



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO MEDIANTE  
EL USO DE PLC PARA LA PRODUCCIÓN DE YOGURT EN LA  
PLANTA DE LÁCTEOS TUNSHI – ESPOCH”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**AUTOR: MARIO TOMAS DE LA VEGA ESPÍN**

**TUTOR: ING. EDWIN ALTAMIRANO**

Riobamba – Ecuador

2019

**©2019, Mario Tomas De la Vega Espín**

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO MEDIANTE EL USO DE PLC PARA LA PRODUCCION DE YOGURT EN LA PLANTA DE LACTEOS TUNSHI - ESPOCH, de responsabilidad del señor Mario Tomas De la Vega Espín, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Washington Gilberto Luna.		
<b>DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>	_____	_____
Ing. Freddy Chávez.		
<b>DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	_____	_____
Ing. Edwin Altamirano.		
<b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Ing. Pablo Lozada		
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

Yo, Mario Tomas De la Vega Espín soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

---

Mario Tomas de la Vega Espín

## **DEDICATORIA**

Le agradezco a Dios por haberme dado las fuerzas necesarias para nunca rendirme y luchar por mi meta al haber culminado mi carrera. A mis padres, hermanos que siempre me apoyaron en los momentos difíciles para poder alcanzar esta etapa en mi vida, a mis maestros que me enseñaron sus conocimientos para formarme como un buen profesional, y de una manera especial a todas las personas que en algún momento me apoyaron.

Mario.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por bendecirme siempre, a mis padres por brindarme su apoyo para la culminación de mi meta, Agradezco a la ESPOCH por la oportunidad de tener mi profesión y ser de buena ayuda a la sociedad. A la planta de Lácteos - Tunshi por permitirnos realizar el proyecto final especialmente al ing. Marco Manzano por el apoyo y facilidad que aportó a lo largo del trabajo.

Mario.

## TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....</b>	<b>6</b>
<i>1.1.1 Que es la Automatizacion Industrial .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2 Ventajas y Desventajas de la Automatizacion Industrial.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3 Interfaces hombre-máquina HMI.....</i>	<i>7</i>
<b>1.2 Industria de Alimentos.....</b>	<b>8</b>
<i>1.2.1 Procesos de Produccion de Alimentos .....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.2 Productos y Derivados Lacteos .....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3 Yogurt.....</i>	<i>10</i>
<b>1.3 Sensores .....</b>	<b>10</b>
<i>1.3.1 Características de un sensor .....</i>	<i>11</i>
<i>1.3.2 Tipo de sensores.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3.2.1 Sensores de Temperatura .....</i>	<i>12</i>
<b>1.4 Controlador lógico programable.....</b>	<b>13</b>
<i>1.4.1 Funciones del PLC.....</i>	<i>13</i>
<i>1.4.2 Estructura del PLC.....</i>	<i>13</i>
<i>1.4.3 Componentes.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4.3.1 Entradas.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4.3.2 Salidas.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4.4 Programación .....</i>	<i>15</i>
<b>1.5 Sistemas mecánicos .....</b>	<b>15</b>
<i>1.5.1 Motor DC.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.2 Paletas de Agitacion .....</i>	<i>16</i>
<b>1.6 Sistemas electrónicos.....</b>	<b>18</b>

1.6.1	<i>Semiconductores</i> .....	19
1.6.2	<i>Transistor</i> .....	19
1.6.3	<i>Tiristor</i> .....	19
1.7	<b>Sistemas de control</b> .....	20
1.7.1	<i>Sistema de control de lazo abierto</i> .....	20
1.7.2	<i>Sistema de control de lazo cerrado</i> .....	21
1.7.3	<i>Recipientes cilindros de Acero Inoxidable</i> .....	22

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	23
2.1	<b>Diseño Estructural del sistema</b> .....	23
2.1.2	<b>Diseño mecánico</b> .....	23
2.1.2.1	<i>Recipiente doble fondo lateral</i> .....	24
2.1.2.2	<i>Sistema de agitación de paletas planas</i> .....	25
2.1.2.3	<i>Diseño mecánico final</i> .....	26
2.1.3	<b>Sistema Electrónico</b> .....	28
2.1.3.1	<i>Diseño de sistema de control de lazo cerrado</i> .....	28
2.1.3.2	<i>Cálculo de potencia consumida del sistema</i> .....	31
2.1.3.3	<i>Dimensionamiento del conductor del sistema</i> .....	31
2.1.3.4	<i>Dimensionamiento de protección del sistema</i> .....	32
2.2	<b>Diseño de Software del Sistema</b> .....	34
2.2.1	<i>Descripción de Funcionamiento del Sistema</i> .....	34
2.2.2	<i>Diagrama de flujo de funcionamiento</i> .....	35
2.2.3	<i>Descripción del programa, LOGO SOFT COMFORT V8 Y TDP 100 HMI</i> .....	36
2.2.4	<i>Programación HMI TDE 100</i> .....	39
2.2.4.1	<i>Teclas de control LOGO TDE</i> .....	41

## CAPÍTULO III

3	<b>MARCO DE RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b>	
3.1	<b>ANALISIS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO</b> .....	44
3.1.1	<i>Sistema Mecánico</i> .....	44
3.1.2	<i>Sistema Electrónico</i> .....	44
3.1.3	<b>Calculo del Tamaño de la Muestra T-Student</b> .....	45
3.1.4	<b>Registro de Tiempos de ejecución del proceso</b> .....	45
3.1.5	<b>Ventajas de un proceso automático frente a un proceso manual en la fabricación de yogurt</b> .....	47
3.1.6	<b>Tiempo de mejora de la producción de yogurt con la implementación del sistema automático</b> .....	49
3.1.7	<b>Porcentaje de optimización de materia prima del sistema</b> .....	51

<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>55</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2 Datos Motorreductor .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 2-2 Características de los sensores de temperatura .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 3-2 Datos actuador neumático.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 4-2 Censo de carga.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 5-2 Consumo por partes.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 6-2 Amperaje del conductor .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 7-2 Calibre conductor seleccionado .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 8-2 Capacidad breaker de proteccion .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 9-2 Censo de carga.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 10-2 Consumo por partes.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 11-2 Calibre de conductor seleccionado .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 12-2 Capacidad de Breaker de protección .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 1-3 Datos tomas previas .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 2-3 Tamaño de muestra .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 3-3 Ventajas de proceso manual – automático .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 4-3 Datos de producción manual frente a automática .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 5-3 Porcentaje de mejora .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 6-3 Pesos de leche cruda.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 7-3 Porcentaje de optimización de materia prima .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 8-3 Registro de consumo .....</b>	<b>127</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Diagrama del Proceso .....	20
Figura 2-1 Ejemplo de HMI. ....¡Error! Marcador no definido.	25
Figura 3-1 Yogurt de Frutas. ....	26
Figura 4-1 Tipos de sensores .....	27
Figura 5-1 Estructura de un controlador logico programable.....	30
Figura 6-1 Estructura de un graficet.....	31
Figura 7-1 Sistema Mecanico . ....	32
Figura 8-1 Motor DC. ....	32
Figura 9-1 Agitador de Paletas .....	32
Figura 10-1 Agitador de turbina.....	33
Figura 11-1 Agitador de helice.....	34
Figura 12-1 Sistemas Electronicos. ....	34
Figura 13-1 Transistor. ....	35
Figura 14-1 Tiristor.....	36
Figura 15-1 Sistemas de Control.....	36
Figura 16-1 Lazo Abierto. ....	36
Figura 17-1 Lazo Cerrado. ....	37
Figura 1-2 Dimensiones Contenedor doble fondo. ....	39
Figura 2-2 Paletas planas Vista frontal. ....	41
Figura 3-2 Diseño mecanico final.....	42
Figura 4-2 Implementacion Mecanico final. ....	42
Figura 5-2 Sistema de control lazo cerrado. ....	43
Figura 6-2 Breaker bipolar.....	47
Figura 7-2 Diagrama de conexion.....	48
Figura 8-2 Tablero de control implementado.....	48
Figura 9-2 Diagrama de flujo. ....	49
Figura 10-2 Esclavamiento Inicial. ....	52
Figura 11-2 Remapeo de señal. ....	52
Figura 12-2 Comparacion.....	53
Figura 13-2 Comparaciones. ....	53
Figura 14-2 Fin del bucle.....	54
Figura 15-2 Bloques. ....	54
Figura 16-2 Distribucion de texto. ....	55
Figura 17-2 Configuracion de HMI.....	55

<b>Figura 18-2 Botones LOGO TDE. ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 19-2 Programacion.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 1-3 Muestras previas – Grafico de barras. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 2-3 Comparacion de tiempos. ....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**Vcil** Volumen del cilindro

**Vtot** Volumen total del recipiente

**W** Watts

**VDC** Voltaje de corriente directa

**VCA** Voltaje de corriente alterna

**A** Amperios

**V** Voltios

**CC** Centímetros Cúbicos

**Cal** Caloría

**Kcal** Kilocaloría.

**E** Energía

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación “Implementación de un Sistema Automático mediante el uso de un PLC para producción de yogurt en la planta de Lácteos Tunshi – Espoch” se desarrolló con el objetivo de facilitar la producción de yogurt, mediante un sistema autónomo, eficaz en cuanto a temperaturas y velocidades de agitación del producto. Se recopiló y analizó la información necesaria para el diseño del sistema mecánico y electrónico más adecuado para el proceso, tratando de optimizar los recursos disponibles. El sistema en su totalidad está construido en acero inoxidable 304, y es controlado por un controlador lógico programable (PLC) LOGO V8, que trabaja con una interfaz hombre máquina (HMI) LOGO TDE, los cuales son encargados de recibir los datos del sensor de temperatura y pulsadores para procesarlos y controlar los actuadores del sistema, un motor de corriente continua (DC), mediante el uso de relés y circuitos de potencia. El sistema en su totalidad es controlado por una interfaz de usuario (HMI) diseñada en LOGOSOFT COMFORT 8. Con el sistema anteriormente descrito se logró una mejora de hasta un 50% en cuanto a tiempo de producción y una optimización de hasta un 1,16% frente al proceso tradicional de fabricación del producto. Se recomienda que el recipiente tenga forma cilíndrica con fondo cónico, tener una correcta calibración del sensor de temperatura y que la materia prima sea la más adecuada para obtener un producto de calidad.

**PALABRAS CLAVE:** <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <PRODUCCIÓN YOGURT>, <SISTEMA AUTOMÁTICO>, <SISTEMA MECANICO>, <CONTROL DE TEMPERATURA>, <OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)>.

## **ABSTRACT**

The present research work “Implementation of an Automatic System through the use of a PLC (Programmable Logic Control) for the production of yogurt in Tunshi-Espoch dairy plant”, has as purpose to provide the production of yogurt, through an autonomous system, effective as regards at temperatures and speeds of stir of the product. The necessary information is collected and analyzed to design the most appropriate mechanical and electronic system for the process, trying to optimize the available resources. The whole system is built in stainless Steel 304, and it is controlled by a Programmable Logic Controller (PLC) LOGO V8, which works with a Man Machine Interface (MMI) LOGO TDE, which are responsible for receiving data from the temperature sensor and pushbuttons to process and control the actuators of the system as a direct current (DC) motor, through the use of relays and power circuits. The entire system is controlled by a user interface (MMI) designed in LOGOSOFT COMFORT 8. With the system described above, an improvement up to 50% is achieved in terms of production time and an optimization up to 1.16% compared to traditional process of product manufacture. It is recommended that the container has a cylindrical shape with a conical bottom, has a correct calibration of the temperature sensor and that the raw material is the most adequate to obtain a quality product.

## **KEYWORDS:**

AUTOMATION OF INDUSTRIAL PROCESSES // YOGURT PRODUCTION // AUTOMATIC SYSTEM // MECHANIC SYSTEM // TEMPERATURE CONTROL // OPTIMIZATION OF TIME // MAN MACHINE INTERFACE (MMI)

## **INTRODUCCIÓN**

Toda empresa productiva necesita del aporte tecnológico por parte de la comunidad profesional del país, de esta manera la elaboración de sus productos podrá cumplir las expectativas necesarias para expandir su mercado e inmiscuirse en la tecnificación industrial de sus procesos. Es por este motivo se decide diseñar un sistema de control automático mediante la utilización de un HMI para la producción de yogurt, el mismo que tendrá la capacidad de optimizar los procesos de producción, con el uso adecuado de las nuevas tecnologías para la empresa láctea.

Con el presente diseño se busca mejorar la forma de producir el yogurt en la planta de Lácteos Tunshi - Espoch, proporcionando la cantidad justa del producto, disminuir el esfuerzo físico de cada trabajador, aumentar la producción, evitar el desperdicio del producto, tener la posibilidad de contabilizar y registrar la cantidad producida con la capacidad de adquirir datos necesarios y relevantes.

Por lo tanto, este proyecto pretende aportar a la industria láctea en base a la utilización de tecnología actual y al diseño de controles automáticos optimizar el proceso de producción y sobre todo permitir a la empresa su desarrollo tecnológico y económico, motivo por el cual se plantea la “Implementación de un sistema automático mediante el uso de un PLC para producción de yogurt en la planta de lácteos Tunshi – Espoch”, un sistema totalmente autónomo, que es controlado por un LOGO V8 y un HMI LOGO TDE, los mismos que controlan los diferentes procesos térmicos para la fabricación de Yogurt.

El sistema permite la mejora frente al proceso tradicional o manual, mejorando el tiempo de proceso en hasta un 50% y optimizando la materia prima hasta un 1,16% en todo el proceso.

## **ANTECEDENTES**

El origen del derivado lácteo denominado Yogurt se remonta al continente asiático, y a estados como Turquía y Bulgaria, de ahí el origen de su nombre búlgaro “Jaurt” y existe creencias apareció antes de la agricultura, donde se convirtió en alimento básico de los pueblos nómadas. Se cree su la primera aparición fue hace 4500 años. (Lopez, 2016 págs. 50-51)

Luego de extenderse el consumo de yogurt por toda Asia, India, y Europa, no fue hasta los años 1700 cuando un grupo de migrantes turcos llevaron el producto hacia norte América, pero no apareció hasta el año de 1940 cuando “Danone Groups”, este se dedicó a la producción de dicho producto. (Mc Hounn, 2015, pp 23)

Con la producción de yogurt en norte américa, el segundo país en consumirlo fue México, posteriormente se extendió hacia centro américa y Suramérica. En los años 90 aparecen en Ecuador las primeras empresas franquicias productoras de Yogurt como Parmalat, y en el año 2000 Toni, de ahí hasta la actualidad alrededor de 60 industrias compiten el mercado, donde solamente Toni tiene el 49%, entre las más relevantes Kiosco, Alpina, Pura Crema. (Villamarin, 2016, pp. 17)

La Planta de Lácteos Tunshi de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es uno de los principales productores de derivados lácteos para consumo estudiantil de la Institución.

La Planta de Lácteos de Tunshi posee una producción de 120 litros de leche pasteurizada, 25 litros de yogurt y 20 quesos como promedio al día, productos de calidad. Esto se logró gracias a la donación de varios equipos obtenidos a través del convenio con Japón.

La investigación constituye una actividad productiva de importancia, entendiéndose por esta a la búsqueda de un mejoramiento de un producto, así como también el incremento en nuevas líneas de producción en el desempeño y ayuda a contribuir buenos resultados en el producto final.

