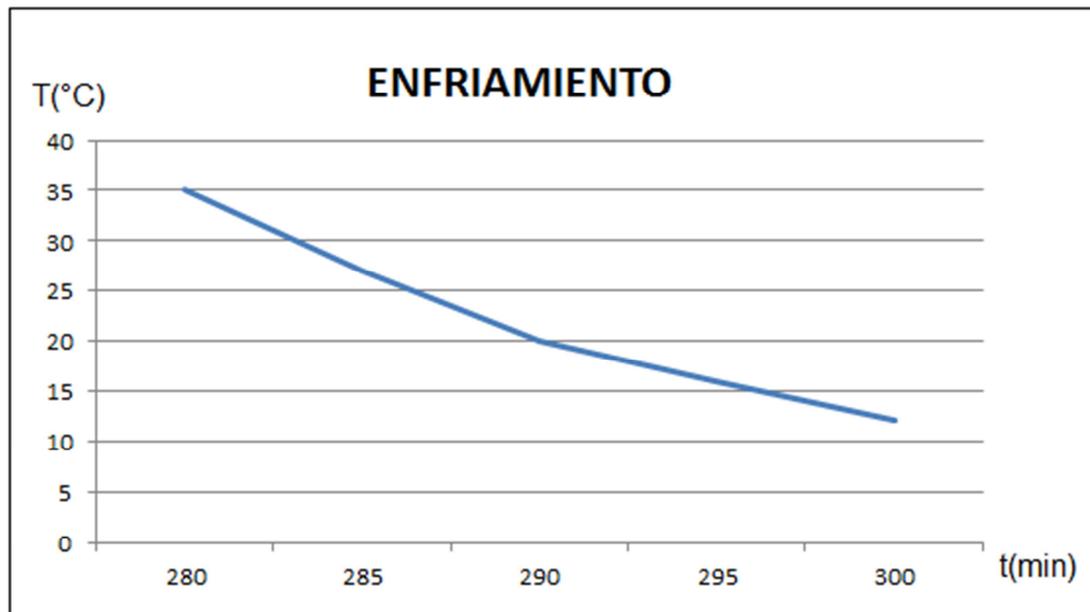
En la figura 4.42 se identifica la fase de incubación donde previamente se realiza la pasteurización y la adición del fermento, el objetivo de la fase de incubación es mantener la temperatura de 42 – 43 °C para que los microorganismos del fermento que se añaden a la leche puedan transformarla en yogurt, el tiempo de esta fase está determinado por la consistencia y el sabor del producto.

Figura 4.43 – Fase de Incubación (tiempo vs temperatura)

