



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta Tecnológica previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“Análisis y diseño de la automatización del reactor
para la simulación del proceso de elaboración de
yogurt, utilizando herramientas electrónicas
aplicadas en la industria.”**

AUTOR

ESTEVEN DANIEL ACOSTA CAMPOVERDE

PROFESOR TUTOR

SAMUEL BALDOMERO BUSTOS GAIBOR

LA LIBERTAD – ECUADOR

2017

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza desde el comienzo hasta el fin de mi carrera universitaria. Siendo lo más importante durante todo el trayecto como estudiante.

A los docentes de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, en especial al Ing. Samuel Bustos Gaibor, tutor de proyecto de innovación, por compartir su amistad, conocimientos, y tener la voluntad de ayudar en todo momento.

Con infinito amor y eterna gratitud a mis padres Raúl y Lillian, por ser el pilar fundamental en mis estudios; con su sacrificio, paciencia, amor y confianza en mí, me enseñaron a nunca decaer por cualquier adversidad, siendo los mejores guías que Dios me pudo haber otorgado.

A mi tío Pablo y mis hermanos Fabián y Viviana, por ser mi mayor fuente de inspiración y superación; con sus logros obtenidos, me ayudaron a querer ser alguien de provecho para la sociedad.

A mi amor María José, por su constante apoyo y perseverancia en los mejores y peores momentos, desde que nos conocimos.

“Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán.” Proverbios 16:3

Esteven Acosta Campoverde.

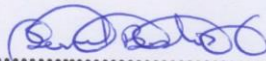
TRIBUNAL DE GRADO
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado: **“Análisis y diseño de la automatización del reactor para la simulación del proceso de elaboración de yogurt, utilizando herramientas electrónicas aplicadas en la industria.”**, elaborado por la estudiante **Acosta Campoverde Esteven Daniel**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La libertad, Septiembre del 2017.

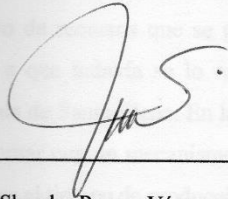
Ing. Samuel Bustos Gaibor, MSc.
PROFESOR TUTOR

Ing. Daniel Flores Trujillo, MSc.
PROFESOR DE ÁREA

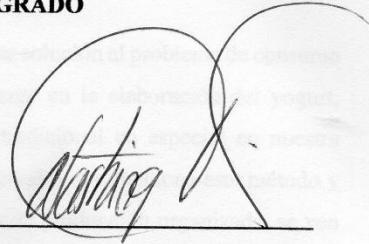


.....
Ing. Samuel Baldomero Bustos Gaibor

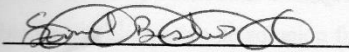
TRIBUNAL DE GRADO



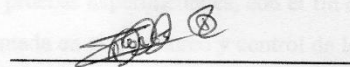
Ing. Shendry Rosero Vásquez, MSc.
DECANO DE FACULTAD



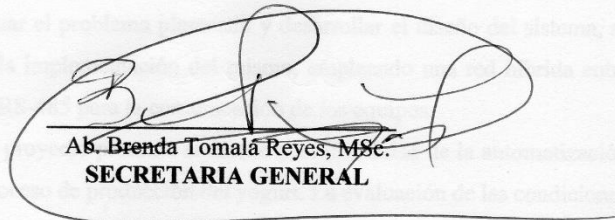
Ing. Washington Torres Guin, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Samuel Bustos Gaibor, MSc.
PROFESOR TUTOR



Ing. Daniel Flores Tomalá, MSc.
PROFESOR DE ÁREA



Ab. Brenda Tomalá Reyes, MSc.
SECRETARIA GENERAL

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se pretende dar solución al problema de consumo excesivo de recursos que se presenta diariamente en la elaboración del yogurt, debido a que todavía se lo realiza en forma tradicional en especial en nuestra península de Santa Elena. En las condiciones actuales que funciona este método y al no contar con un mecanismo sistematizado y de producción organizada, se ven afectados el tiempo de producción, así como el excesivo empleo de recurso humano para control y monitoreo de las diferentes etapas de este proceso. Por lo tanto, se diseñó un sistema automático que permita dar solución a dicho problema.

Previo al desarrollo del proyecto, se realiza el estudio y la identificación de los factores que intervienen directa o indirectamente en las etapas de elaboración de yogurt, tales como la inoculación, incubación, refrigeración y mezclado; para lo cual se efectuaron consultas bibliográficas y pruebas experimentales, con el fin de obtener una alternativa de solución fundamentada en el monitoreo y control de las variables y condiciones requeridas para cada etapa de producción; mediante el diseño de un sistema automatizado que emplea controladores lógicos programables (PLC) y una interfaz hombre-máquina (HMI), que permita controlar las etapas antes mencionadas y de esta manera reducir el tiempo de producción y disminuir la utilización de los recursos naturales y humanos.

Después de analizar el problema planteado y desarrollar el diseño del sistema, se propone realizar la implementación del mismo, empleando una red híbrida entre cables ethernet y RS-485 para la comunicación de los equipos.

El desarrollo del proyecto presenta el diseño y la viabilidad de la automatización industrial en el proceso de producción del yogurt. La evaluación de las condiciones óptimas, el estado operacional y la comunicación total del sistema permiten establecer un diseño automático que cumpla con los requerimientos, a fin de ejecutar cada etapa de la elaboración de yogurt con el set point (punto de fijación) de temperatura adecuado y el tiempo de mezclado, a través del control automatizado del calentador eléctrico y la mezcladora, dando como resultados la reducción del consumo de agua y energía eléctrica, así también, se evita el permanente control de los procesos, consiguiendo una producción organizada, optimizada y segura.

ABSTRACT

In the present titling work, is intended to give solution to the problem of excessive consumption of resources that are presented daily in the yogurt production, because it is still carried out in a traditional way in our peninsula of Santa Elena. In the current conditions that this method works and without a systematized mechanism and organized production, as well as the excessive use of human resources to control and monitoring the distinct stages of this process. Therefore, an automatic system was designed to solve this problem.

Prior to the development of the project, it performs the study and identification of factors that intervene directly or indirectly in the yogurt processing stages, such as inoculation, incubation, refrigeration and mixing; for which bibliographical consultations and experimental tests were carried out, with the purpose to obtain an alternative solution based on the monitoring and control of the variables and conditions required for each stage of production; through the design of an automated system that uses PLCs and a human-machine interface (HMI), which allow to control the aforementioned stages and this way reduce production time and decrease the utilization of human natural resources.

After analyzing the raised problem and developing the system design, it is proposed to implement the system, using a network between Ethernet cables and RS-485 for the communication of the equipment.

The development of the project presents the design and feasibility of industrial automation in the yogurt production process. The assessment of optimum conditions, operating status and communication system-wide should establish an automatic design that meets the requirements, an order to run each stage of yogurt processing with the set point of the appropriate temperature and time of mixing, through the automated control of the electric heater and the mixer, giving the results of the reduction of water consumption and electric power, also, also, it avoids the permanent control of the processes, obtaining organized, optimized production and safe.

TABLA DE CONTENIDOS

ITEM	PÁGINA
El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
DECLARACIÓN	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XIV
LISTA DE ANEXOS	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	2
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 DESCRIPCIÓN DEL TÍTULO	4
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	8
1.5 JUSTIFICACIÓN	8
1.6 METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO II	12
LA REDUCCION	12
2.1 MARCO CONTEXTUAL	12
2.1.1 Origen	12
2.2 MARCO CONCEPTUAL	13
2.2.1 Tipos	13
2.2.2 Transferencia de calor	14
2.2.3 Mecanismos de control	16



Esteven Daniel Acosta Campoverde

TABLA DE CONTENIDOS

ITEM	PÁGINA
AGRADECIMIENTO	I
APROBACIÓN DEL TUTOR	¡Error! Marcador no definido.
TRIBUNAL DE GRADO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
DECLARACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
TABLA DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
LISTA DE ANEXOS	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	4
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	8
1.5 JUSTIFICACIÓN	8
1.6 METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO II	12
LA PROPUESTA	12
2.1. MARCO CONTEXTUAL	12
2.1.1 Ubicación	12
2.2 MARCO CONCEPTUAL	12
2.2.1 Yogurt	12
2.2.2 Transferencia de calor	14
2.2.3 Sistemas de control	16
	VII

2.2.4 Automatización	19
2.2.5 Controladores	22
2.2.6 Protocolos de comunicación	22
2.2.7 Actuadores	25
2.2.8 Sensores	27
2.2.9 Lenguajes de programación	28
2.3 MARCO TEÓRICO	29
2.4 COMPONENTES DE LA PROPUESTA	32
2.4.1. COMPONENTES SIMULADOS	32
2.4.1.1 Tanque reservorio de leche pasteurizada	32
2.4.1.2 Reactor químico	32
2.4.1.3 Tanque mezclador	33
2.4.1.4 Bomba centrífuga	34
2.4.1.5 Electroválvula industrial	34
2.4.2 COMPONENTES FISICOS	35
2.4.2.1 PLC Siemens 1200 AC/DC/RL	35
2.4.2.2 Módulo de comunicación CM 1241 RS485	36
2.4.2.3 HMI DOP-B03E211	37
2.4.2.4 Sensor de temperatura PT100	38
2.4.2.5 Controlador de temperatura DTB4848	39
2.4.2.6 Variador de frecuencia VFD 007	40
2.4.2.7 Selector 22MM 3 posiciones NA+NC	41
2.4.2.8 Pulsador	41
2.4.2.9 Lámparas de señalización	42
2.4.3 COMPONENTES LÓGICOS	43
2.4.3.1 Tía portal V13	43
2.4.3.2 DOPsoft.	44
2.4.3.3 Cade simu	44
2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA	45
2.5.1 DISEÑO FÍSICO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	45
2.5.1.1 Variador trifásico VFD-EL	49

2.5.1.1.1 Configuración del Variador de frecuencia	49
2.5.1.1.2 Medio de comunicación Variador – PLC	50
2.5.1.1.3 Registro para funciones internas del variador	53
2.5.1.2 Controlador de temperatura Delta DT-4848	54
2.5.1.2.1 Configuración del controlador de temperatura	54
2.5.1.2.2 Medio de comunicación Controlador de temperatura - PLC	55
2.5.1.2.3 Registros para funciones internas del controlador de temperatura	57
2.5.1.2.4 Enlace para comunicación Modbus RTU	57
2.5.2 DISEÑO LÓGICO DEL SISTEMA	58
2.5.2.1 Diagrama de Petri	58
2.5.2.2 Diseño del lenguaje de programación	61
2.5.2.3 Diagrama de escalera	61
2.5.2.4 Programación del PLC maestro	63
2.5.2.5 Programación del PLC esclavo	72
2.6 PRUEBAS	74
2.6.1 Transmisión de datos del controlador de temperatura a la base de datos del PLC maestro	74
2.6.2 Escritura de datos de temperatura del PLC maestro hacia el controlador de temperatura	77
2.6.3 Transmisión y recepción de datos entre Variador de frecuencia y PLC	79
2.6.4 Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y PLC esclavo.	81
2.6.5 Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y HMI.	84
2.6.6 Control de variadores mediante comparación de temperatura.	86
2.7 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	88
2.7.1 Factibilidad Técnica	88
2.7.2 Análisis de costos del proyecto	92
2.7.2.1 Costos de desarrollo del sistema	92
2.7.2.2 Costos de implementación del sistema	93
2.7.2.2 Costos de implementación del sistema en la industria.	95
2.7.3 Factibilidad Operacional	97
RESULTADOS	98
	IX

CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

ITEM. DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Figura 1 : Etapas de elaboración del yogurt	5
Figura 2: Transferencia de calor por conducción	15
Figura 3: Transferencia de calor por convección	15
Figura 4: Transferencia de calor por radiación	16
Figura 5: Representación base de un sistema de control	16
Figura 6: Sistema de control en lazo abierto	17
Figura 7: Sistema de control en lazo cerrado	18
Figura 8: Sistema con control ON-OFF	19
Figura 9: Pirámide de Automatización	20
Figura 10: Ejemplo de Comunicación por Modbus	23
Figura 11: Estructura de mensajes modo Modbus-RTU	24
Figura 12: Tanque simulado de leche pasteurizada	32
Figura 13: Reactor Químico simulado	33
Figura 14: Tanque mezclador simulado	33
Figura 15: Bomba centrífuga simulada	34
Figura 16: Electroválvula industrial simulada	34
Figura 17: Elementos que contiene un PLC	35
Figura 18: HMI DOP-B03E211	38
Figura 19: Curva de respuesta del PT100	38
Figura 20: Controlador de Temperatura DT4848	40
Figura 21: Variador de frecuencia VFD 007	41
Figura 22: Selector de 3 posiciones	41
Figura 23: Pulsador	42
Figura 24: Lámpara de señalización	42
Figura 25: Software Tía Portal	43
Figura 26: Software Cade Simu	45
Figura 27: Diagrama de bloques del sistema	45
Figura 28: Diseño eléctrico del PLC maestro	47
	XI

Figura 29: Diseño eléctrico del PLC esclavo	48
Figura 30: Diagrama topológico del sistema	49
Figura 31: Cable STP	51
Figura 32: Cable RJ-45/DB9	51
Figura 33: Pines de la interfaz serial del variador trifásico	52
Figura 34: Cable RJ-45/DB9	53
Figura 35: Conexión del controlador de temperatura	55
Figura 36: Conexión de pines en el cable par trenzado	56
Figura 37: Diagrama de condición inicial del sistema	58
Figura 38: Diagrama de proceso de incubación en el reactor químico	59
Figura 39: Diagrama de procesos de incubación y refrigeración	60
Figura 40: Diagrama de mezclado del sistema	60
Figura 41: Elementos del diagrama de escalera	62
Figura 42: Comunicación entre PLC maestro y PLC esclavo	63
Figura 43: Configuración del sistema en modo manual	64
Figura 44: Decremento de leche en tanque reservorio	65
Figura 45: Paso de leche al reactor químico	65
Figura 46: Llenado del calentador eléctrico	66
Figura 47: Segmento de control de temperatura	67
Figura 48: Control del variador de frecuencia	68
Figura 49: Comparación de temperaturas	69
Figura 50: Segmento del proceso de incubación	70
Figura 51: Flujo de tuberías	71
Figura 52: Bloque de instrucción GET	71
Figura 53: Encendido de lámparas de señalización	72
Figura 54: Sentido de giro del motor de mezcla	73
Figura 55: Proceso final de elaboración de yogurt	74
Figura 56: Prueba de lectura de datos de temperatura	76
Figura 57: Prueba de escritura de datos de temperatura	78
Figura 58: Prueba de escritura de datos al variador de frecuencia	80
Figura 59: Prueba de comunicación entre PLC	83
	XII

Figura 60: Prueba de comunicación PLC-HMI	85
Figura 61: Prueba de comunicación Controlador de temperatura	87

ÍNDICE DE TABLAS

ITEM. DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 1: Etapas de elaboración de yogurt	7
Tabla 2: Componentes nutritivos del yogurt de leche vacuna	13
Tabla 3: Símbolos básicos del lenguaje Ladder	29
Tabla 4: Especificaciones PLC S7 1200 AC/DC/RL	36
Tabla 5: Especificaciones de módulo de comunicación	37
Tabla 6: Especificaciones del Selector	41
Tabla 7: Especificaciones del pulsador	42
Tabla 8: Especificaciones de lámpara de señalización	42
Tabla 9: Parámetros del variador de frecuencia	50
Tabla 10: Configuración cable - variador	52
Tabla 11: Configuración cable – módulo de comunicación	52
Tabla 12: Conexiones del cable Rj-45 - DB9	53
Tabla 13: Registros internos empleados del variador trifásico	54
Tabla 14: Parámetros del controlador de temperatura	54
Tabla 15: Conexión de pines en el cable par trenzado	56
Tabla 16: Registros internos del controlador de temperatura	57
Tabla 17: Resultados de adquisición de datos de temperatura	77
Tabla 18: Resultados de transmisión de datos de temperatura	79
Tabla 19: Transmisión y recepción de datos entre PLC y Variador de frecuencia	81
Tabla 20: Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y PLC esclavo	84
Tabla 21: Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y HMI	86
Tabla 22: Control de variadores mediante comparación de temperatura	88
Tabla 23: Hardware para estudio y diseño del sistema	90
Tabla 24: Software para estudio y diseño del sistema	90
Tabla 25: Software para el desarrollo de la programación de los equipos	90
Tabla 26: Hardware para la implementación del sistema	92
Tabla 27: Costos del Hardware para estudio y diseño del sistema	92
Tabla 28: Costos de software del sistema	93
Tabla 29: Costos de suministros	93

Tabla 30: Costo total en desarrollo del sistema	93
Tabla 31: Costos de implementación del sistema	95
Tabla 32: Costos totales de implementación del sistema	95
Tabla 33: Costos totales de desarrollo e implementación del sistema	95
Tabla 34: Costos adicionales para la implementación industrial	96
Tabla 35: Costos totales para la implementación industrial	96

LISTA DE ANEXOS

N.-	DESCRIPCIÓN
1	Manual del PLC
2	Manual de HMI
3	Variador trifásico VDF-EL 007
4	Controlador de temperatura DTB4848

INTRODUCCIÓN

En la actualidad con el avance permanente de la tecnología, las empresas han optado por automatizar sus sistemas de producción. Éste avance ha logrado que los procesos a nivel industrial se vean beneficiados a nivel de elaboración, utilización de recursos y optimización de costos. El campo de la automatización se enfoca en el estudio de operaciones que se realizan en un proceso, con el fin de eliminar la mayor cantidad de acciones innecesarias, la mejora de tiempos de producción, de tal manera que la automatización contribuya en la mejora del proceso.

Así también es el caso de la elaboración del yogurt, la cual se realizaba anteriormente de manera artesanal, y en la actualidad se ha logrado la automatización total de sus procesos, mediante la implementación de equipos de última tecnología, como se ha dado en las empresas ecuatorianas Chivería, Toni S.A, entre otras. (Chivería, 2017)

Las microempresas que realizan la producción de yogurt de manera artesanal presentan inconvenientes, ya que las variables que intervienen en su elaboración no se encuentran en condiciones estables, generando que el tiempo de producción se vea considerablemente afectado, así también el empleo de mucho recurso humano ya que con este método se requiere de un control permanente del producto.

En primera instancia, se identifican los factores que actúan en la elaboración de yogurt, siendo la temperatura, el tiempo y la frecuencia las variables esenciales, con el fin de presentar todos los estudios fundamentales requeridos para realizar el diseño del sistema automatizado de elaboración de yogurt, considerando que se reconocieron y analizaron los puntos que influyen en el desarrollo. Logrando definirse una solución posible, a través de la información recopilada para las condiciones requeridas de las etapas de inoculación, incubación, refrigeración y mezclado. Dicha solución está justificada por información recopilada del Instituto Ecuatoriano de Normalización y de repositorios de diversas universidades.

Para que la producción no resulte afectada, el sistema se debe mantener bajo parámetros y condiciones establecidas según el proceso a realizar, debido a que, la población microorganismos existentes en el fermento lácteo es totalmente dependiente de la temperatura a la que está expuesta.

En la implementación del sistema, para lograr el abastecimiento de energía se realizaron las respectivas conexiones eléctricas de cada elemento empleado, así también se implementó una red híbrida que permite la comunicación entre los distintos equipos, tomando como base el diagrama eléctrico y topológico del sistema. Para la programación del controlador se realizó un diseño con lenguaje tipo escalera, así como el diseño de la interfaz gráfica. Una vez realizada la implementación del sistema se realizaron diversos experimentos en la comunicación de todos los equipos implementados, con el fin de conseguir pruebas que permitan corroborar el control del sistema y fundamentar la operatividad del mismo.

Tomando en cuenta que el sistema simula la producción de yogurt, se implementan equipos electrónicos y de control, de nivel industrial, con el fin de asemejarlo lo mejor posible a un proceso industrial real, considerándose las normativas industriales en dicha implementación.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El avance tecnológico a nivel industrial ha generado que los procesos a grandes escalas se vean beneficiados en la mejora de la productividad, eficiencia en la utilización de recursos y se optimicen los costes de inversión, haciendo que las empresas se vuelvan más competitivas, y así se fortalezcan en el mercado local y mundial.

En la industria que produce alimentos lácteos, existen formas, procesos y tratamientos especiales para dicha elaboración. El yogurt, una bebida derivada de la leche, requiere de varios procesos para ser un producto de excelente calidad.

En la actualidad poco a poco se han ido actualizando todos los procesos de elaboración del yogurt, desde la manera artesanal hasta llegar a la automatización total.

Sin embargo, aún existen en el Ecuador pequeñas empresas que se dedican a la producción tradicional, debido a la falta de recursos económicos, como la empresa Lácteos MARCOS en la ciudad de Ambato, como lo indica Paul Proaño, así también la microempresa que tiene el colegio “Carlos Ubidia” en la ciudad de Otavalo, que al ser artesanal generaba menor producción.

El problema fundamental en la elaboración del yogurt de forma artesanal es que el tiempo de producción se ve retrasado, se requiere mayor recurso humano para control y monitoreo de valores de temperatura y el costo de inversión es mayor.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para realizar el proceso de la fabricación del yogurt, se considerará como parte inicial que la leche a procesar ya se encuentra pasteurizada; por lo que estará en un contenedor antes de comenzar el primer proceso. Lo primero que se realizará es la selección del tipo de automatización y posteriormente iniciar el proceso que consiste en pasar la leche pasteurizada a un nuevo contenedor a través de electroválvulas.

Debido a que se requiere uniformidad en el proceso de mezclado, es necesario considerar un mínimo de cantidad de yogurt de 20 litros para que las aspas generen una mezcla equitativa. A su vez para evitar rebose del producto, se limita el nivel de leche pasteurizada a 90 litros, debido a que, al añadir el fermento lácteo, el nivel total de yogurt aumenta. (Huaraca & Poalacin)

Para los siguientes procesos de elaboración de yogurt se tomará en cuenta las condiciones que se requieren para cada una de sus etapas. Las etapas de elaboración de yogurt tienen variables determinadas para que la producción no se vea afectada, según datos obtenidos de repositorios, fuentes bibliográficas como (INEN, 2011), (Proaño) y (Huaraca & Poalacin), en donde definen valores idóneos para las variables de temperatura, tiempo y frecuencia de cada proceso, según las investigaciones previas.

Etapas de elaboración del yogurt.

Las etapas para la elaboración del yogurt se detallan en la siguiente figura:

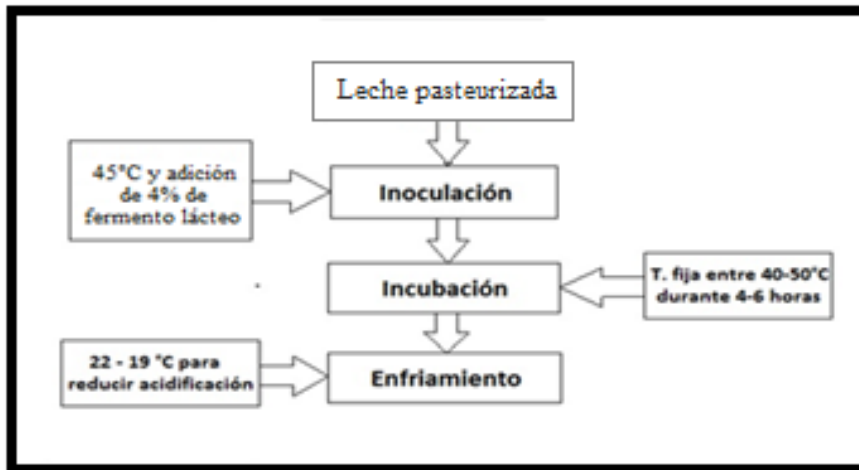


Figura 1 : Etapas de elaboración del yogurt: Elaborado por el autor

Inoculación.

En el segundo contenedor se realizará la Inoculación, controlando el nivel de temperatura 45°C y con una tolerancia de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ mediante un calentador eléctrico en forma de resistencia que se encontrará debajo de dicho contenedor, para luego agregar el fermento lácteo, considerando que es un 4% de la cantidad de leche a procesar, aplicando un redondeo a dicho porcentaje para que el proceso sea medido en valores enteros de litros de leche.

Control de temperatura.

Cuando inicie la inoculación se activará una bomba de presión de agua y una electroválvula, con el fin de encender el calentador eléctrico que permitirá variar la temperatura de la leche, mediante la variación del flujo de agua a través de un variador de frecuencia que operará a 5, 30 o 60 HZ y la activación o desactivación de las resistencias, según la temperatura que se esté adquiriendo. Este control será empleado para los procesos de Inoculación, Incubación y Refrigeración.

Incubación.

La Incubación consiste en reposar la mezcla por un período de entre 4 a 6 horas, conservando la temperatura asignada con una tolerancia de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ de entre el rango de 40°C a 50°C , por medio del calentador eléctrico, si la temperatura es menor, el tiempo de incubación irá aumentando, y la producción del yogur se retrasa.

Enfriamiento.

Luego de finalizar el proceso de Incubación, se necesita enfriar el yogurt procesado a una temperatura de entre 19°C a 22°C , también con una tolerancia de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ con el objetivo de bajar el nivel de acidificación existente.

Mezclado.

Ésta última etapa de la elaboración del yogur consiste en enviar el producto procesado a un tercer contenedor para realizar el batido mediante un mezclador conectado a un variador de frecuencia que opera a 30 Hz durante 20 a 30 minutos.

En la tabla 1 se presentan las configuraciones de las variables de cada etapa.

Proceso	Condición	Función
Inoculación	Temperatura: 45°C Tolerancia: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ Fermento lácteo: 4% de la cantidad de leche a procesar	Con la temperatura idónea y la adición del fermento lácteo, La población de bacterias crece para convertir la leche en yogurt.
Incubación	Temperatura: Entre $40 - 50^{\circ}\text{C}$ Tolerancia: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	La temperatura debe ser fija ya que determina la

	Tiempo: 4 – 6 horas	cantidad de bacterias existentes y el tiempo hace que consistencia del yogurt se vuelve espesa.
Refrigeración	Temperatura: 19 – 22°C Tolerancia: ± 0.2°C	Reduce el nivel de acidez en el yogurt.
Mezclado	Tiempo: 20 – 30 minutos Condición automática: Cambio de sentido de giro cada 5 minutos Condición manual: Sentido de giro a consideración del operario.	El mezclado debe ser constante y homogéneo, el cambio de sentido de giro permite que no queden zonas brumosas.

Tabla 1: Etapas de elaboración de yogurt: Elaborado por el autor

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un prototipo de sistema automatizado del proceso de elaboración del yogurt que permita la reducción del tiempo de ejecución por cada etapa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el estudio y análisis de las etapas de elaboración de yogurt, que defina las condiciones de las variables de temperatura, tiempo y frecuencia, así como de los factores de trabajo y operación del reactor del yogurt.
- Realizar la programación del PLC y la interfaz gráfica del prototipo de sistema automatizado, que permita la asignación, adquisición y control de valores de las variables y otros factores esenciales para la simulación.
- Diseñar una red topológica que permita la comunicación de PLC a PLC vía ethernet y la comunicación entre PLC y controladores mediante conectores tipo DB9.

- Ejecutar pruebas de operabilidad del sistema automatizado en la simulación del proceso de elaboración de yogurt con el fin de comprobar el correcto funcionamiento.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

- Una vez identificados los valores idóneos de temperatura, frecuencia y tiempo y que se encuentren dentro del rango aceptable para la producción, se busca establecer dichos parámetros en el prototipo para la automatización del reactor.
- Con un prototipo de sistema automatizado, se pretende tener control y supervisión de las etapas de elaboración de yogurt, y de los elementos que operan durante la simulación.
- Con el diseño de la red híbrida, se busca una comunicación sin que se presenten errores en la transmisión y recepción de datos entre controladores, interfaz HMI y actuadores del sistema.
- Realizadas las pruebas pertinentes, se pretende la adquisición en tiempo real de valores de temperatura y frecuencia para cada etapa de la simulación de producción, así como llegar a un prototipo que se amigable con el operario.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Se busca realizar la automatización de un prototipo de sistema para el proceso de elaboración de yogurt con el fin de reducir tiempo en las etapas de elaboración y recurso humano durante la operación de la maquinaria.