Para esto se plantea el “Implementación de un Sistema Automático mediante el uso de PLC para la producción de Yogurt en la Planta de Lácteos Tunshi - Espoch”, lo cual permitirá agilizar el proceso, haciéndolo técnicamente más rápido, seguro y acorde con las crecientes exigencias tecnológicas, de los usuarios y consumidores actuales y futuros.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es viable La Implementación de un Sistema Automático mediante el uso de PLC para la producción de Yogurt de la planta de Lácteos Tunshi – ESPOCH?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Cuáles son las ventajas de un proceso manual frente a un proceso automático en la fabricación de yogurt?
- ¿Cuáles son los elementos electrónicos adecuados para aún más se acoplen al sistema para optimizar los recursos?
- ¿Cómo mejoro la producción de yogurt con la implementación del sistema automático?
- ¿Cuál es el porcentaje de optimización de materia prima del sistema?

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La innovación es base fundamental para el desarrollo, se considera necesario la Planta de Lácteos Tunshi-ESPOCH mejore y aumente su producción de Yogurt, se tiene en cuenta la optimización de recursos y por consiguiente el costo de operación del equipo, así como la seguridad en su operación y su durabilidad.

El equipo contara con un sensor de temperatura el cual gestionara el ingreso de vapor de agua y agua al interior del sistema mediante electroválvulas hidráulicas. El tipo de control a implementar será de un sistema de control de lazo cerrado cuya señal de salida interviene en la regulación del sistema y permite tener un mejor manejo y minimizar errores en el mismo.

Para la agitación del producto el sistema tendrá un motor con aspas, el cual contará la velocidad de agitación súper baja para este tipo de procesos industriales.

Son algunos los dispositivos donde la capacidad de controlar el sistema propuesto, en este caso se optará por un LOGO SIEMENS, esto se debe a la facilidad de instalación, robustez, confiabilidad y versatilidad del mismo.

La estructura del sistema tal como el recipiente, las aspas de agitación, será construida en Acero Inoxidable 304, la cual es ideal para procesos de alimentos.

El sistema no posee dispositivos donde requieran una constante monitorización, el sistema solo contara con un visualizador numérico de temperatura más no un HMI en su totalidad, pero contara con modos de operación Manual y Automático en el tablero de control.

### **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

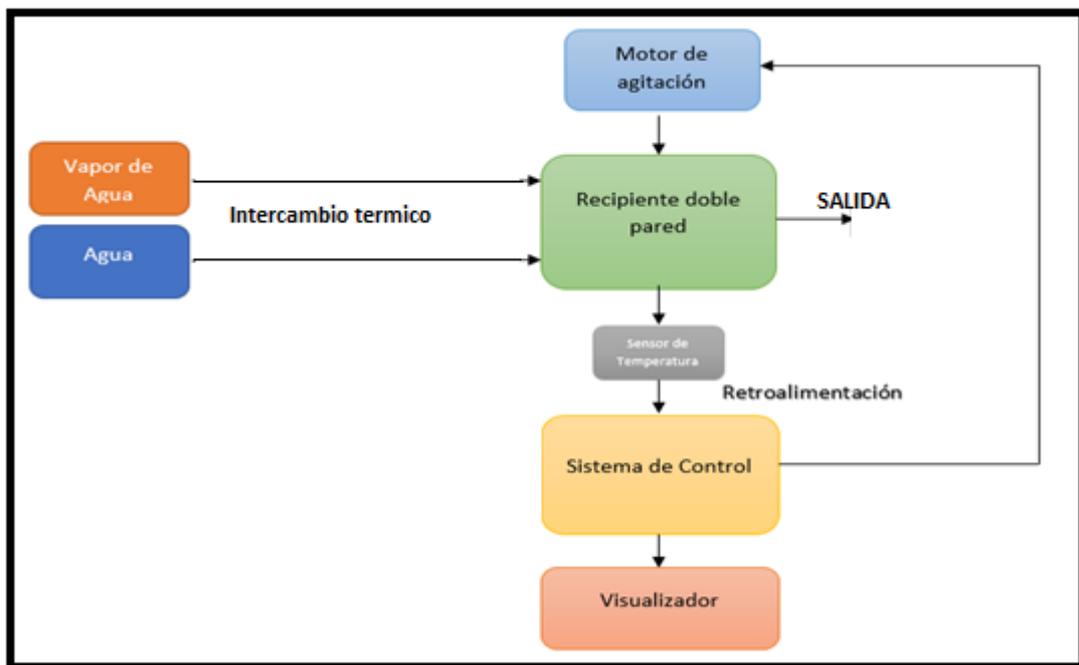
La Planta actualmente es capaz de producir un volumen de 20L de yogurt en una jornada laboral, para ello cuenta con unos equipos manipulados en su totalidad manualmente por un operario,

resulta en un sistema con un proceso manual. El operador vigila la temperatura del proceso, el ingreso de agua, vapor de agua y velocidad del agitador.

El desarrollo del presente trabajo de titulación pretende aumentar la capacidad de producción de Yogurt de la Planta, optimizar el tiempo de proceso, producción y contar con un sistema más autónomo, es por ello q se plantea el siguiente Trabajo de Titulación. De esta manera aumentará el número de unidades producidas en el menor tiempo posible, para optimizar la materia prima con un sistema menos dependiente de supervisión por un operario.

Con la implementación del trabajo de titulación se contará con un equipo nuevo, con mayor capacidad, totalmente automático, tratará de minimizar el porcentaje de pérdida de materia prima, reducir la tubería de desalojo de producto, se optimizará recursos para su construcción.

En la figura 1-1 se puede apreciar un sistema de bloques del sistema propuesto.



**Figura 1-1** Diagrama del proceso

**Realizado Por:** De La Vega Mario 2018.

Cabe indicar, la Planta recibe constantemente la asistencia de estudiantes de distintas facultades, entre ellas la Facultad de Ciencias Pecuarias, donde se realizan prácticas estudiantiles y pre profesionales de los mismos, donde se investiga y se lleva a cabo diferentes pruebas al producto, ya sea en sabor, consistencia y también se agrega otro tipo de químicos al producto con el fin de obtener mejor calidad en el mismo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

- Implementar un Sistema Automático mediante el uso de PLC para la producción de yogurt en la Planta Tunshi-Epoch.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las técnicas y formas que facilite la producción de yogurt mediante la recolección de información y elegir la más adecuada para la implementación del sistema
- Diseñar los sistemas mecánicos y electrónicos del sistema y seleccionar los componentes más adecuados para el sistema.
- Implementar un Sistema Automático de Control de lazo cerrado mediante el uso de un PLC para su automatización y mejoramiento de la producción de yogurt en la Planta Tunshi Epoch.
- Realizar las pruebas, y correcciones de errores para la puesta a punto del sistema con el fin de optimización de materia prima en el mismo.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Automatización Industrial.

La automatización industrial (automatización: del griego antiguo auto, ‘guiado por uno mismo’) es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales. Como una disciplina de la ingeniería más amplia de un sistema de control, abarca la instrumentación industrial, incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. (Automatización industrial, 2016, p. 22).

Los procesos industriales se pueden adaptar a cualquier situación, todo con el fin de cumplir con el objetivo de producción y con el mínimo detalle de las especificaciones técnicas requeridas.

#### 1.1.1. Que es la Automatización Industrial.

Para la automatización de un proceso industrial ya sea parcial o total, se debe considerar ciertos factores como seguridad del operario, costos y beneficios, volumen y producción, complejidad del proceso y vida útil del sistema, si el proceso es grande, el impacto de las decisiones se notará más en su desempeño.

#### 1.1.2. Ventajas y Desventajas de la Automatización Industrial

##### Ventajas

- **Ciclos repetitivos:** En procesos ya implementados y optimizados, este se repite de forma continua, sin cambios ni errores, lo cual permite producir de forma ininterrumpida con una disponibilidad 24/7, se logra un incremento de la producción.
- **Calidad del producto:** La automatización industrial bien aplicada, nos permite un control de procesos de producción con un nivel de precisión mucho más elevado frente a un proceso manual. Variables tales como, pesos, mezclas, temperaturas se calculan y controlan con la mínima unidad. Además, no se producen interrupciones por errores o cambios en el proceso por la razón de ser un ciclo constante repetitivo.
- **Costo:** Con el proceso en marcha, se requiere menos personal en la línea de producción. Además de una optimización de recursos tales como materia prima, tiempo de producción, consumo energético.

- **Seguridad del operario:** La seguridad del operario se ve incrementada debido a su existencia de procesos incluyen grandes pesos, temperaturas elevadas o entornos peligrosos (con productos químicos nocivos, radioactivos...).
- **Flexibilidad:** Un proceso automatizado permite adaptar el producto a diferentes características o requerimientos específicos. Además, permite reaccionar de manera más rápida a cambios.
- **Competencia:** Un producto de calidad producido en menor tiempo aumenta la competitividad en el mercado, se puede dar una mejor respuesta a las necesidades del cliente.

### **Desventajas**

- **Personal capacitado:** El personal necesario para llevar a cabo la automatización del proceso, mantenimiento y capacitación para uso del mismo.
- **Costo de la inversión:** El costo inicial de la inversión puede percibirse como elevado.
- **Dependencia de la tecnología:** Depende de la complejidad del sistema implementado donde alguna maquina o equipo requiera mantenimiento del proveedor.

#### **1.1.3. Interfaz Hombre – Máquina HMI.**

HMI, proviene del inglés, su significado (Human Machine Interface), es decir es el dispositivo o sistema al permitir el interfaz entre la persona (operador) y la máquina (proceso). Se basa en una interfaz amigable y lo más sencilla posible donde se puede ingresar variables, así como la monitorización del proceso en tiempo real, puede ser implementada en paneles propios de HMI o en una computadora.

### **Tipos de HMI**

Se puede distinguir básicamente dos tipos de HMI:

- **Dispositivo Terminal de Operador:** Consisten en un dispositivo generalmente está construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen).
- **Computador y Software:** Constituye otra alternativa basada en un computador en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto.

En la imagen 2-1 se puede apreciar algunos ejemplos de Interfaces de Usuario.



**Figura 2-1.** Ejemplo de HMI

**Fuente:** ([http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/20401-3855133.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/20401-3855133.jpg)).

## 1.2. Industria de Alimentos.

Se encarga de transformar los productos procedentes del sector agropecuario, es decir, de la agricultura y la ganadería, en productos para consumo humano rigiéndose a normas de calidad.

En tiempos pasados, la industria alimenticia no dependía de las demandas del consumidor, es decir los agricultores cultivaban sus tierras y criaban ganado con buenos rendimientos económicos por esa actividad, además de producir lo suficiente para satisfacer las necesidades familiares propias. (Industria Alimenticia, 2012, p 8 - 10).

En Ecuador a nivel de evolución, el sector alimenticio ha registrado tasas de variación positivas desde el año 2008 hasta 2015. La tasa de crecimiento promedio anual fue de 3,4% en ese periodo. Estos resultados han llevado a la participación del sector en el PIB total sea de 6,9%. (Ecured. 2017, p. 19-21).

### 1.2.1. Procesos de Producción de Alimentos.

El proceso se puede detallar en seis etapas.

- **Manipulación:** Esta fase hace referencia a la manipulación de los alimentos directamente por las personas. Estos tienden a disminuirse progresivamente, los procesos productivos se encuentran cada vez más concentrados y tecnificados.

- **Almacenamiento:** Con el fin de evitar la excesiva estacionalidad de los alimentos, algunos de ellos se almacenan en habitáculos acondicionados para cada tipo de producto: herméticos, al aire libre, refrigerados, cámaras frigoríficas, etc.
- **Extracción:** Algunos alimentos requieren ser sometidos a un proceso de extracción. Dichos procesos pueden ser de 3 clases: pulpas, huesos o líquidos.
- **Elaboración:** Los procesos de elaboración se realiza, por ejemplo, en las cocinas de los hogares y restaurantes, su objetivo es la transformación de un alimento inicialmente crudo para la obtención de un alimento distinto y transformado.
- **Conservación:** Es una fase vital para interrumpir la actividad microbiana de determinados alimentos y prolongar la vida útil de los mismos.
- **Envasado:** El envasado es también fundamental como método de presentación de los productos enlatados y las bebidas. (Procesos Alimentos, 2012, p 35-42).

### **1.2.2.Productos y Derivados Lácteos.**

Aunque ningún alimento es perfecto, la leche y los productos lácteos se encuentran más cerca de este ideal, pues proporcionan una gran variedad y cantidad de nutrientes en relación a las necesidades del ser humano y en comparación con otros grupos de alimentos (Ensminger y col., 1995, p. 75).

En relación a la recomendación sobre el consumo de lácteos, la pirámide NAOS aconseja un consumo diario de leche, yogurt y queso.

#### **Leche**

El valor nutricional total de la leche es mayor al valor individual de los nutrientes de su composición debido a su balance nutricional único. Es un alimento de “alta calidad nutricional”. Destaca su contenido en proteínas de alto valor biológico y es la fuente más importante de calcio de la dieta.

#### **Queso**

El queso es uno de los principales productos lácteos. Es rico en calcio y destaca por su alto contenido en proteínas de gran valor biológico. La grasa de la leche es el nutriente donde más

influye en el sabor del queso. Además, el contenido en minerales es mayor a la leche, especialmente en quesos maduros el contenido en agua es menor.

### 1.2.3. Yogurt.

Se obtiene al añadir a la leche fermentos para el degado de lactosa convirtiéndola en ácido láctico. Su valor nutricional es similar al de la leche, pero la disponibilidad de calcio es superior, a su absorción aumenta por el pH ácido del ácido láctico.

Debido a la menor presencia de lactosa (por inactivación de la lactasa) pueden tomarlo aquellas personas de cierta intolerancia a la lactosa. La European Food Safety Agency (2010) publicó un documento sobre el efecto del yogurt en la mejora de la digestibilidad de la lactosa.

Según un estudio realizado por Adolphi y cols se ha observado, a corto plazo, el consumo diario de leches fermentadas mejora el balance de calcio, revela una absorción más eficiente, en mujeres. En la figura 3-1 se puede apreciar este delicioso producto.



**Figura 3-1.** Yogurt de Frutas

**Fuente:** (<https://engorda.org/wp-content/uploads/2017/03/engorda-yogurt.jpg>).

### 1.3. Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, tales como: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc., y transformarlas en variables o señales eléctricas ya sean de voltaje o corriente. (Sensor, (2016), p. 1).

A continuación, en la figura 4-1 se observa ejemplos de sensores usados en automatización industrial.



**Figura 4-1.** Tipos de sensores

**Fuente:** ([https://www.rock.com/Proximity\\_Sensors\\_Group\\_front1--ra\\_feature\\_412w232h\\_horz.jpg](https://www.rock.com/Proximity_Sensors_Group_front1--ra_feature_412w232h_horz.jpg)).

### 1.3.1. Características de un sensor

- **Rango de medida:** dominio en la magnitud donde puede aplicarse el sensor.
- **Precisión:** es el error de medida máximo esperado.
- **Offset o desviación de cero:** valor de la variable de salida si la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- **Linealidad o correlación lineal.**
- **Sensibilidad de un sensor:** Es de entrada a salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Resolución:** mínima variación de la magnitud de entrada puede detectarse a la salida.
- **Rapidez de respuesta:** puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- **Repetitividad:** error esperado al repetir varias veces la misma medida. (Sensor, 2016, p. 2).

### **1.3.2. Tipo de sensores.**

Existen diferentes tipos de sensores, en función del tipo de variable depende el campo de aplicación:

- Temperatura.
- Caudal
- Infrarrojos.
- De presencia.
- Ópticos.
- De humedad.
- Magnéticos.

#### **1.3.2.1. Sensores de Temperatura**

Los sensores de temperatura son dispositivos donde transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas.

Hay diferentes tipos de sensores de temperatura, a continuación, se muestran algunos ejemplos.

