



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
(TEMPERATURA Y PRESIÓN), PARA EL PROCESO DE
LIOFILIZACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS
INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TÉCNICO

Para optar al Grado Académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

AUTORA: VELASCO VILEMA DEICY STEFANÍA

TUTOR: ING VALLEJO VIZHUETE HENRY ERNESTO

Riobamba-Ecuador

2017

©2017, Deicy Stefanía Velasco Vilema

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 POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El proyecto técnico: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL (TEMPERATURA Y PRESIÓN), PARA EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS” de responsabilidad de la señorita Deicy Stefanía Velasco Vilema, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna Encalada DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Ing. Freddy Chávez DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Henry Vallejo DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION
Ing. Franklin Moreno MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Yo, **DEICY STEFANÍA VELASCO VILEMA**, soy la responsable de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

Deicy Stefanía Velasco Vilema
ESTUDIANTE

Ing. Henry Vallejo Vizhuete
DIRECTOR

Ing. Franklin Moreno M.
MIEMBRO

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por ser la luz y guía de mi camino, bendiciéndome ante mis buenos actos y dándome la fuerza para levantarme cuando me sentía sin ánimos.

A mi amado padre Marco Velasco, aunque se fue muy pronto sus valores y sobre todo el gran amor que me brindo me han dado la fuerza suficiente para llegar a donde ahora estoy.

Con mucho amor a mi mami por su cariño, paciencia, por haberme formado como una persona llena de humildad, sencillez y además de enseñarme que las metas que me proponga en la vida se cumplen con perseverancia, esfuerzo y fe en Dios.

A mis queridos hermanos Mónica y Anthony amigos incondicionales que con sus valiosas palabras de aliento me supieron apoyar sin importar las circunstancias,

A mi querido esposo, compañero de vida por ser parte de mis alegrías y tristezas, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi pequeña hija, que ha sido mi inspiración de cada día para seguir adelante y luchar en este difícil camino.

Deicy Velasco

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la vida, y regalarme una hermosa familia, mi inspiración de cada día.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme acogido en su seno, llenándome de valores y conocimientos.

A la Facultad de Ciencias en especial al Laboratorio de Procesos Industriales que con su amable personal colaboró a la elaboración de esta tesis.

A mi madre Delia Vilema por su amor único y por estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento.

A mis hermanos Mónica y Anthony por ser mis mejores amigos y llenarme de esperanzas en mis peores momentos.

A mi esposo e Hija por su paciencia y por ser parte de este difícil pero no imposible sueño.

A mis queridos maestros Ing. Henry Vallejo, Ing. Franklin Moreno e Ing. Marco Viteri quienes con su amabilidad y dedicación supieron guiarme e impartir con responsabilidad sus conocimientos.

Deicy Velasco

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Liofilización.....	5
<i>1.1.1 Tipos de secadores</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2 Métodos más utilizados para deshidratar alimentos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3 Liofilizador “Secador al vacío”.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.4 Ventajas de la liofilización</i>	<i>8</i>
1.2 Transferencia de calor.....	8
1.3 Vacío	9
1.4 Sistema Electrónico	10
1.5 Sistemas de control	10
<i>1.5.1 Sistema de control de lazo abierto</i>	<i>11</i>
<i>1.5.2 Sistema de control de lazo cerrado</i>	<i>11</i>
1.6 Automatización Industrial	11
<i>1.6.1 Definición.....</i>	<i>12</i>
<i>1.6.2 Objetivos de la automatización</i>	<i>12</i>
1.7 Relé lógico programable (LOGO).....	13
<i>1.7.1 Descripción de LOGO.....</i>	<i>13</i>
<i>1.7.2 LOGO Versión 8</i>	<i>14</i>
<i>1.7.3 Software de programación Logo Soft Comfort.....</i>	<i>15</i>
<i>1.7.4 Lenguajes de programación de LOGO</i>	<i>15</i>
1.8 Módulo de ampliación AM2 RTD	17
1.9 Fuente de alimentación	18
1.10 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	19
<i>1.10.1 Pantalla KTP 700.....</i>	<i>20</i>

1.10.2	<i>Comunicación</i>	21
1.10.3	<i>Software TIA Portal</i>	22
1.11	Sensores	22
1.11.1	<i>Sensor de Temperatura</i>	23
1.12	Sensor de presión de vacío	24
1.13	Actuadores	25
1.13.1	<i>Motor eléctrico</i>	25
1.13.2	<i>Bomba de vacío</i>	25
1.13.3	<i>Resistencia eléctrica de calentamiento</i>	26
1.14	Elementos eléctricos	28
1.14.1	<i>Contactor eléctrico</i>	28
1.14.2	<i>Breaker eléctrico</i>	29
1.15	Guardamotor	30
1.16	Elementos de maniobra	31
	CONDUCTORES	31
	CAPÍTULO II	
2	MARCO METODOLÓGICO	32
2.1	Introducción (ETAPAS DE DISEÑO)	32
2.2	Etapas del diseño e implementación del Liofilizador de alimentos	33
2.3	Algoritmo de control de Temperatura	33
2.4	Algoritmo de control de presión para encender y apagar la bomba	34
2.5	Modelo del Sistema de control para el Liofilizador	35
2.6	Estado Técnico del Liofilizador	35
2.7	Modificación a realizar en el Sistema Mecánico del equipo	38
2.7.1	<i>Diseño de componentes modificados</i>	38
2.8	Implementación	40
2.9	Diseño e implementación del sistema eléctrico	41
2.9.1	<i>Diseño del sistema eléctrico</i>	41
2.9.2	<i>Implementación del Sistema eléctrico</i>	50
2.10	Implementación del sistema electrónico	53
2.10.1	<i>Implementación del sensor de temperatura (PT100)</i>	53
2.10.2	<i>Implementación del vacuómetro</i>	54
2.11	Programación del LOGO	55
2.11.1	<i>Entradas digitales</i>	56
2.11.2	<i>Entradas analógicas</i>	56
2.11.3	<i>Salidas digitales</i>	56