Para conseguirlo, el sistema se debe mantener bajo parámetros y condiciones establecidas según el proceso a realizar, los cuales son aspectos fundamentales para la realización de una inoculación óptima, debido a que, si los microorganismos existentes en el fermento lácteo crecen a una temperatura inferior, o si se aplica una temperatura mayor a la establecida, la productividad se ve reducida.

1.6 METODOLOGÍA

La metodología de investigación aplicada en el proyecto de innovación tecnológica cuenta con los métodos teórico y experimental, los cuáles permitirán diseñar el control del sistema.

Modalidad de la Investigación.

Bibliográfica.

Utilizando como guía y apoyándose en la información de documentos y archivos que tratan sobre automatización de elaboración de yogurt.

Tipo de Investigación

Experimental.

Este tipo de investigación nos permite obtener la información a través de la observación del proceso, a su vez permitirá interpretar los resultados de dicho proceso y realizar un análisis para cumplir con los objetivos del proyecto de innovación.

El diseño de investigación es experimental, ya que se emplean elementos electrónicos, los cuales se utilizan para realizar pruebas de cada etapa en la simulación del proceso de elaboración de yogurt.

Teórico.

Con esta investigación se busca generar una teoría y explicar el tipo de automatización seleccionada, para el desarrollo de la automatización del proceso simulado de elaboración de yogurt; con la cual, se empleará una programación a

través de Tía Portal con el fin de crear sistema automatizado más óptimo para el proceso antes mencionado.

Instrumentos de la investigación.

Un instrumento de investigación denominado también de medición es el que registra adecuadamente la información observable con el fin de que representen realmente a las variables que el investigador tiene por objeto de estudio. (Erivasg, Procedimientos para realizar investigacion)

Para el presente proyecto, este método es aplicado en la variable de temperatura, ya que requiere de un instrumento de medición que sea eficaz, ya que de esta variable dependen los procesos de inoculación, incubación y refrigeración.

Procedimiento de la investigación.

En los procedimientos de investigación se exponen de forma ordenada y secuencial los pasos que se deben seguir para el desarrollo de la investigación, desde el origen del problema hasta la realización del informe de la investigación. (Erivasg, Procedimientos para realizar investigacion)

En el proyecto, este método sirve de referencia, para comenzar la investigación en forma ordenada, realizando primero el planteamiento del problema en la elaboración del yogurt e identificación de variables que intervienen en dicha elaboración, para luego en base a eso realizar el prototipo de sistema automatizado de elaboración de yogurt.

Recolección de la información.

La recolección de datos es el deber de la planificación en la que se sistematizan los puntos y pasos que se van a seguir en la etapa de operatividad, así también en las

etapas finales de estudio y comunicación, consolidación y transmisión. (Erivasg, Procedimientos para realizar investigación)

El método se lo aplica para realizar las pautas que debe tener la propuesta tecnológica, definiendo los procesos operativos que va a tener el sistema, tales como la inoculación, incubación, refrigeración y mezclado, así también el tipo de comunicación de los equipos empleados.

CAPÍTULO II

LA PROPUESTA

2.1. MARCO CONTEXTUAL

2.1.1 Ubicación

La demanda de yogurt en el Ecuador hace que la producción artesanal no logre abastecer, siendo las microempresas que aún producen artesanalmente las más afectadas, por lo que buscando modernizarse, como el caso de la microempresa que se estableció en el colegio “Carlos Ubidia” en Ibarra la cual, debido a la falta de automatización de elementos, la producción de yogurt se ve reducida, además que se requiere de varios operarios para la elaboración.

Otra microempresa que pretende automatizarse es la de Lácteos Marco's en Ambato, la cual busca la mejora de los procesos, y por ende de la producción; la empresa no cuenta con una automatización total, por lo que la mayoría de procesos deben de realizarse de forma manual, ocasionando pérdidas en los tiempos entre etapas y retardando el tiempo de producción; esto genera que la empresa se encuentre limitada en su crecimiento debido a que solo se tiene un control manual de los equipos y máquinas utilizadas para la elaboración de yogurt.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Para comprender mejor los procesos pertinentes al desarrollo del proyecto se detallan a continuación los conceptos, ideas y definiciones que intervendrán en él.

2.2.1 Yogurt

Definido por el INEN como el producto coagulado que se obtiene al realizar la fermentación láctica de la leche o mezclado de esta con derivados lácteos, a través

de la acción de bacterias que residen en el fermento *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus* y *Streptococcus salivaris* subespecie *thermophilus*, y que pueden estar acompañadas de otro tipo de bacterias benéficas que por su actividad le confieren las características definidas al producto una vez terminado; estos microorganismos deben ser factibles y activos desde la creación y durante toda la vida útil del producto. (INEN, 2011)

El yogurt posee bacterias que pueden convertir la lactosa en ácido láctico, y a su vez éste ácido tiene la característica de evitar el desarrollo de bacterias consideradas dañinas para el intestino, provenientes derivadas de la descomposición de los alimentos. (INEN, 2011)

En la siguiente tabla se detallan los componentes nutritivos esenciales de un yogurt a base de leche vacuna entera.

Contenido	Porcentaje
Agua	87%
Proteínas	3.5%
Lípidos	3.9%
Glúcidos	3.6%
Ácidos orgánicos	1.15%
Cenizas	0.7%
Fibras	0%
Cantidad digerida después de una hora	91%

Tabla 2: Componentes nutritivos del yogurt de leche vacuna: Elaborado por el autor

Inoculación: Consiste en añadir a la leche, el fermento que contiene las bacterias que la transforman en yogurt, la adición del fermento que es del 4% aproximadamente.

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. Se ha estimado que el tiempo de incubación es de aproximadamente 4 a 6 horas de 40 a 50 °C.

Refrigeración: Luego de haber transcurrido el tiempo de incubación, el yogurt es enfriado a una temperatura de 19 a 22 °C para eliminar la acidez existente.

Mezclado: Consiste en la ruptura del coágulo del yogurt por agitación para conseguir una masa homogénea. El batido del coágulo debe ser constante durante cierto tiempo, hasta que la masa homogénea presente una consistencia cremosa.

2.2.2 Transferencia de calor

Es el proceso del cual la energía es transferida en forma de calor entre dos cuerpos o medios, transmitiéndose desde la región más caliente hacia la más fría, alcanzando una temperatura similar entre ambos.

Para cualquier mecanismo de transporte de energía en el que se dé la transferencia de calor, se parte de la siguiente fórmula:

$Q = A * U * \Delta T$ Ecuación para determinar la transferencia de calor.

Q = Caudal de calor que se transmite.

A = Superficie eficaz de transmisión de calor.

U = Coeficiente global de transmisión de calor

ΔT = Diferencia entre temperaturas del proceso (Huaraca & Poalacin)

Conducción.

Es producida a través de un medio material con otro, por contacto directo, sin la necesidad de que se intercambie materia entre ambos. Éste medio puede ser sólido,

líquido o gaseoso. El calor se transmite del cuerpo más caliente al más frío, como se observa en la figura.

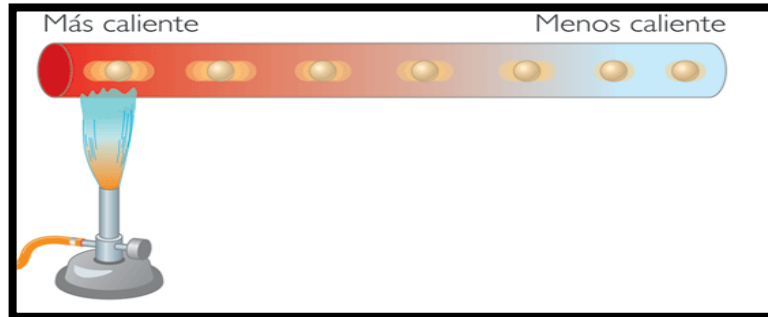


Figura 2: Transferencia de calor por conducción: Educaycreea

Convección.

Al encontrarse una diferencia de temperatura al interior de un líquido o gas, entonces se produce un movimiento del fluido, logrando transmitirse la temperatura de una parte del fluido a otra.

El tipo de convección puede ser natural, que es producida solamente por las diferencias de densidades de la materia; o también forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro.

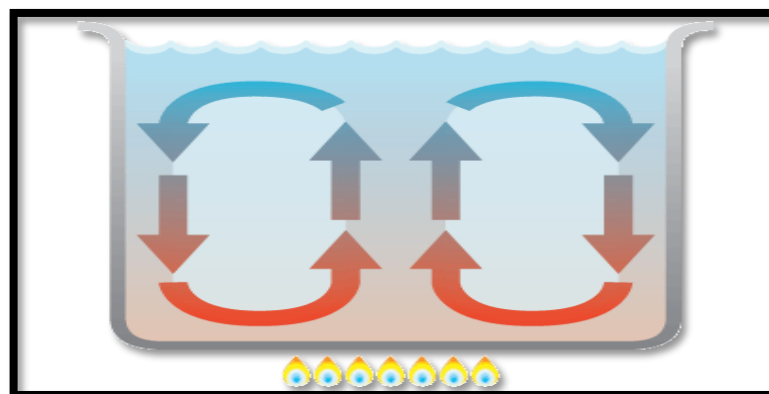


Figura 3: Transferencia de calor por convección: CBTis

Radiación.

La transferencia de calor por radiación es la energía que se emite de la materia, la cual se encuentra a una determinada temperatura; transferencia se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones en forma de ondas electromagnéticas, sin que los cuerpos estén en contacto.

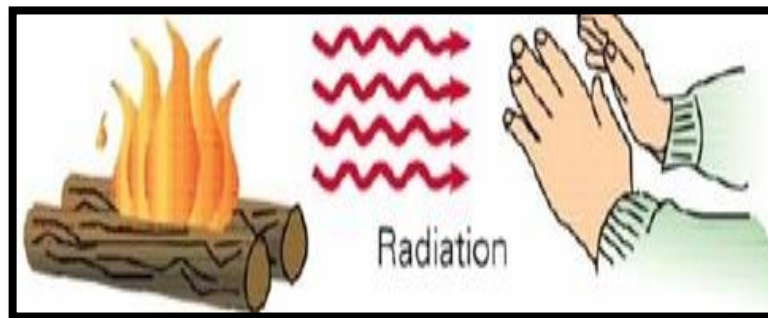


Figura 4: Transferencia de calor por radiación: Slidshare

2.2.3 Sistemas de control

Un sistema de control se puede definir como un ente que recibe variables entrantes, o en su caso acciones externas, y como respuesta tiene las variables de salida.

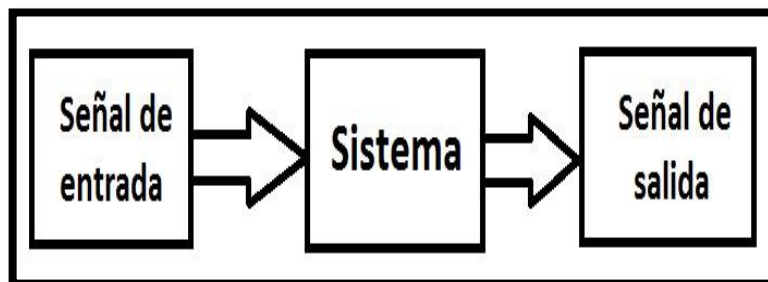


Figura 5: Representación base de un sistema de control: Elaborado por el autor

Consiste en ordenar, controlar, regular o administrar elementos, con el objetivo de disminuir el nivel de fallos en el proceso, y obtener resultados esperados.

El sistema de control debe tener características esenciales, las cuales son:

- Ser estable.
- Ser resistente frente a los errores del modelo y a perturbaciones.
- Lograr la mayor eficiencia posible, haciendo que el control sobre las variables entrantes sea ejecutable, y evitando comportamientos bruscos.
- Ser fácil de implementar y operar en tiempo real.

Sistemas de control en lazo abierto.

El sistema en lazo abierto es el que, recibiendo una señal de entrada, da como resultado una señal de salida, independiente de la señal entrante, pero basada en ella. Es decir, que no existe retroalimentación en el sistema para reajustar la variable de control, a las nuevas condiciones de la señal entrante.

Por lo que la señal de salida no se convierte en una nueva señal de entrada.

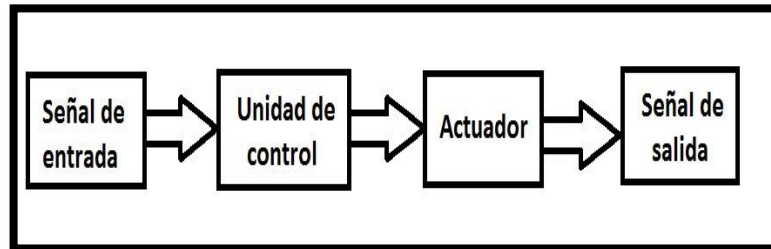


Figura 6: Sistema de control en lazo abierto: Elaborado por el autor

Este tipo de sistemas se caracteriza por lo siguiente:

- Ser sencillo.
- La precisión depende de una previa calibración en el sistema.
- La salida no se compara con la entrada.
- No es estable ante perturbaciones.

Sistemas de control en lazo cerrado.

Este tipo de sistemas hacen que la acción de control dependa de la señal de salida, mediante la retroalimentación de dicha señal.

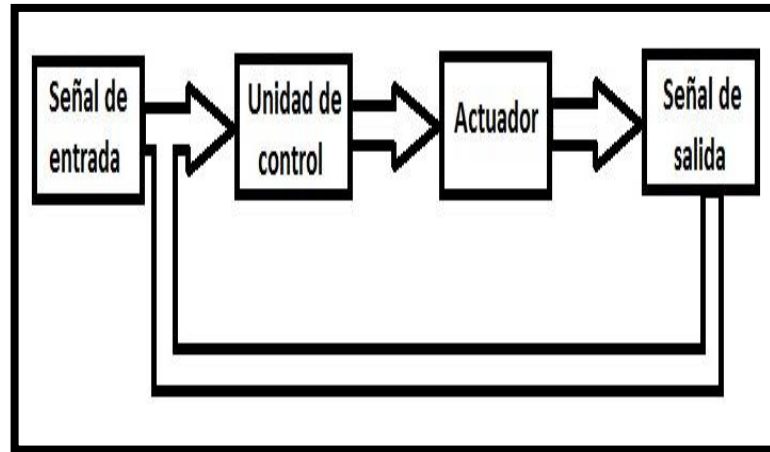


Figura 7: Sistema de control en lazo cerrado: Elaborado por el autor

La acción de control es calculada con respecto al error medido entre la variable controlada y el resultado deseado. A través de la retroalimentación se va disminuyendo la diferencia que existe entre las variables de entrada y salida, ante la presencia de perturbaciones, llegando al resultado esperado en el sistema, manipulando su entrada.

Los sistemas de control en lazo cerrado se caracterizan por:

- Son sistemas de control complejos.
- Se compara la señal de entrada con la de salida, afectando al control del sistema.
- Es más estable ante perturbaciones y posibles variaciones internas.
- Tiene retroalimentación.

Control ON-OFF.

Se lo conoce también como el sistema encendido-apagado. Su función es enviar un valor de encendido o apagado, dependiendo si la señal de error que se presenta es positiva o negativa.

Al iniciar el control, la señal de error es positiva, esto hace que el controlador inicie hasta llegar al resultado deseado, después de eso, la señal de error se convierte en negativa, haciendo que el controlador se apague, como se puede apreciar en la siguiente figura.

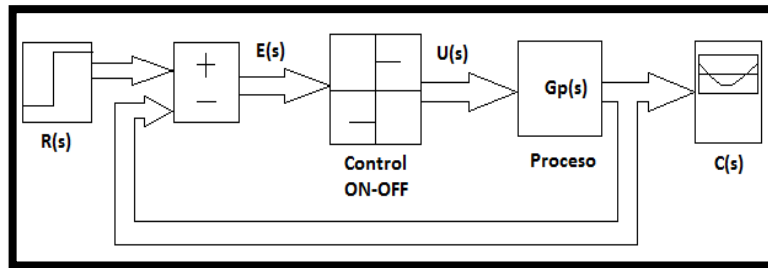


Figura 8: Sistema con control ON-OFF: Elaborado por el autor

Este control es sencillo y bastante utilizado en los procesos industriales que no requieran una precisión alta, ya que el controlador no puede generar un valor exacto de la variable controlada.

2.2.4 Automatización

El objetivo de la automatización es lograr la competitividad en la industria. Por ello es necesario utilizar tecnologías de acuerdo con los fines específicos. Debido a esto, es un requisito que el personal involucrado tenga los conocimientos necesarios de cada uno de los procesos que se van a desarrollar.

A medida que la evolución tecnológica avanza, el ser humano continúa en la constante búsqueda de elementos automáticos que sean capaces de realizar las mismas tareas que han sido realizadas por ellos.

Con el acelerado avance en el campo de la electrónica, la automatización también ha crecido, lográndose desarrollar elementos automáticos con la capacidad de realizar funciones intelectuales específicas.

Pirámide de automatización

La automatización a nivel industrial es una disciplina de la ingeniería mucho más extensa que los sistemas de control, está constituida por una pirámide, la cual está dividida en distintos niveles como se puede observar en la siguiente figura.

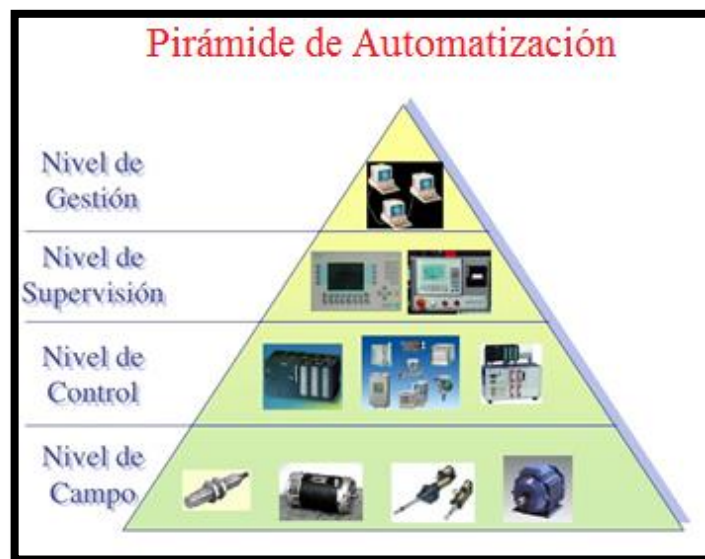


Figura 9: Pirámide de Automatización: José Velásquez

Nivel de Campo.

Es el nivel más bajo de la pirámide, donde se encuentran los elementos sensores, motores eléctricos, actuadores, entre otros.

Nivel de Control.

En el segundo nivel se encuentran los todos los dispositivos que se utilizan para control y monitoreo del sistema automatizado, tales como el HMI, controlador de temperatura, variadores trifásicos, PLC, etc.

Este nivel se encarga de controlar los elementos pertenecientes al nivel de campo.

Nivel de Supervisión.

En éste tercer nivel se encuentran los sistemas Scada y los PLC maestros. Su función es controlar la interacción entre todos los dispositivos existentes en el nivel de control. Logrando la posibilidad de monitorear y controlar distintos procesos en tiempo real.

Nivel de Gestión.

Siendo el nivel más alto de la pirámide de automatización, el cual contiene PC's industriales. Se encarga de controlar toda la planta. En este nivel también se puede relacionar nuestra planta con sistemas de monitoreo y control externo.

Objetivos de la automatización industrial.

Citando a Guadayol y Medina, quienes determinaron que los objetivos de la automatización a nivel industrial son los que se presentan a continuación:

- Optimizar el rendimiento de la empresa, disminuir los costos en la producción y mejorar la calidad de la misma.
- Mejorar los escenarios de trabajo del personal, eliminando trabajos embarazosos e aumentando la seguridad.
- Ejecutar las operaciones consideradas imposibles de controlar para el ser humano tanto intelectual o manualmente.

- Aumentar la disponibilidad de los productos, con el fin de proveer las cantidades necesarias en el momento requerido.
- Simplificar el mantenimiento y operación del sistema de tal manera que el operario no requiera de grandes conocimientos para realizar manipulación de los procesos. (MEDINA & GUADAYOL, 2010)

2.2.5 Controladores

PLC

Es un equipo electrónico que puede programarse en un tipo de lenguaje no obligatoriamente informático, y cuyo diseño nos permite controlar en tiempo real, los procesos continuos, mayormente de carácter industrial. Está compuesto por: procesador, memoria, puertos de comunicación, software programado, etc.

HMI.

Es la interfaz hombre-máquina, gracias al avance, permite la presentación de variables o gráficas de los procesos realizados, mediante la comunicación con el PLC. El HMI cuenta con diversas funciones tales como: supervisión, monitoreo, alarmas, control, almacenamiento y muestreo.

2.2.6 Protocolos de comunicación

Protocolo de comunicación MODBUS RTU

Es un protocolo de solicitud-respuesta implementado usando una relación maestro-esclavo. En dicha relación, la comunicación siempre se produce en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio es responsable de iniciar cada interacción. Por lo general, el maestro es una interfaz humano-máquina o sistema SCADA y el esclavo es un sensor,

controlador lógico programable o controlador de automatización programable. El contenido de estas solicitudes y respuestas, y las capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, son definidas por las capas del protocolo. (Instruments)

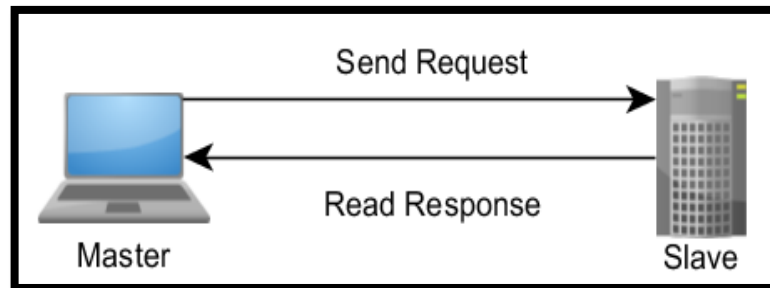


Figura 10: Ejemplo de Comunicación por Modbus: National Instruments

Las principales razones por las cuales el uso de Modbus en el entorno industrial se ha impuesto a otros protocolos de comunicaciones son:

- Se diseñó teniendo en cuenta su uso para aplicaciones industriales.
- Es público y gratuito.
- Es fácil de implementar y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones. (Wikipedia, s.f.)

Estructura de los mensajes en Modbus RTU.

Para el modo RTU, se considera que cada palabra (mensaje) posee un byte (8 bits), de los cuales se separa en: un start bit, 8 bits, 2 bits de detención, sin paridad, como se muestra a continuación:

Start	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Stop	Stop
-------	----	----	----	----	----	----	----	----	------	------

La red Modbus - RTU emplea la configuración maestro - esclavo para la comunicación, en dicha configuración es posible emplear hasta 247 esclavos y

únicamente un maestro. La comunicación empieza cuando el maestro inicia una solicitud a un esclavo enviando un byte con la dirección de dicho esclavo, y a su vez el esclavo responde a la solicitud del maestro, enviando la información con su misma dirección para que el maestro pueda reconocer cual es el esclavo que está respondiendo. En dicha comunicación se emplea la estructura como se observa en la siguiente figura.

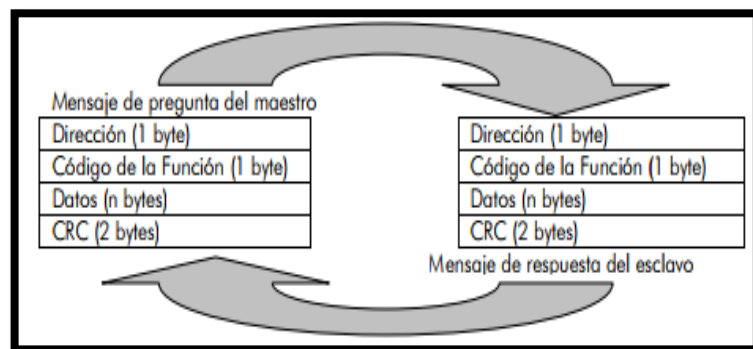


Figura 11: Estructura de mensajes modo Modbus-RTU: WEG

Protocolo de comunicación RS-485

Éste protocolo está definido como un sistema de tipo bus diferencial multipunto, considerado ideal para la transmisión a altas velocidades sobre largas distancias (10 Mbit/s hasta 12 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que el par trenzado reduce los ruidos que se inducen en la línea de transmisión. (Wikipedia, s.f.)

El medio físico de transmisión es un par trenzado (aunque existe una topología muy poco común de dos pares trenzados) que admite 32, 128 o 256 estaciones en 1 solo par, con una longitud máxima de 1200 metros operando entre 300 y 19 200 bit/s y la comunicación half-duplex (semidúplex) dependiendo del consumo de cada driver. (Wikipedia, s.f.)

Especificaciones:

- Interfaz diferencial.
- Conexión multipunto.
- Alimentación única de +5V.
- Hasta 32 estaciones (hay interfaces que permiten conectar 256 estaciones).
- Velocidad máxima de 10 Mbit/s (a 12 metros).
- Longitud máxima de alcance de 1200 metros (a 100 kbit/s).
- Rango de bus de -7V a +12V. (Wikipedia, s.f.)

2.2.7 Actuadores

Variador de frecuencia.

Un variador de frecuencia en la automatización es empleado para controlar la velocidad de un motor de corriente alterna trifásica. Dichos motores son muy utilizados en la industria ya que son robustos, tienen bajos niveles de mantenimiento y un costo bajo.

Con las nuevas tecnologías en variadores trifásicos, es posible modificar dicha velocidad del motor muy fácilmente.

Pulsador.

Éste elemento requiere que el operario lo mantenga pulsado para que los contactos puedan unirse y así se produzca el flujo de corriente, de otra forma obstaculizará el paso de ésta. Los pulsadores son utilizados generalmente para una acción momentánea.

Lamparas de señalización.

Este tipo de lámparas son utilizadas en la mayoría de industrias para indicar que se ha realizado alguna acción durante el proceso. Normalmente se utilizan lámparas de color rojo, para indicar alguna alarma, finalización de un proceso, o finalización de los procesos del sistema. En cambio, una de color verde indica el arranque de una máquina, inicio de un proceso, entre otros.

Selector.

Con el selector de tres posiciones, que tiene como característica que el centro sea normalmente abierto, nos permite seleccionar el tipo de sistema que vamos a emplear, sea automático o manual, según la necesidad en nuestro sistema. Cada una de las posiciones del selector, tiene una función específica.

Fusibles.

Son colocados al inicio de la línea de alimentación eléctrica, y representan el punto de mayor debilidad de dicha línea. Están formados por un hilo conductor, que según especificaciones del fabricante va a tolerar un máximo de amperaje. Si el nivel de intensidad eléctrica que pasa por el fusible es mayor al que máximo de tolerancia, entonces el calor que se produce hará que el hilo conductor se funda, interrumpiendo el paso de corriente.

Motor eléctrico trifásico.

Los motores eléctricos trifásicos, son fabricados en diversas potencias, desde una fracción de caballo de fuerza hasta varios miles de caballos de fuerza (HP), son elaborados para todas las tensiones y frecuencias normalizadas y a menudo, están equipados para trabajar a dos tensiones nominales distintas. Son empleados para

accionar máquinas - herramienta, ventiladores, maquinaria elevada, sopladores, bombas, grúas, montacargas, entre otros.

Motores de corriente alterna.

Los motores de C.A. se clasifican en asíncrono o de inducción.