- Termopar
- RTD
- Termistor

El sensor de temperatura usualmente está formado por el elemento sensitivo, este cualquiera de los tipos anteriores, y la envoltura está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable por donde se conectarán el equipo de control.

#### **Termopar**

El termopar, también llamado termocupla formado por dos metales, es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico.

El termopar genera una tensión, está en función de la temperatura donde se aplica al sensor y se mide con un voltímetro la tensión generada; con ello conoceremos la temperatura.

#### **RTD (Resistance Temperature Detector)**

Un RTD es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.

Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno.

De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura.

### **Termistor**

El termistor está basado en el comportamiento de la resistencia de los semiconductores es variable en función de la temperatura.

Existen los termistores tipo NTC y los termistores tipo PTC. En los primeros, al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia. En los PTC, al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia.

El principal problema de los termistores es su no linealidad según la temperatura abre la necesidad de aplicar fórmulas complejas para determinar la temperatura según la corriente existente y son complicados de calibrar. (“Sensores de temperatura”. (2012). <https://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php>).

## **1.4. Controlador Lógico Programable.**

Un Controlador Lógico Programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. (Controlador lógico programable, 2016, p. 22 - 23).

### **1.4.1. Funciones del HMI**

La función básica y primordial del HMI ha evolucionado con los años para incluir el control del relé secuencial, control de movimiento, control de procesos, sistemas de control distribuido y comunicación por red. Las capacidades de manipulación, almacenamiento, potencia de procesamiento y de comunicación de algunos Logos modernos son aproximadamente equivalentes a las computadoras de escritorio. (Controlador lógico programable, 2016, p. 26).

### **1.4.2. Estructura del Logo Siemens.**

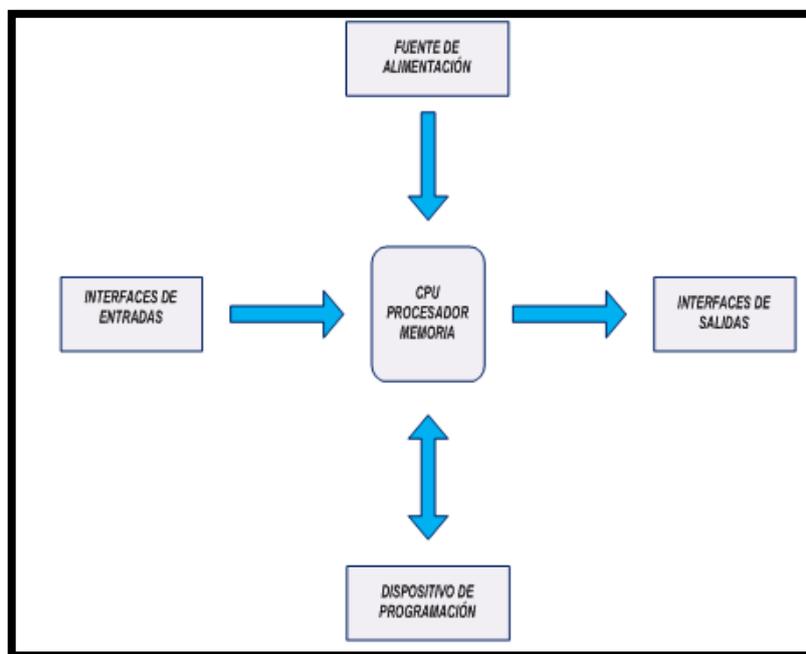
Un Controlador Lógico Programable es un dispositivo usado para controlar. Este control se realiza sobre la base de una lógica, definida a través de un programa. Tiene la estructura típica de muchos sistemas programables, como por ejemplo una microcomputadora.

La estructura básica del hardware de un controlador Programable propiamente dicho está constituida por:

- Fuente de alimentación.
- Unidad de procesamiento central (CPU).
- Módulos de interfaces de entradas/salidas (E/S).
- Módulo de memorias.
- Unidad de programación.

En algunos casos el trabajo a realizar el controlador es más exigente, se incluyen Módulos Inteligentes. (“Controladores programables, 2013, p. 11).

La estructura interna del Logo Siemens se puede apreciar de mejor manera en la figura 5-1



**Figura 5-1.** Estructura de un controlador lógico programable.

**Fuente:** Manual HMI, 06/2003.

### 1.4.3. Componentes del PLC.

#### 1.4.3.1 Entradas

Constituyen la etapa de entrada del HMI.

**Entradas digitales:** Estas entradas se diseñan para recibir señales cuantizadas de los sensores de campo. Dichas señales varían sólo entre dos estados. El PLC codifica estas señales según su amplitud en: 1 lógico para el valor de amplitud mayor, y 0 lógico para el nivel de amplitud menor.

**Entradas analógicas:** Son las más reciben señales analógicas de los transductores de campo. Estas señales generalmente provienen de sensores, estos miden el valor instantáneo de una variable física. (Controladores programables, 2013, p. 22).

#### **1.4.3.2. Salidas**

Las salidas se clasifican, en digitales y analógicas. Las salidas digitales se aplican a actuadores como bobinas de contactores, electroválvulas, etc., en cambio las salidas analógicas se aplican a control de motores dc, o actuadores donde se requiera variación. (Controladores programables, 2013, p. 29)

#### **1.4.4. Programación que utiliza el LOGO SIEMENS.**

Para la programación de un controlador lógico existen algunos tipos de lenguaje de programación, entre los cuales tenemos:

- Lenguaje de contactos o ladder.
- Lenguaje booleano.
- Diagrama de funciones.
- Grafcet

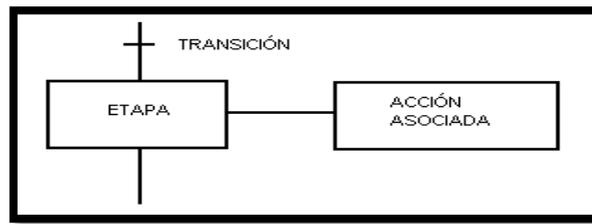
#### **Grafcet**

Es un diagrama funcional donde se describe los procesos a automatizar, se tiene en cuenta las acciones a realizar, y los procesos intermedios provocan estas acciones.

Un grafcet está compuesto de tres partes, se muestran en la imagen 3-1.

- **Etapas:** define un estado actual del automatismo. Las etapas de inicio se marcan con un doble cuadrado.
- **Acción asociada:** define la acción a realizarse en la etapa, por ejemplo, conectar un contactor, desconectar una bobina, etc.
- **Transición:** es la condición o condiciones, conjuntamente con la etapa anterior, hacen evolucionar el GRAFCET de una etapa a la siguiente, por ejemplo, un pulsador, un detector, un temporizador, etc. (Grafcet, 2010, p. 1).

Se observa en la figura en la 6-1, una representación básica de la estructura de grafcet



**Figura 6-1.** Estructura de un grafcet.

**Fuente:** Automatas.org, 2010.

### 1.5. Sistemas Mecánicos.

Los sistemas mecánicos están constituidos fundamentalmente por componentes, piezas o partes,

Tienen como objetivo transformar en movimiento desde fuentes energía eléctrica, como se observa en la representación de la figura 7-1.



**Figura 7-1.** Sistema Mecánico.

**Fuente:** <https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/.html>

#### 1.5.1 Motor DC

El motor de corriente directa es una máquina para la conversión de la energía eléctrica en mecánica, provoca un movimiento rotatorio, gracias a la acción generada por del campo magnético.

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos de corriente directa o continua se basa en la repulsión ejercen los polos magnéticos de un imán permanente, de acuerdo con la Ley de Lorentz, interactúan con los polos magnéticos de un electroimán se encuentra montado en un eje. Este electroimán se denomina “rotor” y su eje le permite girar libremente entre los polos magnéticos norte y sur del imán permanente situado dentro de la carcasa o cuerpo del motor. (Motor de corriente directa, 2015, p. 68)

A continuación, en la figura 8-1 se observa un típico motor DC



**Figura 8-1.** Motor DC.

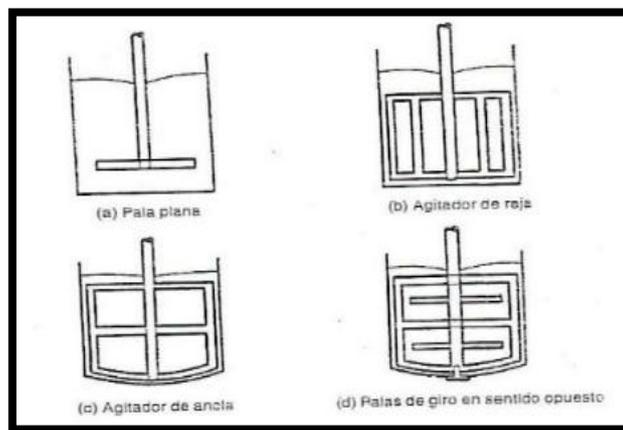
**Fuente:** Garden, Yard, MowersST10, 2016.

### 1.5.2. Paletas de Agitación.

La agitación se refiere a ejercer una fuerza sobre un fluido con el fin del mismo adquiera un movimiento circulatorio dentro de un envase, con el fin de mezclar dos elementos líquidos.

Existen tres tipos de agitadores mostrados a continuación:

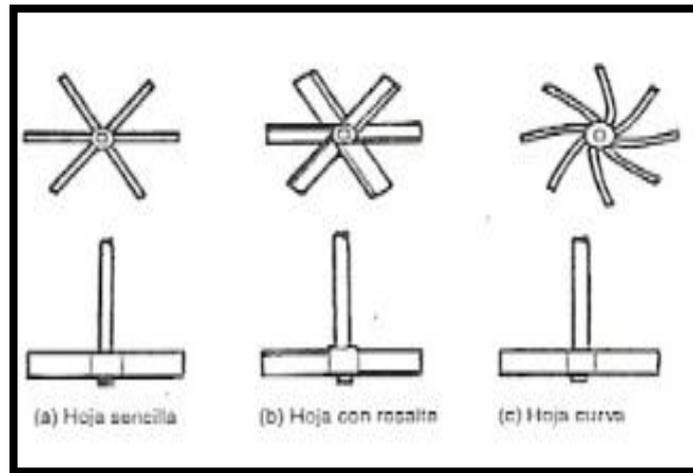
- **Agitador de paletas:** Está formado por una hoja plana de tipo rectangular y también un componente giratorio, como se observa en la figura 9-1



**Figura 9-1.** Agitador de paletas

**Fuente:** Garden, Yard, MowersST10, 2016.

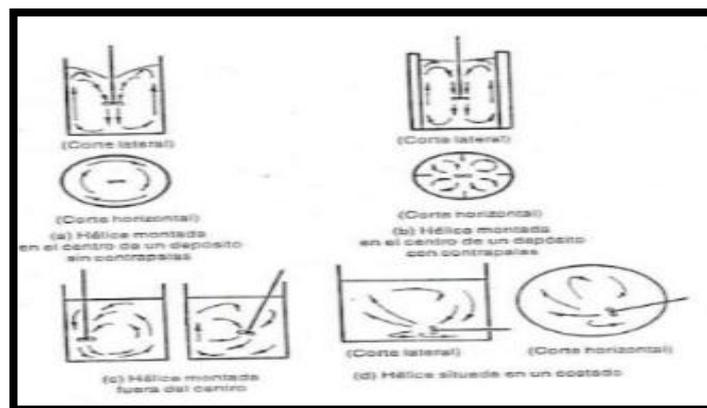
- **Agitador de turbina:** Están formados por un impulsor con más de cuatro hojas, las cuales están sobre el mismo eje de rotación. Un claro ejemplo se observa en la figura 10-1.



**Figura 10-1** Agitador de turbina.

**Fuente:** Garden, Yard, MowersST10, 2016.

- **Agitador de hélice:** se forman por impulsores muy pequeños o de hojas cortas menos a  $\frac{1}{4}$  del diámetro del tanque, tal y como se muestra en la figura 11-1.



**Figura 11-1.** Agitador de Hélice.

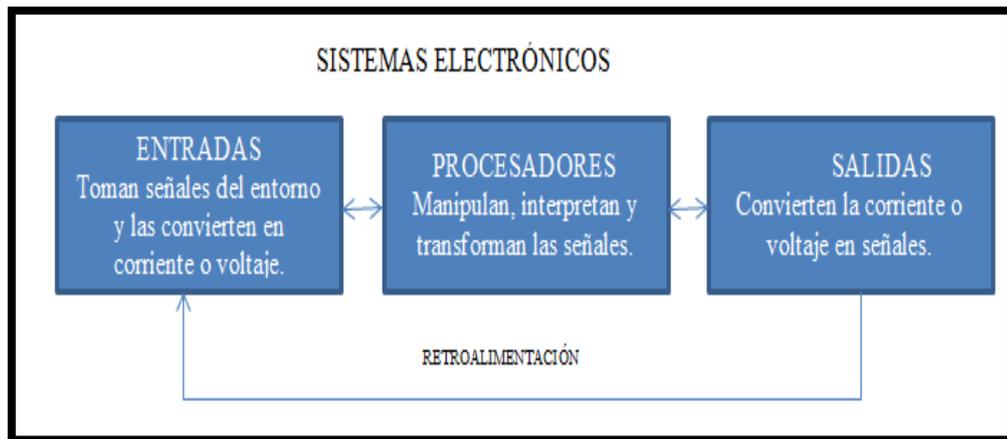
**Fuente:** Garden, Yard, MowersST10, 2016.

## 1.6. Sistemas Electrónicos.

Un sistema electrónico es un conjunto de dispositivos para dar forma un circuito con el fin de controlar un equipo.

Se forma de tres partes, las cuales se detallan en la figura 12-1.

- **Entradas o sensores**
- **Control de proceso**
- **Salida a actuadores**



**Figura 12-1.** Sistemas electrónicos.

**Fuente:** De La Vega Mario 2018.

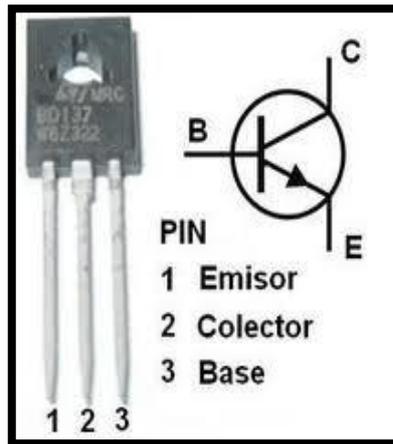
### 1.6.1. Semiconductores

Un semiconductor es un material aislante, al añadir ciertas sustancias o en un determinado contexto, se vuelve conductor. Esto quiere decir, de acuerdo a determinados factores, el semiconductor actúa a modo de aislante o como conductor.

Los semiconductores pueden ser intrínsecos o extrínsecos. Los semiconductores intrínsecos son cristales, a través de enlaces covalentes entre los átomos, desarrollan una estructura de tipo tetraédrico, mientras los extrínsecos, por su parte, son a los les agregan impurezas para lograr su dopaje. (“Definición de semiconductor”. (2014). <http://definicion.de/semiconductor/>).