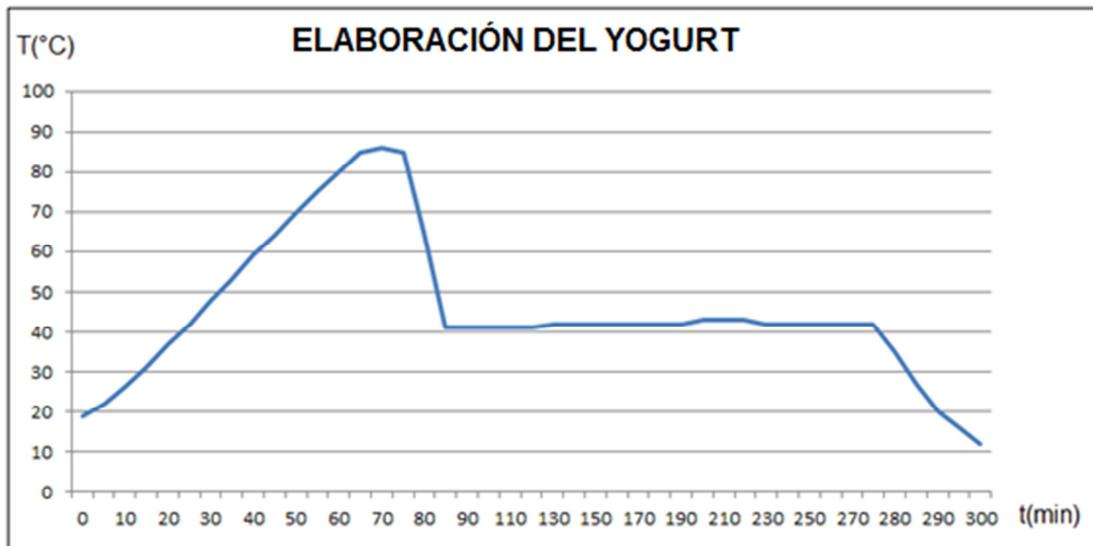


Fuente: Autor

En la figura 4.44 se indica el comportamiento de la fase de enfriamiento del producto, que consiste en el descenso de la temperatura hasta 12°C, para realizar la adición de la fruta, preservantes y saborizantes, para continuar con el batido y posteriormente el envase final del yogurt.

Figura 4.44 – Etapa de enfriamiento (tiempo vs temperatura)

Fuente: Autor

Figura 4.45 – Elaboración del yogurt (tiempo vs temperatura)

Fuente: Autor

CAPÍTULO V.

COSTOS

Este capítulo está destinado a la descripción de todos los costos realizados para cumplir con el proceso de automatización del Depósito Lactofermentador y el análisis del costo – beneficio.

5.1 COSTO DEL PROYECTO

Los costos realizados en este proyecto para la automatización del depósito lacto fermentador, teniendo en cuenta que se puede producir 40 litros de yogurt al día, por lo que aumenta notablemente la producción de los estudiantes que era de 15 litros. Por lo tanto los costos de este proyecto son recuperables.

Los costos que se realizaron se detallan a continuación.

5.1.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son los que intervienen directamente en el proceso de fabricación, como mano de obra y materiales.

En la tabla 5.01 se detalla los materiales que intervienen en la automatización del depósito lacto fermentador, se debe considerar que en la maquina disponía de algunos elementos que fueron reutilizados para cumplir con el funcionamiento de la fabricación del yogurt.

Tabla 5.01 – Costos directos de fabricación

Cantidad	Descripción	Valor unitario (USD)	Subtotal (USD)
1	Electroválvula	12	12
1	Plc logo! Siemens	180	180
1	Hmi logo! Td	220	220
1	Riel DIN	6	6
20	Tornillos y tuercas	0.50	10
1	Cableado del sistema	50	50
1	Fuente 24v DC	80	80
100	Punteras de cable	0,04	4
1	Cable de grabación USB de PLC	90	90
1	Varios	50	50
1	Merlin gerin multi9 id test monthly	80	80
1	Merlin gerin multi9 so	40	40
1	Telemecanique SQUARE D GV2ME03	70	70
1	Parada de emergencia	25	25
1	Gabinete plástico	45	45
3	Indicadores	9	27
1	Interruptor on/off	14	14
1	Pulsador	5.5	5.5
1	Merlin gerin multi9 c60n c16	45	45
1	Telemecanique SQUARE D LC1K09	35	35
1	Telemecanique SQUARE D LC1D09	38	38
2	Prensa estopa	2	4
1	Bomba sumergible	85	85
5	Maguera sanitaria	1,25	6,25
	total		1221.75

Fuente: Autor

5.1.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos que no pueden identificarse con la producción, pero constituyen un costo aplicable a la producción en general.

Los costos indirectos se detallan en la tabla 5.02

Tabla 5.02 – Costos indirectos de fabricación

Cantidad	Detalle	valor unitario (USD)	Subtotal (USD)
8	Internet (meses)	20	160
1	materiales de oficina	20	30
400	Impresiones	0,1	40
1	gastos varios	100	100
	total		330

Fuente: Autor

5.1.3 COSTO TOTAL

El costo total es la suma de los costos directos de fabricación con los costos indirectos de fabricación como se indica en la tabla 5.03

Tabla 5.03 – Costos Total

Detalle	Cantidad (USD)
Total costos directos	1221.75
Total costos indirectos	330
Costo Total	1551.75

Fuente: Autor

5.2 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El análisis costo beneficio nos permite determinar la conveniencia del proyecto mediante la enumeración y valoración en términos monetarios todos los costos que intervienen en la realización.

5.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN SIN MAQUINA

En la siguiente tabla 5.04 se muestra el costo de los ingredientes para la elaboración del yogurt, los estudiantes del Colegio Técnico Agropecuario destinaban 10 litros de leche aproximadamente.