Los motores asíncronos o de inducción son los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. (Prada, 2014)

La mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V. (Prada, 2014)

Resistencia eléctrica para calentamiento.

Las resistencias eléctricas son empleadas para realizar procesos de calentamiento mediante la transferencia de calor, es decir que convierten en calor la corriente eléctrica que fluye por ellas.

Según la ley de joule, la cantidad de calor emitido de una resistencia es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente y también al valor de la resistencia y al tiempo. (BLANCO ALVAREZ, 2004)

2.2.8 Sensores

Sensor de Temperatura.

El sensor de temperatura es un elemento que está diseñado para interpretar y transformar los cambios de temperatura que existen en un medio físico, así también

en cambios de señales eléctricas que posteriormente son enviadas a un dispositivo que las procesa.

2.2.9 Lenguajes de programación

Lenguaje booleano.

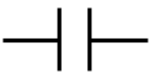
Está basado en la sintaxis del álgebra de Boole. Consiste en crear una lista de nemónicos o instrucciones, empleando operadores Booleanos (AND, OR, NOT, entre otros), para realizar el sistema de control.

Básicamente el lenguaje booleano es una forma de ingresar programas de control a un controlador. Cuando éste es desplegado en un dispositivo de programación, se visualiza al lenguaje booleano como un diagrama de escaleras en vez de los comandos booleanos que definen la instrucción.

En un diagrama de funciones de lenguaje booleano utiliza diagramas de bloques, que pueden ser interconectados como un circuito eléctrico.

Lenguaje Ladder.

El lenguaje Ladder o lenguaje de escalera es un tipo de programación gráfico que está basado en esquemas eléctricos. Consiguiendo usar estos conocimientos para adaptarlos al método de programación en lenguaje. La norma NEMA6 regula el uso de símbolos empleados por los fabricantes. (Huaraca & Poalacin)

Símbolo	Nombre	Detalle
	Contacto NA	Se activa cuando hay un 1 lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada, una variable interna o un bit de sistema.

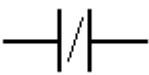



	Contacto NC	Se activa cuando hay un 0 lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada da un 1 lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada da un 0 lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa no se puede desactivar si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.

Tabla 3: Símbolos básicos del lenguaje Ladder: Poalacin-Huaraca

2.3 MARCO TEÓRICO

El principal problema en la elaboración de yogurt es que tiene un elevado costo de mano de obra y elaboración, con el pasar del tiempo, varios autores han generado fórmulas, logaritmos, o sistemas para mejorar la productividad y calidad del yogurt, reduciendo el tiempo de fabricación y cantidad de mano de obra humana; a continuación, se muestran los autores que han desarrollado los métodos para la mejora de la producción.

En 2012 en la Universidad de Técnica de Ambato, Paúl Proaño López, presentó el tema de tesis “Control automático centralizado para optimizar el proceso de producción de leche, yogurt, y queso en la planta de lácteos “Marco`s”. El proyecto enmarcaba todo lo referente a la automatización de procesos y máquinas utilizando PLC, así también al monitoreo de los mismos procesos en base a HMI elaborados en la herramienta gráfica de Labview, Lácteos Marco`s no tenía todas sus áreas

automatizadas, por lo que se hacía el control manual, generando pérdida en el tiempo de producción. El proyecto logró mejorar el tiempo de producción, ya que ese tiempo sirvió para que los operadores realicen otras tareas. (Proaño)

En el 2013 en la Universidad Técnica del Norte, Franklin Montalvo, realizó un proyecto titulado “Automatización del depósito lacto-fermentador para la elaboración de yogurt en el colegio técnico agropecuario “Carlos Ubidia Albuja de la ciudad de Otavalo”, que consistía 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, contando con un controlador principal PLC LOGO de Siemens, un HMI para visualizar la temperatura y la fase en que se encuentra el proceso de elaboración del yogurt. El objetivo del proyecto era que los estudiantes del colegio optimicen sus recursos y puedan ofrecer un producto de calidad. (Montalvo)

En 2014 en la Universidad del Cauca, Mauricio Urrutia y Andrea Carvajal presentaron un artículo que proponía la automatización de yogurt casero de una microempresa ubicada en el barrio Los Naranjos, cercano a la universidad antes mencionada. El fin de dicha automatización era reemplazar actividades que obedecen al control manual, por medio de dispositivos como sensores de temperatura, presión, medidores de acidez del yogurt, para facilitar el control sobre el proceso, y por consiguiente una minimización con respecto a las variaciones presentes en los estándares existentes para el proceso. (Urrutia & Carvajal)

En 2014 en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Zaira Sánchez Omaña y Miguel Ángel Alonso Cano realizan la tesis con el tema “Automatización del proceso de frutado y batido del yogurt empleando un controlador lógico programable y una interfaz hombre-máquina”, el cual está centrado en la automatización de procesos productivos, diseñando simulando e instrumentando un sistema automatizado para el proceso de frutado y mezclado de yogurt natural, donde utilizan como procesador central, un PLC, interfaces de entrada y salida

como sensores de presión, bombas neumáticas, válvulas, luces piloto, y un variador de frecuencia. El sistema se puso en marcha en la empresa Lactel, obteniendo como resultados, la comprobación del aumento de la productividad, reducción de costos del proceso de frutado y batido, ya que antes se contaba con un método de producción manual. (Sánchez & Cano)

En 2015 en la Universidad de Oviedo, Esteban Giancarlo Bacilio Loor presenta su proyecto de “Automatización de líneas de pasteurización, siembra y cultivo, de fermentos para la fabricación de yogurt firme”, el cual surge a partir de una necesidad de la empresa CAPSA FOOD que buscaba renovar y mejorar el control y supervisión en los procesos de fabricación de yogurt firme en su fábrica principal, ubicada en Granda (Asturias). El objetivo de dicho proyecto era obtener un desarrollo que permita la integración tecnológica en los tres primeros niveles de la pirámide de automatización, teniendo grandes beneficios como eficiencia, ahorro de energía y materia prima, mejoras en el proceso control de calidad, trazabilidad e identificación de fallos y averías en las líneas de producción. (Bacilio)

En 2015 en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Silvia Poalacin y Jaime Huaraca desarrollaron el proyecto “Automatización del reactor para el proceso de elaboración de yogurt en el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias”. El proyecto consistió en automatizar el reactor, empleando el método experimental para realizar el diseño e implementación del sistema electrónico, eléctrico y de control. Se empleó PLC para el control del sistema, sensores de temperatura, electroválvula y controladores de fase para monitorear el calor emitido por un calentador eléctrico. El resultado fue generar una estabilización de producción del 98.5 %, minimizando el tiempo invertido por parte del operario, y garantizando la calidad del producto con un control optimizado de temperatura. (Huaraca & Poalacin)

2.4 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

2.4.1. COMPONENTES SIMULADOS

2.4.1.1 Tanque reservorio de leche pasteurizada

Para el almacenamiento de la leche pasteurizada antes de iniciar el proceso de elaboración de yogurt, se cuenta con un tanque reservorio con una capacidad de 100 litros como se muestra en la siguiente figura.

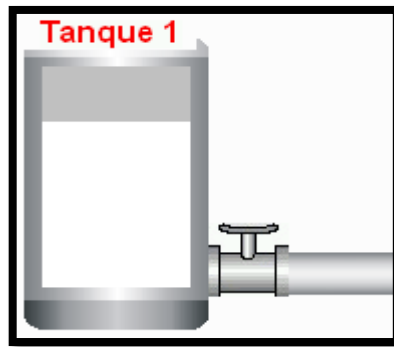


Figura 12: Tanque simulado de leche pasteurizada: Elaborado por el autor

Además, el tanque cuenta con una electroválvula que permite el control del paso de la cantidad de leche pasteurizada a procesar.

2.4.1.2 Reactor químico

Se emplea un reactor químico con la misma capacidad del tanque reservorio. El reactor químico permite controlar la temperatura en que reaccionan los elementos que se desean mezclar, ya que emplea un sistema de calentamiento mediante resistencias eléctricas.

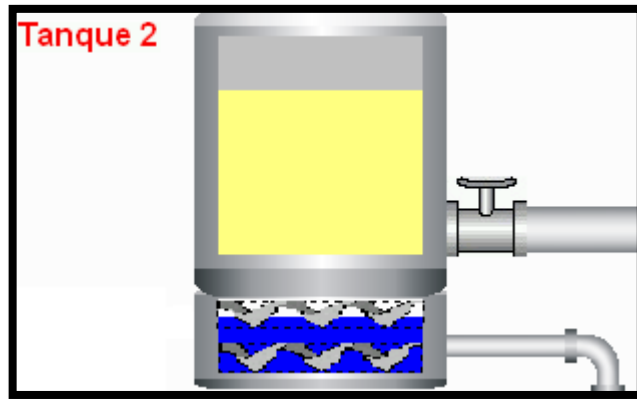


Figura 13: Reactor Químico simulado: Elaborado por el autor

En el reactor químico se realiza el proceso de calentamiento empleando el flujo de agua para lograr la temperatura deseada. Este reactor también emplea una electroválvula para el paso del yogurt al siguiente contenedor mediante presión interna.

2.4.1.3 Tanque mezclador

El tanque mezclador de la misma capacidad que el reactor y el tanque reservorio posee dos aspas que permiten un mezclado homogéneo, ya que siendo de carácter industrial rompe el coágulo del yogurt con mayor uniformidad a medida que gira con más frecuencia.

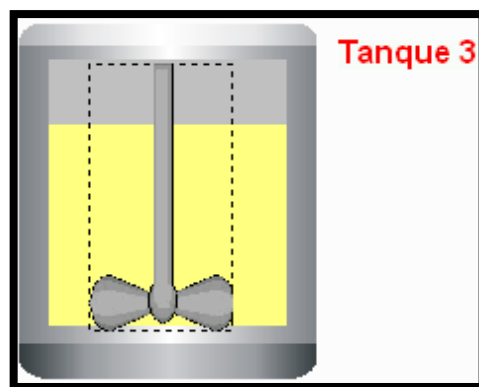


Figura 14: Tanque mezclador simulado: Elaborado por el autor

2.4.1.4 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga impulsa el paso del flujo del agua, considerando que, si se aumenta la frecuencia de la bomba, el caudal del agua también aumenta. Por lo que es empleada para aumentar o disminuir la temperatura en el reactor químico.

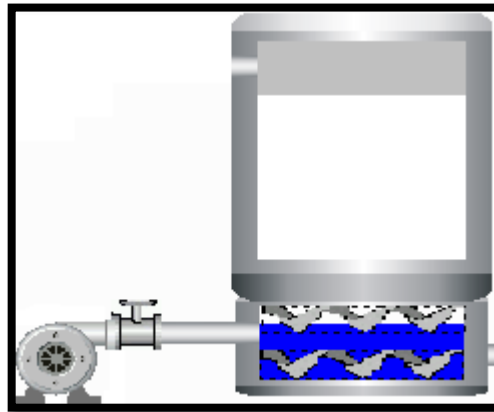


Figura 15: Bomba centrífuga simulada: Elaborado por el autor

2.4.1.5 Electroválvula industrial

La electroválvula es conectada a cada tanque y permite el cierre o paso de la leche a los tanques siguientes. Cada electroválvula empleada es controlada por el PLC, para que actúe dependiendo del proceso.

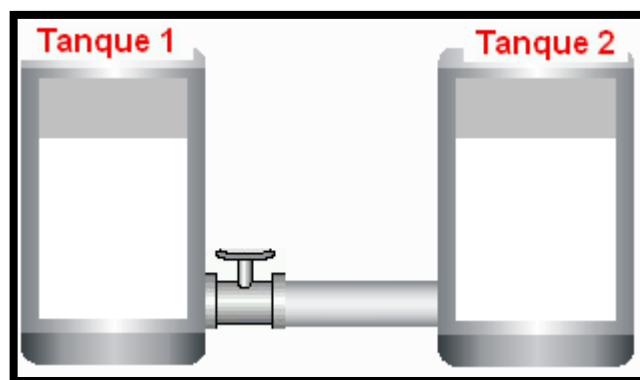


Figura 16: Electroválvula industrial simulada: Elaborado por el autor

2.4.2 COMPONENTES FISICOS

2.4.2.1 PLC Siemens 1200 AC/DC/RL

El equipo que se eligió para realizar la propuesta de innovación fue de marca Siemens, ya que nos sirve por la cantidad de puertos analógicos y digitales utilizables, la facilidad de conexión de sus puertos y alimentación, la opción de conectar un módulo expensor, para conectar un controlador de temperatura.

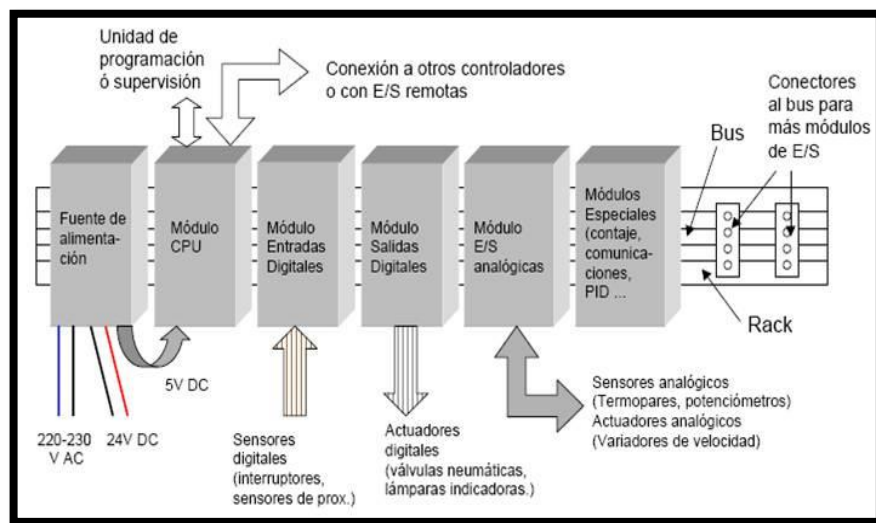


Figura 17: Elementos que contiene un PLC: David Rojas

Las características del PLC Siemens S7-1200 son:

- Integrado con control lógico.
- 8 puntos de entrada digital.
- 6 puntos de salida digital.
- 2 puntos de entrada analógica.
- Capacidad para conectar módulo expensor.

Especificaciones generales:

Voltaje de alimentación	120 V ~ 240 VAC
Rango de tensión	85 V ~ 264 VAC
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz
Consumo de energía	80 mA- 120 V 40 mA – 240 V
Apagado Instantáneo	Menos de 20 ms
Alimentación para sensores	24 VCC

Tabla 4: Especificaciones PLC S7 1200 AC/DC/RL: Elaborado por el autor

2.4.2.2 Módulo de comunicación CM 1241 RS485

Los módulos de comunicaciones CM 1241 presentan las siguientes características:

- Fijación sobre perfil normalizado: Los módulos se abrochan sobre el perfil a la derecha de la CPU; la conexión eléctrica y mecánica con los otros módulos y con la CPU se establece con el mecanismo deslizante integrado.
- Fijación directa: Montaje vertical u horizontal en perfil soporte normalizado o fijación directa al armario mediante orificios de montaje integrados. (Industry, s.f.)

Los módulos de comunicaciones disponen de:

- LED de estado para la indicación de "envío", "recepción" y "fallo".
- Interfaz de comunicación: RS232 o RS422/485. (Industry, s.f.)

Características del módulo de comunicación CM 1241 RS485:

Tensión Nominal	24 V DC
Rango admisible de tensión	20.4 ~ 28.8 VDC
Consumo máximo de corriente	220 Ma
Pérdidas típicas	1,1 W
Número de interfaces	1
Longitud del cable Punto a Punto	1000 m
Protocolos de comunicación	Freeport ASCII Modbus RTU maestro / esclavo USS

Tabla 5: Especificaciones de módulo de comunicación: Elaborado por el autor

2.4.2.3 HMI DOP-B03E211

Características generales:

- 4.3 pulgadas TFT LCD en color 65536.
- 2 juegos de puertos COM, soporta RS-232 / RS-422 / RS-485.
- Para transferencia de datos: RS-232, USB, Ethernet.
- Soporta Ethernet.
- Soporta visualización horizontal / vertical.
- Software de edición para PC, DOPSoft es compatible con sistemas operativos: Windows XP, Windows Vista, Windows 8, Windows 10. (DELTA, DELTA, s.f.)



Figura 18: HMI DOP-B03E211: DELTA

2.4.2.4 Sensor de temperatura PT100

La nomenclatura del tipo de termo resistencia está compuesta del material del cual está constituido el sensor, su resistencia en Ohmios a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ se presenta con un error de $\pm 0,30\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $\pm 0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$, la curva de respuesta se puede verificar en la figura 20 [4]

Los valores de resistencia a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ más habituales se encuentran en el rango de 100 y 1000 Ohmios. La sensibilidad de un RTD de platino es constante en todo el rango de temperaturas que son capaces de medir. La PT100 varía 38.5 Ohmios cada $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la PT1000 varía 385 Ohm cada $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Huaraca & Poalacin)

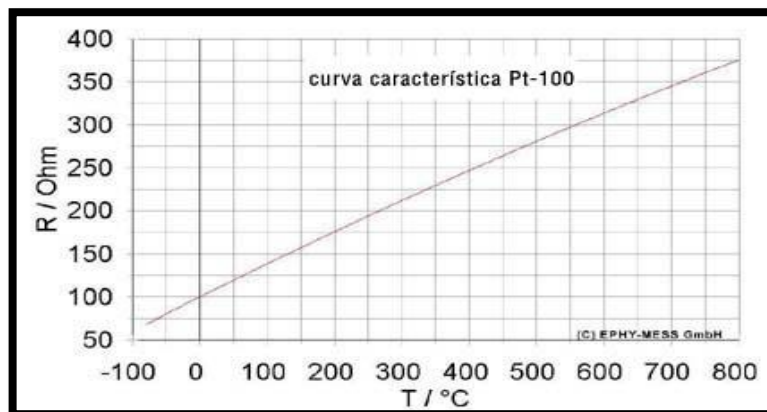


Figura 19: Curva de respuesta del PT100: Academia Testo

2.4.2.5 Controlador de temperatura DTB4848

Se eligió este tipo de controlador ya que tiene una respuesta de salida rápida, acertados parámetros PID autoajustables, soporta protocolos de comunicaciones Modbus y está diseñado con varios tipos de salida, permitiendo alcanzar un control muy rápido en diferentes sistemas. Además, todas las series se encuentran compiladas con una dimensión internacional de instalación y están aprobadas por la CE y UL de seguridad internacional. (VARITEL, s.f.)

Características del controlador de temperatura:

- Control de los modos de entrada PID / ON-OFF / manual.
- Sintonización automática de los parámetros PID.
- Diferentes termopares (J, K, L, N, R, S, T, U, TXK) y platino de IDT (PT100, JPT100) pueden ser establecidos por parámetros.
- Construido en 2 grupos de interruptores de alarma con 13 modos de alarma de temperatura Celsius o Fahrenheit.
- 2 funciones de bloqueos: (1. Bloquear todas las claves, 2. Bloquear sólo la tecla de función, teclas UP / DOWN son todavía viables).
- Tamaño del panel: 4848, 4896, 9648, 7272, 9696.
- Con interfaz de comunicación opcional RS-485 interfaz de comunicación (Modbus ASCII, RTU, la tasa de baudios: 2400 ~ 38400).
- Con funciones opcionales de cable de detección de ruptura, y salida de alarma.
- Toma de muestras del sensor: 0,5 segundos / hora.
- Certificaciones: protección IP5X, CE, UL. (VARITEL, s.f.)



Figura 20: Controlador de Temperatura DT4848: Nexinstrument

2.4.2.6 Variador de frecuencia VFD 007

Se selecciona este tipo de variador para el proyecto ya que permite modificar la tensión, frecuencia y sentido de giro que se entregan al motor, por lo cual el control de la velocidad y torque del motor se tornan sencillos.

Características específicas del VFD 007:

- Frecuencia de salida 0-600 Hz.
- Auto tuning del motor.
- Comparte BUS CC.
- Comunicación MODBUS vía RS485.
- Entradas digitales 6, salidas digitales 2.
- Entradas analógicas 2, salidas analógicas 1.



Figura 21: Variador de frecuencia VFD 007: DELTA

2.4.2.7 Selector 22MM 3 posiciones NA+NC

Para el selector de 3 posiciones, se considera una posición central NC y dos posiciones NA, una para cada extremo, cuyas características son:

Corriente soportada	10 Amp
Voltaje soportado	600 V
Vimp	6kV

Tabla 6: Especificaciones del Selector



Figura 22: Selector de 3 posiciones: Adajusa

2.4.2.8 Pulsador

El pulsador de color verde se considera normalmente abierto, y el pulsador de color rojo es considerado normalmente cerrado, ambos pulsadores comparten las siguientes características:

Voltaje soportado	380V
Corriente soportada	6A

Tabla 7: Especificaciones del pulsador



Figura 23: Pulsador: Direct Industry

2.4.2.9 Lámparas de señalización

Las lámparas utilizadas son de color rojo y verde, ambas de tipo led y con las siguientes características:

Voltaje	110 V
Corriente	≤ 50 mA

Tabla 8: Especificaciones de lámpara de señalización



Figura 24: Lámpara de señalización: Allbiz

2.4.3 COMPONENTES LÓGICOS

2.4.3.1 Tía portal V13

Es el innovador sistema de ingeniería que permite configurar de forma intuitiva y eficiente todos los procesos de planificación y producción. Conviene por su funcionalidad probada y por ofrecer un entorno unificado para las tareas de accionamiento, visualización y control.

Ventajas de la V13:

- Team Engineering.
- Varias personas pueden trabajar simultáneamente sobre una misma tarea.
- Búsqueda automática de actualización de software.
- Consistente desarrollo de lenguajes de programación (LAD, STL, SCL y Graph).
- Carga de la configuración hardware y el programa de usuario incluyendo valores para servicios.
- PLCSim para S7-300 / S7-400 y ahora S7-1500. (SIEMENS, s.f.)



Figura 25: Software Tía Portal: Elaborado por el autor

2.4.3.2 DOPsoft.

Es un programa perteneciente a la empresa DELTA, es intuitivo y amigable con la interfaz hombre-máquina. Gracias a este software es posible crear las distintas ventanas pertenecientes a nuestro proyecto, con la capacidad de configurar las variables y redes de comunicación que utilizemos. Su interfaz gráfica es completa, y posee un nivel alto de versatilidad.

DOPSoft juntos a los soft asociados “DOP e-Remote” y “DOP e-Server” no permiten un control total de forma remota. DOP e-Remote permite monitorear y controlar el HMI mediante la red Ethernet. DOP E Server permite monitorear de forma remota distintos parámetros preestablecidos, actuando similar a un servidor. (Microautomacion)

El software DOPsoft cuenta con un simulador que sirve para que el programador compruebe el avance de su proyecto, sin la necesidad de estar conectado a la pantalla HMI.

DOPsoft permite el desarrollo de la interfaz gráfica mediante los distintos elementos de su barra de herramientas.

2.4.3.3 Cade simu

Es un programa que permite trazar diversos esquemas eléctricos, de forma fácil. Además de permitirnos iniciar la simulación del circuito, una vez finalizado el esquema, para comprobar que la lógica del circuito realizado funcione en su totalidad.

El fin de dicha simulación es comprobar el estado de cada componente eléctrico ante el paso de corriente, a fin de tener un esquema eléctrico que cumpla con los requerimientos.

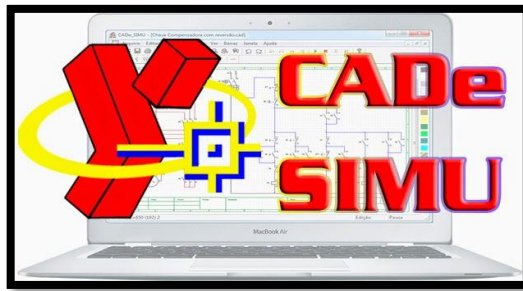


Figura 26: Software Cade Simu: Los libros de Mr. P

2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA

2.5.1 DISEÑO FÍSICO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

A través de un diagrama de bloques se pretende mostrar el modo de operación interno del sistema y los elementos comprendidos en la supervisión y control. Tiene la ventaja de presentar de una perspectiva más realista del proceso que se está realizando.

El diagrama de bloques comprende varios puntos como: alimentación, potencia y comunicación de los elementos del sistema con el controlador principal. En la siguiente figura, se observa el diagrama de bloques de todos los elementos pertenecientes al sistema de control diseñado.

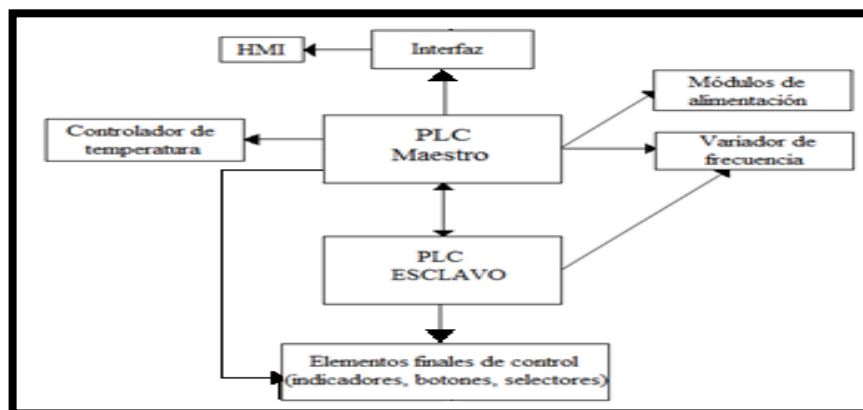


Figura 27: Diagrama de bloques del sistema: Elaborado por el autor

Diagrama eléctrico del sistema.

Para el diseño eléctrico del sistema se presentan dos partes, el diseño eléctrico del PLC maestro en la figura 28, y el del PLC esclavo en la figura 29.

Para el PLC maestro, se realizaron las conexiones de alimentación a 120 VAC, donde se emplearon disyuntores como prevención de sobrecarga de los equipos, así también se utilizaron portafusibles como medida de seguridad. Para la alimentación del PLC, switch y controlador de temperatura, se emplearon regletas de tipo industrial conectadas a la alimentación 120 VAC, con el fin de alimentar a todos los equipos que lo requieran.

El sistema tiene algunos elementos que envían o reciben señales del PLC, por lo que se realizó la alimentación de dichos elementos por medio de borneras ubicadas en rieles y con sus respectivos finales de carrera, como lo indican las normas industriales, tanto como para 120 VAC como 24 VDC del PLC.

Para la conexión del PLC con las señales de entrada, se realiza un pequeño puente entre el pin de neutro de los 24 VDC del PLC con el pin 1M de las entradas digitales de este; de esta forma todos los pines que pertenecen a las entradas digitales se encuentran conectados en neutro.

La alimentación del HMI también es de 24 VDC, pero al ser una interfaz mas no un elemento que se conecte a las señales digitales de entrada del PLC, es necesario conectarlo a un borne y al neutro de 24 VDC del PLC.

Las lámparas de señalización al requerir una alimentación de 120 VAC, se conecta un extremo al neutro de la línea principal, mientras que el otro extremo es conectado a los pines correspondientes de las salidas digitales del PLC. Para el variador de frecuencia al requerir de alimentación de 240Vac, se implementó una conexión eléctrica dedicada al emplear dos líneas de 120 V AC.

Para la comunicación entre los elementos se realizó una representación de los enlaces que llevan, como se muestra en la figura 29, teniendo enlaces tipo ethernet y RS-485. Una vez realizada la configuración eléctrica del PLC maestro, se aplica el mismo diseño para el PLC esclavo, considerando que en el diseño del esclavo no se emplea el controlador de temperatura.