### 1.6.2. Transistor.

Un transistor es un dispositivo el cual regula el flujo de corriente o de tensión actúa como un interruptor o amplificador para señales electrónicas. Los transistores son unos elementos han facilitado, en gran medida, el diseño de circuitos electrónicos de reducido tamaño, gran versatilidad y facilidad de control. En la siguiente imagen podemos ver varios transistores diferentes. En la figura 13-1 se puede apreciar el símbolo y apariencia física de un transistor



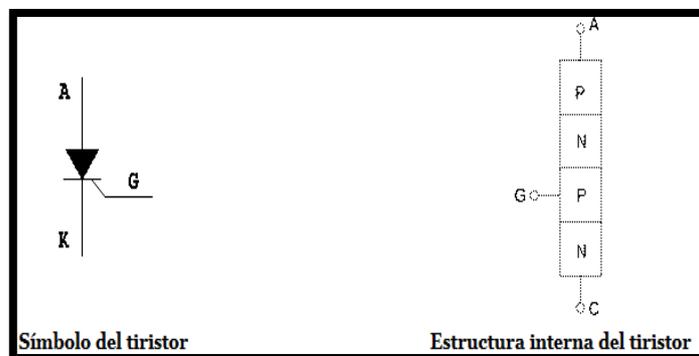
**Figura 13-1.** Transistor.

**Fuente:** Areatecnologia.com, 2015.

### 1.6.3. Tiristor.

Es un dispositivo electrónico tiene dos estados de funcionamiento: conducción y bloqueo. Posee tres terminales: Ánodo (A), Cátodo (K) y Puerta (G). La conducción entre ánodo y cátodo es controlada por el terminal de puerta. Se dice es un dispositivo unidireccional, debido a el sentido de la corriente es único. (El tiristor, 2014, p. 33 - 34).

En la figura 14-1 se aprecia el símbolo de un tiristor



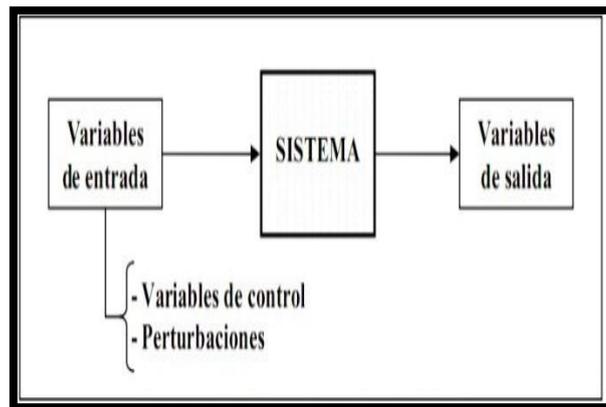
**Figura 14-1.** Tiristor.

**Fuente:** Electronicafacil.net, 2014.

### 1.7. Sistemas de Control

Un Sistema de Control es un conjunto de componentes tiene como finalidad lograr un funcionamiento predeterminado mediante la manipulación de variables de salida, se reduce así posibles de fallos, anticipándose a posibles circunstancias adversas y buscar los resultados deseados tales como llegar a valores de consigna.

En la figura 15-1 se observa un sistema de control de manera general.



**Figura 15-1.** Sistema de Control.

**Fuente:**

<https://gabriellacayo.files.wordpress.com/2011/07/sistema-de-control.jpg>.

### 1.7.1. Sistema de control de Lazo Abierto.

Es un tipo de sistema en el cual la señal de salida es independiente de la señal de entrada, y esta señal de salida es calibrada previamente basada en la señal de entrada. Esto significa no hay retroalimentación o comparación entre estas dos señales en tiempo real, para éste pueda ajustar la acción de control según lo necesite. La representación del sistema se aprecia en la figura 16-1.



**Figura 16-1** Lazo Abierto.

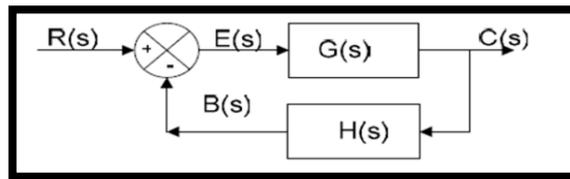
**Fuente:** <http://www.monografias.com/docs110/principios-sistemas-control/Diapositiva11.png>

### Características de Sistemas de Control Lazo Abierto

- Son sencillos y de fácil implementación.
- No son estables ante perturbaciones.
- La salida no se compara con la entrada.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

### 1.7.2. Sistema de control de Lazo Cerrado.

Es el sistema en el cual la señal de salida se realimenta con la señal de entrada, con el fin de contrarrestar los cambios en la salida debido a cambios experimentados por la señal de entrada o por perturbaciones externas al sistema. La retroalimentación es una de las características de estos sistemas, sobre todo la retroalimentación negativa. Aunque la retroalimentación positiva se usa en algunos sistemas. En la figura 1.17 se aprecia la forma esquemática de un sistema de control de lazo cerrado, así como su retroalimentación.



**Figura 17-1** Lazo Cerrado.

**Fuente:** [http://www.monografias.com/lazocerrado\\_1.png](http://www.monografias.com/lazocerrado_1.png)

#### Características de un Sistema de Lazo Cerrado

- Son sistemas complejos y poseen gran cantidad de parámetros.
- La salida se compara continuamente y en tiempo real con la entrada.
- Son notablemente más estables frente a perturbaciones y variaciones internas.

### 1.7.3. Recipientes cilindros de Acero Inoxidable

El material de acero inoxidable está constituido por aleaciones ferro-cromo con un mínimo de 11% de cromo, el agregado de otros elementos a la aleación permite formar un amplio conjunto de materiales, conocidos como la familia de los aceros inoxidables. Entre los elementos de aleación, dos se destacan: el cromo, elemento presente en todos los aceros inoxidables por su papel en la resistencia a la corrosión y el níquel por la memoria en las propiedades mecánicas súper resistente para procesos automáticos en las industrias y en el ámbito de la vida cotidiana.



**Figura 18-1 Cilindro acero inoxidable**

**Fuente:** <https://www.adelphi.uk.com/es/products/water-jacketed-vessels/>

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

La parte fundamental de un sistema es el diseño, dependiendo así su funcionamiento correcto o no. Es una representación esquemática sirviendo de guía para el desarrollo del trabajo de titulación, donde se puede estimar un modelo final, así como también cantidad de materiales a utilizar, de igual modo el presupuesto muy aproximado a requerir.

El presente trabajo de Titulación consta de dos partes mecánico y control eléctrico - electrónico, donde en el sistema mecánico considera el tipo de material a construir, sus propiedades físicas, sistemas de movimiento, en cambio el diseño de control eléctrico - electrónico considera los diferentes sensores y actuadores dentro del sistema, así como también la secuencia de funcionamiento de cada uno de ellos.

#### 2.1. Diseño Estructural del Sistema

El diseño estructural del sistema se considera a toda la parte física del mismo, tanto mecánico como recipientes, aspas de agitación, soportes, chumaceras, entre otros, y como lo electrónico, controladores, módulos, PLC, HMI, lo cual se detalla a continuación paso a paso.

##### 2.1.2. Diseño Mecánico.

Lo constituye toda la parte física estructural o soporte del equipo.

Los requerimientos de diseño fueron facilitados por el Jefe de la Planta, los cuales se citan a continuación.

- Capacidad: 100 L
- Diámetro de tuberías de ingreso: 1"
- Material de Construcción: Acero inoxidable
- Proceso de temperatura automático.
- Presión de trabajo: 50 psi.
- Velocidad de agitador: Baja, entre 20 a 30 RPM
- Temperatura: Hasta 100°C

De acuerdo con los requerimientos antes mencionados se plantea el siguiente diseño, cabe recalcar, el sistema en su totalidad será construido en Acero Inoxidable 304, el cual es de grado alimenticio, con un espesor de 3mm capaz de soportar hasta 65psi de presión

### 2.1.2.1. Recipiente doble fondo lateral

La geometría del recipiente es de forma cilíndrica con fondo cónico o tipo cono, ayuda a no almacenar residuos en el mismo de procesos anteriores y también sea más fácil su limpieza. Posee un doble fondo lateral con el fin de almacenar el vapor o agua con el fin de elevar o disminuir la temperatura de la materia prima y facilitar el proceso.

#### ➤ Cálculo del Volumen (V) del contenedor:

Para saber la capacidad del contenedor primario se realiza el cálculo de volumen de la parte cilíndrica y el fondo cónico, las cuales al sumarlas nos dan el volumen total del recipiente.

$$V_{cil} = \pi * r^2 * H \quad Ec (1-2)$$

$$V_{cil} = 3.1416 * 0.25^2 * 0.55$$

$$V_{cil} = 107 L$$

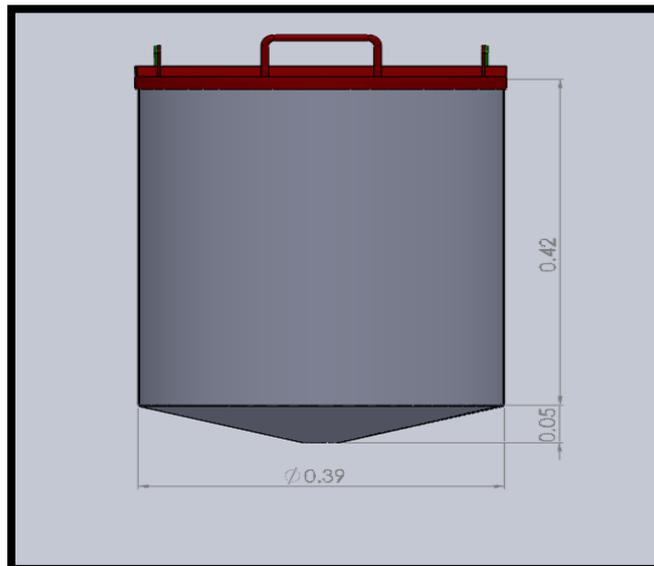
Dónde:

$\Pi$  = el valor de Pi = 3.1416

H = Altura del contenedor

r = Radio del contenedor

En la figura 1-2 se especifica las dimensiones del contenedor primario



**Figura 1-2 Dimensiones de Contenedor doble fondo.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

### 2.1.2.2. Sistema de agitación de paletas planas

Para el sistema de agitación se utiliza un agitador paletas planas, porque se necesita una velocidad de agitación relativamente baja, y así la mezcla sea suave y muy uniforme.

En el diseño de las paletas se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Carga a la cual están sujetas.
- Viscosidad del fluido
- Pérdida de potencia.

Donde se llega a determinar un sistema de agitador de paletas planas, impulsado por motorreductor que es el adecuado, el agitador se monta en forma vertical.

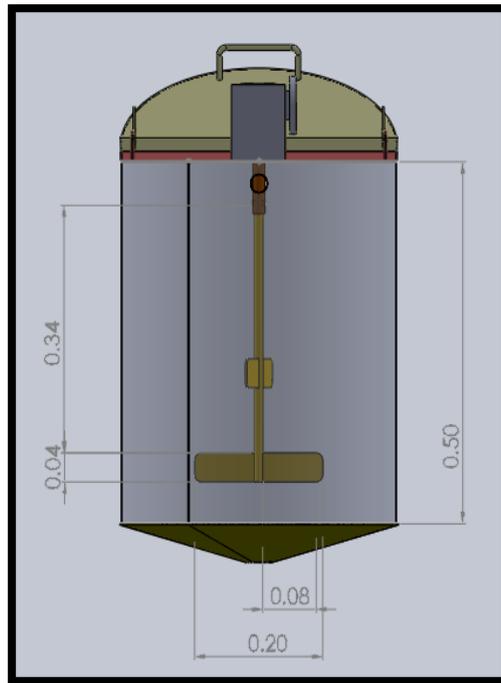
En la tabla 1-2 se observa los datos del motorreductor a usar

**Tabla 1-2** Datos de Motorreductor

<b>Datos de Motorreductor</b>	
<b>Motor</b>	
<b>Potencia</b>	60 W
<b>Voltaje</b>	24 VDC
<b>Corriente</b>	2.5 A
<b>RPM</b>	1500
<b>Eje salida (L)</b>	18 mm
<b>Eje salida (D)</b>	9 mm
<b>Caja reductora</b>	
<b>Eje entrada (L)</b>	18 mm
<b>Eje entrada (D)</b>	9 mm
<b>Engrane Recto Piñón</b>	60 a 1
<b>Engrane Recto Rueda</b>	60 a 1
<b>Rodamiento Cónico</b>	4
<b>Eje Salida (L)</b>	30 mm
<b>Eje Salida (D)</b>	125 mm
<b>Torque</b>	0.22 kg.m
<b>RPM</b>	25

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

En las figuras 2-2, se observa el diseño del sistema de paletas en vista frontal



**Figura 2-2 Paletas Planas Vista Frontal.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

El recipiente doble fondo descansa sobre una base triangular tipo trípode, posee un ingreso con rosca NPT, la cual sirve para el ingreso de vapor o agua, según como requiera.

La paleta de agitación se ajusta al eje del motorreductor mediante pernos de acero inoxidable, la cual al girar a baja RPM no presenta deformación en el giro.

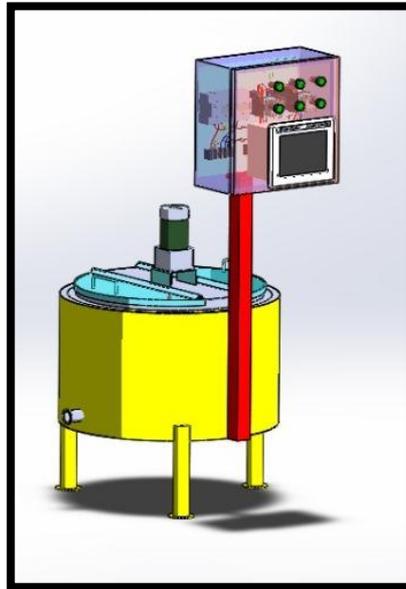
### ***2.1.2.3. Diseño Mecánico Final***

En la figura 3-2 se presenta el diseño mecánico final del sistema implementado donde se detalla a continuación.

- A. Recipiente doble fondo
- B. Estructura o soporte base
- C. Tablero de control

- D. Agitador de Paletas
- E. Motorreductor
- F. Drenado del producto final.

Los planos completos del diseño del sistema se adjuntan en el anexo A.



**Figura 3-2 Diseño Mecánico final.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

En la figura 4-2, a continuación, se muestra la implementación final del diseño.



**Figura 4-2 Implementación Mecánico final.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

### 2.1.3. Sistema Electrónico.

El sistema de control eléctrico – electrónico es fundamental, de ello depende el buen uso de cada una de las partes del equipo.

El proceso de fabricación de yogurt se detalla a continuación.

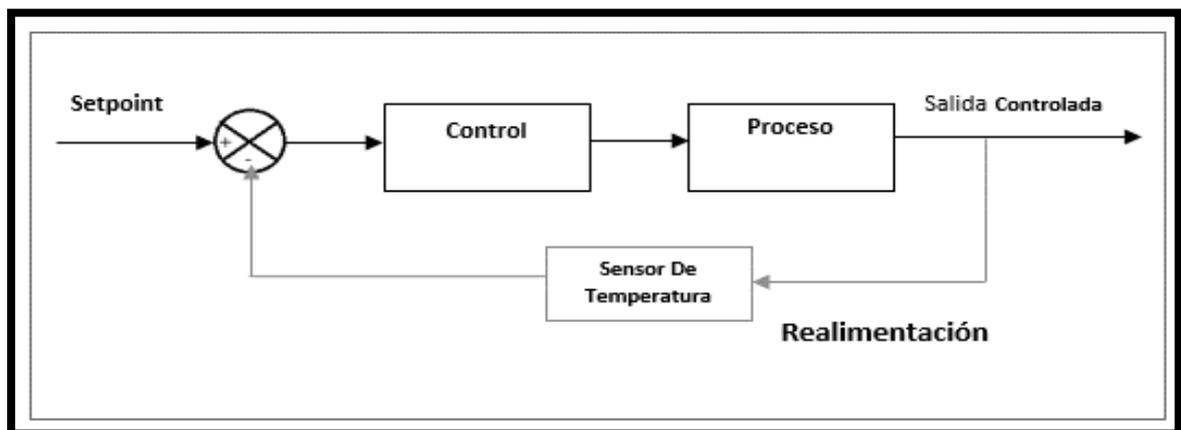
- Pasteurización de la leche: Consiste en el aumento y disminución de la temperatura de manera brusca por un periodo de tiempo.
- Colocación de fermentos: Con la temperatura estabilizada se procede a agregar los debidos fermentos, así como saborizantes, fruta y demás saborizantes permitidos
- Enfriamiento: Con los saborizantes agregados, se procede a enfriar el producto por lapsos de tiempo.