2.12	Programación del HMI	57
2.12.1	LOGO TDE	57
2.12.2	KTP 700.....	57
CAPÍTULO III		
3	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	67
3.1	Sistema mecánico	67
3.2	Sistema eléctrico	67
3.3	Sistema electrónico	67
3.4	Tamaño muestral para determinar el número de pruebas.....	68
3.5	Temperatura del sistema antes y después de implementar el sistema de control para el proceso de Liofilización	68
3.6	Resultados de funcionamiento: temperatura, tiempo y presión.....	69
3.7	Comparación del tiempo de proceso para liofilizar guineo antes y después de implementar el sistema de control.....	72
3.8	Comportamiento de la bomba	72
3.9	Consumo de potencia eléctrica de la bomba	73
3.10	Consumo de potencia eléctrica de la niquelina	74
3.11	Pruebas de liofilización realizadas a diferentes productos después de implementar el sistema de control.....	75
3.12	Costos de implementación del sistema de control.....	738
CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES.....		80
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – 1	Clasificación de los Métodos de Deshidratación	7
Tabla 2 - 1	Características generales del Logo Versión 8.....	14
Tabla 3 – 1	Símbolos de lenguaje LADDER.....	16
Tabla 4 – 1	Características técnicas del módulo AM2 RTD.....	18
Tabla 5 – 1	Especificaciones Técnicas de la Fuente de alimentación	19
Tabla 6 – 1	Especificación Pantalla KTP 700	21
Tabla 7 – 1	Características generales del sensor PT100	23
Tabla 8 – 1	Características del vacuómetro.....	25
Tabla 9 – 1	Definición de los elementos de maniobra	31
Tabla 1 – 2	Calificación de aspectos	36
Tabla 2 – 2	Asignación de Valores a Calificaciones	37
Tabla 3 – 2	Aspectos Evaluados.....	37
Tabla 4 – 2	Selección del Estado de Servicio de mantenimiento.....	38
Tabla 5 – 2	Valores de protecciones para los dispositivos	43
Tabla 6 – 2	Calibre de conductores eléctricos	44
Tabla 7 – 2	Valores de Conductores.....	49
Tabla 8 – 2	Resumen de valores de control del vacuómetro.	55
Tabla 9 – 2	Entradas digitales.....	56
Tabla 10 – 2	Entradas analógicas	56
Tabla 11 – 2	Salidas digitales	56
Tabla 1 – 3	Valores de alfa según el nivel de confianza	68
Tabla 2 – 3	Primera Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina.....	69
Tabla 3 – 3	Segunda Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina	70
Tabla 4 – 3	Tercera Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina	70
Tabla 5 – 3	Cuarta Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina.....	70
Tabla 6 – 3	Quinta Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina.....	71
Tabla 7 – 3	Sexta Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina.....	71
Tabla 8 – 3	Séptima Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina.....	71
Tabla 9 – 3	Octava Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina.....	72
Tabla 10 – 3	Tiempo necesario para obtener el valor de presión	73
Tabla 11 – 3	Liofilización de manzana.....	75
Tabla 12 – 3	Liofilización de papa	76
Tabla 13 – 3	Liofilización de remolacha	76
Tabla 14 – 3	Liofilización de acelga.....	77
Tabla 15 – 3	Datos de temperatura y tiempo empleados para la liofilización de alimentos..	77
Tabla 16 – 3	Análisis de costos	778

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – 1	Alimentos Liofilizados	5
Figura 2 - 1	Liofilizador.....	7
Figura 3 – 1	Transferencia de calor por conducción, convección y radiación.....	9
Figura 4 – 1	Esquema de un sistema	11
Figura 5 – 1	Diagrama de un sistema de control de lazo abierto.....	11
Figura 6 – 1	Diagrama de un sistema de control de lazo cerrado.....	11
Figura 7 – 1	Automatización Industrial	12
Figura 8 – 1	Logo Versión 8	14
Figura 9 – 1	Entorno de Logo Soft Comfort	15
Figura 10 – 1	Esquema de Diagrama de bloques de Funciones	17
Figura 11 – 1	Módulo de ampliación AM2 RTD.....	17
Figura 12 – 1	Fuente de alimentación	18
Figura 13 – 1	Estructura de un HMI.....	20
Figura 14 – 1	Pantalla HMI KTP 700	20
Figura 15 – 1	Software de Programación TIA Portal.....	22
Figura 16 – 1	Sensor de temperatura PT100	23
Figura 17 – 1	Sensor de Presión de Vacío	24
Figura 18 – 1	Resistencias blindadas.....	27
Figura 19 – 1	Contactador eléctrico	28
Figura 20 – 1	Breaker eléctrico.....	29
Figura 21 – 1	Guardamotor	30
Figura 1 – 2	Diagrama de flujo del control de temperatura	34
Figura 2 – 2	Diagrama de flujo del control de presión	34
Figura 3 – 2	Esquema de bloques del sistema de control para el Liofilizador	35
Figura 4 – 2	Tubería con válvula check	39
Figura 5 – 2	Diseño de la resistencia eléctrica	39
Figura 6 – 2	Bomba monofásica con tubería y válvula check (C.A).....	40
Figura 7 – 2	Colocación de bomba de 1 Hp	40
Figura 8 – 2	Tubería con válvula check para la bomba	40
Figura 9 – 2	Llave para el desfogue de agua.....	41
Figura 10 – 2	Diagrama de mando del Sistema de control.....	50
Figura 11 – 2	Distribución de Riel Din y canaletas	51
Figura 12 – 2	Colocación de dispositivos en el tablero.....	51
Figura 13 – 2	Cableado de los dispositivos.....	52
Figura 14 – 2	Colocación de pantalla HMI, pulsador, luz y selector.....	52
Figura 15 – 2	Conexión de pantalla HMI, pulsador, luz y selector	53
Figura 16 – 2	Vista interior y exterior del tablero terminado.....	53
Figura 17 – 2	Implementación del Sensor PT100.....	54
Figura 18 – 2	Implementación del Vacuómetro	54
Figura 19 – 2	Configuración de pantalla LOGO TDE	57
Figura 20 – 2	Funcionamiento de pantalla LOGO TDE	57
Figura 21 – 2	Pantalla inicial de Tia Portal	58
Figura 22 – 2	Pantalla para seleccionar HMI.....	59
Figura 23 – 2	Pantalla para iniciar proyecto en blanco.....	59

Figura 24 – 2	Interfaz de pantalla KTP 700	60
Figura 25 – 2	Pantalla de configuración de puerto de comunicación y direcciones IP.....	60
Figura 26 – 2	Pantalla de configuración de dirección IP y mascara de subred del HMI	61
Figura 27 – 2	Pantalla de creación de variables y tipos de datos.....	61
Figura 28 – 2	Pantalla de asignación de memoria a las variables.....	62
Figura 29 – 2	Ingreso de botones	62
Figura 30 – 2	Ingreso de botones	63
Figura 31 – 2	Pantalla de la carátula e ingreso al proceso	63
Figura 32 – 2	Pantalla interactiva del proceso	64
Figura 33 – 2	Pantalla de activación de la resistencia.....	64
Figura 34 – 2	Pantalla de activación de la bomba de vacío	65
Figura 35 – 2	Pantalla de activación de resistencia y bomba de vacío	65
Figura 36 – 2	Pantalla de activación de la alarma	66
Figura 37 – 2	Pantalla de desactivación de actuadores.....	66
Figura 1 – 3	Datos tomados de la corriente de la bomba.....	73
Figura 2 – 3	Datos tomados de la corriente de la resistencia	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – 1 Clasificación de los tipos de secadores	6
Gráfico 2 – 1 Componentes de un Sistema electrónico	10
Gráfico 1 – 2 Etapas del diseño e implementación del Liofilizador de alimentos	32
Gráfico 2 – 2 Etapas, parámetros y actuadores que intervienen en el proceso de liofilización.....	33
Gráfico 1 – 3 Comparación del sistema antes y después de implementar el sistema de control	69
Gráfico 2 – 3 Tiempo del proceso antes y después de implementar el sistema de control.....	72
Gráfico 3 – 3 Comparación del consumo de potencia de la bomba antes y después	74
Gráfico 4 – 3 Comparación del consumo de potencia de la resistencia antes y después.....	75
Gráfico 5 – 3 Tiempo y Temperatura empleado de alimentos liofilizados.....	77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 – 1 Ecuación para la transferencia de calor	8
Ecuación 1 – 2 Ecuación para corriente de protección.....	41
Ecuación 2 – 2 Caída de tensión para un circuito monofásico.....	44
Ecuación 3 – 2 Ley de Ohm.....	55
Ecuación 1 – 3 Ecuación para tamaño muestral para estimar una media poblacional.....	68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Ficha Técnica
ANEXO B	Instructivo
ANEXO C	Manual de Usuario
ANEXO D	Manual Técnico
ANEXO E	Diseño del equipo