La alimentación eléctrica de 120 VAC de los elementos del diseño del PLC esclavo, está conectada a la alimentación del PLC maestro como se aprecia en la figura 29. Así también las conexiones de señal de entrada y salida a sus respectivos elementos, como se explicó en el PLC maestro. Para la alimentación del variador de frecuencia se empleó una regleta industrial que alimente tanto al variador del PLC maestro como al del esclavo. Para la comunicación se considera el mismo switch empleado, tanto en el diseño eléctrico del PLC maestro como del esclavo, permitiendo la comunicación ethernet entre los dos PLC y la interfaz HMI. Para el variador de frecuencia se empleó un enlace RS-485 como en el diseño anterior.

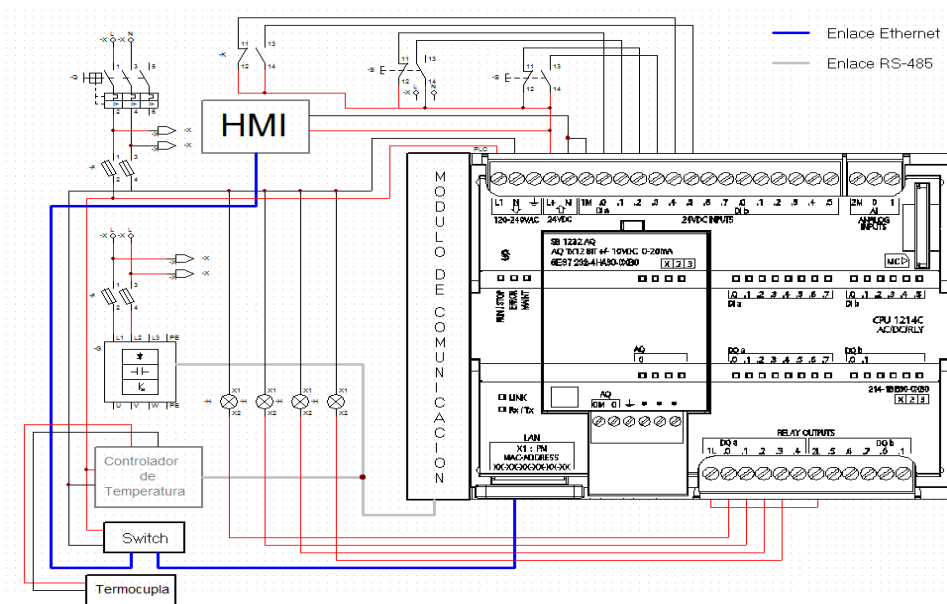


Figura 28: Diseño eléctrico del PLC maestro: Elaborado por el autor

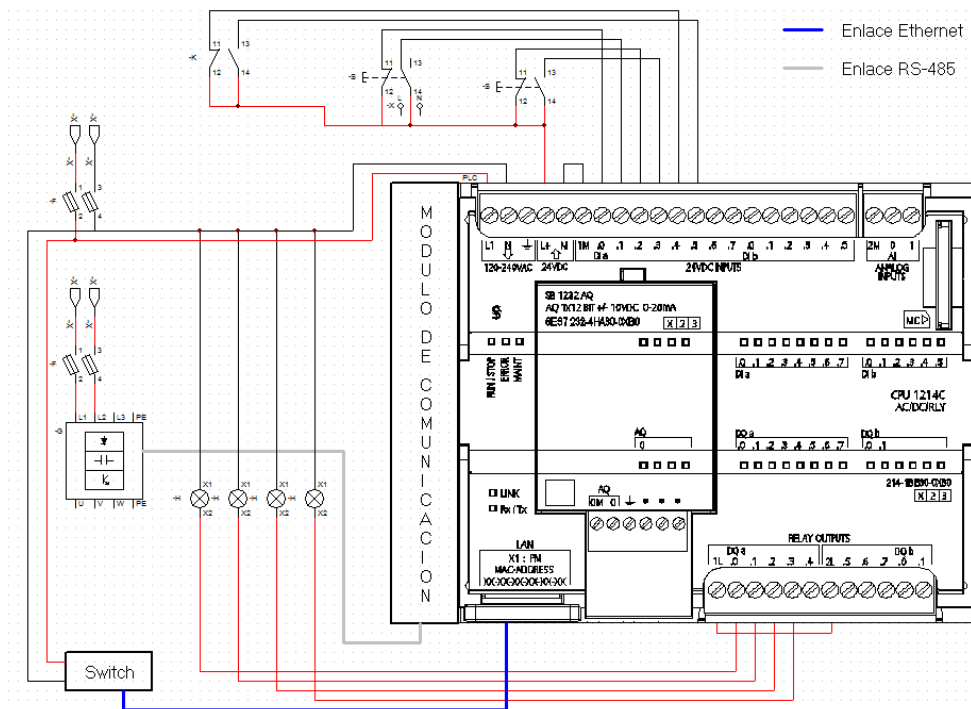


Figura 29: Diseño eléctrico del PLC esclavo: Elaborado por el autor

Diagrama topológico del sistema.

Como se observa en la figura 30, se realizó el diseño de red para el sistema. Primeramente, se realizó el enlace entre PLC maestro y PLC esclavo, debido a que cada PLC posee un puerto de comunicación, se optó por emplear un switch, ya que también era necesario enlazar la pantalla HMI; por consiguiente, se realizó un enlace ethernet (color rojo) para estos tres elementos. Para realizar la comunicación entre el variador de frecuencia, el controlador de temperatura y el PLC maestro, se requirió de un tipo de enlace diferente, por lo que se utilizó un enlace de red tipo MODBUS (color amarillo), con la configuración de protocolo RTU RS-485. Así también al requerir la conexión de un variador de frecuencia para el PLC esclavo, por lo que se aplicó el mismo tipo de enlace que en el PLC maestro.



Figura 30: Diagrama topológico del sistema: Elaborado por el autor

2.5.1.1 Variador trifásico VFD-EL

2.5.1.1.1 Configuración del Variador de frecuencia

Para realizar la configuración de los parámetros del variador de frecuencia Delta VFD-EL se considera la división de 11 grupos que este modelo posee. En la mayoría de los usos que tiene el variador, el programador puede terminar todas las configuraciones de los parámetros y sin la necesidad de reconfigurarlo durante su funcionamiento. Los 11 grupos de parámetros del variador de frecuencia son:

- Grupo 0: Del usuario.
- Grupo 1: Básicos.
- Grupo 2: Del método de operación.
- Grupo 3: De la función de salida.
- Grupo 4: De la función de entrada.
- Grupo 5: De velocidad multietapa.
- Grupo 6: De protección.
- Grupo 7: Del motor.
- Grupo 8: Especiales.
- Grupo 9: De comunicación.

Grupo 10: De control del PID. (DELTA, VFD-EL Manual del usuario)

En la tabla 9, se detallan los parámetros que se utilizan en el proyecto.

Parámetros	Explicación	Descripción del parámetro
00,02	Reinicio de parámetros	9: Reestablece todos los parámetros a valores de fábrica
02,00	Fuente del primer comando de frecuencia maestra	3: Comunicación RS-485
02,01	Fuente del primer comando operacional	4: Comunicación RS-485 STOP/RESET de teclado
09,00	Dirección de comunicación del esclavo	1 a 254
09,01	Velocidad de transmisión	1: Tasa de baudios 9600
09,04	Protocolo de comunicación	6: 8, N,1 (Modbus, RTU)

Tabla 9: Parámetros del variador de frecuencia: Elaborado por el autor

2.5.1.1.2 Medio de comunicación Variador – PLC

El medio de comunicación que se utiliza para el enlace variador – PLC es un cable UTP de categoría 5e, aunque que sus características cumplen con los requisitos para lograr la simulación del proceso de elaboración de yogurt, lo más recomendable es utilizar un cable FTP categoría 6a, por sus características que lo hacen más resistente al ruido eléctrico producido por los equipos industriales.

Cable par trenzado blindado (STP)

El cable STP posee una mejor protección contra el ruido, a diferencia del UTP, aunque emplea un conector RJ-45 como el UTP. El cable STP como en la figura 31 utiliza 4 pares de hilo y tiene la característica de blindar todo el haz de hilos, así también, de los pares de hilos, esto permite que se anulen las ondas eléctricas que se emiten en cada para de hilos al momento de realizar la transmisión.

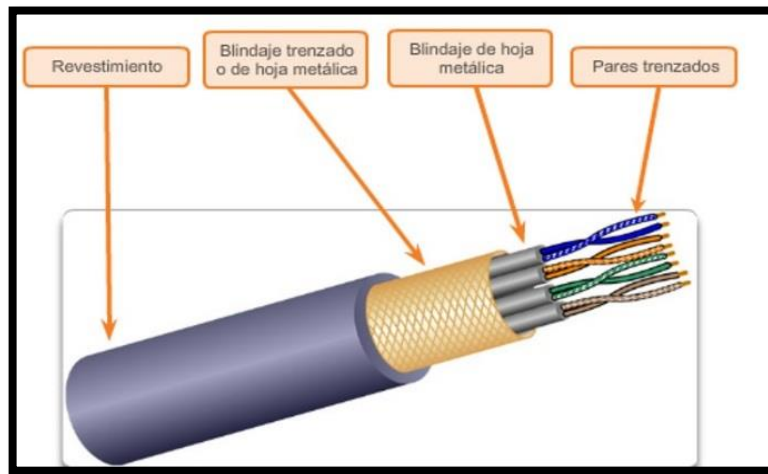


Figura 31: Cable STP: Instituto Tecnológico de Tapachula

Para realizar la conexión de transmisión entre el variador de frecuencia y PLC, es necesario considerar que el variador tiene puerto de comunicación RS-485, por lo cual para realizar la comunicación entre estos dos equipos es necesario realizar una adaptación, empleando el cable par trenzado con un conector RJ-45 en uno de los extremos y un conector DB9 en el otro extremo como se muestra en la figura 32.

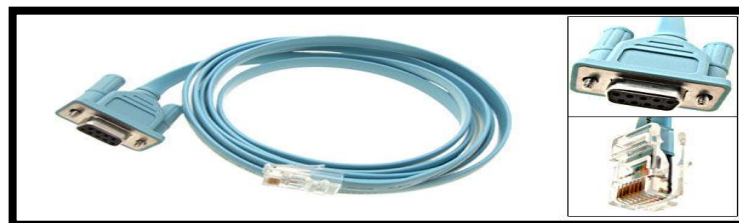


Figura 32: Cable RJ-45/DB9: AliExpress

La configuración interna de la interfaz serial RS-485 del variador trifásico consta de 8 pines, cada uno con una función específica como se observa en la figura 33. Considerando que los pines a utilizar para el proyecto son el de transmisión y recepción de datos como se puede apreciar en la tabla 10.

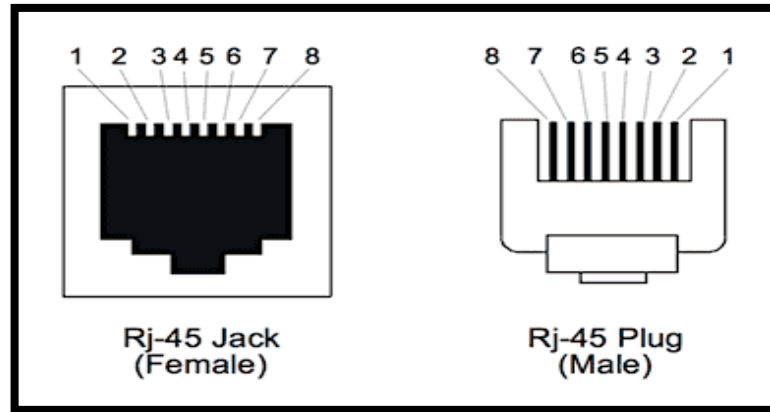


Figura 33: Pines de la interfaz serial del variador trifásico: Pbxbook

Variador de frecuencia (RJ-45)	Datos RS-485
Pin 4	D-
Pin 5	D+

Tabla 10: Configuración cable – variador: Elaborado por el autor

Para la configuración del otro extremo del cable, se conectan dos pines fundamentales del conector DB9 con el cable de par trenzado como se muestran en la tabla 11, y posteriormente se conecta directamente al módulo de comunicación Modbus, el cual está situado con el PLC.

Conector DB9	Datos RS-485
Pin 3	D-
Pin 8	D+

Tabla 11: Configuración cable – módulo de comunicación: Elaborado por el autor

Considerando que se empleó un conector RJ-45 utilizando los pines 4 y 5 de la configuración del variador, y según estos hilos, se conectan los pines 3 y 8 como se ve en la figura 34 y la tabla 12.

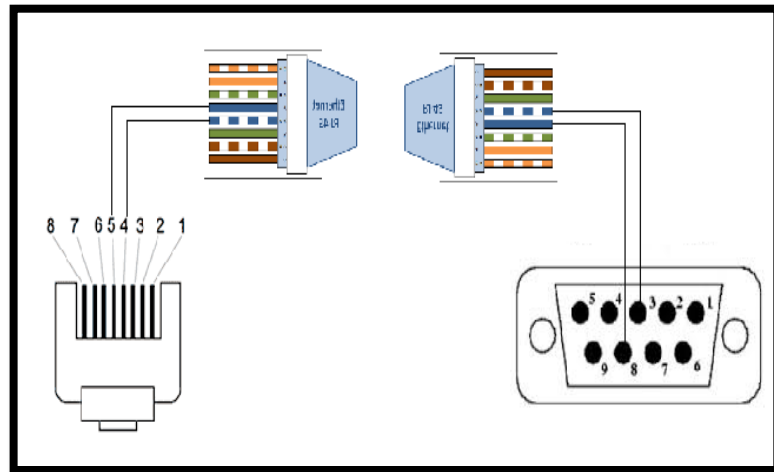


Figura 34: Cable RJ-45/DB9: Elaborado por el autor

Datos RS-485	Variador de frecuencia (RJ-45)	Conector DB9	Color de hilo
D+	Pin 5	Pin 8	Azul
D-	Pin 4	Pin 3	Azul y blanco

Tabla 12: Conexiones del cable Rj-45 - DB9: Elaborado por el autor

2.5.1.1.3 Registro para funciones internas del variador

El variador trifásico posee registros internos, los cuales almacenan la información de todos los procesos que pueden realizarse, empleando los registros que se ven en la tabla 13.

Registro	Descripción	Función
8193 – 8194	Escribe en el registro asignado del variador	Velocidad Sentido de giro

8450 – 8451	Lee en el registro asignado del variador	Velocidad
-------------	--	-----------

Tabla 13: Registros internos empleados del variador trifásico: Elaborado por el autor




2.5.1.2 Controlador de temperatura Delta DT-4848

2.5.1.2.1 Configuración del controlador de temperatura

Considerando que este tipo de dispositivos operan en una red Modbus, es necesario realizar la configuración de los parámetros que se emplean en el proyecto como se puede ver en la tabla 14.

Parámetro	Valor	Función
CMPE	J	Asignación de la termocupla a utilizar.
CTRL	Off	Selección del modo de control.
C-SL	Rtu	Selección del tipo de formato.
C-No	1: reservorio inicial 2: reservorio final	Establecer la dirección de comunicación Modbus.
BPS	9600	Establecer la velocidad de baudios de la comunicación.
LEN	8	Establecer la longitud de datos.
PRLY	None	Establece el bit de paridad.
STOP	1	Establece el bit de detención.

Tabla 14: Parámetros del controlador de temperatura: Elaborado por el autor

Para acceder a la configuración del controlador de temperatura es necesario tener pulsado el botón **SET** por unos segundos hasta que se ingrese a la configuración. Una vez en el menú de configuración, para poder cambiar a otro parámetro, se pulsa una vez el botón  hasta llegar al parámetro deseado. Para configurar dicho parámetro se pulsa el botón  o  y conseguir el valor requerido. Ya realizada la configuración de un parámetro se pulsa de nuevo el botón **SET** para regresar nuevamente al menú de configuración. Se realiza el mismo proceso para configurar todos los parámetros, y una vez finalizada toda la configuración se pulsa nuevamente el botón **SET** para volver a la pantalla principal del controlador.

2.5.1.2.2 Medio de comunicación Controlador de temperatura - PLC

Para el medio de comunicación que se va a emplear, se requiere de un cable UTP categoría 5e como en el caso del variador - PLC, así mismo tomando en cuenta que el mejor cable para este proyecto es el cable STP categoría 6a.

De igual forma que se configuró el variador de frecuencia, es necesario conectar D- y D+ a una red Modbus, ya que la red tiene puertos de comunicación Rs-485, en otras palabras, es necesario adaptar el medio para la comunicación controlador de temperatura – PLC. Los puertos del controlador están ubicados en la parte posterior considerando los pines en orden descendente como se aprecia en la figura 36.

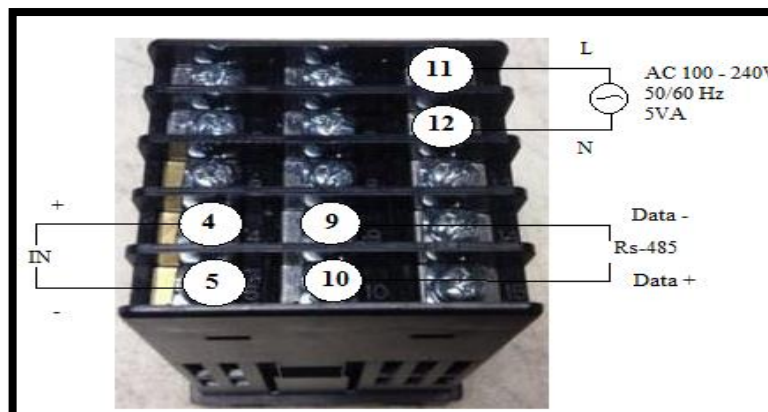


Figura 35: Conexión del controlador de temperatura: Elaborado por el autor

En los pines 4 y 5 se conecta la termocupla que se va a emplear. Para la comunicación es necesario el cable par trenzado, tomando en cuenta que los pines 9 y 10 del controlador de temperatura son D- y D+ respectivamente los que se conectarán al cable.

Para el ensamblaje del cable es necesario conectar en un extremo el conector DB9 y en el otro extremo dos conectores tipo u para cada pin.

Como se muestra en la figura 36 y la tabla 15, se realiza la conexión del cable par trenzado entre el conector tipo u con los pines 9 y 10, con el conector DB9 en los pines 3 y 9.

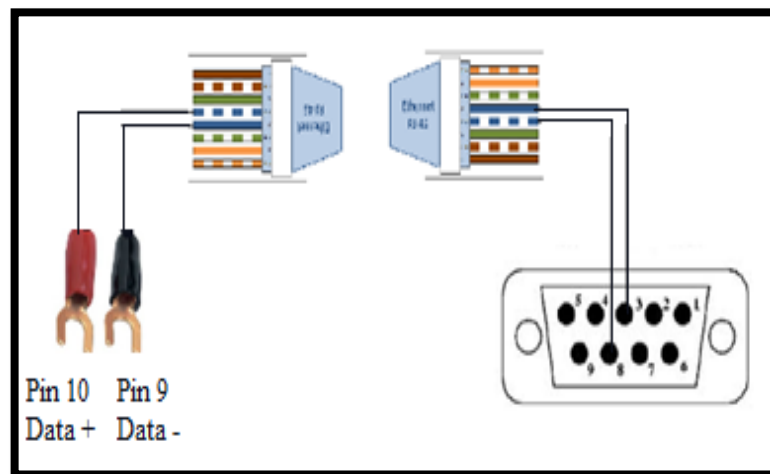


Figura 36: Conexión de pines en el cable par trenzado: Elaborado por autor

Conector DB9	Controlador de temperatura	Datos RS-485
Pin 8	Pin 9	D-
Pin 3	Pin 10	D+

Tabla 15: Conexión de pines en el cable par trenzado: Elaborado por el autor

2.5.1.2.3 Registros para funciones internas del controlador de temperatura

Registro	Descripción	
44097	Registro de lectura: Almacena internamente el valor de temperatura en tiempo real registrado por la termocupla.	Pv.
44098	Registro de escritura: Almacena internamente el valor de punto de fijación (Set Point) de temperatura asignado por el operador.	Sv.

Tabla 16: Registros internos del controlador de temperatura: Elaborado por el autor

2.5.1.2.4 Enlace para comunicación Modbus RTU

Para el enlace se empleará el protocolo de comunicación Modbus, ya que es un sistema muy empleado en el ámbito de automatización industrial. El equipo de comunicación será el módulo CM1241, el cual acepta el protocolo antes mencionado, y con soporte en interfaz RS-422 y RS-485.

Modo de comunicación RTU.

El protocolo de comunicación Modbus posee varios tipos de transmisión, para realizar la transmisión de la información por la red. Los modelos que se utilizan son dos versiones principales que son: MODBUS TCP/IP utiliza como medio físico de comunicación el Ethernet y MODBUS RTU para la comunicación serial.

El protocolo de comunicación Modbus RTU es de carácter abierto. En dicho protocolo se define el formato de los mensajes empleado por los elementos que hacen parte de la red Modbus. Es ampliamente utilizado para la automatización en la industria, especialmente porque utiliza la arquitectura maestro-esclavo, además que es fiable y de fácil uso.

2.5.2 DISEÑO LÓGICO DEL SISTEMA

2.5.2.1 Diagrama de Petri

Por medio de los diagramas se presenta la lógica de funcionalidad del sistema, iniciándose en el controlador. Se presentan diagramas para cada etapa que conlleva la elaboración de yogurt.

En las figuras mostradas a continuación se observan los diagramas pertenecientes a los procesos del sistema, siendo detallados para cada etapa. El diagrama de estados muestra las condiciones de entrada y salida del sistema, en donde son representadas por 0 o 1, dando como ejemplo (00/1), donde 00 sería la entrada y 1 la salida, si se da el caso de que la salida es 0z, el sistema representa un ciclado en ese estado, hasta que la salida represente 1, y así pasar a un nuevo estado.

En la figura 37 se presenta el diagrama de estado para la condición inicial del sistema de elaboración de yogurt; dicho diagrama presenta dos entradas, donde se pregunta qué tipo de control se tiene, si la salida es 0 el sistema queda ciclado y si se tiene condiciones de salida 1 pasa al siguiente estado, según la condición de entrada. Si en el estado de ingreso de variables la salida es cero, se queda ciclado, si la salida es 1 pasa al estado del tanque con leche pasteurizada T1.

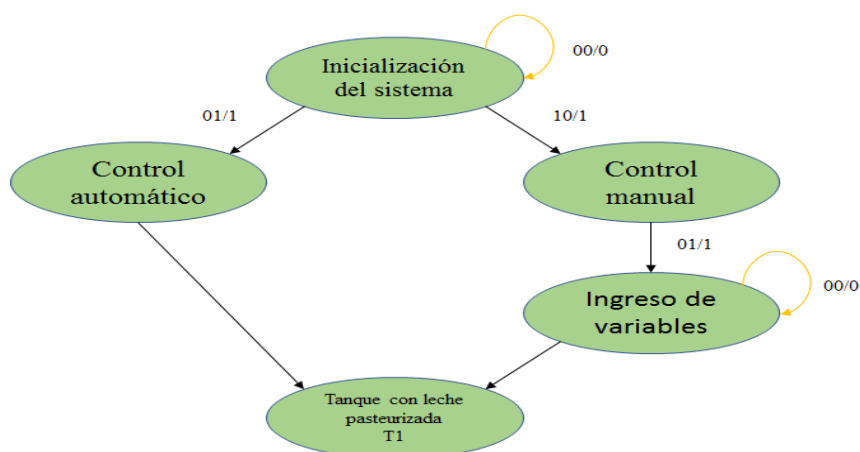


Figura 37: Diagrama de condición inicial del sistema: Elaborado por el autor

En la figura 38 se muestra la lectura del proceso que continúa, tal y como se presenta en la gráfica anterior. Se observa el proceso del tanque con leche pasteurizada y de inoculación, donde el sistema se pregunta para el tanque T1 si la salida es 0, queda ciclado, si la salida es 1, se activa el reactor químico T2. Si el reactor químico tiene la salida en 1 se pasa al siguiente estado; si la temperatura deseada tiene salida 0 se cicla, si tiene salida 1 pasa al estado del fermento lácteo, si la salida es 0 no se ha agregado el fermento lácteo por lo tanto se queda ciclado, si se tiene salida 1, se pasa al siguiente estado.

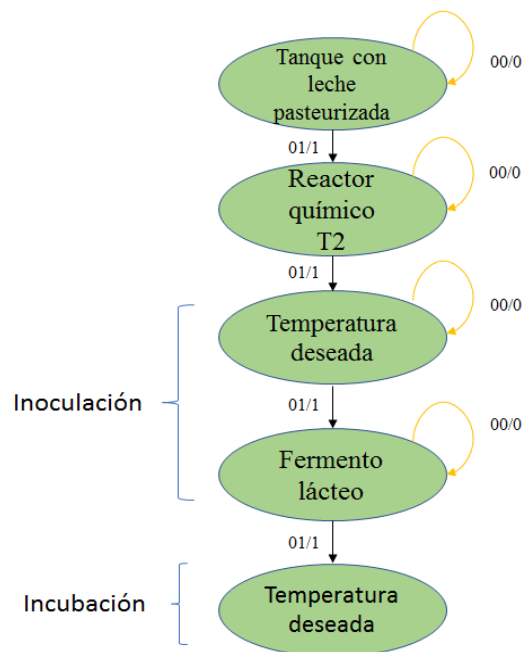


Figura 38: Diagrama de proceso de incubación en el reactor químico: Elaborado por el autor

En la siguiente figura se muestra el proceso de incubación, en donde si la temperatura no es la deseada, la salida es 0 y se queda ciclado, si es 1 pasa al estado de tiempo de reposo, si la salida es 0 se regresa al estado de temperatura deseada, si la salida es 1 pasa al proceso de refrigeración, donde al igual que en el proceso de incubación el sistema se pregunta si la temperatura es la deseada o no, si la salida es 1 se pasa al proceso de mezclado.

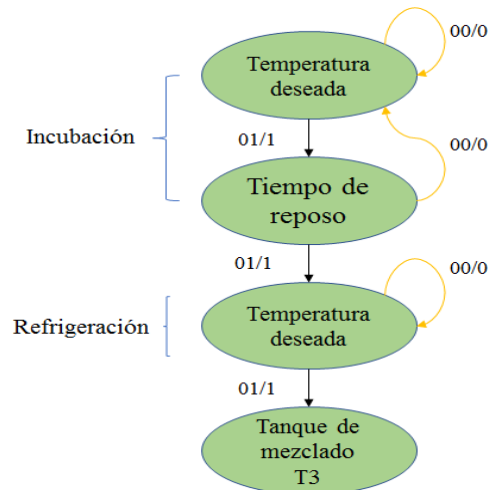


Figura 39: Diagrama de procesos de incubación y refrigeración: Elaborador por el autor

La figura 40 muestra la etapa final del proceso, donde considerándose los estados de control de la figura 38, para el mezclado, en este proceso se tiene el control automático que da un giro automático y activa el tiempo de mezclado; así mismo se tiene el control manual que tiene dos entradas 01 y 10, según la entrada se activa el giro en uno u otro sentido, y éste a su vez activa el tiempo de mezclado, si la salida del tiempo de mezclado es 0, se vuelve al estado de mezclado, si la salida es 1 el sistema finaliza, pasando nuevamente al estado inicial.