#### 2.1.3.1. Sistema de Control de Lazo Cerrado

Son sistemas en los cuales la señal de salida del sistema se compara continuamente con la señal de referencia o Setpoint, permitiendo una mejor estabilidad ante perturbaciones y por ende un sistema más confiable y autónomo.

El sistema a controlar requiere la constante comparación entre la señal del sensor, con la señal de consigna o Setpoint con el fin de mantener a una temperatura constante y estable

En la figura 5-2 se muestra el sistema de control de temperatura controlado por un LOGO SIEMENS, un sensor de temperatura conectada a través de un módulo de lectura analógica que sirve como retroalimentación y para compararlo con el SETPOINT o valor de consigna.



**Figura 5-2 Sistema de Control Lazo Cerrado.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Se destaca 3 elementos imprescindibles en todo sistema de control, los cuales son los siguientes:

- Sensor
- Control – Proceso
- Salida controlada a Actuador

Cabe recordar los requerimientos iniciales de construcción citados en el Capítulo II.

- Capacidad: 100 L
- Diámetro de tuberías de ingreso: 1”
- Material de Construcción: Acero inoxidable
- Proceso de temperatura automático.
- Presión de trabajo: 50 psi.
- Velocidad de agitador: Baja, entre 20 a 30 RPM
- Temperatura: Hasta 100°C

### **SENSOR.**

Entre los principales sensores de temperatura se consideraron las siguientes opciones, las cuales se registran en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2.** Características de los sensores de temperatura.

<b>RTD PT100</b>	<b>TERMOPAR</b>	<b>TERMISTOR</b>
Rangos entre -100°C a 200°C	Rangos entre -100°C y 1700°C	Rangos entre -50°C y 300°C
Costo bajo	Costo Medio	Costo Bajo
Alta precisión, decimas de grado	Alta precisión	Alta precisión y resolución
Acondicionador basado en resistencias	Requiere acondicionar propio de termopar	Requiere acondicionador propio
Salida lineal	Salida exponencial	Salida exponencial

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Donde, por costo y salida lineal se escoge el sensor RTD PT100.

**CONTROL – PROCESO.**

Para el manejo, procesado de datos se considera las siguientes opciones y se registra en la tabla 3-2.

**Tabla 3-2.** Características controladoras comunes.

<b>ARDUINO</b>	<b>LOGO SOFT COMFORT V8</b>
Costo Bajo	Costo Alto
Numerosas entradas análogas y digitales	En algunos casos requiere módulos de expansión
Sensible a ruido eléctrico	Robusto y grado de protección IP 56
Versátil y adaptable	Compacto, versátil y adaptable
Requiere módulos de entrada y salida para ciertos sensores y actuadores	Entrada directa y salida de rele

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Tomando en cuenta un HMI es robusto, posee protecciones contra ruido y señales parasitas, así como es fácil y adaptable, se escoge como controlador para el sistema a pesar de su costo elevado, a corto plazo es la mejor opción frente a un microcontrolador arduino no requiere sistemas de protección EMI o cosas así. De igual modo facilita la conexión de un HMI para su mejor control, manejo e ingreso de parámetros de configuración de procesos.

### 2.1.3.2. Cálculo de potencia consumida por el sistema

Con el diagrama de control ya diseñado, se continúa con el cálculo de la potencia total consumida por el sistema, como primer paso se realiza el censo de carga del mismo lo cual se detalla en la tabla 4-2.

**Tabla 4-2** Registro de consumo

Censo de Carga		
Cant	Elemento	Potencia (W)
1	Fuente 24v	110
2	Luces Piloto	20
1	PLC	10
	<b>Total</b>	<b>140</b>

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

#### A. Calculo de Corriente del sistema

$$V = 220 \text{ VCA} ; \quad P = 140 \text{ w}$$

$$I = P / V = 140 / 220$$

$$I = 0,63 \text{ A}$$

### 2.1.3.3. Dimensionamiento del conductor del sistema

Los cálculos se registraron en la tabla 5-2

**Tabla 5-2** Consumo por partes

Nombre	Potencia (W)	Corriente (A)	Corriente Final (A)
<b>Circuito</b>	140	0,63	0,8

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

La corriente final viene dada por la corriente de consumo calculada agregándole un 25% de protección.

A continuación, en la tabla 6-2, se muestra la capacidad de amperaje a soportar de acuerdo al calibre del conductor del tipo TW.

**Tabla 6-2** Amperaje de conductor.

CALIBRE DEL CONDUCTOR	AMPERAJE
14 AWG	15
12 AWG	20
10 AWG	30
8 AWG	40
6 AWG	55
4 AWG	70
3 AWG	85
2 AWG	95
1 AWG	110
1/0 AWG	125
2/0 AWG	145
3/0 AWG	165
4/0 AWG	195

**Fuente (Disensa 2013, disensa.com/main/images/pdf/electro\_cables.pdf).**

De acuerdo a los cálculos previamente realizados se utiliza los siguientes conductores detallados en la tabla 7-2.

**Tabla 7-2** Calibre de conductor seleccionado

Nombre	Corriente	Calibre Elegido
Circuito	0,18	18 AWG

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

#### **2.1.3.4. Dimensionamiento de Protección del sistema**

Los valores nominales de Breakers Bipolares parten desde los 10 amperios en adelante. Además, se considera el valor inmediato superior al amperaje del conductor previamente dimensionado.

Los breakers usados se describen en la tabla 8-2, y son del tipo como se muestra en la figura 6-2.

**Tabla 8-2** Capacidad de Breaker de protección

Nombre	Corriente	Breaker (A)
Circuito	0,8	3

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.



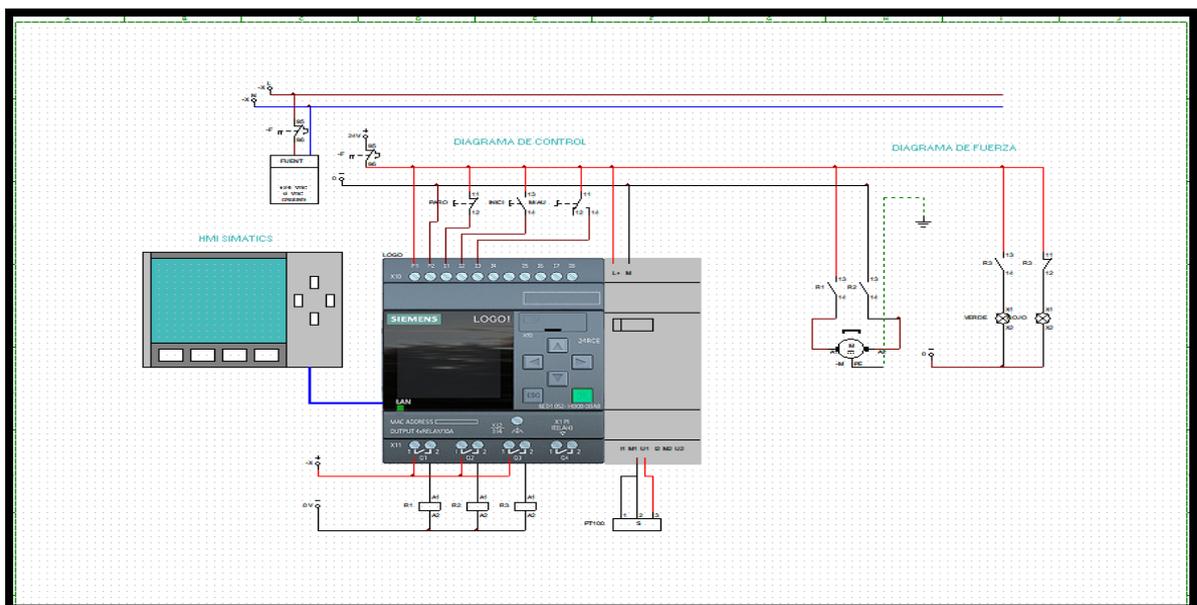
**Figura 6-2 Breaker Bipolar.**

Fuente (Cominsar 2012, <http://www.cominsard.com/product/breaker-americano-2-polos/>).

Después de la selección de protecciones, calibre de conductor, diagramas de control se procede a la lista de materiales a utilizar como:

- A. Logo SIEMENS V8
- B. Fuente de 24v
- C. Módulo de lectura análoga
- D. HMI
- E. Botonera de mando
- F. Breakers de protección.

En la figura 7-2 Se aprecia el diagrama de conexión del tablero implementado.



**Figura 7-2 Diagrama de conexión.**

Realizado por: De La Vega Mario 2018.

Con el diseño final del tablero de control se procede a su implementación, en la figura 8-2 se representa la forma física final del sistema implementado donde se detalla a continuación.



**Figura 8-2 Tablero Control Implementado.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

## 2.2. Diseño de software del sistema.

En este apartado se describe paso a paso el funcionamiento del equipo para posterior a ello se procede a la programación de PLC, el cual gestiona los sensores y actuadores del mismo.

### 2.2.1. Descripción de funcionamiento del sistema

Se describe de la forma más detallada posible el proceso de fabricación de yogurt, el cual fue facilitado por el jefe encargado de la Planta de Lácteos.

Cabe recordar, la materia prima en este caso la Leche cruda, se obtiene del centro de producción y crianza de la Planta de Lácteos.

- Pruebas de materia prima: Leche Cruda, se realiza con el fin de comprobar: la materia prima no contenga antibióticos, se lo realiza con un equipo analizador llamado LACTOSCAN SL30.
- Filtrado, Tamizado o cernido la leche: Es un proceso muy importante, asegurando se remueva cualquier tipo de impureza o residuos sólidos contenidos en la misma. Se lo realiza en tamices de la planta.

- Pasteurización de la leche: Se aumenta la temperatura de la leche cruda entre 80° C - 85°C, dependiendo de la calidad de la leche, y haciendo uso del vapor proveniente del caldero de la planta con una presión de 50 PSI, se mantiene así durante 10 minutos, se procede a enfriar a 45°C, haciendo uso del agua fría con una presión de 40 PSI, tanto el vapor como el agua se almacena en la pared doble fondo del 2.
- Colocación de fermentos: **SE ESTABILIZA** la leche a temperatura de 45 °C y agregamos el fermento de yogurt, de igual modo cualquier tipo de saborizante, edulcorantes o fruta permitidos, la mantenemos así durante un periodo de tiempo de 3:30 a 4:30 horas, agitándola a una velocidad relativamente baja (20 RPM),
- Enfriamiento: Ingresar agua fría hasta bajar la temperatura a los 15 °C y mantenerla por un periodo de tiempo de 15 minutos y se mantiene de este modo por un periodo de tiempo de 2 a 3 horas, tiempo donde el proceso ha terminado.

Para la programación se procede a codificar a línea de proceso y posteriormente a código de compuertas lógicas entendible para LOGO SIEMENS V8, haciendo uso del programa LOGO COMFORT v8.

Pasos del proceso.

- 1) Pulsamos botón inicio de la pantalla HMI, donde empieza la lectura de la temperatura a subir hasta alcanzar los 80 u 85 ° C
- 2) Al alcanzar esta temperatura, empieza el cronometro o tiempo de conteo, de 0 a 10 minutos, en donde aparece un aviso en el HMI del equipo que debe cesar el ingreso de vapor e ingresar agua al mismo para enfriar la leche.
- 3) Se debe esperar a que disminuya la temperatura a 45 ° C, donde en el HMI salta una señal de aviso que indica que llego a la temperatura deseada.
- 4) El siguiente paso es girar el motorreductor para la agitación de las aspas de la marmita en la pantalla del HMI se puede elegir un tiempo entre 3:30 y 4:30 horas que depende de la calidad de la leche, previo análisis con LACTOSCAN que permite determinar la calidad de la leche.
- 5) Luego se detiene el motorreductor y se toma las lecturas de sensor de temperatura y al llegar a los 15 °C se inicia un tiempo de 0 a 15 minutos de espera del motorreductor.
- 6) El motorreductor arranca nuevamente por un tiempo de 2 a 3 horas previa selección para la obtención del producto final que es el yogurt.
- 7) Una vez terminado el proceso se visualiza en la pantalla de HMI de “Proceso Terminado”.

## 2.2.2. Diagrama de flujo de Funcionamiento

Con fin de un mejor entendimiento del proceso a programar se realiza un diagrama de flujo el cual explica de forma lógica y sistemática el proceso de la elaboración de yogurt, como se aprecia en la figura 9-2.