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
A	Amperios
LOGO	Relé Lógico Programable
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
I	Corriente
In	Corriente Nominal
V	Voltaje
S	Segundos
NO	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
Kg	Kilogramos
G	Gramos
Cm	Centímetros
W	Watt
DC	Corriente directa
AC	Corriente alterna
Vdc	Voltaje de corriente directa
Vac	Voltaje de corriente alterna
GND	Tierra
PIN	Número de identificación de puerto
KΩ	Kilo ohmios
RTD	Detector resistivo de temperatura
Hz	Hercios
PC	Computador portátil
mA	Miliamperios
PWM	Modulación de ancho de pulso
E/S	Entradas y salidas
HP	Caballos de fuerza
Bar	Unidad de presión
ON/OFF	Encendido y apagado
Setpoint	Valor deseado

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló un sistema de control y monitoreo para realizar el proceso de liofilización en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias. Se aplicó el método heurístico, para encontrar posibles errores del sistema anterior dando una alternativa de solución. Se identificaron los parámetros necesarios para la liofilización de productos los cuales se determinaron haciendo referencia a las características de diseño y construcción del equipo. Se verificó el estado técnico de la máquina para establecer las condiciones de funcionamiento, de lo cual se realizaron adecuaciones pequeñas. En el diseño e implementación del sistema de control se procedió a la configuración y programación del relé lógico programable (LOGO), el cual procesa la información recibida de los sensores de temperatura y presión de acuerdo a las órdenes de programación para activar o desactivar la resistencia o la bomba, posteriormente se realizó la programación de la interfaz hombre-máquina (HMI), utilizando comunicación Ethernet entre el LOGO y el HMI. Se utilizó el software (TIA Portal) para la visualización y monitoreo amigable entre el usuario y el equipo. Los resultados obtenidos de la implementación del sistema determinaron que el tiempo empleado para realizar el proceso de liofilización se redujo aproximadamente en 30 minutos dependiendo del tipo de alimento. En conclusión, la eficacia del proceso de liofilización antes y después de la implementación del sistema de control fue mayor en un 6,83 %, debido a la reducción del tiempo empleado por el operario, gracias al control y estabilización de la temperatura ingresada, además de la disminución del consumo energético de la bomba de vacío suministrando la cantidad necesaria en el interior de la cámara. Se recomienda que, al momento de realizar el proceso, el equipo se encuentre herméticamente cerrado lo que permitirá la obtención de un producto final de calidad.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <SISTEMA DE VACÍO>, <AUTOMATIZACIÓN>, <LIOFILIZADOR>, <CONTROL DE TEMPERATURA>, <CONTROL DE PRESIÓN>, <RELÉ LÓGICO PROGRAMABLE (LOGO)>.

ABSTRACT

In this work, it was developed a control system and monitoring in order to perform the lyophilization process in the Industrial Processes Laboratory of the Faculty of Sciences. The heuristic method was applied to find possible errors of the previous system giving an alternative of solution. The necessary parameters for the lyophilization of products were identified which were determined by reference to the characteristics of design and construction of the equipment. The technical condition of the machine was verified in order to establish the operating conditions, of which small adjustments were made. In the design and implementation of the control system was proceeded to the configuration and programming of programmable logic relay (LOGO), which processes information received from the temperature and pressure sensors according to the scheduling commands to activate or deactivate the resistance or the pump, and then programming the human-machine interface (HMI), using the Ethernet interface for communication between the LOGO and the HMI. The software (TIA Portal) was used for the visualization and friendly monitoring between the user and the equipment. The results obtained from the implementation of the system determined that the time spent to perform the lyophilization process was reduced in 30 minutes. In conclusion, the efficiency of the lyophilization process before and after the implementation of the control system was greater in a 6.83%, due to the reduction of the time spent by the operator thanks to the control and stabilization of the temperature entered, in addition to the reduction of the energy consumption of the vacuum pump supplying the necessary amount in the interior of the chamber. It is recommended that at the time of the process the equipment is hermetically closed which will allow the obtaining of a final quality product.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <VACUUM SYSTEM>, <AUTOMATION>, <LYOPHILIZER>, <TEMPERATURE CONTROL>, <PRESSURE CONTROL>, <PROGRAMMABLE LOGIC RELAY (LOGO)>.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Considerando la importancia y conservación de los alimentos, ha existido la necesidad de emplear variedad de métodos para secar productos entre ellos la liofilización natural, que es una técnica antigua y comúnmente usada por nuestros antepasados quienes ponían a congelar patatas conocido como “chuño” aprovechando las bajas temperaturas del altiplano, como consecuencia se generaba un alto vacío que permitía extraer la mayor cantidad de humedad contenida, y al día siguiente los rayos del sol le permitían secar el vapor de agua restante, sin embargo los factores climatológicos y de higiene no pueden ser controlados, es por ello que la liofilización artificial permite controlar ciertos parámetros además de brindar eficiencia del proceso mejorando la calidad y manteniendo los componentes nutricionales de los alimentos.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, en el Laboratorio de Procesos Industriales, existe un equipo de secado al vacío “Liofilizador”, usado para la liofilización de la remolacha azucarera, el cual va a ser controlado para que se pueda liofilizar variedad de alimentos mediante una interfaz amigable con el operario.

El liofilizador presenta las siguientes características de acuerdo a su diseño de construcción: una cámara de estructura cilíndrica de 29,5 cm de altura con un cierre hermético de 49 cm de largo cuyo volumen es de $0,032 \text{ m}^3$ y un área de $0,58 \text{ m}^2$, un manto eléctrico conformado por una resistencia que permite el intercambio de calor de 1100 Watts, para la generación del vacío óptimo en el interior de la cámara se cuenta con una bomba que funciona a 110 Voltios, mediante este sistema se da la liofilización una vez que son expuestos al calor en condiciones de vacío los alimentos distribuidos en las bandejas que contiene el equipo.

Observamos que el equipo presenta ineficiencia al realizar el proceso, debido a que no se cuenta con un control de temperatura, y adecuado sistema de vacío, previo a la implementación se identificarán estos posibles problemas con el fin de ser resueltos.

En el año 2015, Flores Fiallos Linda Mariuxi y Núñez Zumbana Diego Esteban presentan su tesis “Diseño y construcción de un Liofilizador para el secado de la remolacha azucarera”, previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, equipo en el que se va a realizar el sistema de control y monitoreo del presente trabajo de titulación.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Ayudará la implementación del sistema de control a mantener constante los valores de temperatura y presión que requiere el proceso de secado?

¿El sistema de control a implementar minimizará el tiempo empleado en el proceso?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles serán los parámetros necesarios que se deberán tomar en cuenta para llevar a cabo el proceso de liofilización?