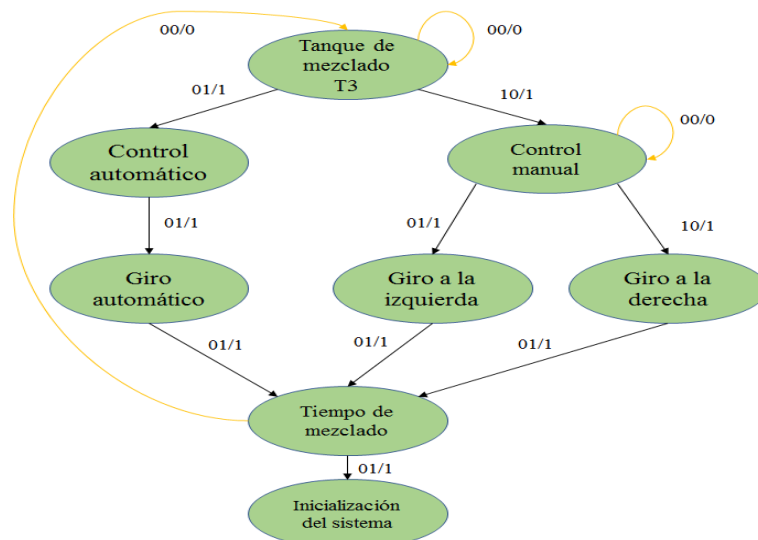


Figura 40: Diagrama de mezclado del sistema: Elaborado por el autor

2.5.2.2 Diseño del lenguaje de programación

Existen varios lenguajes aplicables para realizar la programación en un PLC, para el caso del modelo Siemens S7-1200, el software más recomendable es Step 7 Tía Portal, ya que posee gran compatibilidad, así también posee tres lenguajes estándar para programar, que se detallan a continuación:

AWL: Es un tipo de lenguaje textual que se orienta a la máquina. Gracias a este lenguaje es posible la edición de bloques S7 de forma incremental.

KOP: Es un lenguaje de programación gráfico similar a los lenguajes de esquema de circuitos. En ese lenguaje están los elementos de contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, los cuales se agrupan en segmentos.

FUP: Es un lenguaje de Programación gráfica que emplea diagramas de funciones. Dichos diagramas están basados en el empleo de símbolos lógicos aplicados en el álgebra de Boole, los cuales representan las tareas que fueron asignadas por medios de cuadros.

2.5.2.3 Diagrama de escalera

El software Tía Portal emplea un lenguaje de programación gráfico, el cual está separado en segmentos, de los cuales se permite un máximo de 999 por bloque. Los segmentos poseen contactos de entrada, funciones matemáticas, contactos de salida, temporizadores, entre otros; en donde cada elemento cumple una función específica dentro del segmento, como se puede ver en la figura 41.

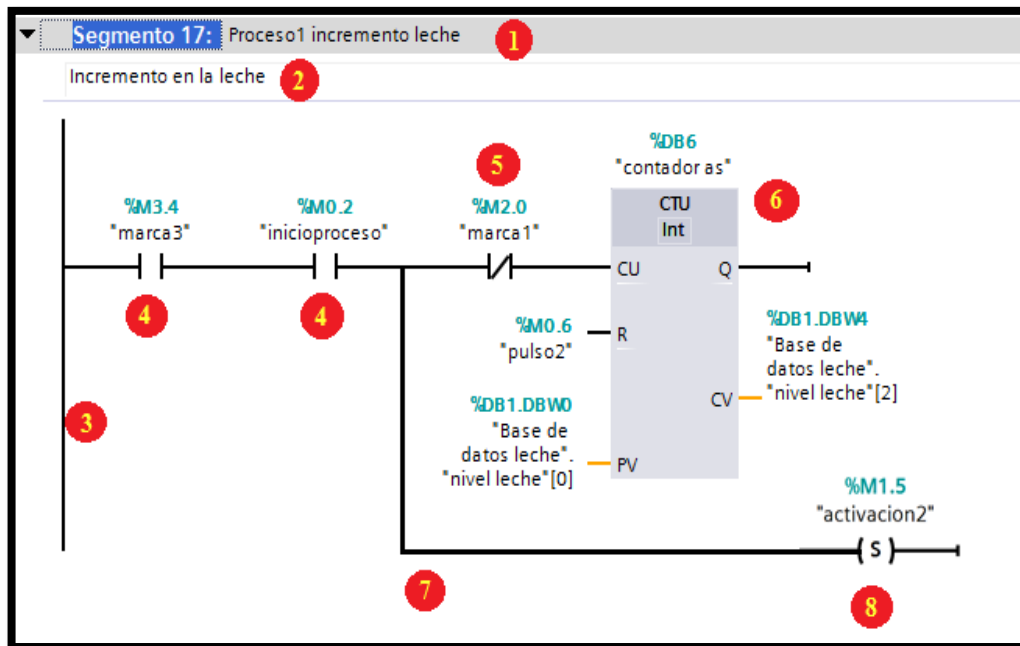


Figura 41: Elementos del diagrama de escalera: Elaborado por el autor

1. **Segmento:** Parte del bloque en donde se colocan todos los elementos de la programación.
2. **Comentario:** Ubicado debajo del número del segmento, generalmente utilizado escribir algún comentario, o nota referente a la programación de dicho segmento.
3. **Barra de alimentación:** Línea de alimentación eléctrica para todos los segmentos del bloque.
4. **Contacto normalmente abierto:** Elemento dependiente del estado la variable, su valor inicial es “0”, si la variable cambia de estado a “1”, el contacto se cierra permitiendo el paso de corriente a los demás elementos.
5. **Contacto normalmente cerrado:** Opuesto al contacto normalmente abierto, su estado inicial es “1”, permitiendo el paso de corriente, si la variable cambia de estado a “0”, corta el flujo de corriente impidiendo la alimentación a los demás elementos.
6. **Función lógica:** Son diagramas que ayudan a reducir el nivel de elementos y mejorando la esquematización del programa.

7. **Circuito:** Es la línea que conduce la corriente para la alimentación de todos los elementos.
8. **Contacto de salida:** Elemento que se activa como bit (1 o 0) de una variable definida.

En las figuras siguientes se muestra la programación empleada en la automatización del reactor químico para la elaboración de yogurt. La programación del proyecto se ha dividido en segmentos, con el fin de independizar procesos, y así evitar fallos, o corregirlos rápidamente en caso de que existan.

El proyecto se basa en la utilización de dos PLC; un PLC maestro y un PLC esclavo. La mayor cantidad de segmentos son controlados por el PLC maestro por lo que se detalla a continuación.

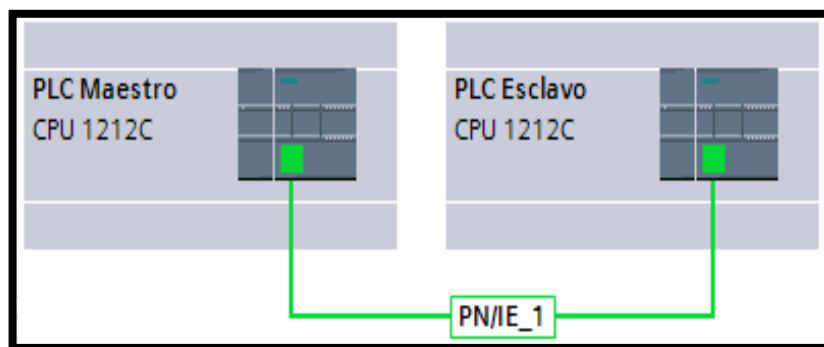


Figura 42: Comunicación entre PLC maestro y PLC esclavo: Elaborado por el autor

2.5.2.4 Programación del PLC maestro

La figura 43 muestra la programación en Tía portal del comienzo del sistema, en el cual se realiza la selección del modo de operación.

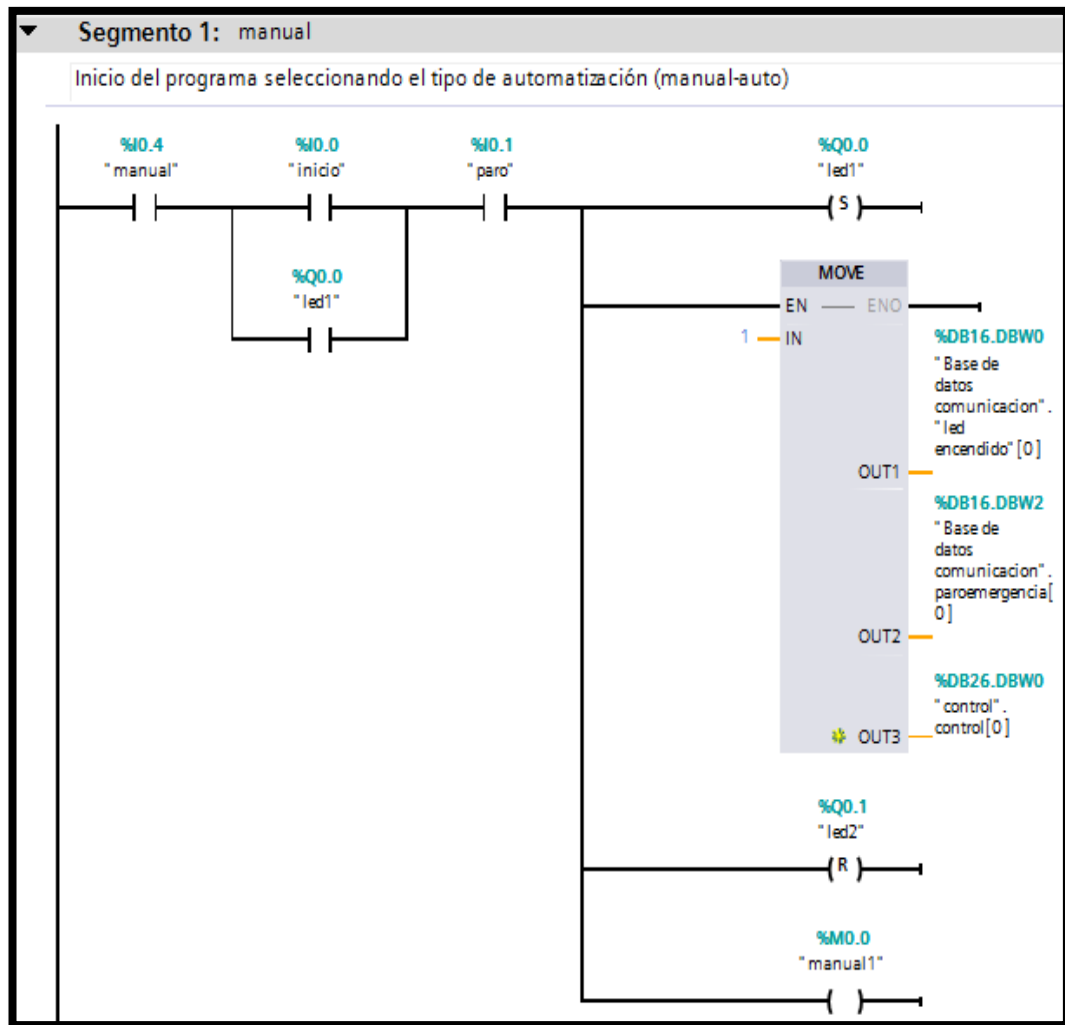


Figura 43: Configuración del sistema en modo manual: Elaborado por el autor

Paso de leche del tanque reservorio al reactor químico.

Las figuras 44 y 45 muestran el proceso del paso de leche del tanque reservorio hacia el reactor químico, indicándose la cantidad de leche que se desea procesar y activando la electroválvula para realizar la apertura de paso.

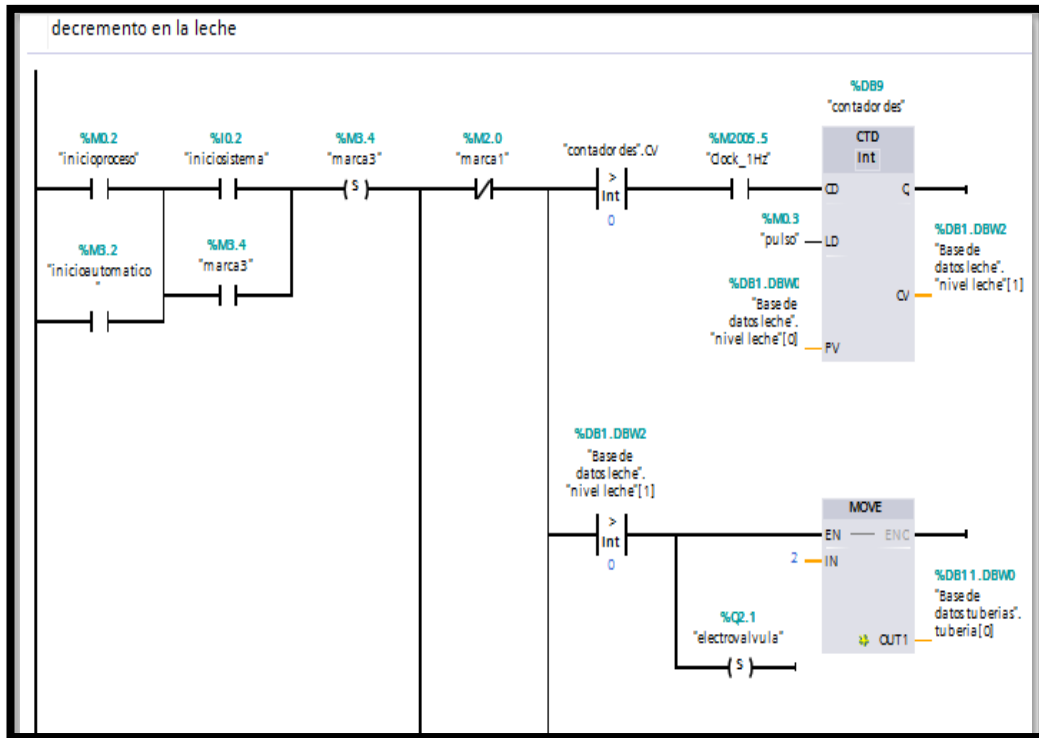


Figura 44: Decremento de leche en tanque reservorio: Elaborado por el autor

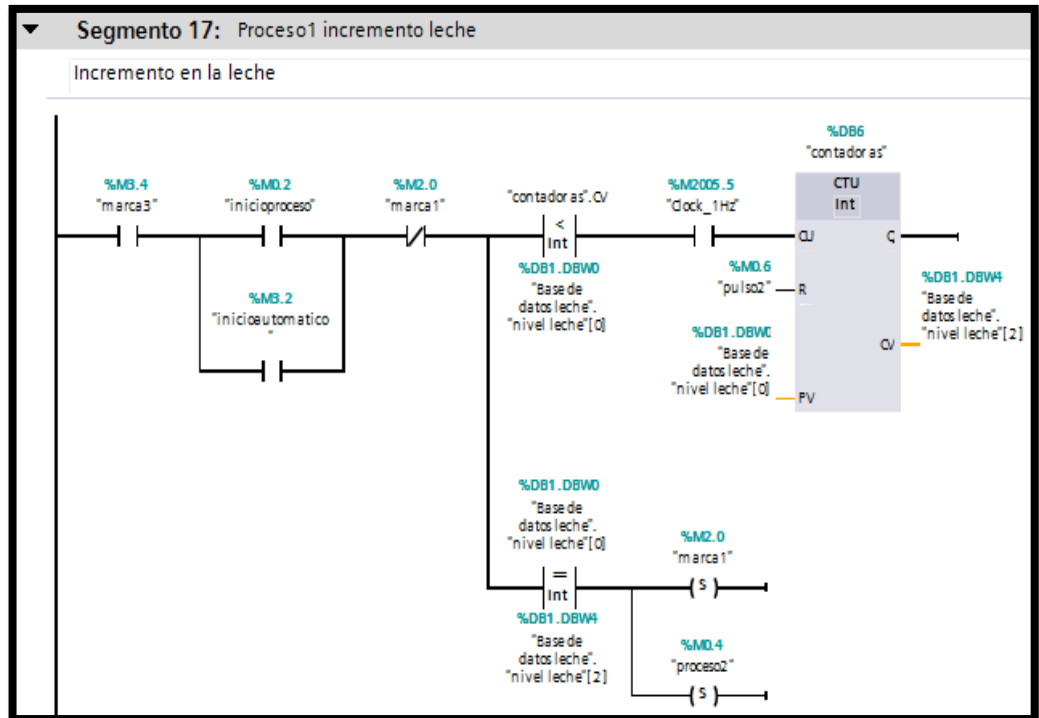


Figura 45: Paso de leche al reactor químico: Elaborado por el autor

Llenado del calentador eléctrico.

En la figura 46 se muestra el proceso para el llenado de agua del calentador eléctrico, una vez que haya finalizado el proceso de llenado del reactor químico. Para que actúe de manera inmediata en el proceso de calentamiento o enfriamiento del yogurt.

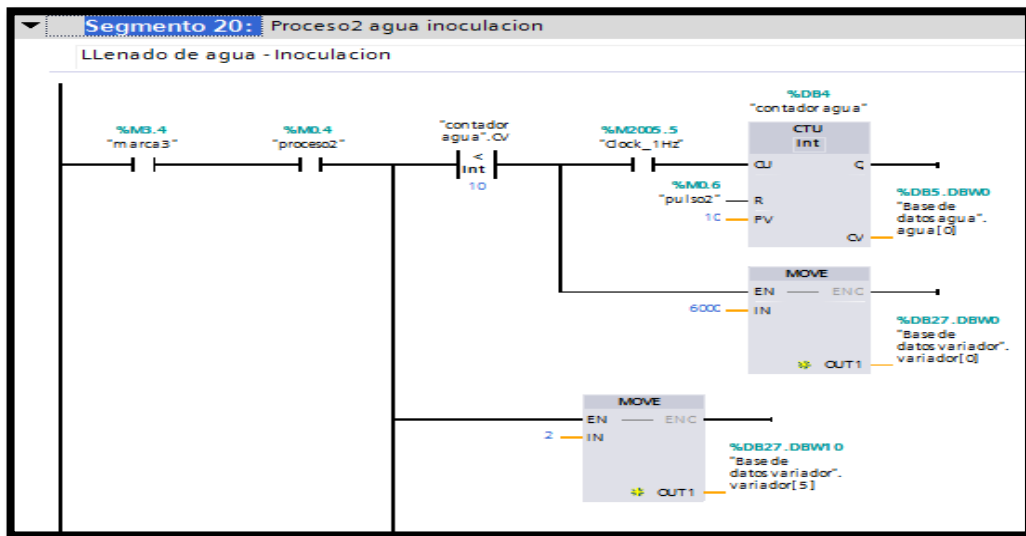


Figura 46: Llenado del calentador eléctrico: Elaborado por el autor

Control de Temperatura.

En la figura 47 se muestra el segmento donde se encuentran los bloques empleados para controlar la temperatura, este segmento es accionado una vez que completa el proceso de la figura 46.

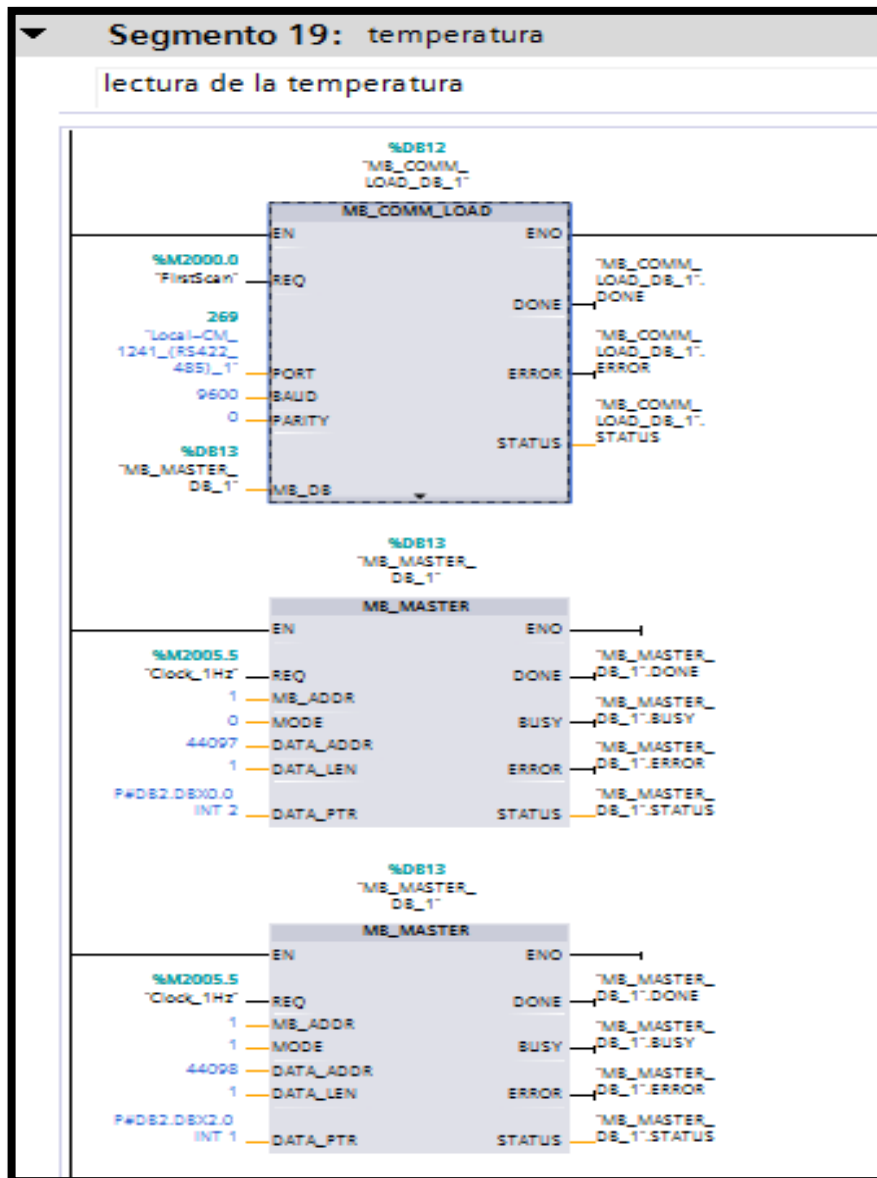


Figura 47: Segmento de control de temperatura: Elaborado por el autor

Control del variador de frecuencia

En la figura 48 se muestra el segmento de control del variador de frecuencia, se toma en cuenta que, para el proyecto se emplea el mismo bloque de instrucción "MB_COMM_LOAD" tanto para el control de temperatura como para el control

del variador de frecuencia. Por lo que es necesario añadir ese bloque si no se lo ha empleado anteriormente.

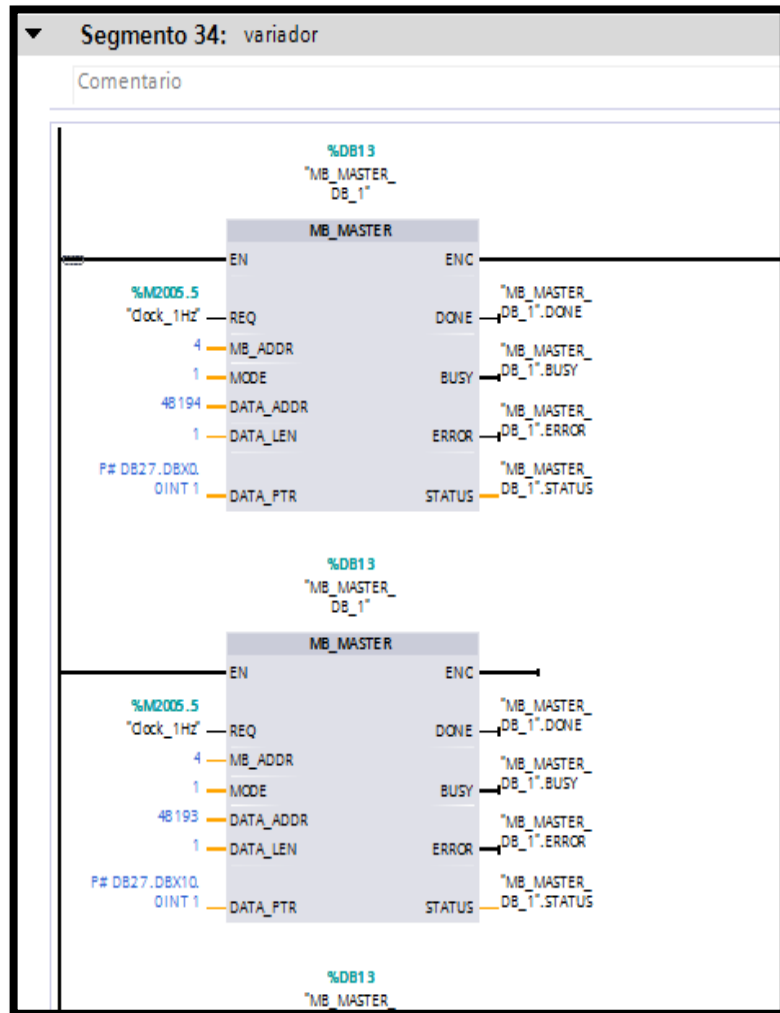


Figura 48: Control del variador de frecuencia: Elaborado por el autor

Comparación de datos de temperatura y asignación de datos al variador de frecuencia.

En el segmento de la figura 49 se continúa con el proceso de agregado del fermento lácteo a la leche pasteurizada, es por eso que se requiere de la constante

comparación de temperatura, y con el resultado de dicha comparación se asigna valores al variador de frecuencia para así poder variar el flujo de agua.

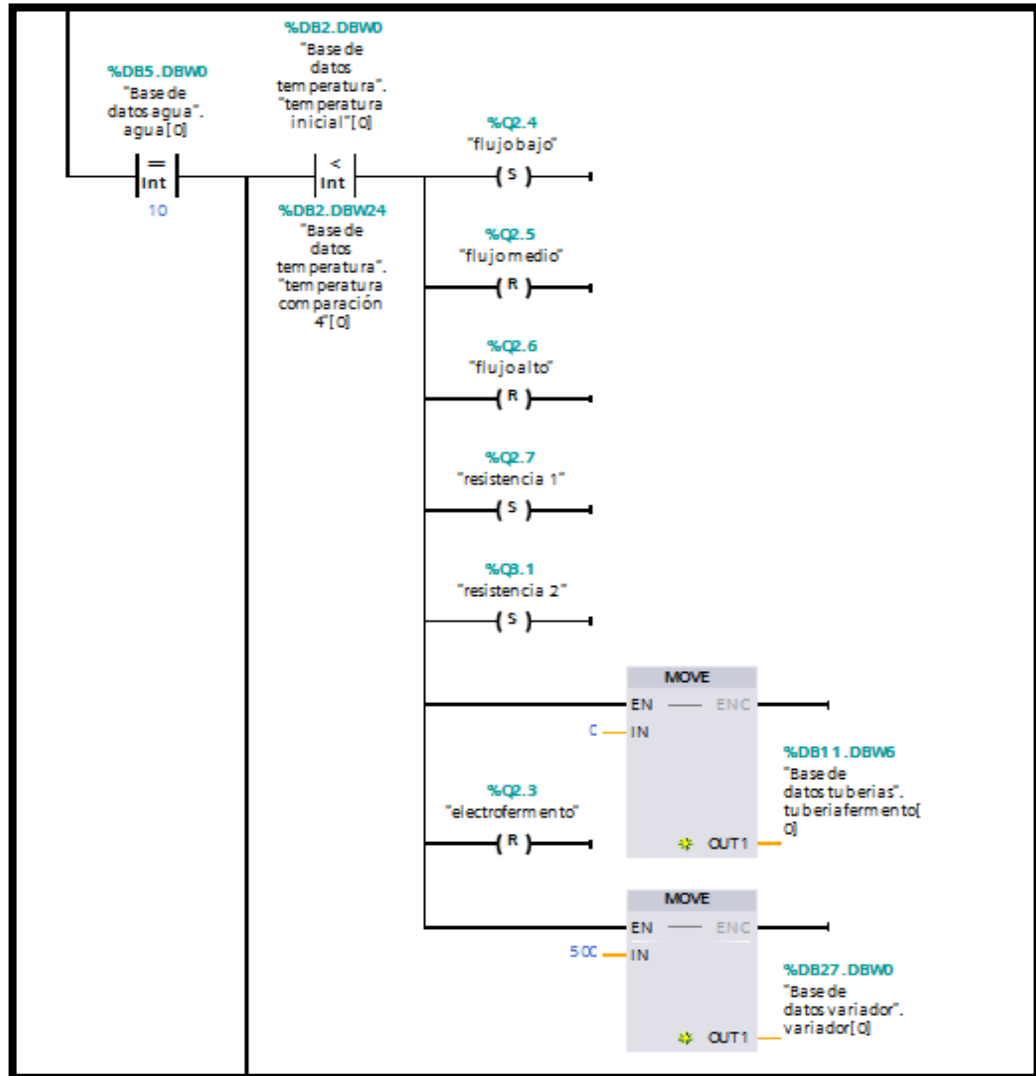


Figura 49: Comparación de temperaturas: Elaborado por el autor

Segmento de Incubación.