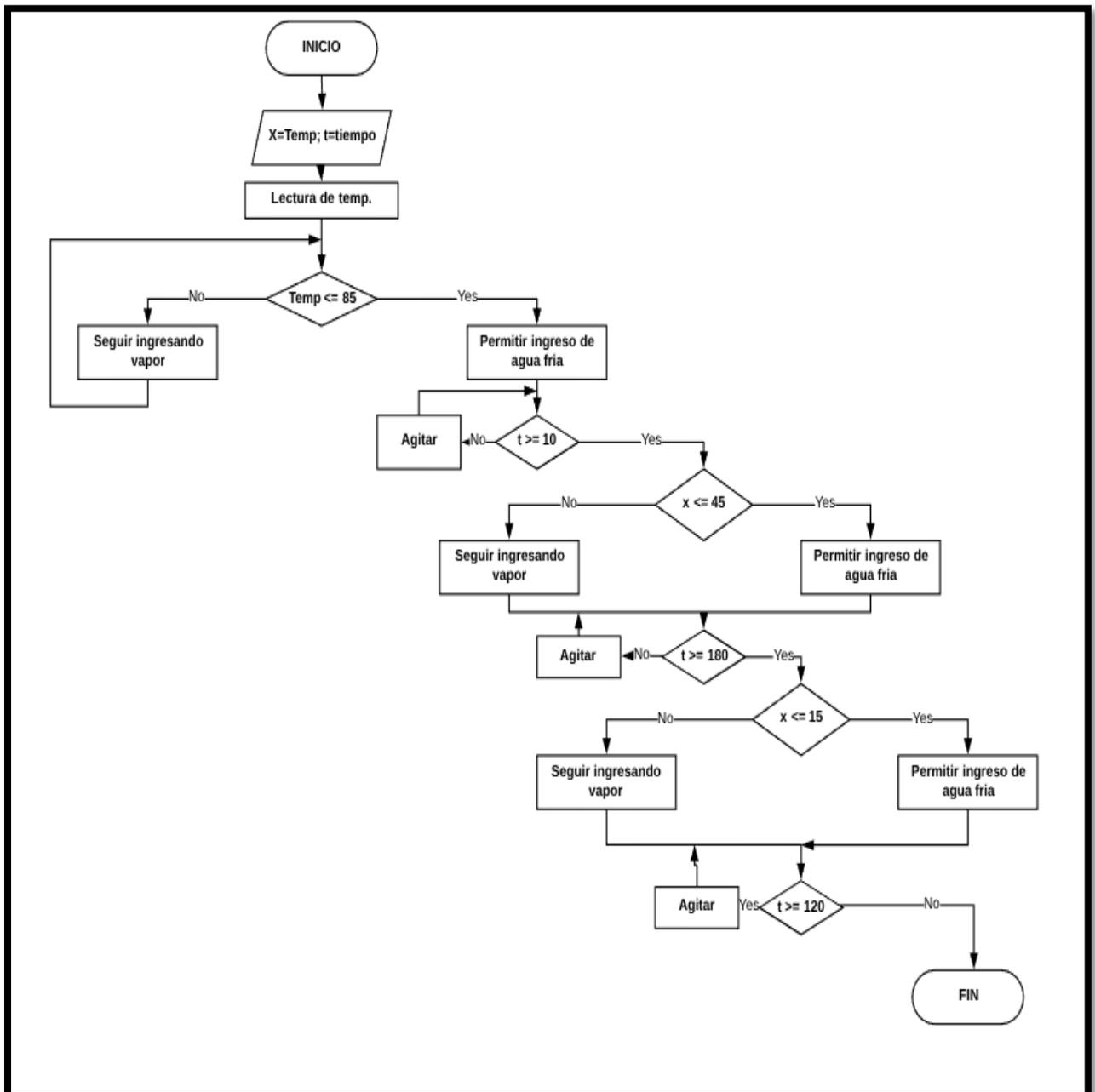
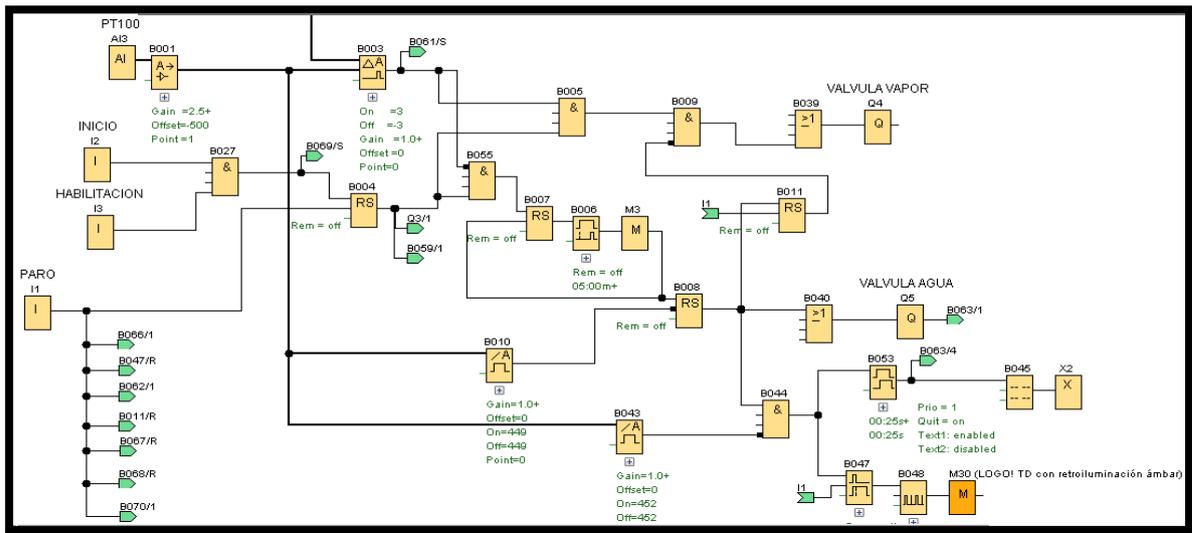


Figura 9-2 Diagrama de flujo

Realizado por: De La Vega Mario 2018.

### 2.2.3. Descripción del programa, LOGO SOFT COMFORT V8 Y TDP 100 HMI.

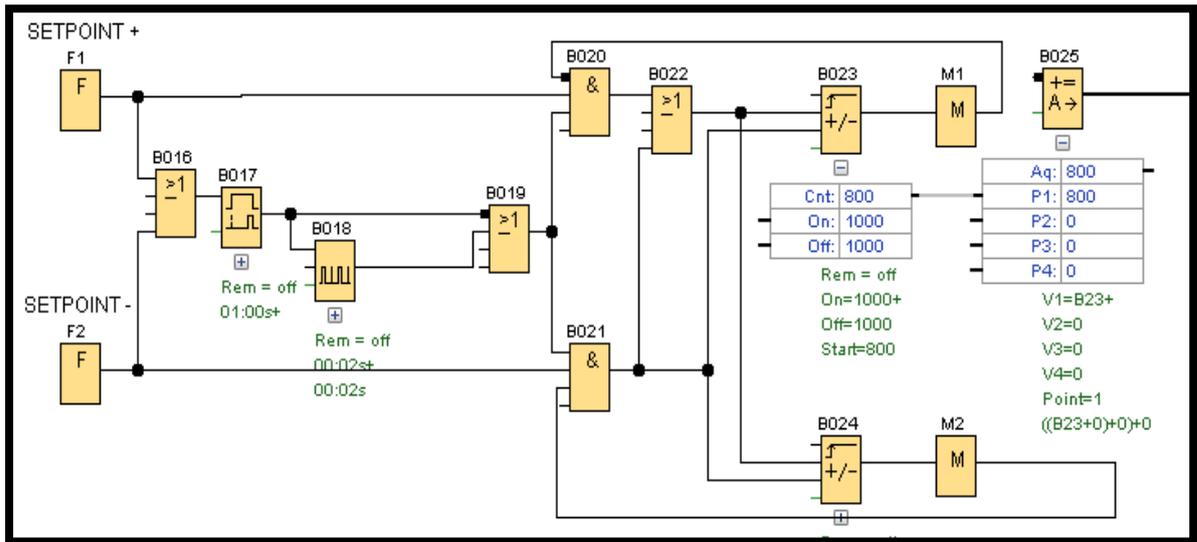
El controlador LOGO V8, en la cual se realiza la adquisición de la señal de temperatura del sensor PT100, además se muestran las entradas digitales que permiten la habilitación, inicio y paro del proceso. Al adquirir la señal de temperatura se realizan las comparaciones necesarias para dar la señal de activación de la sirena en dos ocasiones: La primera cuando llega a los 80 grados (durante el calentamiento con vapor) y la segunda cuando llega a los 45 grados (en el enfriamiento con agua) se muestra en la figura 10-2.



**Figura 10-2 Enclavamiento inicial.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

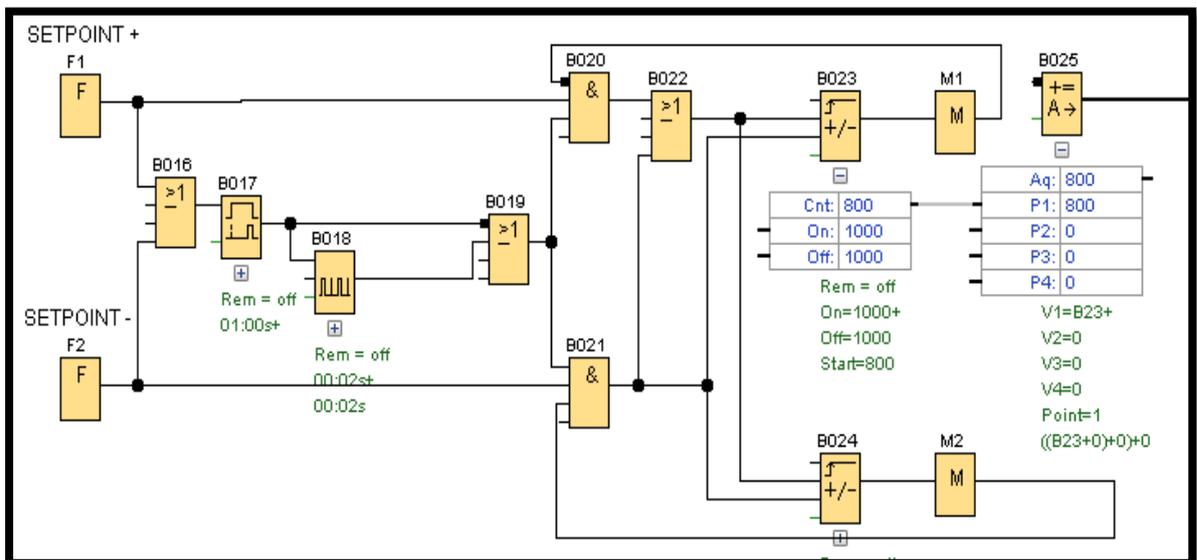
En la programación donde se realiza el ingreso del setpoint (valor deseado) de temperatura por medio de las teclas de función F1 y F2 de la pantalla LOGO TDE. Este valor ingresado sirve para realizar la comparación con los 80 grados a los cual debe llegar la temperatura durante el calentamiento, para realizar la activación de la alarma y el cierre del paso de vapor para evitar que la temperatura se eleve se muestra en la figura 11-2.



**Figura 11-2 Remapeo de señal.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

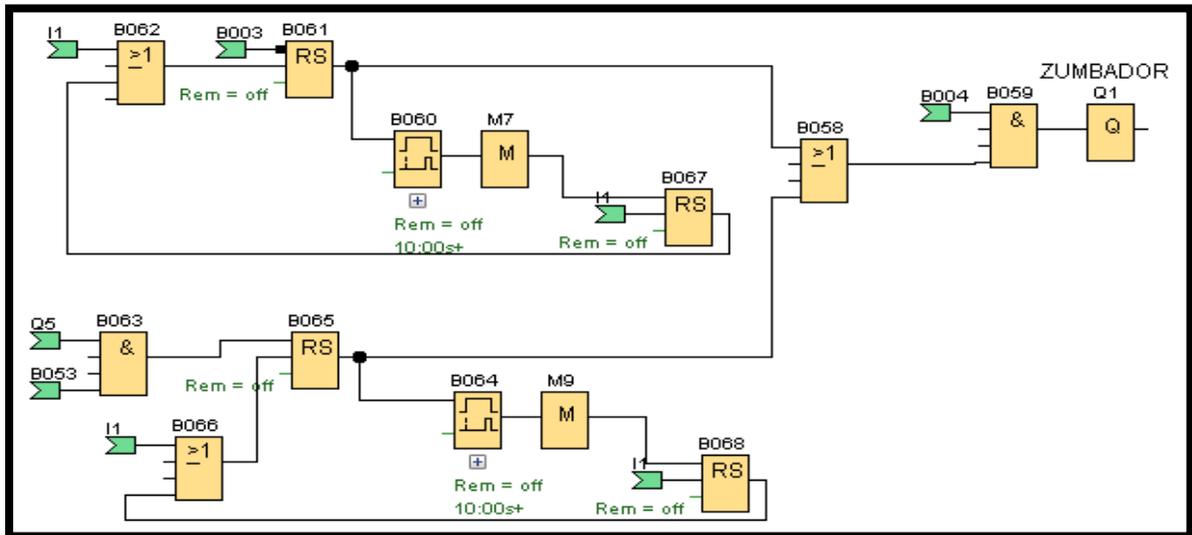
Aquí es donde se realiza el ingreso del setpoint (valor deseado) de temperatura por medio de las teclas de función F1 y F2 de la pantalla LOGO TDE. Este valor ingresado sirve para realizar la comparación con los 80 grados a los cual debe llegar la temperatura durante el calentamiento, para realizar la activación de la alarma y el cierre del paso de vapor para evitar que la temperatura se eleve se muestra en la figura 12-2.



**Figura 12-2 Comparación.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

En la figura se muestra el proceso de activación de la alarma (zumbador) que se encuentra conectado en la salida Q1 del controlador LOGO V8, esta alarma se activara en dos ocasiones como se explica anteriormente (a los 80°C al calentar y a los 45°C al enfriar) figura 13-2.

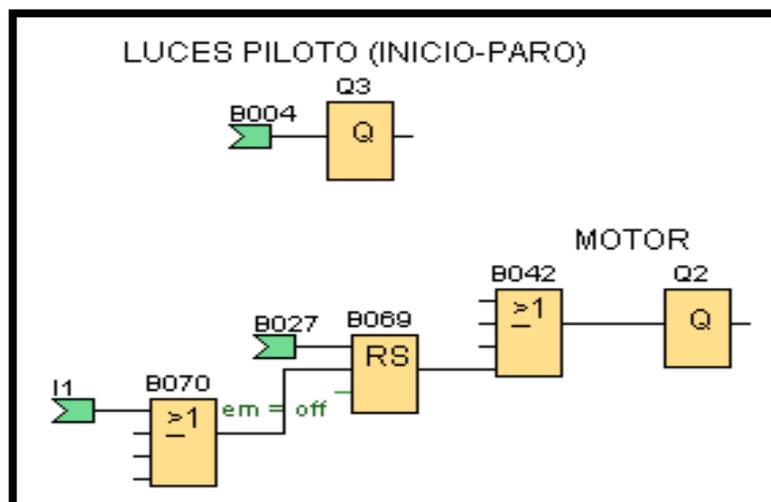


**Figura 13-2 Comparaciones.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

El último pasó de activación de las salidas Q2 correspondiente al motor y la salida Q3 del indicador luz piloto color verde que indica que el proceso se ha iniciado como muestra en la figura 14-2.

Cuando el proceso se ha completado, posee una marca de memoria que indica el término del mismo.



**Figura 14-2 Fin de bucle.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

## 2.2.4. Programación HMI TDE 100

La figura 15-2 muestra los bloques de selección disponibles para el HMI

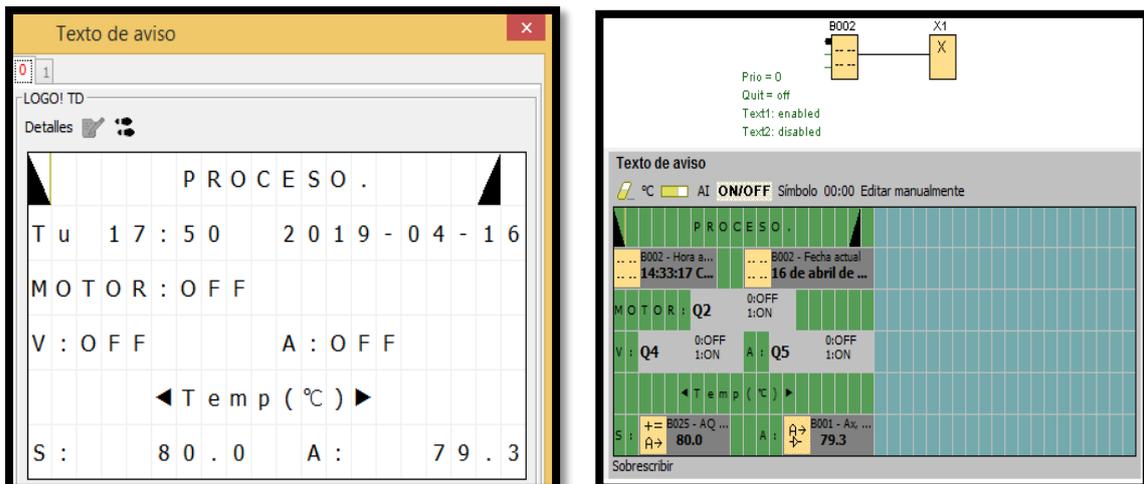


**Figura 15-2 Bloques.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

En la figura 16-2 Se observa la distribución de los diferentes formatos texto durante el proceso.

Aquí se muestra la programación del visualizador LOGO TDE, donde se muestran las variables de mayor relevancia como es la temperatura deseada (setpoint), la temperatura actual, estado del motor y de las válvulas de vapor y agua; así misma información acerca de la fecha y hora donde se lleva a cabo el proceso.



**Figura 16-2 Distribución de texto.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

No se debe olvidar de marcar la opción de mostrar en ambas pantallas, tanto en la TDE como en la del LOGO V8, como se muestra en la figura 17-2.