Tabla 5.04 – Costos de ingredientes sin implementación.

Cantidad	Ingrediente	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
10	Leche (litros)	0,6	6
1,8	Azúcar (kg)	1,1	1,98
1	Fermento (litros)	2,6	2,6
1	Fruta (kg)	2,25	2,25
1	Colorante y saborizante (5 gr)	0,25	0,25
1	Estabilizante (5 gr)	0,25	0,25
1	Persevante (5 gr)	0,25	0,25
7	Envases	0,26	1,82
		TOTAL	15,4

Fuente: Autor

Para determinar el costo unitario de producción es necesario dividir los costos de los ingredientes que se muestran en la tabla 5.04 para el número de litros de yogurt producidos (12 litros aproximadamente), teniendo que el costo de producción por cada litro es de 1.28 dólares.

El precio de venta por cada litro es de \$ 1.75 dólares, obteniendo \$ 21 dólares de los 12 litros de yogurt, con una ganancia de \$ 5.6 dólares.

5.2.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN CON EL DEPOSITO LACTO FERMENTADOR

Para la elaboración del yogurt en el depósito Lactofermentador los estudiantes analizaron la demanda existente, se destinó 30 litros de leche para realizar la fabricación del yogurt.

Se consideró el consumo energético del sistema, teniendo en cuenta los siguientes parámetros

$$V = 220 \text{ V}$$

$$I_1 = 3.9 \text{ A}$$

$$I_2 = 3.4 \text{ A}$$

$$I_3 = 3.5 \text{ A}$$

Se calcula la Potencia por fase.

Ecuación 5.01 – Potencia por fase.

$$P = (\sqrt{3}) * V * I$$

Remplazando tenemos:

$$P_1 = (\sqrt{3}) * (220V) * (3.9A) \quad P_1 = 1486.09w = 1.486 \text{ kw} \quad (5.1)$$

$$P_2 = (\sqrt{3}) * (220V) * (3.4A) \quad P_2 = 1295.57w = 1.295 \text{ kw} \quad (5.2)$$

$$P_3 = (\sqrt{3}) * (220V) * (3.5A) \quad P_3 = 1333.67w = 1.333 \text{ kw} \quad (5.3)$$

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3$$

Ecuación 5.02 – Potencia total consumida del sistema

$$P_{total} = 1.486kw + 1.295kw + 1.333kw = 4.744 \text{ kw}$$

Para determinar el costo directo para la fabricación del producto se considera que el valor comercial por kW-h es de 0.068 ctvs.

De donde

Ecuación 5.03 – Consumo energético

$$\text{Consumo energético} = P * \text{horas de trabajo del equipo}$$

$$\text{Consumo energético} = 4.744 \text{ kw} * 5 \text{ horas}$$

Al ser una institución publica el valor por cada kw/h es de 0.04 ctvs.

$$\text{Consumo energético} = 23.72 \text{ kw en 5 horas}$$

$$\text{Costo energia} = \$0.9488 \text{ ctvs}$$

Tabla 5.05 – Costos de ingredientes con maquinaria.

Cantidad	Ingrediente	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
30	Leche (litros)	0,6	18
5,4	Azúcar (kg)	1,1	5,94
1	Fermento (litros)	2,6	2,6
2	Fruta (kg)	2,25	4,5
2	Colorante y saborizante (5 gr)	0,25	0,5
2	Estabilizante (5 gr)	0,25	0,5
2	Persevante (5 gr)	0,25	0,5
20	Envases	0,26	5,2
23.72	Consumo energético (kw/h)	0.04	0.95
TOTAL			38.69

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta el costo de los ingredientes para la elaboración del yogurt (36 litros aproximadamente) utilizando el nuevo sistema, el costo por cada litro

es de \$ 1.07 dólares es importante mencionar que realizan 3 veces más la cantidad de yogurt en el mismo tiempo.

El precio de venta del yogurt por litro es de \$ 1.75 dólares, obteniendo \$ 63 dólares por los 36 litros de yogurt producidos, con una ganancia de \$ 24.31 dólares.