Una vez finalizado el proceso de inoculación, se realiza una nueva comparación de temperatura, y se realiza el proceso de reposo, como se muestra en la figura 50.

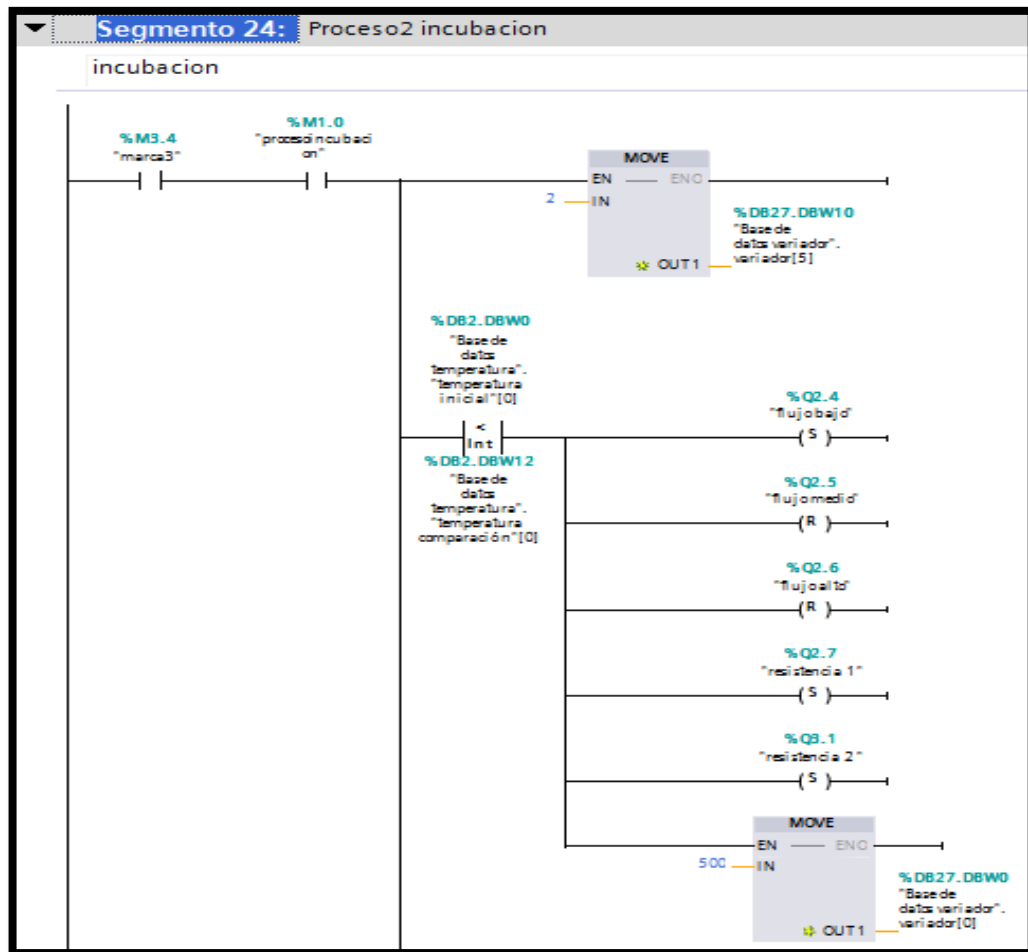


Figura 50: Segmento del proceso de incubación: Elaborado por el autor

Flujo de tuberías

En la figura 51 se muestra el flujo que se tiene en las tuberías, este diseño se realiza para tener referencia de lo que sucede realmente en las tuberías. Es un efecto que se realiza en el HMI, con el fin de dar una mejor orientación al operador de lo que sucede en los procesos.

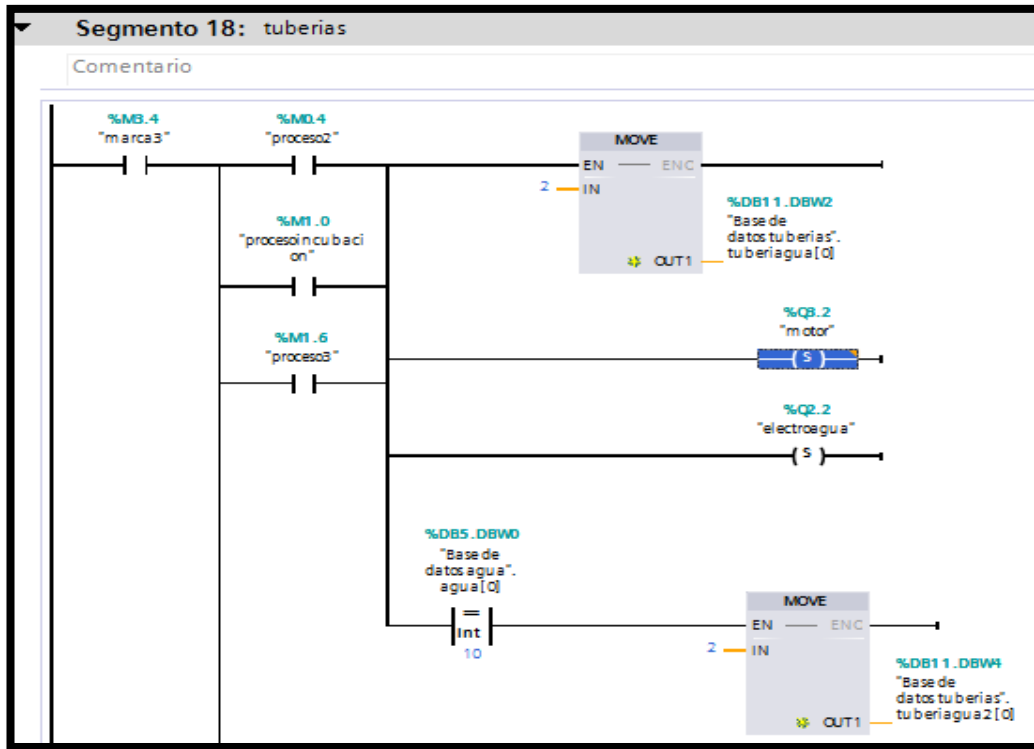


Figura 51: Flujo de tuberías: Elaborado por el autor

Bloques de instrucción PUT y GET.

Los bloques PUT y GET sirven para realizar la comunicación entre PLC del modelo S7. El bloque PUT permite escribir datos a un PLC receptor, y el bloque GET lee los datos del PLC receptor.

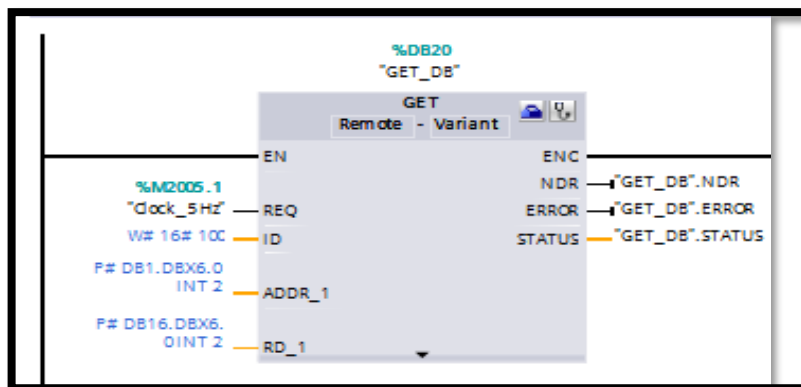


Figura 52: Bloque de instrucción GET: Elaborado por el autor

2.5.2.5 Programación del PLC esclavo

Para la programación del PLC esclavo, se omite la presentación de varios segmentos, tales como el variador trifásico, PUT y GET ya que, representa el mismo segmento que en el PLC maestro.

Encendido de lámparas de señalización.

En la figura 53 se puede observar la comunicación entre PLC maestro y PLC esclavo, siendo el maestro el que envía un dato y el esclavo receptándolo y comparando el dato con una instrucción. Para activar una u otra lámpara de señalización.

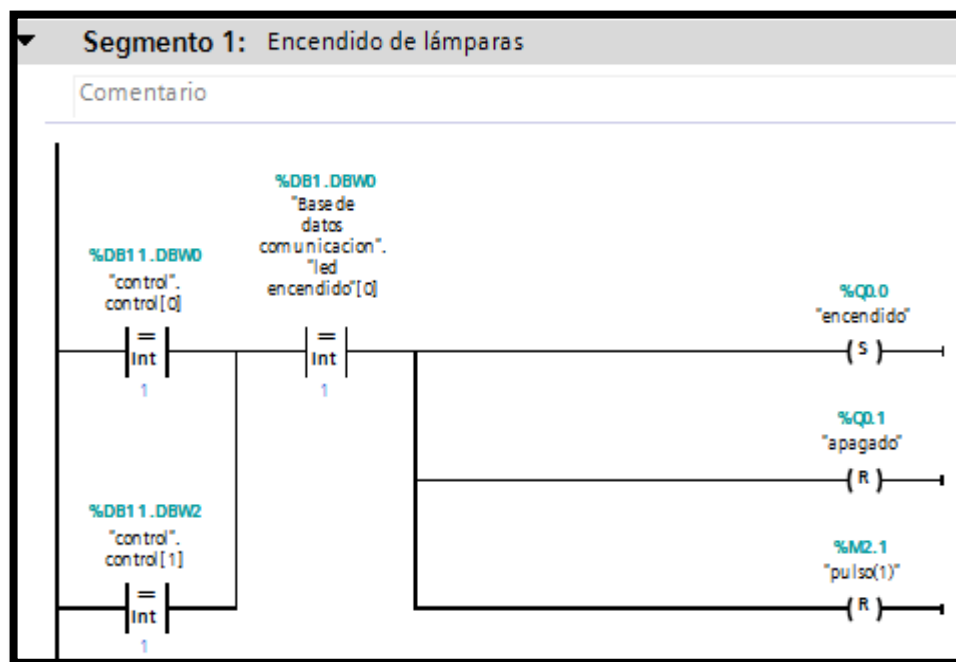


Figura 53: Encendido de lámparas de señalización: Elaborado por el autor

Sentido de giro del motor de mezcla.

En la figura 54 se puede observar la configuración que tiene el variador de frecuencia del segundo esclavo, dependiendo del sentido que se le quiera dar en el proceso de mezclado.

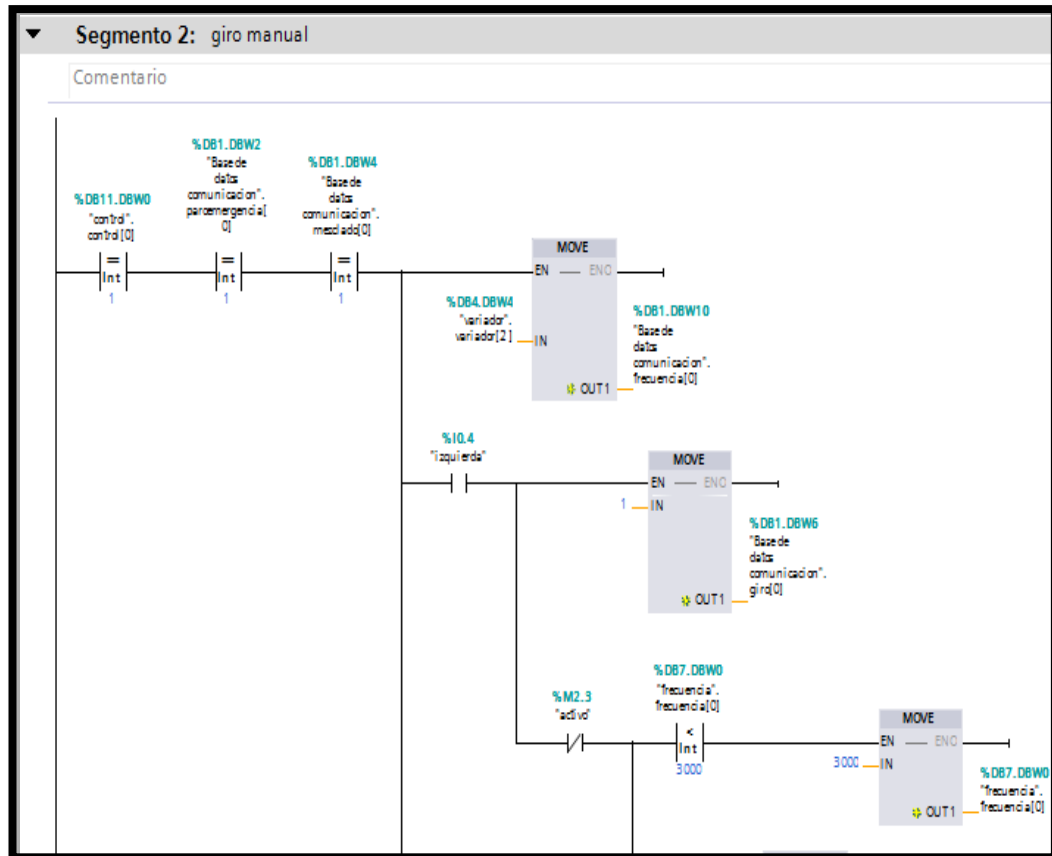


Figura 54: Sentido de giro del motor de mezcla: Elaborado por el autor

Proceso final.

Para el proceso final, considerando la configuración del bloque de instrucción PUT está configurado en el PLC esclavo, envía una señal al PLC maestro, y a su vez éste compara el dato para realizar la instrucción de contador de tiempo si el motor de

mezcla está girando, caso contrario detendrá el contador. Una vez finalizado el conteo se detendrán todos los actuadores del proceso.

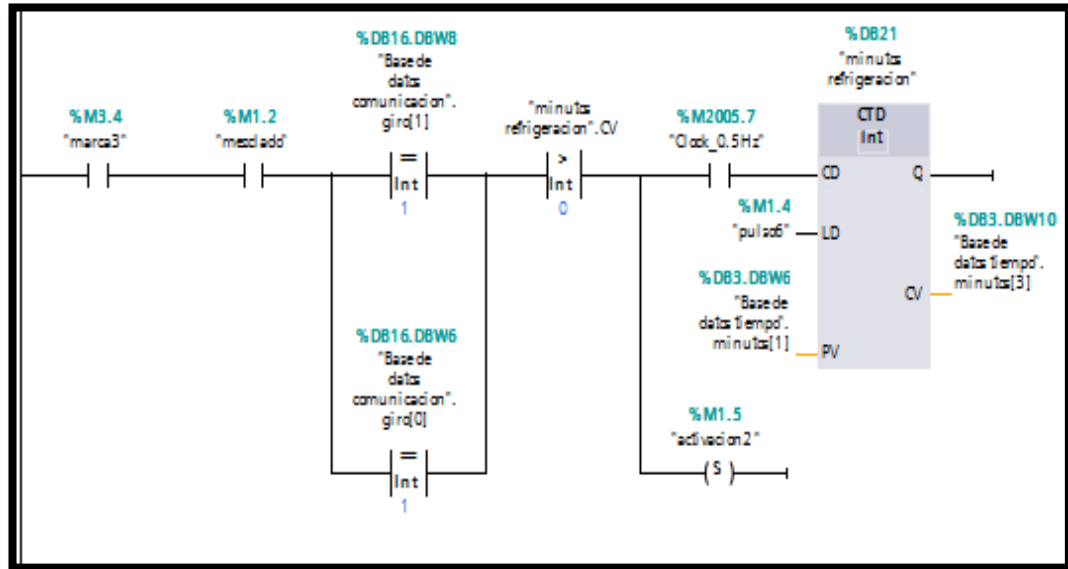


Figura 55: Proceso final de elaboración de yogurt: Elaborado por el autor

2.6 PRUEBAS

En este ítem se realizan las pruebas experimentales para comprobar el funcionamiento de todos los elementos que se emplean en el sistema, con el objetivo de observar y verificar errores que puedan existir en la realización del sistema, para lograr una rápida corrección y lograr un funcionamiento deseado, además de llegar a varias conclusiones a medida que el sistema es sometido a diferentes pruebas.

2.6.1 Transmisión de datos del controlador de temperatura a la base de datos del PLC maestro

a) Objetivo.

Enviar datos en el software Tía Portal desde el bloque de instrucción del controlador de temperatura hacia la base de datos del PLC maestro.

b) Criterio de satisfacción.

Para considerar que la prueba de recepción de datos es satisfactoria, los valores que se presentan en el controlador de temperatura deben ser los mismos valores observados en la base de datos sin que se generen errores, utilizando los elementos necesarios para realizar la correcta comunicación.

c) Prueba experimental.

Para esta prueba experimental, se verificó principalmente la comunicación entre el PLC maestro y el controlador de temperatura, comprobando si existe envío y recepción de datos en la computadora (software Tía Portal) o en su caso en la programación del PLC maestro.

En esta prueba se realizaron varios experimentos con el fin de comprobar que la adquisición de datos sea la misma tanto en el controlador de temperatura como en el PLC con el fin de eliminar errores posibles.

Las diversas pruebas realizadas nos permitieron comprobar la correcta comunicación entre el controlador de temperatura y el PLC, manipulando los valores de temperatura mediante una termocupla ya instalada previamente.

La programación de esta prueba experimental se puede observar en la figura 49.

En la figura 56 se puede observar las diferentes pruebas experimentales realizadas:

- 1) Los datos adquiridos por la termocupla, el controlador de temperatura presentando dichos valores y realizando la comunicación con el PLC.
- 2) PLC maestro y módulo de comunicación transmitiendo y recibiendo datos del controlador de temperatura.
- 3) Comprobación de datos entre el controlador de temperatura y la computadora empleando el software Tía Portal.

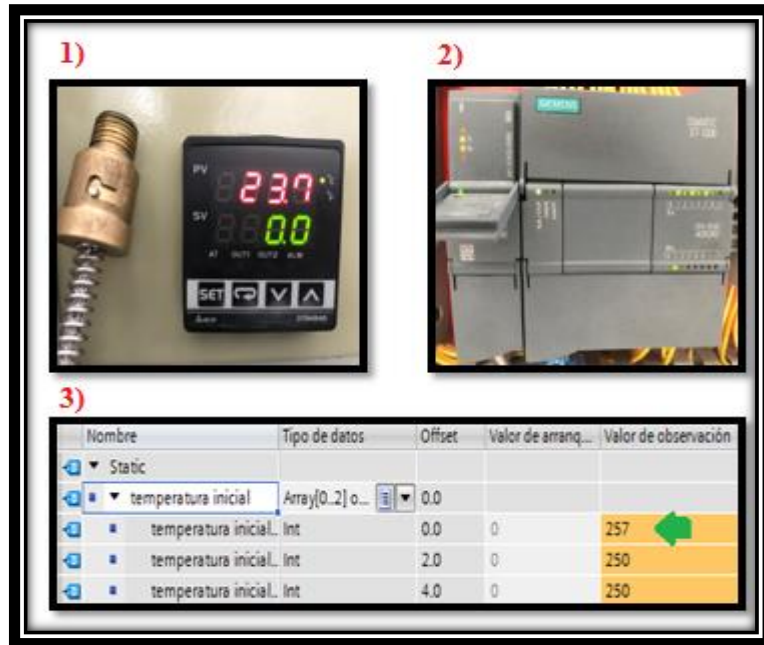


Figura 56: Prueba de lectura de datos de temperatura: Elaborado por el autor

d) Resultados.

En la tabla 17 se muestran los valores registrados en las diversas pruebas experimentales realizadas.

# de Prueba	Datos del sensor	Base de datos PLC	Tipo de dato	Dirección	Dato recibido Data Block	Criterio
1	24.1	2	Word	0.0	241	Satisfactorio
	24.8				248	
2	27.0	2	Word	0.2	270	Satisfactorio
	27.3				273	
3	29.0	2	Word	0.4	290	Satisfactorio
	29.5				295	
4	30.0	2	Word	0.6	300	Satisfactorio
	32.0				320	

5	25.5	2	Word	0.8	255	Satisfactorio
	25.0				250	

Tabla 17: Resultados de adquisición de datos de temperatura: Elaborado por el autor

2.6.2 Escritura de datos de temperatura del PLC maestro hacia el controlador de temperatura

a) Objetivo.

Enviar valores de temperatura desde el PLC hacia el registro SV del controlador de temperatura, escribiendo el valor de temperatura en la interfaz HMI.

b) Criterio de satisfacción.

Para considerar que la prueba es satisfactoria, cuando al escribir en la pantalla HMI el valor de temperatura deseado, este dato es almacenado en la base de datos del PLC sin presentarse errores, empleando la codificación de la prueba anterior, considerando que la comunicación es exitosa cuando el dato que fue ingresado en la pantalla HMI, se logra apreciar en el punto de fijación (Sv) del controlador de temperatura, caso contrario si no se observa el dato en el Sv del controlador de temperatura la prueba no se considera satisfactoria.

c) Prueba experimental.

Para esta prueba experimental, el enfoque principal es la escritura de valores de temperatura en la pantalla HMI, receptados en la base de datos del PLC y enviados a los registros del controlador de temperatura.

Considerando que en la prueba anterior se realizó el envío de datos desde el controlador de temperatura hacia el PLC, en esta prueba se realizaron varios experimentos de forma inversa, es decir, se enviarán los datos almacenados en el PLC hacia el registro Sv del controlador de temperatura empleando la pantalla HMI.

En la figura 57 se puede observar las diferentes pruebas experimentales realizadas:

- 1) Escritura de valores de temperatura en la interfaz HMI.
- 2) Datos almacenados en la base de datos del PLC según su direccionamiento y configuración.
- 3) Los valores almacenados en la base de datos del PLC son enviados al registro Sv del controlador de temperatura sin errores. El Sv es el registro que el operador manipulará según el requerimiento del sistema.

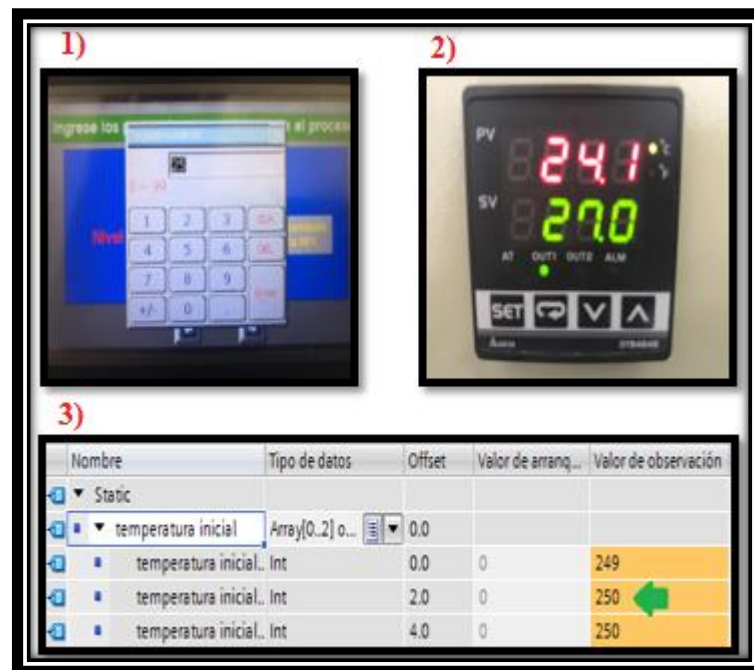


Figura 57: Prueba de escritura de datos de temperatura: Elaborado por el autor

d) Resultados.

En la tabla 18 se observan las diversas pruebas experimentales realizadas, mostrando los valores de temperatura ingresados en la pantalla HMI, considerando que la escritura de datos hacia el controlador de temperatura resulto satisfactoria y sin presentarse errores, logrando el objetivo planteado.

# de Prueba	Dato ingresado en HMI	Base de datos PLC	Tipo de dato	Dirección	Dato del controlador Sv.	Criterio
1	260	2	Word	0.6	26.0	Satisfactorio
2	280	2	Word	0.6	28.0	Satisfactorio
3	300	2	Word	0.6	30.0	Satisfactorio
4	250	2	Word	0.6	25.0	Satisfactorio
5	290	2	Word	0.8	29.0	Satisfactorio
6	310	2	Word	0.8	31.0	Satisfactorio
7	330	2	Word	0.8	33.0	Satisfactorio
8	240	2	Word	0.10	24.0	Satisfactorio
9	200	2	Word	0.10	20.0	Satisfactorio
10	220	2	Word	0.10	22.0	Satisfactorio

Tabla 18: Resultados de transmisión de datos de temperatura: Elaborado por el autor

2.6.3 Transmisión y recepción de datos entre Variador de frecuencia y PLC

a) Objetivo.

Transmitir y recibir datos entre el PLC y variador de frecuencia, según la programación realizada para el sistema, empleando la comunicación RS-485.

b) Criterio de satisfacción.

Se considera que la prueba resultó satisfactoria cuando la comunicación entre el PLC y variador de frecuencia se da sin errores, y que los datos son enviados y recibidos en los registros internos del variador de frecuencia.

c) Prueba experimental.

Las pruebas realizadas en este ítem son similares a las pruebas realizadas con el controlador de temperatura, ya que llevan similar configuración y programación, a diferencia de las bases de datos en el PLC.

El enfoque que tiene esta prueba es comprobar la comunicación entre el PLC y el variador de frecuencia, para así controlar los datos que salen del PLC y serán enviados al registro interno del variador.

En las figuras 47 y 48 se aprecia la configuración y segmentos empleados para que se logre realizar la comunicación satisfactoriamente.

En la figura 58 se puede observar las diferentes pruebas experimentales realizadas para la comunicación entre PLC y variador de frecuencia:

- 1) Se observa la base de datos del PLC que almacena los datos que serán enviados al variador de frecuencia por medio de la configuración y programación.
- 2) Los datos son recibidos por el registro interno del variador de frecuencia.

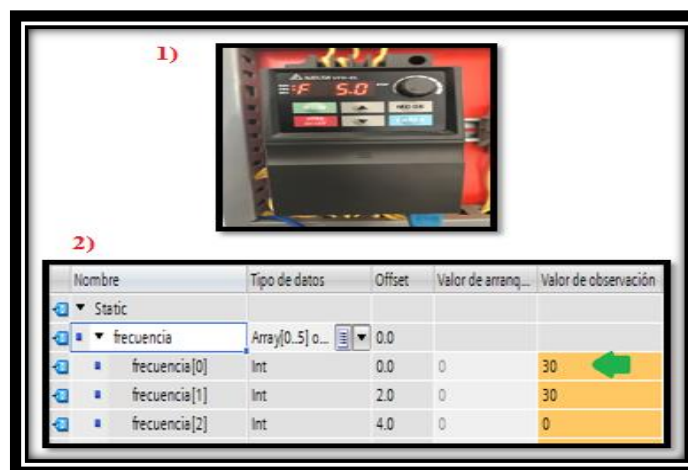


Figura 58: Prueba de escritura de datos al variador de frecuencia: Elaborado por el autor

d) Resultados.

Como se observa en la siguiente tabla, se comprueba la comunicación entre el variador de frecuencia y el PLC, ya que los valores que se configuran en la programación del PLC son recibidos en el registro interno del variador de frecuencia.