The image shows a configuration window titled 'Configuración del ticker' and 'Destino de aviso'. Under 'Configuración del ticker', there are two radio buttons: 'Carácter por carácter:' (selected) and 'Línea por línea:'. Below these are six checkboxes labeled 'Línea1' through 'Línea6'. Under 'Destino de aviso', there are four radio buttons: 'Display de LOGO!', 'LOGO! TD', 'Ambos' (selected), and 'Serv. web'. At the bottom, there are two checkboxes: 'Protección activa' and 'Mostrar información detallada del aviso'.

**Figura 17-2 Configuración de HMI.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

#### **2.2.4.1. Teclas de control LOGO TDE.**

Las teclas de función F1, F2, F3 Y F4, y de cursor de logo, nos permiten dar inicio a los diferentes procesos del sistema, las mismas que se aprecian en la figura 18-2.

- F1: pasteurización de monitoreo de variables valor deseado de temperatura aumenta a 80°.
- F2: pasteurización de monitoreo de variables valor deseado de temperatura disminuye a 80°.
- Temperatura actual programada hasta los 80°.

Las teclas de cursor permiten desplazarse entre las opciones de programa.



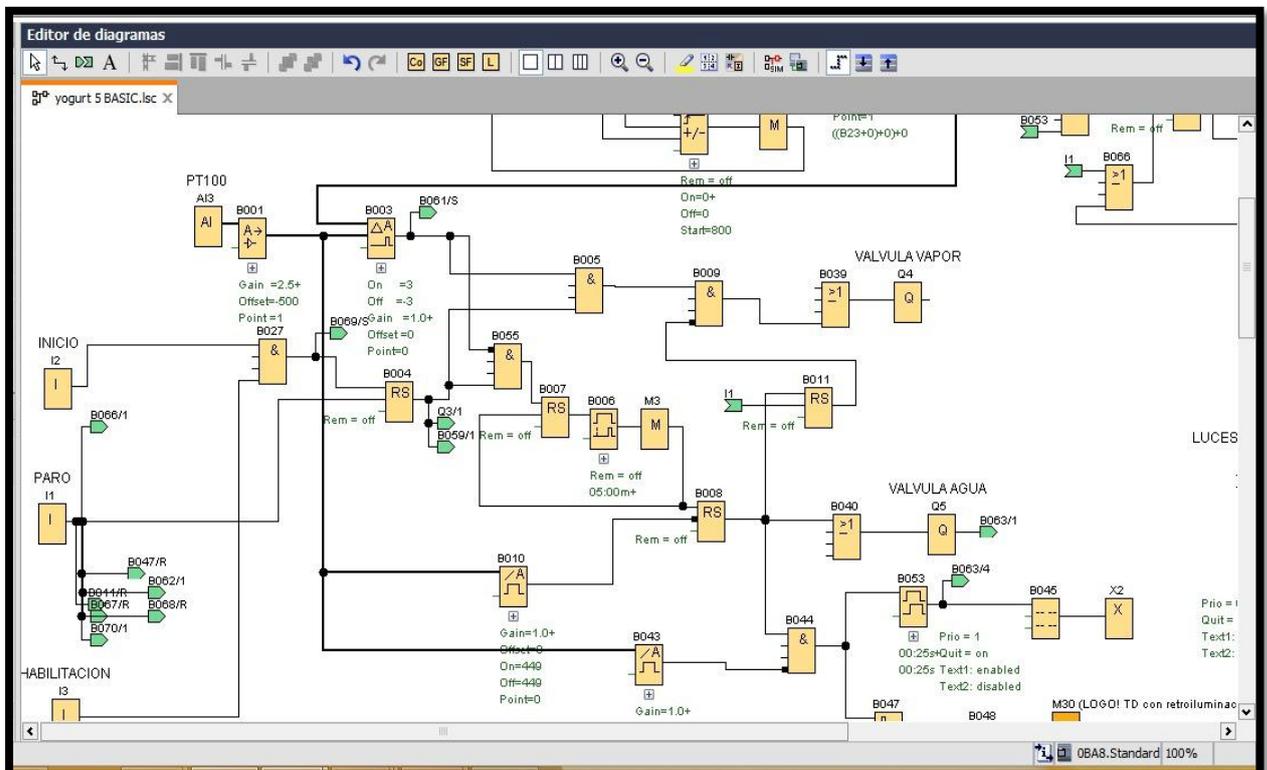
**Figura 18-2 Botones LOGO TDE.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

### 2.2.5. Comunicación PLC LOGO 8 Y TDP 100.

La comunicación de entre el Logo V8 y la pantalla TDE, se la realiza mediante conexión Ethernet, con conexión directa UTP CAT 6

La programación completa se aprecia en la figura 19-2.



**Figura 19-2 Programación.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

### 2.2.6 PRESUPUESTO

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unidad (USD)</b>	<b>Valor Subtotal (USD)</b>
<b>Estructura del cilindro</b>	1	1200	1200
<b>Logo Siemens</b>	1	250	250
<b>Sensores</b>	2	300	300
<b>Pulsador NC</b>	1	5	5
<b>Pulsador NO</b>	1	5	5
<b>Luz Roja</b>	1	10	10
<b>Luz Verde</b>	1	10	10
<b>Tablero</b>	1	150	150
<b>Breaker</b>	1	20	20
<b>Cable #18 Rojo</b>	1	28	28
<b>Cable #18 Azul</b>	1	25	25
<b>Fuente 24v</b>	1	50	50
<b>Riel Din</b>	1	10	10
<b>Motor</b>	1	350	350
<b>Varios</b>	1	600	600
		<b>Total</b>	<b>\$ 3013</b>

### 2.2.7 FUENTE DE FINANCIAMIENTO

Todos los recursos utilizados para el desarrollo del sistema serán financiados por los proponentes.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo tiene como fin registrar y analizar los resultados obtenidos del sistema, para ello se realizó las debidas pruebas de funcionamiento en campo, donde se detalla a continuación.

#### 3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO.

Como primer paso se realizó un análisis del sistema implementado, resaltando sus principales características.

##### 3.1.1. Sistema Mecánico

El equipo totalmente construido en Acero Inoxidable 304, el cual es ideal para sistemas alimenticios posee las siguientes características

- Capacidad: 100 Litros
- Espesor: 2,5mm
- Doble pared lateral: Si
- Fondo: Cónico:
- Ingreso: 1”
- Soporte: Si, tipo trípode
- Agitador: Paletas Planas

##### 3.1.2. Sistema Electrónico.

El sistema está basado en un sistema de control de lazo cerrado basado en HMI, tal cual expuesto en el capítulo II del presente documento.

- PLC: Si
- HMI: Si
- Sistema de Control: Lazo Cerrado.
- RPM: 0 – 30
- Configurable: Si.

El sistema está en la capacidad de producir yogurt hasta 100 litros por cada proceso, posee un sistema de temperatura controlado por HMI, el cual permite mucha precisión en cuanto al control. Además de control de velocidad de agitación por medio del motorreductor el cual permite la variación de velocidad según el tipo de leche durante el proceso.

El sistema es totalmente configurable, en cuanto a tiempo y temperaturas para alcanzar producto final.

### 3.1.3. Cálculo del tamaño de la muestra.

Con el fin de determinar el número de pruebas a registrar para la toma de datos del equipo implementado, se aplicó la fórmula 3-1, la cual permite el cálculo de la muestra para una media poblacional.

La Ecuación a utilizar se detalla a continuación

$$n = \frac{t^2_{(a/2, n-1)} * S^2}{E^2} \quad Ec (3 - 1)$$

Dónde:

n = tamaño de la muestra.

$t_{(a/2, n-1)}$  = valor pertenece a la distribución T-student, depende del nivel de confianza asignado y los grados de libertad. Se escogió esta distribución debido al tamaño de la muestra previas, es menos a 45.

$S^2$  = Valor de la varianza de la muestra previa.

### 3.1.4. Registro de Tiempos de ejecución del proceso

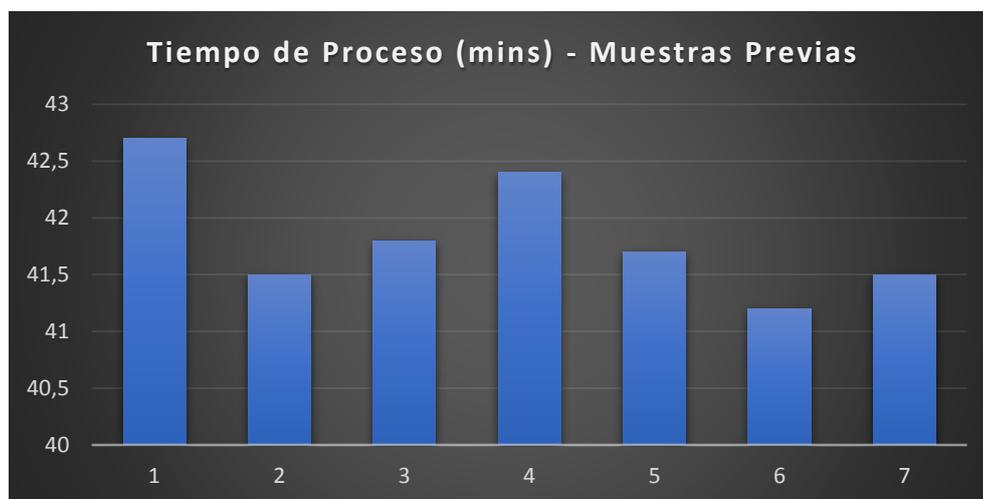
Como primer paso, se registró un número de pruebas registradas al azar, como bien indica la ecuación, son menores a 45. Dichos datos son registrados en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3.** Datos muestras previas

Proceso	Tiempo (min)	media						
Pasteurizado Sube 85°C	18,1	19	18	17,5	17,9	18,3	17,2	18
Enfriado Bajar a 45°C	12,9	12	12,5	12,2	12,7	12,1	12,9	12,47
Fermentación Estabilizar a 45°C	5	5,5	5,3	5,6	4,7	4,9	5,3	5,18
Enfriado Bajar a 15°C	6,7	5	6	7,1	6,4	5,9	6,1	6,17
Total Tiempo	42,7	41,5	41,8	42,4	41,7	41,2	41,5	41,97

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

En la figura 1-3, se observa el grafico de barras de las muestras previas tomadas.



**Figura 1-3 Muestras Previas – Gráfico de Barras.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Se trabajó con materia prima y cantidad de volumen igual a 100 L para cada prueba, con la misma presión en el caldero.

**En la tabla 3-2**, aplicando la Ecuación 1-3 en una Hoja de cálculo de Excel con fórmulas propias del programa, se obtiene los siguientes resultados.

Los datos son obtenidos de la fila “Total tiempo” registrados en la tabla 1-3

**Media:** valor promedio

**Varianza:** media de dispersión aleatoria, calculado con la formula VAR.S (Valores “Total Tiempo”)

**Error:** Como se mencionó en la Ecuación 3-1, se asigna un valor de error entre 0 y 5%, a libre elección

**Confianza:** Nivel de confianza a libre elección.

T: Distribución inversa de datos obtenidos, DISTR.T.INV(K6/2;3)

**Muestras:** Ecuación 3-1, con la formula REDONDEAR ((K7^2\*K4)/ (K5^2); 2)

**Tabla 2-3.** Tamaño de la Muestra.

	<b>Tiempos de proceso</b>
<b>MEDIA</b>	41,97
<b>VARIANZA</b>	0,602
<b>ERROR</b>	2
<b>CONFIANZA</b>	0,01
<b>T</b>	7,453318505
<b>MUESTRAS</b>	<b>8,36</b>

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

De acuerdo con los cálculos de la tabla 2-3, se determinó las siguientes muestras a tomar.

- Tiempos de proceso:  $8,36 \approx 8$  Muestras.

Con el valor de muestras ya determinado, se procede a la recolección de muestras para posterior análisis.

### **3.1.5. Ventajas de un proceso automático frente a un proceso manual en la fabricación de yogurt.**

La automatización industrial tiene ciertas ventajas sobre el proceso tradicional o manual y todo con el fin de facilitar al operario directo el proceso de fabricación de cualquier producto y mejorar la calidad del mismo y tiempos de respuesta.

En la tabla 3-3 se describe la ventaja del proceso manual con el automático tomados de la Planta de Lácteos Tunshi – Espoch.

**Tabla 3-3.** Ventajas del Proceso Manual y Automático.

<b>Ventajas Proceso Automático</b>	<b>Ventajas de Proceso Manual</b>
Proceso Autónomo, no requiere supervisión constante.	
Ideal para volúmenes mayores a 25 L	Ideal para volumen menores a 25 L
Mezcla uniforme y constante	
Visualiza tiempo de proceso	
Reduce considerablemente los tiempos de producción por volumen	
Se reduce el desperdicio de materia prima y se evita derramamientos accidentales	
Proceso aséptico	
	Costo de implementación, mantenimiento bajo
Mejor calidad de producto, dando cumplimiento a BPM y Estándares de Calidad	
Ideal para producciones en masa	Ideal para pruebas y ensayos
Ideal para fines académicos a nivel industrial y de producción.	Ideal para fines académicos y de aprendizaje
Exactitud de medición de temperatura	
Fácil desmontaje	

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

El punto más adverso del proceso automático siempre será la inversión inicial, consiste en un análisis profundo de la necesidad del sistema, elegir los recursos más adecuados con el fin de garantizar un producto final de calidad y una relación costo beneficio positiva a corto, mediano o largo plazo dependiendo del mismo.

Con el sistema implementado se garantiza exactitud en la medida de temperatura con un margen de error mínimo de +/- 1% siendo un rango aceptable, además de un sistema de mezcla constante y uniforme por medio de paletas planas y el motorreductor instalados.

El sistema es de fácil e intuitivo desmontaje con el fin de agilizar el proceso de mantenimiento y limpieza del mismo, además la geometría del mismo no permite la acumulación de residuos de un proceso a otro, garantizando un proceso aséptico.

Como bien se menciona en la tabla 3-3, una de las ventajas del proceso manual es muy efectivo a la hora de manejar volúmenes bajos con el fin de realizar pruebas piloto, ensayos o variaciones a productos ya establecidos o estandarizados y de allí producirlos en forma secuencial a grandes volúmenes.

La versatilidad de usar un HMI nos permite modificar parámetros a nuestra necesidad y de este modo adaptar el sistema a nuevas demandas de producto, de manera fácil y práctica.

En resumen, la implementación del sistema automático trae un gran número de ventajas ya descritas anteriormente, el cual busca estandarizar la fabricación de la producción de yogurt en la Planta de Lácteos Tunshi Espoch, cumpliendo estándares de calidad, garantizado exactitud, precisión y constancia en el proceso, con una capacidad de hasta 100L por lote de producción, ideal para producciones en masa en un sistema compacto, de bajo consumo energético.