¿Qué tipo de alimentos podrán ser secados en el Liofilizador?

¿Cómo se realizará la implementación del sistema de control y la interfaz HMI para el Liofilizador de alimentos?

¿Cuáles serán las ventajas de la implementación del sistema de control de temperatura y presión para el Liofilizador?

JUSTIFICACIÓN

En el equipo liofilizador la transmisión de calor en las paredes del equipo proviene de la activación de una resistencia eléctrica, la cual se encuentra implementada en el interior, la cámara de liofilización tiene forma cilíndrica con un cierre hermético evitando el ingreso de aire, consta de bandejas dispersas cuya construcción es de acero inoxidable donde se disponen los productos a secar.

Se realizará una verificación para evaluar las condiciones del Liofilizador, debido a que se conoce que no es frecuentemente utilizado y se desconocen las posibles fallas a existir en el sistema implementado actual.

Este trabajo de titulación justifica su aplicación al conseguir un sistema de control eficiente capaz de realizar un proceso automático que permita la liofilización de alimentos, además de minimizar el recurso humano, para estabilizar la temperatura y presión cuando estas se eleven o disminuyan, siendo estas variables fundamentales del proceso, brindando a los estudiantes la oportunidad de realizar sus prácticas de laboratorio de una manera eficiente, segura y sin pérdidas de tiempo, la calidad del producto final dependerán de las variables mencionadas además del tiempo expuesto al calor en condiciones de vacío y de las características propias del producto a liofilizar, de esta manera se aumentará el uso del equipo debido a que se podrán liofilizar mayor variedad de productos.

Para lo que se empleará principalmente un LOGO, controlador encargado de medir valores de temperatura y presión al recibir información de sensores permitiendo la activación o apagado de los actuadores que intervienen en el proceso, y un HMI siendo su principal función la interacción entre hombre-máquina, cuya utilización ayuda a evitar la complejidad del proceso en cuanto a la manipulación del Liofilizador debido a la interfaz amigable que le permite ingresar, monitorear y visualizar los datos en tiempo real.

Dentro del proceso de liofilización habrá diferentes fases entre estas, la fase de calentamiento, que consiste en la transmisión de calor que proviene de la resistencia eléctrica, esta fase tendrá un tiempo determinado hasta alcanzar la temperatura ingresada para liofilizar.

La fase de Selección se realiza mediante la interfaz HMI, encargado de recibir los datos ingresados por el operario, y enviar las señales necesarias que serán receptadas por las entradas del Logo, y por último la fase de liofilización en la cual el Logo procesa la información que obtuvo del HMI para activar los actuadores, el control de los datos se realizará mediante el sensor PT100 y vacuómetro.

Para terminar, se destaca que el trabajo de titulación cumple con los requerimientos en cuanto al control de variables que necesita el proceso de liofilización de alimentos, garantizando la eficiencia de la implementación, además de permitir adaptar nuevos controles de variables que se quieran desarrollar en el equipo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de control (temperatura y presión), para el proceso de liofilización en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar el estado técnico del liofilizador ubicado en el Laboratorio de Procesos Industriales.
- Seleccionar los parámetros necesarios para que los productos seleccionados puedan ser liofilizados.
- Dimensionar los circuitos eléctricos, electrónicos y los equipos que se utilizaran en la automatización del proceso.
- Implementar el sistema de control y monitoreo utilizando una interfaz amigable HMI para el liofilizador de alimentos.
- Realizar pruebas de funcionamiento con el sistema de control implementado.
- Elaborar un manual técnico y de usuario para facilitar el uso y mantenimiento del Liofilizador.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo se estudia información puntual acerca de los elementos necesarios que se requiere para diseñar e implementar un sistema automático que sea capaz de controlar los parámetros para realizar el proceso de liofilización, así como también sensores que se adapten a las condiciones de trabajo. Se estudia además el software TIA Portal con el propósito de diseñar un panel amigable (HMI) adecuado para establecer el manejo y monitoreo de la máquina.

1.1 Liofilización

La liofilización es un método de secado empleado para la conservación de los alimentos, donde el agua es extraída en casi un 95% para prevenir la presencia de microorganismos que provocan la descomposición del mismo (Parzanese, 2012, p.2).

Los alimentos a ser secados mediante este proceso necesariamente se deben congelar pudiendo ser tratados en diferentes formatos: cubos, deshilachados, tiras, granulados etc. En la antigüedad era una técnica utilizada por los incas para conservar patatas lo que ellos denominaban “chuño” y la carne de llama, pero las condiciones de higiene y climatológicas lo hacían un proceso poco eficiente. Hoy en la actualidad esta técnica se utiliza en el ámbito industrial, cabe mencionar que es un proceso costoso y lento, pero se obtiene un secado de mejor calidad. En la figura 1-1 se muestra algunos alimentos liofilizados.



Figura 1 - 1 Alimentos Liofilizados

Fuente: <http://www.imchef.org/wp-content/uploads/2010/09/frutas-liofilizadas-im.jpg>

Mediante el proceso de liofilización los alimentos conservan sus propiedades nutricionales, en cuanto a sabor aroma y textura con el fin de prolongar su vida útil.

1.1.1 Tipos de secadores

Permiten llevar a cabo el proceso de deshidratación, estos pueden ser seleccionados de acuerdo a diversas necesidades como son: costo del equipo, tipo de producto y condiciones de operación. En la gráfica 1-1 se puede observar diversos tipos de secadores.