# de Prueba	Dato enviado	Base de datos PLC	Tipo de dato	Dirección en PLC	Dato en registro del variador	Criterio
1	0000	27	Word	0.0	00.0	Satisfactorio
2	0500	27	Word	0.2	50.0	Satisfactorio
3	0000	27	Word	0.0	00.0	Satisfactorio
4	3000	27	Word	0.2	30.0	Satisfactorio
5	0500	27	Word	0.0	50.0	Satisfactorio
6	2000	27	Word	0.2	20.0	Satisfactorio
7	0000	27	Word	0.0	00.0	Satisfactorio
8	6000	27	Word	0.2	60.0	Satisfactorio
9	3000	27	Word	0.0	30.0	Satisfactorio
10	6000	27	Word	0.2	60.0	Satisfactorio

Tabla 19: Transmisión y recepción de datos entre PLC y Variador de frecuencia

2.6.4 Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y PLC esclavo.

a) Objetivo.

Realizar la comunicación entre el PLC maestro y PLC esclavo mediante comunicación S7.

b) Criterio de satisfacción.

Para considerar que la prueba es satisfactoria, se verifica la comunicación entre PLC maestro y PLC esclavo, la configuración de ambos PLC y el correcto enlace, logrando que en la transmisión y recepción de datos no existan errores, caso contrario si los datos entre un PLC y otro son erróneos no se considera satisfactoria la prueba.

c) Prueba experimental.

Las pruebas realizadas para este ítem se enfocan en la comunicación, configuración y enlace entre PLC maestro y PLC esclavo, empleando los bloques de instrucción PUT y GET, los cuales con la correcta configuración como se aprecia en la figura 54, permitirán una comunicación sin errores.

En la figura 59 se puede observar las diferentes pruebas experimentales realizadas para la comunicación entre PLC maestro y PLC esclavo:

- 1) Se muestra un parte del segmento 3 de la programación, donde se aprecia el envío de un dato a la base de datos del PLC maestro.
- 2) Una vez almacenado en la base de datos del PLC maestro, empleando los bloques PUT y GET, el dato es enviado a la base de datos del PLC esclavo. Comprobándose que el dato enviado es igual al dato recibido.

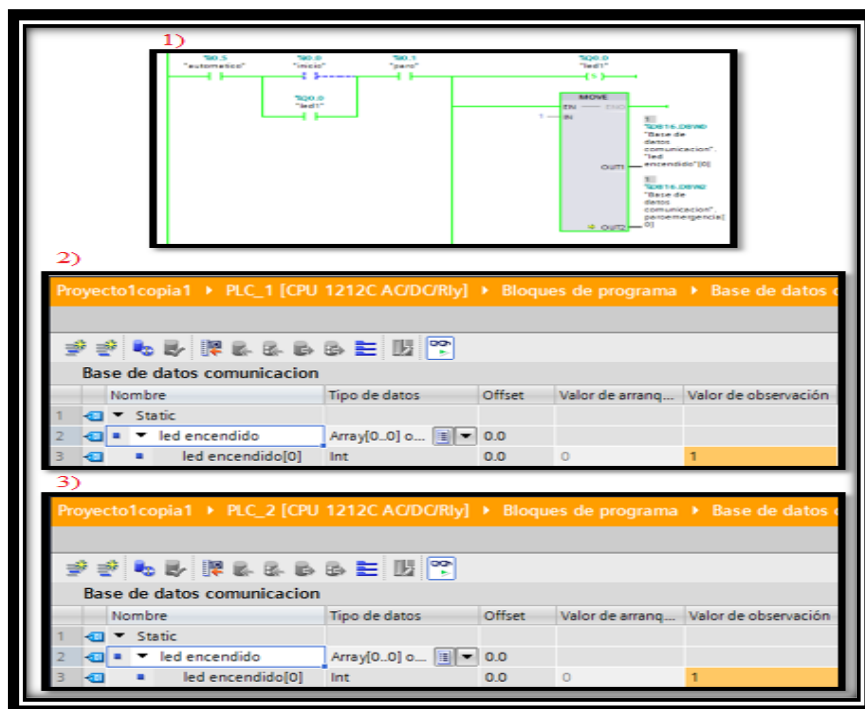


Figura 59: Prueba de comunicación entre PLC: Elaborado por el autor

d) Resultados.

En la tabla 20, se visualiza la comunicación entre el PLC maestro y PLC esclavo, dando como resultado la confiabilidad del envío y recepción de datos entre ambos PLC.

# de Prueba	Dato enviado PLC maestro	Base de datos	Tipo de dato	Dirección	Dato recibido PLC esclavo	Criterio
1	1	16	Word	0.0	1	Satisfactorio
2	2	16	Word	0.0	2	Satisfactorio
3	0	16	Word	0.2	0	Satisfactorio
4	2	16	Word	0.2	2	Satisfactorio

5	0	16	Word	0.4	0	Satisfactorio
6	1	16	Word	0.4	1	Satisfactorio
7	1	16	Word	0.6	1	Satisfactorio
8	0	16	Word	0.8	0	Satisfactorio
9	0	16	Word	0.10	0	Satisfactorio
10	1	16	Word	0.12	1	Satisfactorio

Tabla 20: Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y PLC esclavo:

Elaborado por el autor

2.6.5 Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y HMI.

a) Objetivo.

Transmitir y recibir datos mediante la interfaz gráfica entre la pantalla HMI y el PLC maestro.

b) Criterio de satisfacción.

Para considerar satisfactoria la prueba, debe considerarse que el operador puede controlar el sistema, ingresando o visualizando datos en las pantallas HMI, con una programación establecida en el software DOPSoft según el sistema, así también visualizar el funcionamiento de indicadores en la pantalla sin que se presente algún error. Caso contrario de no funcionar la comunicación de acuerdo con el sistema, no se considera satisfactoria la prueba.

c) Prueba experimental.

Para este ítem se consideró que el enfoque principal es configuración y programación de la pantalla según el sistema.

Las pruebas experimentales consisten en la transmisión o recepción de datos entre la pantalla HMI y el PLC, a través del ingreso de valores en la pantalla y visualizándose en la base de datos del PLC o encendiendo un indicador en la pantalla.

En la figura 60 se puede observar las diferentes pruebas experimentales realizadas para la comunicación entre PLC maestro y HMI:

- 1) Se visualizan tres leds indicadores, que representan la intensidad de flujo del agua en el sistema. El led de flujo bajo está encendido mientras que los otros dos se encuentra apagados hasta que no varíe la intensidad de flujo.
- 2) Según la temperatura que se presente el flujo de agua cambia, así también el led indicador.
- 3) Parte del segmento del sistema en donde se programa el encendido o apagado de los indicadores comprobando la comunicación entre PLC maestro y HMI.

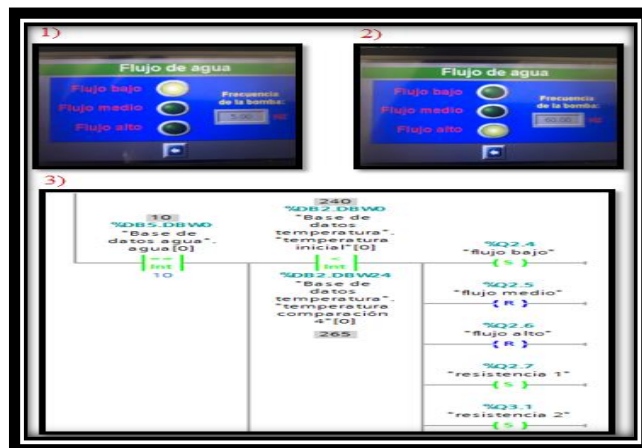


Figura 60: Prueba de comunicación PLC-HMI: Elaborado por el autor

d) Resultados.

En la tabla 21, se visualiza la comunicación entre el PLC maestro y PLC esclavo, dando como resultado la confiabilidad del envío y recepción de datos entre ambos PLC.

# de Prueba	Dirección PLC maestro	Tipo de variable	Tipo de comunicación	Dirección HMI	Tipo de dato	Criterio
1	0.3	Q	Ethernet link	0.3	Q	Satisfactorio
2	0.2	Q	Ethernet link	0.2	Q	Satisfactorio
3	1.0	DBW	Ethernet link	1.0	DBW	Satisfactorio
4	3.6	DBW	Ethernet link	3.6	DBW	Satisfactorio
5	2.3	Q	Ethernet link	2.3	Q	Satisfactorio
6	11.6	DBW	Ethernet link	11.6	DBW	Satisfactorio
7	3.2	Q	Ethernet link	3.2	Q	Satisfactorio
8	2.7	Q	Ethernet link	2.7	Q	Satisfactorio
9	11.4	DBW	Ethernet link	11.4	DBW	Satisfactorio
10	3.3	Q	Ethernet link	3.3	Q	Satisfactorio

Tabla 21: Transmisión y recepción de datos entre PLC maestro y HMI: Elaborado por el autor

2.6.6 Control de variadores mediante comparación de temperatura.

a) Objetivo.

Transmitir y recibir datos entre Controlador de temperatura - PLC maestro – Variador de frecuencia.

b) Criterio de satisfacción.

Para considerar satisfactoria la prueba, debe considerarse que la comunicación entre Controlador de temperatura - PLC maestro – Variador de frecuencia no debe poseer errores. Caso contrario de no funcionar la comunicación de acuerdo con el sistema, no se considera satisfactoria la prueba.

c) Prueba experimental.

Para este ítem se consideró que el enfoque principal es la comunicación entre Controlador de temperatura – PLC y PLC – Variador trifásico.

Las pruebas experimentales consisten en la transmisión o recepción de datos entre el controlador de temperatura - PLC, tomando en consideración que los datos recibidos de la termocupla son recibidos en el controlador de temperatura y luego enviados al PLC; estos datos son comparados en su programación según la instrucción para posteriormente enviar otro dato desde el PLC al variador de frecuencia. En la figura 61 se puede observar las diferentes pruebas experimentales realizadas para la comunicación implementada:

- 1) La termocupla sensa la temperatura ambiental y el controlador de temperatura recibe el dato, este a su vez envía el mismo dato al PLC maestro.
- 2) La base de datos del PLC maestro recibe el dato y realiza una instrucción para enviar otro dato al variador de frecuencia.
- 3) El variador de frecuencia recibe el dato y realiza la operación.



Figura 61: Prueba de comunicación Controlador de temperatura: Elaborado por el autor

d) Resultados.

En la tabla 22, se visualiza la comunicación entre el PLC maestro y PLC esclavo, dando como resultado la confiabilidad del envío y recepción de datos entre ambos PLC.

# de Prueba	Dato enviado del Controlador	Dato recibido en PLC	Dato recibido Variador	Dato en registro de Variador	Criterio
1	25.0	250	3000	30.0	Satisfactorio
2	25.5	255	3000	30.0	Satisfactorio
3	27.0	270	6000	60.0	Satisfactorio
4	26.0	260	6000	60.0	Satisfactorio
5	29.0	290	6000	60.0	Satisfactorio
6	23.0	280	0500	05.0	Satisfactorio
7	24.0	300	0500	05.0	Satisfactorio
8	30.0	310	6000	60.0	Satisfactorio
9	25.0	250	3000	30.0	Satisfactorio
10	24.5	240	3000	30.0	Satisfactorio

Tabla 22: Control de variadores mediante comparación de temperatura: Elaborado por el autor

2.7 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

2.7.1 Factibilidad Técnica

Por medio de la factibilidad técnica, se analiza y comprueba si el diseño del sistema de automatizado del reactor para la elaboración de yogurt es viable y si tendrá éxito al realizar la implementación y posterior operación del mismo.

Para llegar a determinar que el sistema es factible técnicamente se realizó el estudio de varios aspectos fundamentales:

- Se cuenta con personal humano calificado con disponibilidad de tiempo para el control, observación de datos y manipulación de los elementos del sistema durante cada proceso.
- El eje principal del sistema son los elementos que lo componen, ya que son muy comerciables y de fácil adquisición en el mercado mundial. Por lo que se considera parte fundamental el hardware, debido a que los componentes empleados utilizan lógica reprogramable, lo que permite que el sistema sea reconfigurado en un futuro, con el fin de adaptarse a los requerimientos y necesidades para mejorar la producción. Ya que los elementos son de fácil adquisición, no se considerará retardo considerable en el caso de que algún elemento deje de funcionar por obsolescencia, ya que se compra un repuesto del mismo y se reemplaza el elemento fuera de operación.
- La elección del software que se empleó es determinada por el equipo controlador (PLC), el equipo que se utilizó se programa en el software Tía Portal. Dicho software es dedicado para los equipos de marca Siemens; permite la personalización de la programación en el PLC, y visualizar en tiempo real el funcionamiento y comunicación del equipo con los demás elementos.
- Se consideró un estudio previo al diseño e implementación del sistema, realizándose varias investigaciones para la selección de cada elemento requerido en el desarrollo de nuestro sistema. Debido a que los recursos tecnológicos son diversos se optó por seleccionar los más esenciales:
 - Hardware y software para estudio y diseño del sistema.
 - Software para el desarrollo de la programación de equipos.
 - Hardware para implementación del diseño del sistema.

Con referencia a los puntos anteriores, se realizó una autofinanciación inicial para la adquisición de los elementos fundamentales para realizar el estudio y diseño del sistema. Para la parte de hardware empleada en el estudio, se requirió de los elementos que se presentan en la siguiente tabla:

Cantidad	Hardware	Descripción
1	Computador portátil	Procesador Intel i5 2.40 Ghz, 8 GB de memoria RAM, 1 TB de disco duro interno.
1	Disco duro externo	60 GB de capacidad
1	Impresora multifunción	Epson L210 series

Tabla 23: Hardware para estudio y diseño del sistema: Elaborado por el autor

Para la parte de software que se empleó para el desarrollo de la programación, no se requirió de financiación ya que los softwares empleados son gratis o con licencia crack. En la tabla 24 se muestra el software para estudio y diseño del sistema, y en la tabla 25 el software para desarrollo de la programación.

Cantidad	Software	Descripción
1	Sistema Operativo	Windows 8.1
1	Microsoft Office	2013 Profesional
1	Google Chrome	Versión 60.0

Tabla 24: Software para estudio y diseño del sistema: Elaborado por el autor

Cantidad	Software	Descripción
1	DOPSoft	Versión 2.00.04
1	Tía Porta	Versión 13.0

Tabla 25: Software para el desarrollo de la programación de los equipos:

Elaborado por el autor

Para la parte de hardware en la implementación del sistema se requirió de los elementos detallados en la siguiente tabla:

Cantidad	Hardware	Descripción
2	PLC Siemens S7	S7-1200 Ac/Dc/Relé
2	Módulo de comunicación Siemens	CM 1241 RS485
1	Pantalla HMI DELTA	DOP-B03E211
1	Switch Nexxt	24 puertos
1	Controlador de Temperatura	DTB4848VRE
2	Variador de frecuencia DELTA	VFD-007 1 HP – 0.75 KW
5	Breaker Siemens	20 Amp 2 posiciones
1	Termocupla	Tipo J
4	Lámparas de señalización	Verde
4	Lámparas de señalización	Rojo
2	Pulsadores	Rojo
2	Pulsadores	Verde
2	Rack 2 metros	De Piso
300	Borneras de riel	
40	Topes de borne para riel	
4	Canaletas PVC	
2	Regletas industriales	
6	Portafusibles	
2	Conectores DB9	
2	Cable eléctrico #12	Caja contenedora
2	Cable eléctrico #13	Caja contenedora

10	Enchufes	
1	Multímetro	

Tabla 26: Hardware para la implementación del sistema: Elaborado por el autor

2.7.2 Análisis de costos del proyecto

Una vez realizada la investigación de los elementos requeridos para el desarrollo del proyecto, considerando el coste de cada elemento a emplear; en las tablas consiguientes se detalla el coste de cada recurso que se requiere para la creación del proyecto.

Se consideran que los recursos físicos, lógicos, humanos y administrativos son necesariamente esenciales para el desarrollo del sistema, detallándose cada uno en los siguientes ítems.

2.7.2.1 Costos de desarrollo del sistema

En las tablas presentadas a continuación se detalla el coste de los recursos necesarios para el desarrollo del sistema.

Cantidad	Hardware	Precio unitario	Subtotal
1	Computador portátil	\$ 800,00	\$ 800,00
1	Disco duro externo	\$ 80,00	\$ 80,00
1	Impresora multifunción	\$ 350,00	\$ 350,00
TOTAL			\$ 1230,00

Tabla 27: Costos del Hardware para estudio y diseño del sistema: Elaborado por el autor

Cantidad	Software	Precio unitario	Subtotal
1	Sistema Operativo	\$ 200,00	\$ 200,00
1	Microsoft Office	\$ 50,00	\$ 50,00
1	Google Chrome	-	-
TOTAL			\$ 250,00

Tabla 28: Costos de software del sistema: Elaborado por el autor

Cantidad	Detalle	Precio unitario	Subtotal
1	Útiles de oficina	\$ 700,00	\$ 700,00
1	Servicio de Internet	\$ 120,00	\$ 120,00
TOTAL			\$ 820,00

Tabla 29: Costos de suministros: Elaborado por el autor

Detalle	Subtotal
Hardware	\$ 1230,00
Software	\$ 250,00
Suministros	\$ 820,00
TOTAL	\$ 2300,00

Tabla 30: Costo total en desarrollo del sistema: Elaborado por el autor

2.7.2.2 Costos de implementación del sistema

En las tablas presentadas en este ítem se muestra el costo que tendrá la implementación del sistema.

Cantidad	Hardware	Precio unitario	Subtotal
2	PLC Siemens S7 1200	\$ 500,00	\$ 1000,00

2	Módulo de comunicación Siemens	\$ 257,00	\$ 514,00
1	Pantalla HMI DELTA	\$ 419,19	\$ 419,19
1	Switch Nexxt	\$ 120,00	\$ 120,00
1	Controlador de Temperatura	\$ 104,52	\$ 104,52
2	Variador de frecuencia DELTA	\$ 261,47	\$ 522,94
5	Breaker Siemens	\$ 19,70	\$ 98,50
1	Termocupla	\$ 6,98	\$ 6,98
2	Pulsador Verde	\$ 1,51	\$ 3,02
2	Pulsador Rojo	\$ 1,51	\$ 3,02
4	Lámpara de señalización	\$ 1,38	\$ 5,52
4	Lámpara de señalización	\$ 1,38	\$ 5,52
2	Rack de piso	\$ 120	\$ 240,00
300	Borneras para riel	\$ 1,16	\$ 348,00
40	Topes de Borne	\$ 0,20	\$ 8,00
4	Canaletas	\$ 6,05	\$ 24,20
2	Regletas	\$ 50,00	\$ 100,00
6	Portafusibles	\$ 1,87	\$ 11,22
2	Conectores DV9	\$ 3,00	\$ 6,00
2	Cable eléctrico #12	\$ 20,00	\$ 40,00
2	Cable eléctrico #13	\$ 20,00	\$ 40,00
10	Enchufes	\$ 1,50	\$ 15,00

1	Multímetro	\$ 25,00	\$ 25,00
1	Envío	\$ 25,29	\$ 25,29
TOTAL			\$ 3685,92

Tabla 31: Costos de implementación del sistema: Elaborado por el autor

Debido a que no se hubo gastos en software de implementación del sistema, por lo que la tabla 32, presenta los costos de implementación total.

Detalle	Subtotal
Hardware	\$ 3685,92
Software	-
TOTAL	\$ 3685,92

Tabla 32: Costos totales de implementación del sistema: Elaborado por el autor

En la tabla 33 se muestran los costos totales del sistema, tanto de desarrollo como de implementación.

Detalle	Subtotal
Costos de desarrollo del sistema	\$ 2300,00
Costos de implementación del sistema	\$ 3685,92
TOTAL	\$ 5985,00

Tabla 33: Costos totales de desarrollo e implementación del sistema: Elaborado por el autor

2.7.2.2 Costos de implementación del sistema en la industria.

En la tabla 34 se presentan los valores adicionales para realizar la implementación en la industria.

Cantidad	Detalle	Precio unitario	Subtotal
4	Electroválvula	\$ 30,00	\$ 120,00
1	Cableado de los equipos	\$ 50,00	\$ 50,00
1	Bomba centrífuga	\$ 100,00	\$ 100,00
1	Tanque reservorio de leche	\$ 500,00	\$ 500,00
1	Reactor químico	\$ 400,00	\$ 400,00
1	Tanque mezclador	\$ 800,00	\$ 800,00
1	Fuente 24 V	\$ 80,00	\$ 80,00
1	Parada de emergencia	\$ 25,00	\$ 25,00
1	Elementos varios	\$ 200,00	\$ 200,00
1	Mano de obra	\$ 1000,00	\$ 1000,00
TOTAL			\$ 3275,00

Tabla 34: Costos adicionales para la implementación industrial: Elaborado por el autor

En la tabla 35 se presentan los valores totales de implementación en la industria.

Detalle	Subtotal
Costos totales del sistema	\$ 5985,00
Costos adicionales para implementación industrial	\$ 3275,00
TOTAL	\$ 9260,00

Tabla 35: Costos totales para la implementación industrial

2.7.3 Factibilidad Operacional

Para determinar la viabilidad operacional del sistema, se considera que el sistema se mantenga activo para la continua producción, además de ser de fácil control y operación, por lo que se realizó un diseño que sea comprensible para el usuario.

Para determinar la factibilidad del sistema, se realiza la automatización de los procesos de inoculación, incubación, refrigeración y mezclado, se realiza la adquisición de datos para los procesos, el control en los actuadores y la supervisión de todas las etapas que conlleva la elaboración de yogurt, de esta manera se facilita al operador el control del sistema.

Terminado el análisis de la factibilidad operacional del sistema, se determina lo siguiente:

- El sistema es factible operativamente considerando el uso de elementos para el desarrollo del sistema, ya que dichos elementos cumplen con los requisitos para el uso industrial, y que el sistema funcione de forma exitosa.
- Se considera que, en base a la investigación realizada, la empresa considera necesaria la implementación del sistema para facilitar el control y observación de la producción de yogurt.

RESULTADOS

Con respecto a lo que se pretendía en los resultados esperados, se llegó a lo siguiente:

- A través de la programación en el PLC se logró diseñar un prototipo que posee las modalidades manual y automática, para la asignación de los valores de temperatura y tiempo de los procesos, de esta manera tener un control y monitoreo más óptimo de los equipos que operan.
- Con los valores idóneos de las variables de temperatura, frecuencia y tiempo, se realizó la configuración del sistema para que esté establecido en valores fijos de dichas variables para el modo automático, y dentro del rango aceptable de cada variable para el modo manual.
- La red híbrida implementada para la simulación no presentó problemas ni se generaron errores en los datos que se adquirieron, tanto para la comunicación entre equipos vía Ethernet y MODBUS, lográndose que los datos establecidos, sean los que se presentan en la simulación. Además de presentarse en la interfaz HMI, una gráfica histórica de los datos de temperatura recopilados por el sensor y almacenados en el PLC.
- Las pruebas realizadas arrojan resultados positivos. El proyecto logra presentar los procesos de inoculación, incubación, refrigeración y mezclado para la elaboración de yogurt, desde el paso de la leche pasteurizada hasta el mezclado del yogurt. Además, la adquisición de valores en tiempo real de temperatura presenta un porcentaje de error de $\pm 0,4$ °C, el cual se encuentra dentro del rango aceptable, y la frecuencia es la que se desea en cada etapa.

CONCLUSIONES

Según las diversas pruebas realizadas anteriormente para satisfacer las necesidades y comprobar la funcionalidad del sistema de automatización del reactor químico para la elaboración de yogurt, se llega a las siguientes conclusiones:

- Los valores de set point de temperatura para la inoculación e incubación pueden ser los mismos. Además, es posible alternar la modalidad automática a manual y viceversa sin afectar los procesos.
- La frecuencia a la que va a trabajar el variador de frecuencia para la bomba de agua depende directamente de la temperatura que tiene el reactor.
- En la configuración del modo manual, es posible que se retarde el tiempo de producción si se establecen los valores de tiempo y temperatura máximos permitidos.
- El diseño previo de la red para la comunicación de los elementos del sistema permitió aplicar varios tipos de enlace de red, tales como el enlace ethernet para el PLC y HMI, y el enlace MODBUS para el controlador de temperatura y variador de frecuencia; desarrollando finalmente una red de carácter híbrido.
- Se implementó un mecanismo de seguridad en casos de emergencia, que acciona el paro temporal de producción en caso de que se produzca un accidente en el sistema, con la opción de que se pueda continuar la producción normalmente si no ha sido afectado el sistema o el producto.

RECOMENDACIONES

Según las pruebas experimentales efectuadas y las conclusiones a las que se llegó, se recomienda:

- Para realizar una nueva propuesta de automatización con elementos industriales, es necesario realizar un estudio y análisis previo de los elementos a emplear y las variables que intervienen, para tener conocimientos sobre el tipo de automatización que se va a ejecutar.
- Para la instalación de cada equipo es recomendable leer la guía de usuario para comprobar los puertos de alimentación y comunicación. Así también una vez implementado el sistema, se recomienda realizar la comprobación del funcionamiento de cada equipo, tanto para su alimentación eléctrica como para las conexiones de datos.
- Para realizar la instalación de la red topológica, se recomienda el uso de cable ethernet categoría 6a, además se deben considerar las recomendaciones para la zona industrial, ya que el ruido eléctrico y de la maquinaria pueden alterar los datos, haciendo que la comunicación no sea satisfactoria y se generen errores en el sistema.
- Para el sistema realizado, se recomienda el sensor de temperatura PT 100, ya que sus características de nivel industrial favorecen la adquisición de valores de temperatura con un porcentaje de error aceptable.
- Es recomendable utilizar un variador de frecuencia para el control de los motores, ya que además de mantener una frecuencia fija, disminuye el torque que se produce al encenderlo.
- Es recomendable accionar el reseteo del proceso al iniciar uno nuevo, para evitar

que se hayan almacenado datos del proceso anterior, así también, por seguridad, el botón de emergencia no esté ubicado en el tablero de operación del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Bacilio, E. (s.f.). *Universidad de Oviedo*. Recuperado el 2017 de Febrero de 2017, de
<http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/31580/16/01MemoriaRUO.pdf>
- BLANCO ALVAREZ, F. (Julio de 2004). Recuperado el 23 de 7 de 2017, de
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.HornosResistencia.RESISTENCIAS.CALENTAMIENTO.pdf>
- Chivería. (2017). *Chivería*. Obtenido de
http://www.chiveria.com.ec/?page_id=150
- DELTA. (s.f.). *DELTA*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de
<http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=331&hl=en-US&Name=DOP-B03E211>
- DELTA. (s.f.). *VFD-EL Manual del usuario*.
- Erivasg. (s.f.). *Procedimientos para realizar investigacion*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2016, de www.monografia.com/trabajo74
- Erivasg. (s.f.). *Procedimientos para realizar investigación*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de
<http://www.monografias.com/trabajos74/procedimiento-realizar-investigacion/procedimiento-realizar-investigacion2.shtml>
- Huaraca, J., & Poalacin, S. (s.f.). *Escuela Superior Politécnica del Chimborazo*. Recuperado el 15 de Febrero de 2017, de
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5006>
- Industry, S. (s.f.). *Siemens*. Obtenido de
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7241-1CH32-0XB0>

- INEN. (Julio de 2011). *Inen*. Recuperado el 23 de Julio de 2017, de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/ACO/17122014/nte-inen-2395-2r.pdf
- Instruments, N. (s.f.). *National Instruments*. Recuperado el 26 de 07 de 2017, de <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>
- MEDINA, J., & GUADAYOL, J. (2010). *La automatización en la Industria Química*. Barcelona - España: UPC.
- Microautomacion. (s.f.). *Microautomacion*. Recuperado el 7 de Febrero de 2017, de http://www.microautomacion.com/catalogo/10Automatizacion_y_control.pdf
- Montalvo, F. (s.f.). *Universidad Técnica de Ambato*. Recuperado el 13 de Febrero de 2017, de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2905>
- Prada, M. (2014). *Monografías*. Recuperado el 23 de Julio de 2017, de <http://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/motor-electrico-trifasico.shtml#motorestra>
- Proaño, P. (s.f.). *Universidad Técnica de Ambato*. Recuperado el 12 de Febrero de 2017, de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2359>
- Sánchez, Z., & Cano, M. (s.f.). *Universidad Autónoma del estado de Hidalgo*. Recuperado el 11 de Febrero de 2017, de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/15727/AT18363.pdf?sequence=1>
- SIEMENS. (s.f.). Recuperado el 23 de Enero de 2017, de http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia_portal/pages/tia-portal.aspx

Urrutia, M., & Carvajal, A. (s.f.). *Universidad del Cauca*. Recuperado el 9 de Febrero de 2017, de http://www.unicauca.edu.co/ai/publicaciones/Estudiantes/Urrutia_Carvajal.doc

VARITEL. (s.f.). *Varitel*. Recuperado el 15 de Febrero de 2017, de http://www.varitel.com/html/controlador_de_temperatura.html

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de www.wikipedia.com

ANEXOS

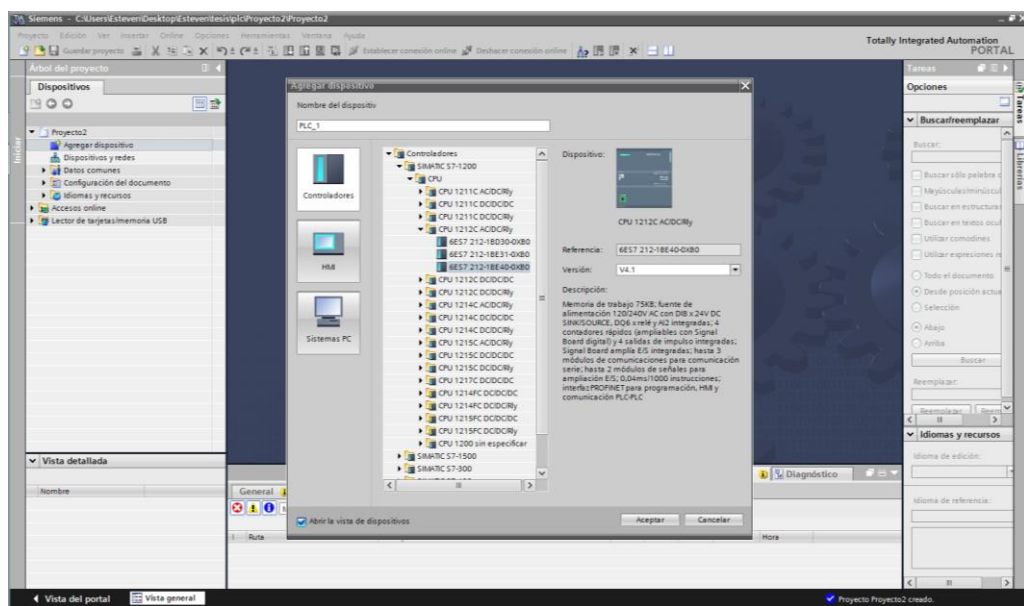
ANEXO 1: MANUAL DEL PLC

Creación de nuevo proyecto.