### **3.1.6. Tiempo de mejora de la producción de yogurt con la implementación del sistema automático**

Para el análisis en este punto, se trabajó con un volumen de producción de 100L, recogiendo datos de producciones anteriores manuales, así como también con el sistema implementado

#### **Tiempos de Producción**

Con el número de muestras ya calculado son 8, se procede a la toma de tiempos por proceso y se registra en la tabla 4-3

**Tabla 4-3.** Datos de producción manual frente a automática.

Proceso Automático	Tiempo (min)							
Pasteurizado Subir 85°C	18,1	19	18	17,5	17,9	18,3	17,2	17,6
Enfriado Bajar a 45°C	12,9	12	12,5	12,2	12,7	12,1	12,9	12,6
Fermentación Estabilizar a 45°C	5	5,5	5,3	5,6	4,7	4,9	5,3	5,7
Enfriado Bajar a 15°C	6,7	5	6	7,1	6,4	5,9	6,1	6,1
Total, Tiempo	42,7	41,5	41,8	42,4	41,7	41,2	41,5	42

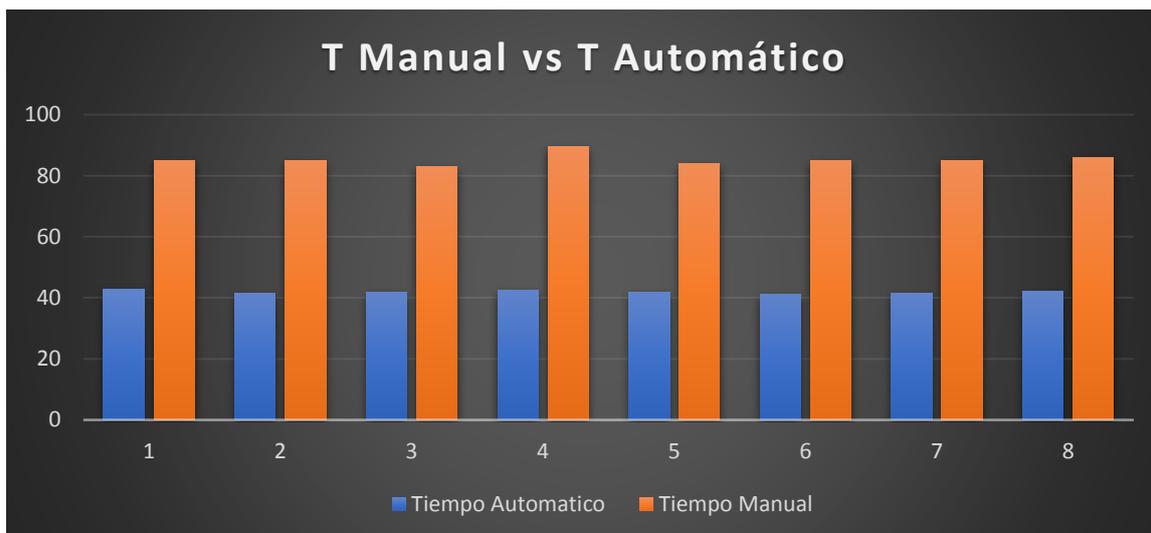
**Total Pro : 41,97 minutos**

Proceso Manual	Tiempo (min)							
Pasteurizado Subir a 85°C	45	42	44	45,5	43	43	44	44
Enfriado Bajar a 45°C	18	18	17	19	17	18	17	18
Fermentación Estabilizar a 45°C	10	11	10	11	12	11	11	11
Enfriado Bajar a 15°C	12	14	12	14	12	13	13	13
Total, Tiempo	85	85	83	89,5	84	85	85	86

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

**Total, Prom: 85,31 minutos**

En la figura 2-3, se observa la diferencia de tiempos entre proceso manual frente al automático, donde claramente se aprecia una notable mejora.



**Figura 2-3 Comparación de tiempos.**

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Con regla de tres, se puede obtener el porcentaje de mejora del proceso manual frente al automático, cuyos valores de cálculo se registran la tabla 5-3

**Tabla 5-3.** Porcentaje de mejora.

<b>Tiempo Automático (mins)</b>	42,7	41,5	41,8	42,4	41,7	41,2	41,5	42
<b>Tiempo Manual (mins)</b>	85	85	83	89,5	84	85	85	86
<b>% Mejora</b>	<b>50,24</b>	<b>48,82</b>	<b>50,36</b>	<b>47,37</b>	<b>49,64</b>	<b>48,47</b>	<b>48,82</b>	<b>48,84</b>

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

**Promedio Mejora: 49,07**

Con los valores obtenidos, claramente se aprecia una mejora de hasta un 50% en tiempo de producción del producto

### 3.1.7. Porcentaje de optimización de materia prima del sistema

Para obtener el porcentaje de optimización de materia prima se lo realizo mediante peso, teniendo en cuenta; al producir yogurt este aumenta y se hace más espeso. Los datos obtenidos se registraron en la tabla 6-3. De igual modo se hizo la recolección de datos basándose en el número de muestras calculado siendo 8, así como también agregando la misma cantidad de fermento, fruta y azúcar.

Se debe tener en cuenta, al producir yogurt de esta manera, este espesa hasta un 10% de densidad inicial.

**Tabla 6-3.** Pesos de leche cruda.

	<b>Peso de 100 L de Leche Cruda 102,3 Libras</b>	
<b># Prueba</b>	<b>Proceso Manual (Lb)</b>	<b>Proceso Automático (Lb)</b>
<b>1</b>	111,2	111,8
<b>2</b>	111,3	111,9
<b>3</b>	111,1	112
<b>4</b>	111	112
<b>5</b>	111,1	112,1
<b>6</b>	111,1	111,9
<b>7</b>	111,2	111,9
<b>8</b>	111,2	111,9
<b>PROM</b>	<b>111,15</b>	<b>111,93</b>

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Después de las pruebas realizadas se observa el proceso manual, posee menos peso respecto al automático de producto final y esto se debe a lo siguiente:

- Constante cambio de recipientes durante el proceso
- Temperaturas No controladas en su totalidad en el proceso de pasteurización principalmente.

El porcentaje de optimización de materia prima se registra en la tabla 7-3

**Tabla 7-3.** Porcentaje de optimización materia prima.

# Prueba	Proceso Manual (Lb)	% Materia Prima	Proceso Automático (Lb)	% Materia Prima	% Diferencia
1	111,2	98,55	111,8	99,35	0,80
2	111,3	98,64	111,9	99,44	0,80
3	110,7	98,37	112	99,53	1,16
4	111	98,46	112	99,53	1,07
5	111,1	98,64	112,1	99,62	0,98
6	111,1	98,64	111,9	99,44	0,80
7	111,2	98,82	111,9	99,44	0,62
8	111,2	98,73	111,9	99,44	0,71
<b>PROM</b>	<b>111,15</b>	<b>98,57</b>	<b>111,93</b>	<b>99,49</b>	<b>0,87</b>

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Como se muestra en la tabla 9-3, se registra hasta 1,16% de optimización de materia prima respecto al proceso manual en 100L de leche cruda.

A continuación, en la tabla 8-3, se registra los datos de consumo del sistema a plena carga.

**Tabla 8-3.** Registro de consumo.

Datos de consumo		
Carga	Voltaje	Corriente
Motor	24 VCD	2,5 A
PLC	24 VCD	750 ma
HMI	24 VCD	750 ma
Luces Piloto	110 VAC	200 ma
<b>Total</b>		<b>4,1 A</b>

**Realizado por:** De La Vega Mario 2018.

Como se aprecia en la tabla 10,3, el sistema consume 4,1 amperios o una potencia de 122W, donde los 100 W provienen del consumo de la fuente de 24V, y los 22W de las luces piloto.

## CONCLUSIONES

La fabricación de yogurt mediante el incremento de temperatura en la materia prima y agregación de fermentos es ideal para producciones en masa, ya que se puede estandarizar el proceso.

La forma geométrica del recipiente de mezcla y preparación influye de gran manera en el resultado del producto final como es la obtención del yogurt.

La utilización de un sistema HMI como interfaz gráfica facilitan el control y monitoreo de variables del sistema en todo el proceso de la elaboración del yogurt.

Un sistema basado en lazo cerrado permite un control autónomo y constante al comparar el ingreso y salida de variables que intervienen en el proceso y permitiendo una optimización del mismo.

Posterior a las pruebas, se determinó que el sistema es ideal para volúmenes grandes mayores a 25L hasta 100L, así como producciones a gran escala con fórmulas o tiempos establecidos previamente.

Con el sistema anteriormente descrito se logró una mejora de hasta un 50% en cuanto a tiempo de producción y una optimización de hasta un 1,16% frente al proceso tradicional de fabricación del producto.

## **RECOMENDACIONES**

El recipiente debe tener forma cilíndrica con fondo cónico con el fin de evitar acumulación de residuos entre proceso de pasteurización hasta el proceso de la obtención de yogurt.

La utilización de un HMI evita que el ruido eléctrico afecte a las variables del proceso ya que por sus características es un sistema robusto.

Es importante la correcta calibración del sensor de temperatura para el correcto funcionamiento en el proceso de la elaboración de yogurt.

Se recomienda un correcto análisis de la materia prima y que cumpla con los estándares de calidad necesarios, ya que de ello dependerá un producto final de calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

**Merce Raventos:** *Agitación en la industria*. [En línea]. España: J. Paul Getty, 2015. [Consulta: 14 de Junio 2018]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/348976950/Agitacion-en-La-Industria-Alimentaria>

**Boris Agniton:** *Agitación y mezcla conceptos básicos*. [en línea]. Colombia: A. Cuesta, 2017. [Consulta: 11 de Junio 2018]. Disponible en:

<http://www.esp.vmi-mixer.com>.

**Gustavo Arias:** *Automatismos Industrial y Sensores*. [en línea]. México: M. Larios, 2016. [Consulta: 16 de septiembre 2018]. Disponible en:

<http://unnomadaeneldesierto.blogspot.com>

**José Romerall:** *Autómatas Programables*. [En línea]. Colombia: J. Castillo, 2015. [Consulta: 16 de Agosto 2018]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/348976950/Automatas-programables>

**André Mc Ciane:** *Controladores Lógicos Programables*. [en línea]. México: Mc Brownie, 2015. [Consulta: 05 de Agosto 2018]. Disponible en:

<http://automatica.mex.tl/>.

**Gilberto Harper:** *Protecciones Eléctricas Industriales*. [en línea]. España: Limusa SA, 2014. [Consulta: 22 de Septiembre 2018]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/348976950/Industrial-electrical-proteccion-eng>

**Dillon Mc Away:** *Instrumentación Industrial*. [en línea]. Estados Unidos: National , 2017. [Consulta: 23 de Septiembre 2018]. Disponible en:

<http://www.ing.unlp.edu.com>

**Dobrev Lina:** *Lácteos y Derivados*. [en línea]. Argentina: Edies , 2015. [Consulta: 11 de Septiembre 2018]. Disponible en:

<http://www.lacteos-vida/derivados/unlp.edu.ar>.

**Johan Wesley:** *Sistemas Electrónicos Digitales*. [en línea]. Argentina: EDELEC, 2016. [Consulta: 1 de Septiembre 2018]. Disponible en:

<http://www.edelec.ar/sistemas-electronicos/edu.ar>.

**Drew Matt:** *Redes Industriales*. [en línea]. México: Dinesep, 2016. [Consulta: 19 de Septiembre 2018]. Disponible en:

<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208021/protocolos.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### ESPECIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN Y USO DE MATERIALES PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGURT.

Máquina final componentes utilizados



USO DE MATERIALES
Recipiente doble fondo
Estructura o soporte base
Tablero de control
Agitador de paletas
Motorreductor
Drenado proceso final

Máquina final proceso de construcción



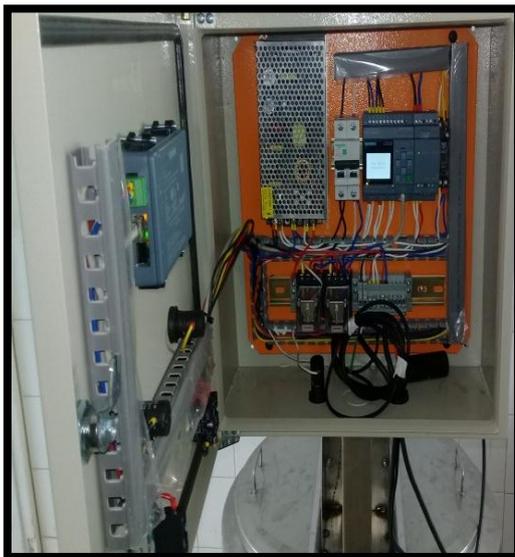
CONSTRUCCIÓN SISTEMA
Capacidad: 100L
Material de Construcción: Acero inoxidable
Proceso de temperatura automático
Presión de trabajo: 50psi
Velocidad de agitador: Baja, entre 20 a 30RPM
Temperatura: Hasta 100°C

Tablero de control



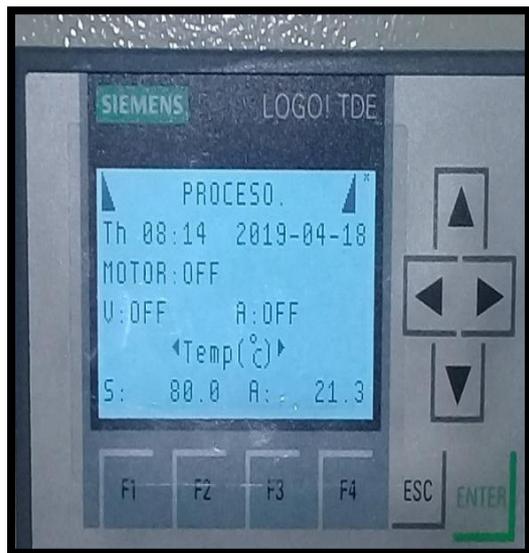
SÍMBOLOS	CARACTERÍSTICAS
<b>LOGO SIEMENS</b>	Dispositivo electrónico que se programa para realizar acciones de control automático en procesos industriales.
<b>ON</b>	Activación de proceso
<b>OFF</b>	Apagado de proceso
<b>HABILITADO</b>	Proceso automático(encendido)
<b>DESHABILITADO</b>	Proceso manual(apagado)

Fondo tablero



TABLERO MATERIALES
Logo SIEMENS V8
Fuente de 24V
Modelo de lectura analógica
HMI
Botonera de mando
Breakers de protección

## Visualizador de Logo HMI



VISUALIZADOR TDE	CARACTERÍSTICAS
TH	Hora fecha de proceso
MOTOR	ON:OFF(Apagado/Encendido)
V:	Vapor on/off
A:	Agua on/off
TEMPERATURA °C	S:setpoint : A:actual

## ANEXOS B MANUAL DE USUARIO

**PASO 1.-** Fotografía de la máquina lista para el proceso de elaboración “Yogurt”.



**PASO 2.-** Filtrado, tamizado o cernido de de la leche cruda retiro de impurezas y antibióticos.



**PASO 3.-** Arranque con el proceso automático(habilitado) a la temperatura 80°C



Automático (habilitado)



Temperatura Visualizada F1= 80 °C

**PASO 4.-** Aquí ya ingresamos el vapor hasta que la temperatura suba y llegue A 80°C



Vapor cilindro



Encendido de Válvula Vapor on

**PASO 5.-** Esperamos un lapso de **0 a 10 minutos** que la temperatura llegue a los **80°C** ingresamos el agua fria la cual visualizara encendido de agua on.



Encendido Válvula agua



Enfriado y salida agua limite temperatura a 45°

**PASO 6.-** Nos da un sonido de advertencia una vez que llegó a la temperatura de **45°C** para el aviso de detención del motor y proceso e ingreso de fermentos.



Temperatura de aviso a 45 °C



Detención de motor espera un lapso de 0 a 10 minutos

**PASO 7.-** Trascurrido los 10 minutos proceso detenido



Colocación de fermentos



Temperatura deseada a 45°C

**PASO 8.-**El proceso continua nuevamente por un lapso de 6 horas hasta tener el proceso terminado.



Proceso ya verificado cumplido el lapso tiempo



Proceso terminado "Yogurt Natural" satisfactorio

## PROCESO DE ELABORACIÓN “YOGURT” TUNSHI-ESPOCH