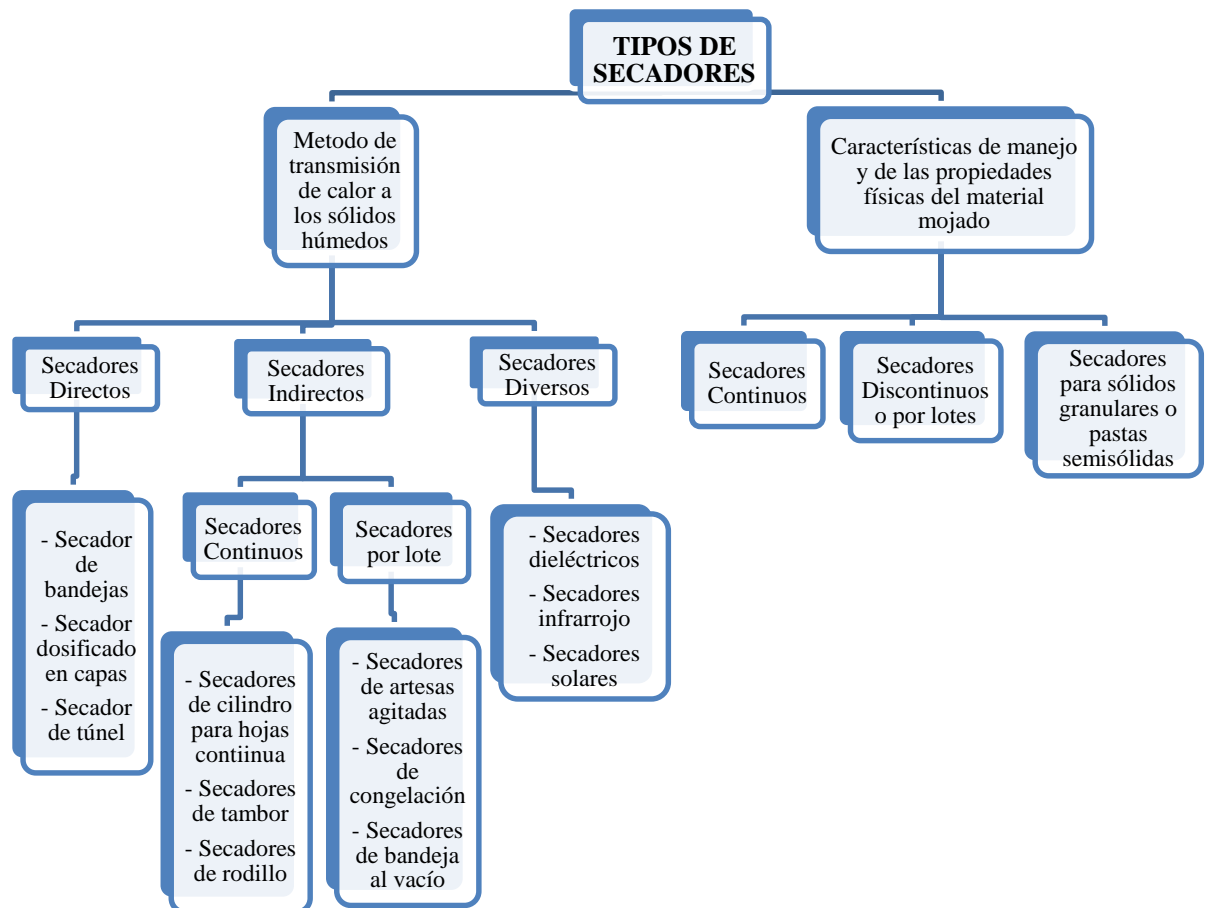


Gráfico 1 - 1 Clasificación de los tipos de secadores

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Para el desarrollo de este trabajo se utilizará el secador de bandejas al vacío.

1.1.2 Métodos más utilizados para deshidratar alimentos

Son técnicas utilizadas para liberar a los alimentos de los agentes bacterianos como microorganismos y enzimas, de modo que no puedan alterar su composición nutricional. En la tabla 1-1 se muestra la clasificación de los métodos que se utilizan para la deshidratación de alimentos tomando en cuenta diversos parámetros como son: el mecanismo de calor, tipos de productos a ser secados así como los equipos que se emplean.

Tabla 1 - 1 Clasificación de los Métodos de Deshidratación

Método de Deshidratación	Equipo empleado	Ejemplos de productos
Por aire	Deshidratador tipo túnel	Productos de tamaño pequeño, porciones de hortalizas, fluidos con alta viscosidad y vegetales.
	Secador de bandejas	
	Desecadores giratorios	
	Desecadores neumáticos	
	Desecadores de tolva	
	Desecador de lecho fluidizado	
Por rocío o spray	Secador atomizador	Productos líquidos, zumo de frutas, cremas, leche, café, huevos.
Por conducción	Deshidratador dieléctrico	Cualquier tipo de alimento como frutas, tubérculos, mariscos como pescado etc.
	Deshidratador infrarrojo	
Por congelación	Liofilizador	Frutas, verduras, carnes, levadura

Fuente: Díaz R, 2003, p. 10

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Para el desarrollo de esta investigación se utilizará el método de deshidratación por congelación en un Liofilizador.

1.1.3 Liofilizador “Secador al vacío”

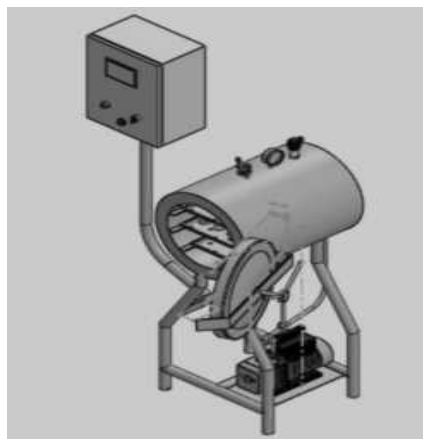


Figura 2 - 1 Liofilizador

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Es el equipo en el cual se efectúa el secado de productos, debido a que en su interior se genera un entorno de vacío a baja presión que permite la succión de humedad pasando de la fase sólida o congelada del alimento directo a vapor sin mediar por la fase líquida, con la ayuda de un sistema de calor que se distribuye de manera uniforme en todo el equipo, su forma y estructura se puede observar en la figura 2-1.

1.1.4 Ventajas de la liofilización

La liofilización de alimentos posee muchas ventajas entre las que se pueden mencionar (Decanato, 2012, p. 3).

- La rehidratación del alimento suele ser rápido.
- Facilita la conservación de las propiedades nutricionales de los alimentos.
- El producto final contiene un nivel bajo de humedad.
- Proceso eficiente comparado con otros métodos de secado.
- Pueden ser controladas las condiciones sanitarias.
- Poseen un peso más liviano lo que reduce el costo de transporte.
- Los alimentos liofilizados poseen una gran calidad.

1.2 Transferencia de calor

Es el intercambio de energía entre dos materiales que poseen diferentes temperaturas, es decir el material que posee mayor temperatura transmite calor al material de menor temperatura hasta que estos valores sean iguales. El fenómeno de transferencia de calor sin importar cuál sea su mecanismo de transporte se puede visualizar en la ecuación 1.1

Ecuación 1 - 1 Ecuación para la transferencia de calor

$$Q = U * A * \Delta T$$

En donde:

A: Superficie eficaz de transmisión de calor

U: Coeficiente global para transmisión de calor

Q: Caudal de calor que se debe transmitir

ΔT : Diferencia de temperaturas del proceso

El calor se puede transmitir de tres maneras diferentes que se mencionan a continuación:

Conducción

Es producido por medio del choque directo de las moléculas en el interior de un material donde el calor es transmitido hasta el lugar más frío por conducción, siendo aplicable y de gran importancia en sólidos.

Convección

Es el tipo de transferencia de calor que se produce por medio del movimiento de la masa de un fluido de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura, comúnmente usada en líquidos o fluidos.

Radiación

La transferencia de calor por radiación permite la transmisión de calor en forma de ondas electromagnéticas entre dos cuerpos de distintas temperaturas donde las sustancias no necesariamente deben estar en contacto.

Las formas de transferencia de calor por conducción, convección y radiación se pueden visualizar en la figura 3-1.



Figura 3 - 1 Transferencia de calor por conducción, convección y radiación.
Fuente: https://conducciondelcalor.files.wordpress.com/2013/03/03_mechero1.png

1.3 Vacío

El vacío se define como la ausencia de aire en un lugar o espacio, cuyos valores son inferiores a la presión atmosférica, es frecuentemente utilizado para el secado de alimentos debido a las presiones bajas que se generan lo que permite la conservación de nutrientes del producto y alargar su vida útil.

El vacío obtenido en el interior del equipo es uno de los elementos primordiales para la liofilización de alimentos ya que si no se genera los valores adecuados el proceso presenta ineficiencia. El vacío utilizado por el liofilizador se obtiene mediante el funcionamiento de una bomba la misma que realiza la extracción del aire contenido en el interior. (Flores L, Núñez D, 2014, pp. 28-38).