Ingresado al software Tía portal versión 13.0 se da clic en “Crear nuevo proyecto”, se configura la ubicación y nombre del proyecto y finalmente clic en “Abrir vista del proyecto”.

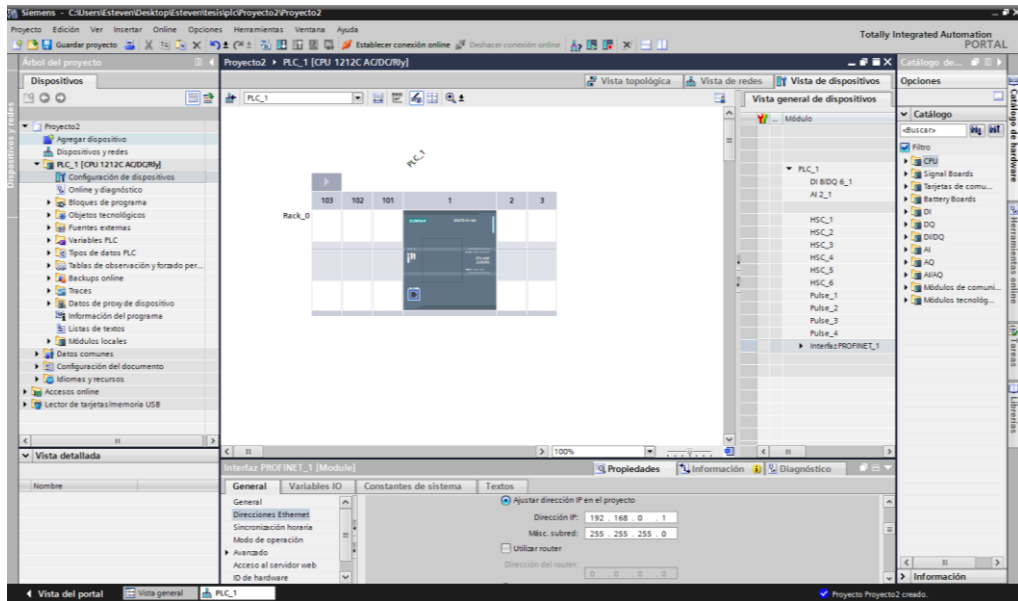
Selección de dispositivos.

Para la selección de dispositivos se da clic en “Agregar nuevo dispositivo”, seleccionamos el modelo del PLC y luego clic en “Aceptar”.



Fuente: Esteven Acosta.

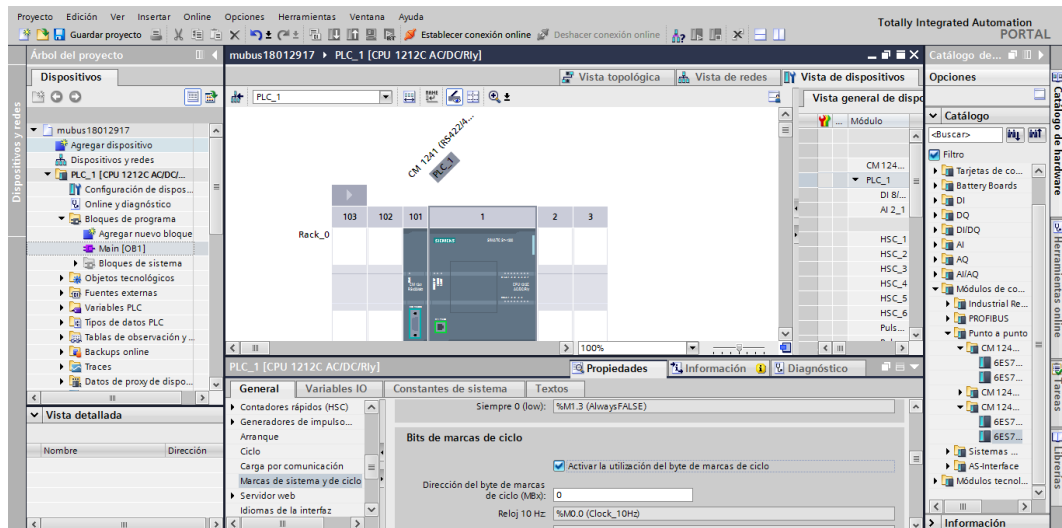
Una vez elegido el PLC, se configura la dirección IP que llevará, dependiendo del tipo de red que se tenga. Se da clic en configuración de dispositivos, y luego en el puerto RJ-45 de la figura y se configura la IP.



Fuente: Esteven Acosta.

Activación de marcas de ciclo.

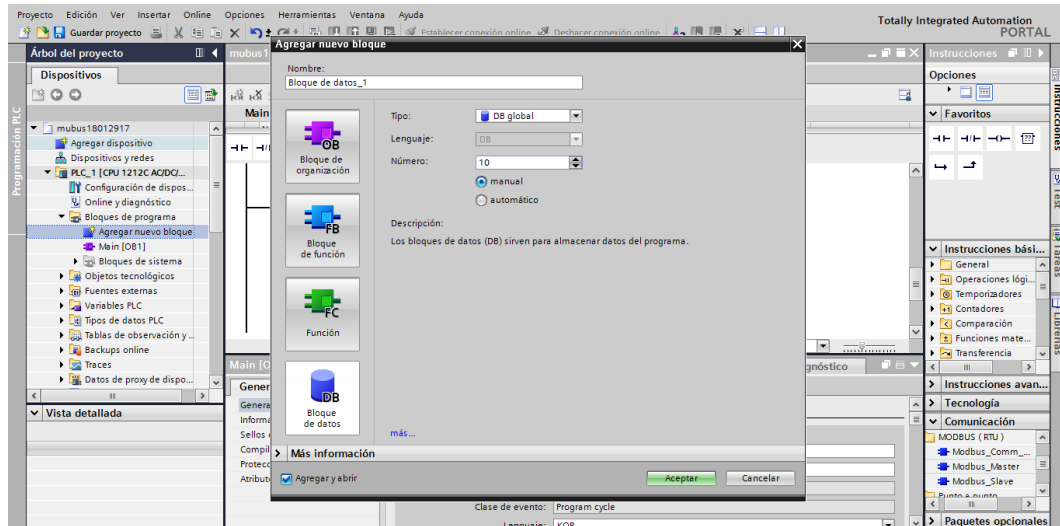
Para poder emplear las marcas del ciclo en la programación del PLC es necesaria su activación, estando en la misma configuración de dispositivos se da clic en “Marcas de sistema y de ciclo”, y se da clic en “Activar la utilización de byte de marcas de ciclo”.



Fuente: Esteven Acosta.

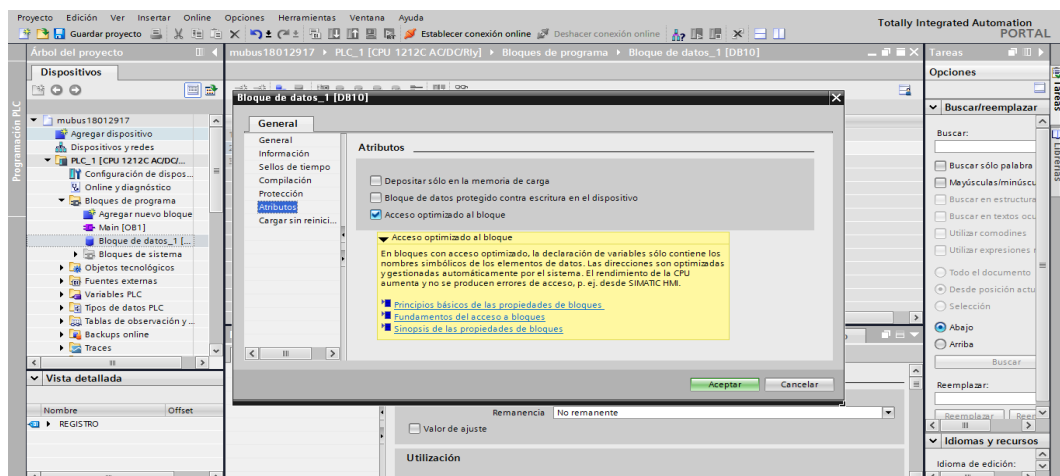
Creación de bases de datos.

Para crear bases de datos en la programación se da clic en “Agregar nuevo bloque” y se selecciona “Bloque de datos”.



Fuente: Esteven Acosta.

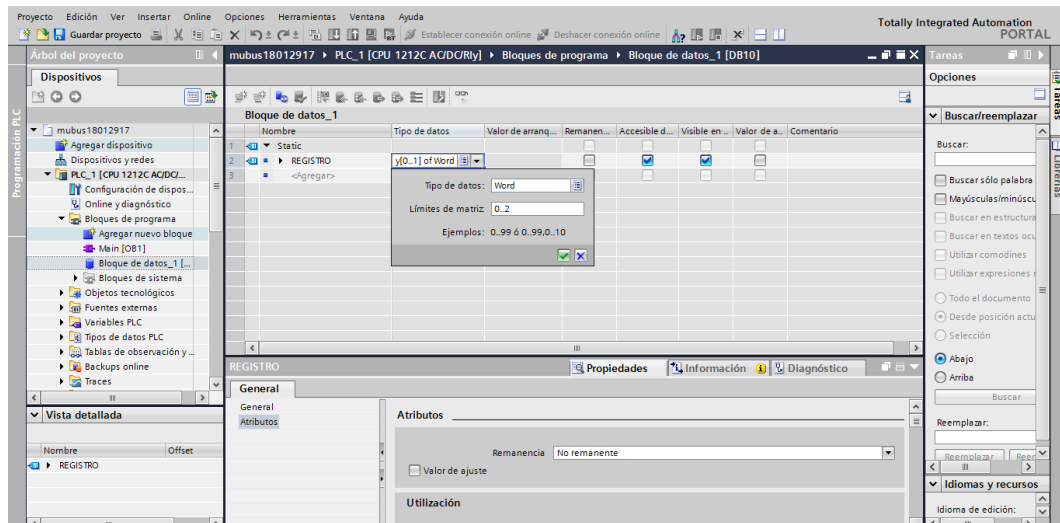
Para que las bases de datos funcionen correctamente es necesario quitar el acceso optimizado. Se da clic derecho en el bloque de datos y se selecciona “Propiedades”. Se abre una ventana perteneciente al bloque, y se quita la selección de “Acceso optimizado al bloque”.



Fuente: Esteven Acosta.

Creación de registros en el bloque de datos.

Para la creación de registros, se accede al bloque de datos, se crea un nuevo registro, para que dicho registro sea de almacenamiento de datos, se configura el tipo de datos de carácter “Array” del tipo de variable que se requiera y la dimensión.

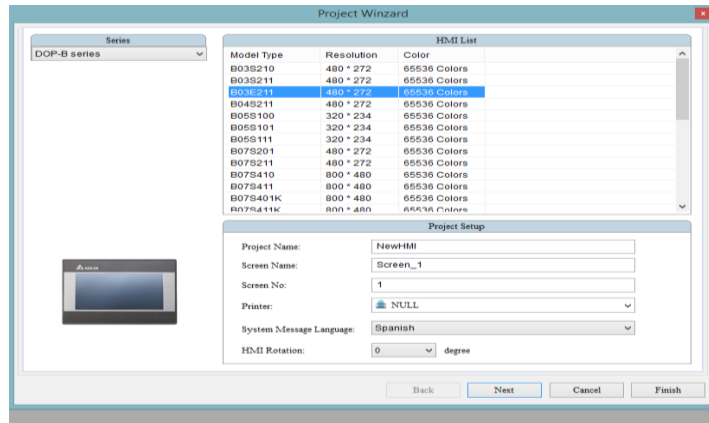


Fuente: Esteven Acosta.

Anexo 2: Manual del HMI

Creación de un nuevo proyecto.

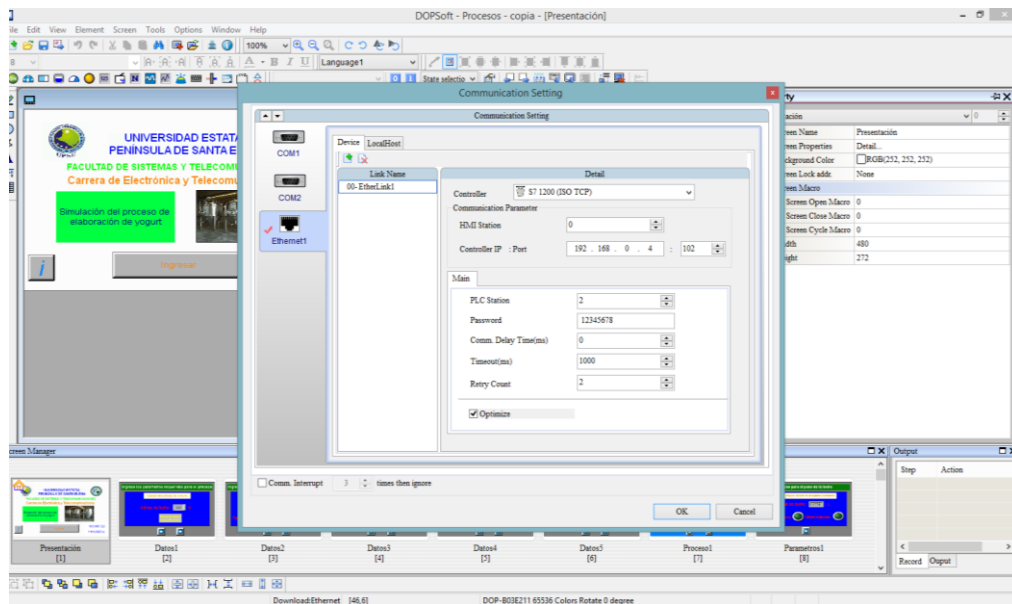
Para crear un nuevo proyecto en el Software DOPSoft, se da clic en “File”, posteriormente se da clic en “New” y se selecciona el tipo de interfaz de HMI a configurar.



Fuente: Esteven Acosta.

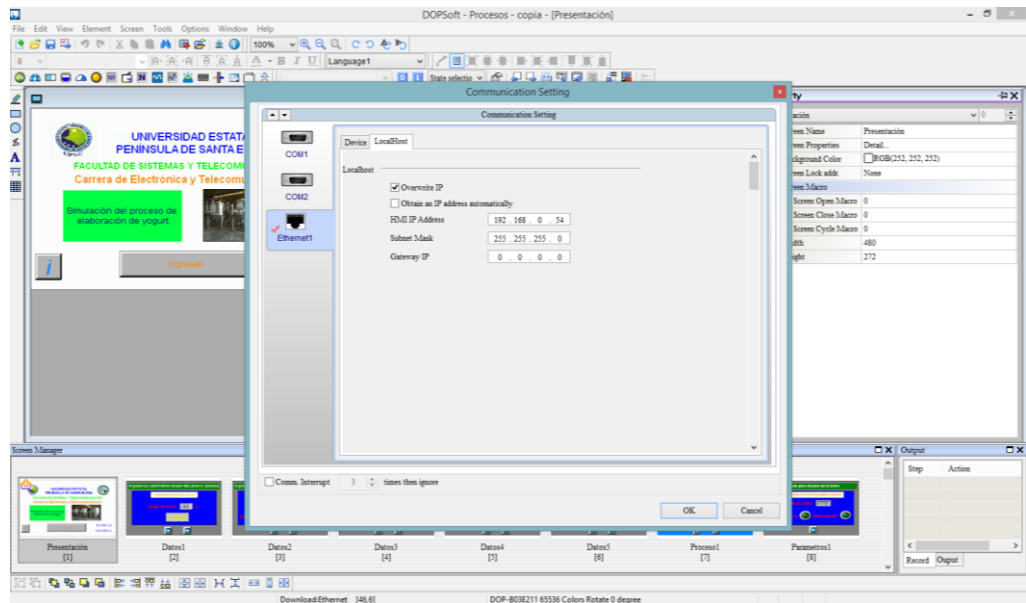
Configuración de enlace.

Una vez seleccionado el modelo de HMI, se configura la comunicación ethernet, seleccionando la dirección IP del PLC con el que se va a comunicar.



Fuente: Esteven Acosta.

Así también se configura la dirección IP del HMI en la sección “LocalHost”.



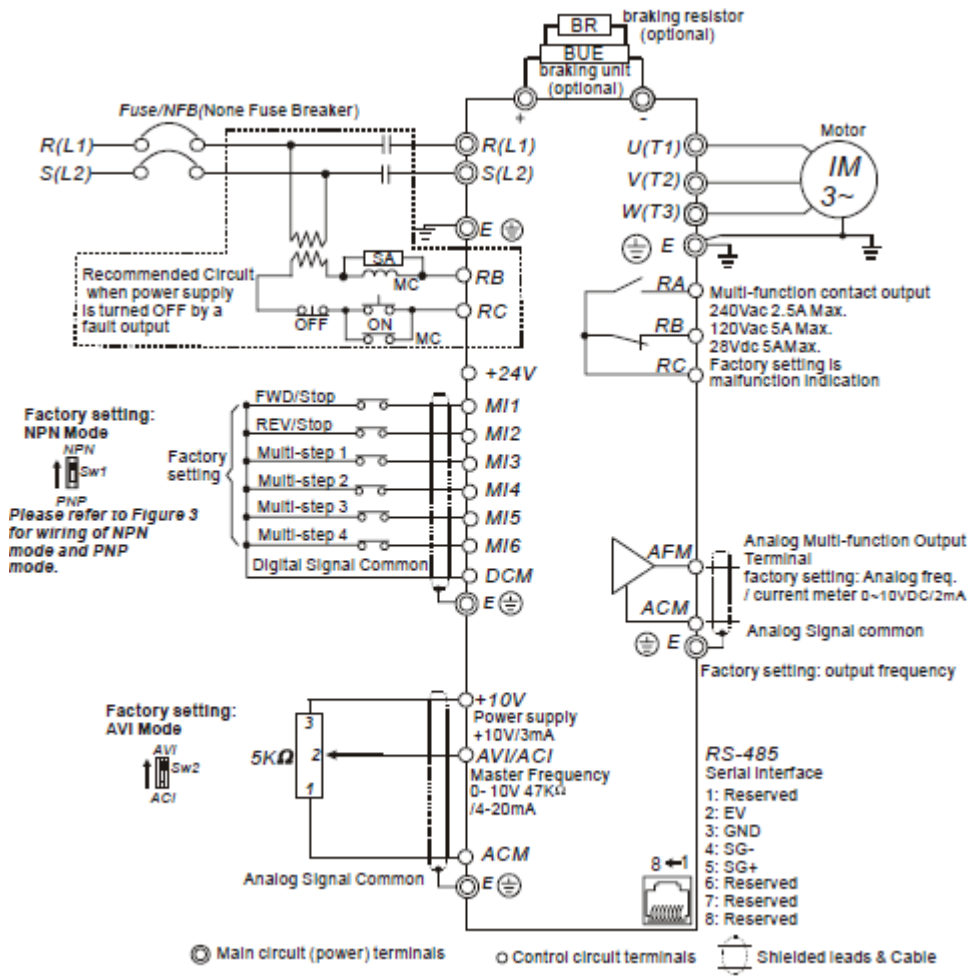
Fuente: Esteven Acosta.

Anexo 3: Variador trifásico VDF-EL 007

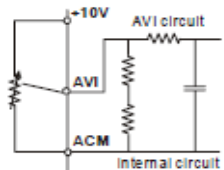
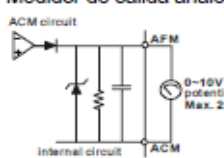
Condiciones ambientales de operación.

Operación	Temperatura del aire:	-10 ~ +50°C (14 ~ 122°F) para UL & cUL -10 ~ +40°C (14 ~ 104°F) para el montaje lado lado
	Humedad relativa:	<90%, no se permite condensación
	Presión atmosférica:	86 ~ 106 kPa
	Altitud en el sitio de instalación:	<1000 m
	Vibración:	<20 Hz: 9.80 m/s ² (1G) máx 20 ~ 50 Hz: 5.88 m/s ² (0.6G) máx
Almacenamiento Transporte	Temperatura:	-20 °C a +60 °C (-4 °F a 140 °F)
	Humedad relativa:	<90%, no se permite condensación
	Presión atmosférica:	86 ~ 106 kPa
	Vibración:	<20 Hz: 9.80 m/s ² (1G) máx 20 ~ 50 Hz: 5.88 m/s ² (0.6G) máx
Nivel de contaminación	2: adecuada para un ambiente de tipo fábrica	

Esquema eléctrico del variador trifásico





Conexiones del variador trifásico.

Simbolo del terminal	Función de terminal	Configuraciones de fábrica (modo NPN) ENCENDIDO: Conectar a DCM
MI3	Entrada 3 multifunción	Para programar las entradas multifunción consulte Pr.04.05 a Pr.04.08. ENCENDIDO: la corriente de activación es 5,5 mA. APAGADO: la tolerancia a la corriente de fuga es de 10 μ A.
MI4	Entrada 4 multifunción	
MI5	Entrada 5 multifunción	
MI6	Entrada 6 multifunción	
+24 V	Fuente de voltaje CC	+24 V CC, 20 mA usado para el modo PNP.
DCM	Común de la señal digital	Común para entradas digitales y usada para el modo NPN
RA	Salida de relé multifunción (N.O.) a	Carga resistiva: 5 A(N.O.)/3 A(N.C.) 240 V CA 5 A(N.O.)/3A(N.C.) 24 V CC
RB	Salida de relé multifunción (N.C.) b	Carga inductiva: 1.5 A(N.O.)/0,5 A(N.C.) 240 V CA 1.5 A(N.O.)/0,5 A(N.C.) 240 V CC
RC	Común de relé multifunción	Para informarse sobre la programación consulte Pr.03.00
+10 V	Potenciómetro de fuente de poder	+10 V CC 3 mA
AVI	Entrada analógica de voltaje 	Impedancia: 47 k Ω Resolución: 10 bits Rango: 0 a 10 V CC / 4 a 20 mA = 0 ~ Máx. Frecuencia de salida (Pr.01.00) Selección: Pr.02.00, Pr.02.09, Pr.10.00 Configuración: Pr.04.14 a Pr.04.17
ACM	Señal analógica de control (común)	Común para AVI= y AFM
AFM	Medidor de salida analógica 	0 a +10 V, 2 mA Impedancia: 47 Ω Corriente de salida: 2 mA máx Resolución: 8 bits Rango: 0 a 10 V CC Función: Pr.03.03 a Pr.03.04

Anexo 4: Controlador de temperatura DTB4848

Especificaciones eléctricas

Suplemento de fuerza	100 – 240VAC, 50/60Hz
Gama de tensión	Tensión especificada de 85 - 110%
Consumo de energía	6VA Max.
Presentación	Presentación por LED de 7 segmentos, PV: rojo; SV: verde.
Sensores de temperatura de entrada	Termopar: K, J, T, E, N, R, S, B, L, U, TXK
	RTD de Platina: Pt100, JPt100. Copper resistance: Cu50
	Corriente: 0 - 20mA, 4 - 20mA Resistencia de cobre: Cu50.
Escala de presentación	K2, J2, T2, Pt100-2, JPt100, Cu50: 0.1°, Others: 1°
Métodos de control	PID, PID programable, ON/OFF, Manual.
Tipos de salida	Relé: 250VAC, 5A, SPST
	Pulso de tensión: 14VDC, Corriente de salida máx.: 40mA
Tasa de muestreo	0,4 segundo (entrada analógica y sensor de entrada)
Resistencia a la vibración	10 - 55Hz, 10 m/s ² , por 10 minutos en las direcciones X, Y, Z.
Resistencia a choque	Máx. 300m/s ² , 3 veces en cada uno de los 3 ejes, 6 direcciones
Temperatura ambiente	0 ~ 50°C
Temperatura de almacenaje	-20 ~ +65°C
Altitud	< 2,000m
Humedad ambiente	35 - 85 % de RH (humedad relativa) (no condensante)

Nombre de la Serie	DTB: Controlador de Temperatura Serie Delta B	
 Tamaño del Panel (W x H)	4824 : 1/32 DIN W48 x H24 mm 4848 : 1/16 DIN W48 x H48 mm	4896 : 1/8 DIN W48 x H96 mm 9696 : 1/4 DIN W96 x H96 mm
 Salida 1	R : Relé, SPST (4848: SPST), 250VAC, 5A V : Pulso de tensión, 14V+10% - -20% C : Corriente DC: 4 - 20mA L : Tensión lineal: 0 - 5V, 0 - 10VDC	
 Salida 2	R : Relé, SPST (4848/4848: SPST), 250VAC, 5A V : Pulso de tensión, 14V+10% - -20%	
 Función opcional	□ : Sin CT, sin entrada de EVENTO T : Con CT, sin entrada de EVENTO E : sin CT, con entrada de EVENTO V : Control de válvula	

Conexiones