5.2.3 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Con el periodo de recuperación se determina, el tiempo que tardará en recuperar la inversión realizada en la automatización del depósito Lactofermentador.

En la siguiente tabla se detalla las ganancias obtenidas en los dos análisis realizados anteriormente y la diferencia existente entre ellos.

Tabla 5.06 – Análisis de ganancia.

Descripción	Valor (USD)
Ganancia sin maquinaria	5.6
Ganancia con maquinaria	24.31
Diferencia	18.71

Fuente: Autor

En un día se obtuvo \$ 18.71 dólares de diferencia de la ganancia por lo tanto el tiempo de recuperación de la inversión de 1551.75 USD es:

Tabla 5.07 – Periodo de recuperación.

18.71	1	día
1551.75	?	
	82.93	tiempo

Fuente: Autor

Como se muestra, el tiempo que tardara el colegio en recuperar la inversión es de 83 días aproximadamente.

5.2.4 CÁLCULO DEL COSTO BENEFICIO

Se determinó los costos y los beneficios como se muestra en la tabla 5.08

Tabla 5.08 – Costo - beneficio.

Costos	Valor (USD)	Beneficio	Valor (USD)
Inversión máquina	1551.71	Aumento de ganancia	2017.73
Mantenimiento	30.00	Aumento de la demanda	560
Total Costos	1581.71	Total Beneficios	2577.73

Fuente: Autor

Para realizar el cálculo costo beneficio se debe considerar la siguiente formula.

$$\frac{\text{BENEFICIOS}}{\text{COSTOS}}$$

Los cálculos realizados presentan un beneficio de \$ 2577.3, y la relación de costo beneficio es de 1.62 dólares de retorno por cada dólar invertido.

Esto se considera un retorno positivo de la inversión, de esta manera se ha demostrado que la automatización del depósito Lactofermentador contribuirá a satisfacer la demanda existente, generar ganancias, además de mejorar el proceso de fabricación y que los estudiantes tengan acceso a la tecnología actual.

CAPÍTULO VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Mediante la implementación de la automatización del depósito Lactofermentador, se optimiza el proceso de fabricación del yogurt, reduciendo tiempo y aumentando la producción diaria a 40 litros, cumpliendo con los objetivos propuestos en el diseño de este sistema.
- El análisis del modelo matemático del sistema ayuda ampliamente a la selección del sistema de control.
- Al terminar con el proceso de elaboración del yogurt se determinó que las variaciones excesivas de temperatura pueden dañar el producto final, si la temperatura es diferente a la adecuada la consistencia del yogurt no es la correcta.
- Se debe tener en detalle toda la descripción del sistema a automatizar, para tener una visión del resultado.
- El yogurt para que tenga una apariencia limpia y fresca, aroma y sabor agradable, buena consistencia y viscosidad, no debe existir la presencia de suero.
- Implementar un sistema automatizado resulta una inversión elevada, pero ese valor puede recuperarse rápidamente gracias al aumento de la producción.
- La implementación de un HMI ayuda a los estudiantes, a realizar un manejo más coherente del sistema, y a conocer todos los procesos necesarios para la elaboración del yogurt.
- La automatización del depósito Lactofermentador permite a los estudiantes tener acceso a una tecnología moderna y actualizada.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para un buen manejo del depósito lacto fermentador es necesario leer y estudiar el manual de usuario, para garantizar la correcta manipulación, y un óptimo funcionamiento.
- Es necesario capacitar a los estudiantes antes de que puedan poner en funcionamiento el depósito lacto fermentador.
- Efectuar una limpieza total del depósito lacto fermentador antes y después de realizar el proceso de fabricación del yogurt.
- Para realizar una comprobación del proceso de fabricación del yogurt o si se presenta algún inconveniente, es necesario pulsar el paro de emergencia, para detener todo el proceso y así evitar cualquier tipo de accidentes.
- Bajo ninguna circunstancia abrir el gabinete de control cuando el equipo esté en funcionamiento.
- Cuando se realice la limpieza del depósito lacto fermentador tener muy en cuenta de no poner el agua a presión directamente sobre la pantalla LOGO! TD y los indicadores, con el fin de evitar daños en el sistema eléctrico
- Al ser el yogurt un alimento para el consumo humano. es necesario cumplir con las normas de higiene y seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Gutiérrez, J. (2011). *Elaboración del Yogurt. Bachillerato Técnico en Industria de los Alimentos Especialización de Transformados y Elaborados Lácteos*. (1ra Ed.) Ecuador: EDUCTRADE S.A

Giraldo, D., & Tabares, I. (1997). *Teoría de control* (Tercera ed.). México: Hispanoamerica, Editorial Prentice-Hall.

Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna* (Tercera ed.). Editorial Pearson

SIEMENS. (2009). *LOGO! Manula de Usuario V 6.0* (Sexta ed.). Alemania: Siemens.

Pérez, G., Alvarez, A., Juan, C & Rodriguez, C. (2004). *Instrumentación electrónica* (Cuarta ed.). Editorial Thomson.

Siemens. (2008). *Manual de programación LOGO! Softcomforrt v6*. (6ta ed.). Alemania.

HARD Daniel; (1997) *Electrónica de Potencia*; 1ra Edición. Editorial Pearson. España

Barreno Enrique, Santana Edwin (2002). *Evaluación de ingredientes funcionales en la calidad del yogurt*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte, Proyecto de titulación

Hernández D., Ibarra M., Aguilar F., Cruz J., Salazar J., Velázquez A., Rodríguez R (2006) *Física 3*. Zapopan, Jalisco México: Editorial Umbral.

Omega (2013). *Manual de Productos*. (2da ed.). España.

Wildi Theodore. (2007) *Maquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*. Pearson Education.

Pérez García Miguel A., Álvarez Antón (2004) *Instrumentación Electrónica*. Editorial Thomson.

Obando, C. (2011). *Sistema de ordeño automatizado con registro inalámbrico de la producción lechera*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte, Proyecto de titulación

Bolton, W. (2010). *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (Tercera ed.). México: Alfaomega

Linkografía

Ferriz D. (2013). *Yogur*. Recuperado el 13 de Febrero de 2013 de *Excelsior* <http://www.excelsior.com.mx/dore-ferriz/2013/02/10/883519>

Ferreira K. (2011). *El Yogur: Estrategia natural para la salud*. Recuperado el 5 de Enero de 2012 de Red de Médicos Orthomolecular y Antienvjecimiento. <http://reddemedicosorthomolecularylongevidad.com/2011/08/el-yogur-estrategia-natural-para-la.html>

Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial. (s.f.). *Forme su pequeña empresa de producción de yogurt*. Recuperado el 5 de Enero de 2013 <http://www.infolactea.com/descargas/biblioteca/406.pdf>

ProfesorMolina. (2012). *Introducción a PLCs*. Recuperado el 5 de Marzo de 2013, de www.profesormolina.com.ar/tecnologia/plc/introd.

Ubiria, M. (s.f.) *Artículos*. Recuperado 10 Enero del 2013, de <http://www.euskalnet.net/m.ubiria/ARTICULOS.htm>

Rosero Y. (2009). *Lenguajes de Programación*. Recuperado de http://bibdigital.epn.edu.ec/FLENGUAJES%2520DE%2520PROGRAMACION%2520DE%2520PLC.doc&ei=fQeTUIP4H4u08ASQmoGQBg&usg=AFQjCNHkuNB_zoIWv7vt-m19mzSNR8LgXA&cad=rja

ITINTEC. (1986). *Instituto de investigación tecnológica industrial y de normas técnicas*. Recuperado el 12 de Julio de 2012, de www.bvindecopi.gob.pe/normas/205.027.pdf

Artículos

ELACON,(2000) *Catálogo de productos industriales Siemens*

SCHNEIDER ELECTRIC. (2004) *Catálogo de productos industriales*.

Gutiérrez Julio. *Transformados y Elaborados Lácteos*. Otavalo: EDUCTRADE S.A

Juran J.M Grima F.M. (1993) *Manual de Control de Calidad Tomo II* McGraw-Hill

A. Madrid Vicente (2002) *Manual de Industrias Lácteas.*, A. Madrid Vicente

Industrias Rúales. (1998) *Taller de leche*. Trillos

Mejía José. *Los Fermentos Lácteos* FED

ANEXOS