Para realizar el secado y succión de humedad de manera adecuada la bomba debe necesariamente generar un entorno al vacío comprendida entre el rango de 0,27 bares a 0,31 bares.

1.4 Sistema Electrónico

Es un conjunto de tres tipos de dispositivos que interactúan entre sí para llegar a un objetivo deseado, estos dispositivos son entrada, proceso y salida.

(Bustos, 2008, <http://mecatronicabustos.blogspot.com/2008/09/sistemas-electronicos-para-mecatronica.html>).

En el gráfico 2-1 se describe cada uno de ellos.

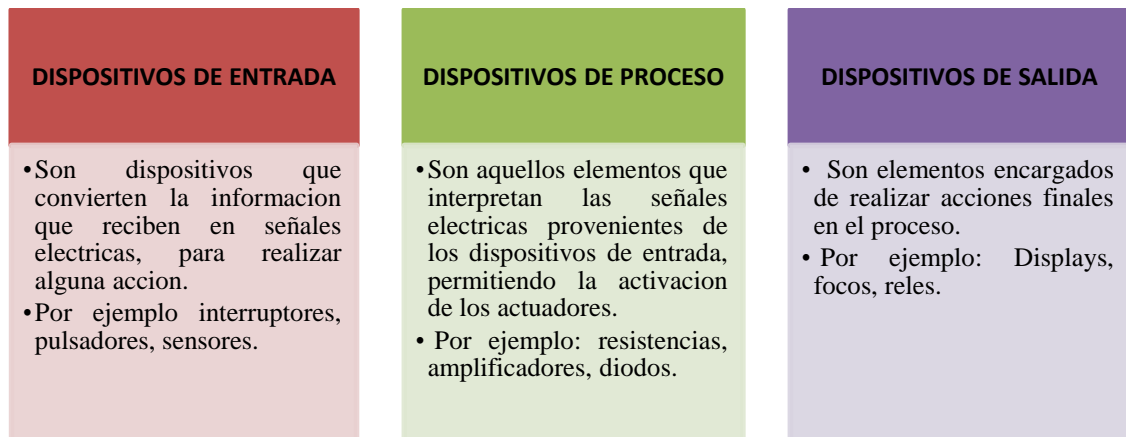


Gráfico 2 - 1 Componentes de un Sistema electrónico

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.5 Sistemas de control

Es la conexión de elementos y procesos capaces de poder dirigir a un objetivo deseado, además de corregir posibles errores provocados por agentes externos gracias a la acción de poder manipular las variables de control que intervienen en un proceso.

Para realizar un sistema de control eficiente es necesario conocer los siguientes términos:

Planta: Se considera a un equipo o partes de una máquina a la que deseamos implementar un tipo de control determinado.

Proceso: Es el desarrollo de un conjunto de operaciones lógicas que pueden ser controladas y que conducen a un resultado determinado.

Sistema: Se define como la conexión de componentes que actúan en conjunto para cumplir un propósito deseado.

Perturbación: Son señales de error internas o externas que se generan en el sistema y que pueden afectar el valor de variable de salida.

La figura 4-1 muestra la ilustración de un sistema de control.

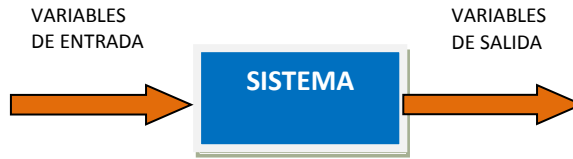


Figura 4 - 1 Esquema de un sistema
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.5.1 Sistema de control de lazo abierto

Es aquel sistema en el que la salida de un proceso es independiente de las condiciones de la variable de entrada, como se puede observar en la figura 5-1.

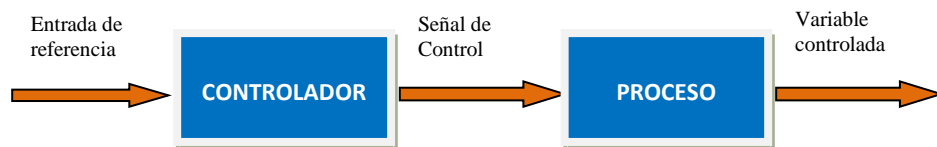


Figura 5 - 1 Diagrama de un sistema de control de lazo abierto
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.5.2 Sistema de control de lazo cerrado

Es aquel sistema en el que la salida es retroalimentada para ser comparada con valores de la entrada, siendo el controlador el encargado de reducir la señal de error producida, son considerados en la actualidad sistemas que ofrecen mayor confiabilidad y estabilidad, este sistema se puede observar en la figura 6-1 el diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.

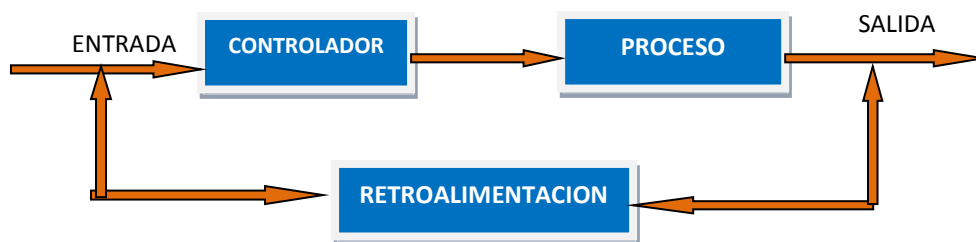


Figura 6 - 1 Diagrama de un sistema de control de lazo cerrado
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.6 Automatización Industrial

Su origen proviene de la palabra autómatas que consistía en accionar un mecanismo en una máquina mediante una fuente de energía instalada, de modo que pueda realizar procesos industriales imitando al ser humano, minimizando la mano de obra y aumentando la producción.

Tiene su nacimiento a partir de la Revolución Industrial a principios del siglo XX, donde se conoce los primeros autómatas como la máquina de vapor, el ferrocarril, maquinas textiles, una hiladora multi-bobina, además de surgir la producción en Serie técnica que consistía en simplificar tareas complejas en varias sencillas.

(Crespo, 2011, <https://automatizacionindustrial.wordpress.com/2011/02/09/queeslaautomatizacionindustrial/>)

Es por ello que el hombre desde el descubrimiento de la electricidad y la electrónica ha desarrollado sistemas cada vez más complejos capaces de facilitar las tareas a nivel industrial, el avance de la automatización se puede observar en la figura 7-1.



Figura 7 - 1 Automatización Industrial

Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/DT93f0sivnM/hqdefault.jpg>

1.6.1 Definición

Es una ciencia que utiliza diversas tecnologías y equipos para lograr controlar y monitorear una máquina de modo que pueda funcionar de forma automática, minimizando el tiempo de proceso y la intervención humana.

Los procedimientos inteligentes son llevados a cabo mediante computadores cuya lógica se encuentra basada en modelos matemáticos, debido a esto pueden procesar de una manera rápida y eficiente la información como consecuencia realizando un mecanismo.

1.6.2 Objetivos de la automatización

Los objetivos de la automatización se describen a continuación: (Canto, 2006, p. 7).

- Reducir la intervención humana, mediante el desarrollo de operaciones que son difíciles de poder ser contraladas intelectual o manualmente.
- Incrementar la seguridad para el personal, minimizando trabajos forzados y mejorando las condiciones del área de trabajo.

- Reducir la escala de desperdicio de productos.
- Simplificar el mantenimiento, de manera que el operario puede enfrentar problemas referentes a la actividad del proceso sin necesidad de contar con grandes conocimientos.
- Integrar la gestión y producción de la empresa.
- Generar nuevos e interesantes proyectos que mejoren la productividad.

1.7 Relé lógico programable (LOGO)

El Relé Lógico Programable (LOGO) es un módulo inteligente, que permite la solución de aplicaciones cotidianas debido a que su tamaño es compacto y ofrece la ventaja de costo-beneficio, solucionando tareas de maniobra y control en instalaciones y edificios, así como en la construcción de máquinas y aparatos como por ejemplo: controles de puerta, bombas de agua, sistemas de riego, controles de invernaderos entre otros. (Tarco y Estrada, 2010, Pp. 16-63). La programación se la realiza de una manera sencilla con las teclas de función que presenta en la parte frontal, utilizando para ello el software (Logo Soft Comfort), el cual puede ser realizado en un computador y luego transferido al controlador por medio de un cable de datos a través de comunicación Ethernet, la programación se la realiza en un lenguaje gráfico de puertas lógicas (and, or, nand, nor), o ladder.

1.7.1 Descripción de LOGO

El Relé Lógico Programable Logo tiene incorporado los siguientes componentes:

(Logo! Siemens, 2014, http://media.automation24.com/manual/es/logo_system_manual_en-US_en-US.pdf).

- Unidad Central de procesamiento.
- Entradas y salidas digitales o analógicas.
- Fuente de Alimentación.
- Unidad de mando y visualización.
- Interfaz para módulos de ampliación.
- Interfaz para módulo de programación.
- Marcas digitales y analógicas.
- Temporizador.

1.7.2 LOGO Versión 8

Para el desarrollo de este trabajo de titulación se escogió el logo versión 8 que se muestra en la figura 8-1, tiene integrado una pantalla para la visualización de datos, incluye el modulo analógico AM2 RTD para control de temperatura, pudiendo colocar hasta 4 módulos de ampliación, además posee un software de programación sencillo y amigable.



Figura 8 - 1 Logo Versión 8
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

A continuación, en la tabla 2-1 se detallan las características generales de LOGO:

Tabla 2 - 1 Características generales del Logo Versión 8

ÍTEM	ESPECIFICACIÓN
Tensión de Alimentación	
Tensión de entrada	24 V DC
Rango admisible	10,8 a 28,8 V DC
Protección contra inversión de polaridad	Si
Corriente de entrada	10 A
Consumo de corriente	15 mA a 90 mA
Entradas digitales	
Cantidad	8
Número de entradas rápidas	4(I3,I4,I5,I6)
Tensión admisible continua	28,8 V DC
Entradas analógicas	
Cantidad	4 (I1=AI3, I2=AI4, I7=AI1, I8=AI2)
Rango	0 a 10 V DC
Tiempo de ciclo para generar valores analógicos	300 ms

Salidas digitales	
Cantidad	4
Tipo de salidas	Salidas a relé
Control de una entrada digital	Si
Frecuencia de conmutación	
Mecánica	10 Hz
Carga inductiva	0,5 Hz

Fuente: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf
Realizado por: Velasco, Deicy; 2017

1.7.3 Software de programación Logo Soft Comfort

Es el software que se utiliza para crear, gestionar y configurar las aplicaciones de Logo Versión 8, sus programas se pueden ejecutar a partir de Windows 95/98 y Windows NT 4.0, su programación se la puede realizar mediante lenguaje Ladder o diagrama de funciones.

Se puede visualizar en la figura 9-1 el entorno del software de programación Logo Soft Comfort.

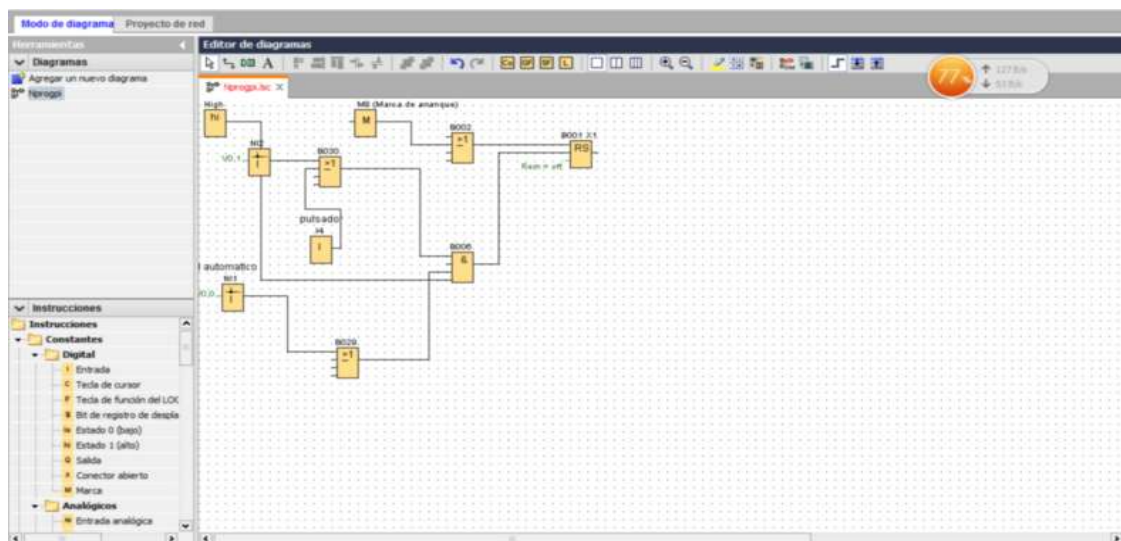


Figura 9 - 1 Entorno de Logo Soft Comfort
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.7.4 Lenguajes de programación de LOGO

Un lenguaje de programación es un conjunto de símbolos e instrucciones consecutivas que permiten al usuario desarrollar e ingresar un programa en la memoria del Logo y ejecutar acciones o algún proceso en un equipo.






Los lenguajes de programación más utilizados con Logo se mencionan a continuación:

1.7.4.1 Diagrama de contactos o LADDER

Es conocido también como diagrama de contactos o escalera, este lenguaje gráfico de programación se encuentra basado en esquemas eléctricos de control clásicos para ello se deben conocer las reglas de los circuitos y símbolos de los que consta este lenguaje los mismos que se encuentran normalizados según las normas NEMA.

Los elementos más comunes del lenguaje LADDER se presentan a continuación en la tabla 3-1.

Tabla 3 - 1 Símbolos de lenguaje LADDER

SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	Contacto NA	Cuando exista un uno lógico en este elemento se activará al instante.
	Contacto NC	Cuando exista un cero lógico en este elemento se activa al instante.
	Bobina NA	Se activa cuando en la combinación de su entrada a la izquierda da un uno lógico, representan a elementos de salida.
	Bobina NC	Se activa cuando exista un cero lógico en la combinación de su entrada a la izquierda.
	Bobina Set	Cuando se usa junto con la bobina Reset brinda una alta potencia en cuanto a la programación, debido a que una vez activada no puede ser desactivada sino solo con la bobina Reset permitiendo que pueda memorizar bits.

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5006#sthash.QI6MUPbA.dpuf>

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.7.4.2 Diagrama de Bloques de funciones

Es un lenguaje que se representa por medio de bloques lógicos del estilo (and, or, nand, nor) conectados de forma similar a un circuito eléctrico, los cuales realizan operaciones matemáticas para determinar una salida las cuales son representados por variables, evitando de cierta manera el uso de bobinas, tal como se puede visualizar en la figura 10-1.

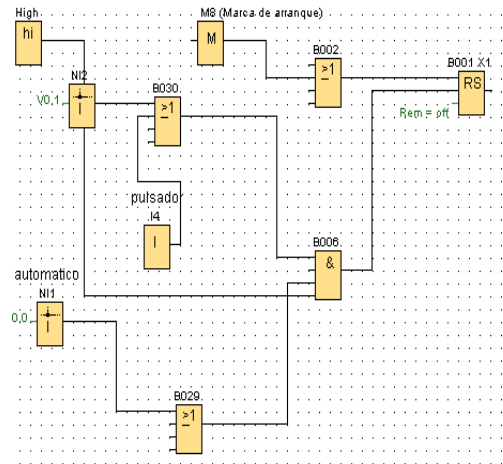


Figura 10 - 1 Esquema de Diagrama de bloques de Funciones
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.8 Módulo de ampliación AM2 RTD

Es un modo analógico que tiene dos entradas analógicas a cada uno de los cuales se puede conectar un sensor de temperatura PT100 o PT1000, estos sensores se pueden conectar a 2 o 3 hilos, se conectan al lado derecho de la unidad de base del logo través de un conector de bus integrado, mediante comunicación Ethernet.

(Micro Automation, 2012, <http://electricaeinoder.com.ve/site/wp-content/uploads/2013/02/LOGO.pdf>).

En la figura 11-1se puede visualizar el módulo de ampliación AM2 RTD.



Figura 11 - 1 Módulo de ampliación AM2 RTD
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Las principales características del módulo de ampliación AM2 RTD se detallan a continuación en la tabla 4-1.

Tabla 4 - 1 Características técnicas del módulo AM2 RTD

ITEM	ESPECIFICACIÓN
Tensión de entrada	12/24 V DC
Margen admisible	10,8 V DC a 28,8 V DC
Consumo de corriente	15 mA a 30 Ma
Consumo de potencia	0,4 W a 0,8 W
Protección	IP20
Entradas analógicas	2
Tipo	PT 100 o PT 1000
Conexión de sensores	2 hilos y 3 hilos
Rango de medición	-50°C a 200°C
Intensidad de medición	PT100/ PT1000: 0,5 mA

Fuente: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.9 Fuente de alimentación

Es una fuente de energía conmutada que entrega la tensión necesaria para el funcionamiento del controlador, elementos eléctricos, electrónicos y actuadores. Se puede observar la fuente de alimentación utilizada en este trabajo en la figura 12-1.



Figura 12 - 1 Fuente de alimentación

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Además, en la tabla a continuación se detalla las especificaciones de la fuente de alimentación.

Tabla 5 - 1 Especificaciones Técnicas de la Fuente de alimentación

ITEM	ESPECIFICACIÓN
Datos de entrada	
Tensión de entrada	100 V AC a 240 V AC
Rango admisible	85 V AC a 264 V AC
Frecuencia de red admisible	47 Hz a 63 Hz
Compensación de fallos de tensión	40 ms (a 187 V AC)
Corriente de entrada	0,70 A a 0,35 A
Extracorrente de conexión (25°C)	<15 A
Protección del dispositivo	Interna
Interruptor automático (IEC 898) recomendado en el cable de alimentación	>= 16 A característica B >= 10 A característica C
Datos de salida	
Tensión de salida Tolerancia Total Rango de ajuste Ondulación residual	24 V DC +3% 22,2 V DC a 26,4 V DC <200/300 mVpp
Intensidad de salida Limitación de sobreintensidad	1,3 A 2,0 A
Eficiencia	>82%
Grado de protección	IP 20
Rango de temperatura ambiente	-20 °C a +55°C
Dimensiones (AnchoxAlturaxProfundidad)	54x80x55 mm
Peso	Aprox. 0,2 kg

Fuente: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.10 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Es el instrumento interactivo que permite realizar una tarea de una forma amigable entre el hombre y una máquina, en la que puede interactuar, manipular y controlar un proceso determinado.

Se cuentan con dispositivos que permiten llevar las señales requeridas por un proceso al HMI estos pueden ser: controladores, tarjetas de entrada salida y RTU (Unidades remotas de I/O) donde el lenguaje de comunicación utilizado por estos elementos debe ser entendible para el HMI.

(Saco, 2005, <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>)

En la figura 13-1 presentamos los componentes y la estructura de un HMI.

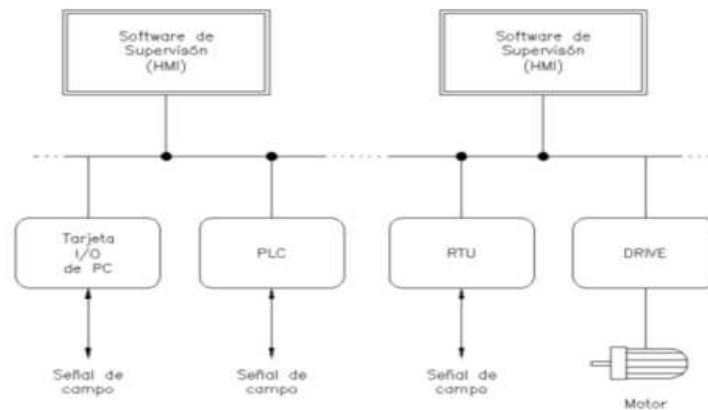


Figura 13 - 1 Estructura de un HMI

Fuente: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>

1.10.1 Pantalla KTP 700

La pantalla HMI, Interfaz Hombre-Máquina que se puede observar en la figura 14-1, es la que se utilizará para visualizar la interfaz amigable del proceso en este trabajo de titulación.



Figura 14 - 1 Pantalla HMI KTP 700

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la tabla 6-1 se puede visualizar las especificaciones de la HMI (Interfaz Hombre-Máquina) utilizada.

Tabla 6 - 1 Especificación Pantalla KTP 700

Especificación		Descripción
Datos de la pantalla	Tipo de display	Pantalla TFT panorámica, retroiluminación LED
	Tamaño de pantalla	7 pulgadas TFT
	Anchura del display	154,1 mm
	Altura del display	85,9 mm
	Número de colores	65536
	Retroiluminación variable	Si
	Numero de ranuras	8
	Tipo de pantalla táctil	Si
	Anchura de montaje	197 mm
	Altura de montaje	141 mm
	Profundidad de montaje	39 mm
Interfaz	Numero de puertos	2
	Tipo de puertos	USB, Ethernet
	Protocolos	Profinet
Software configuración de	TIA Portal	Si; vía Wincc Basic (TIA Portal) integrado.
	TIA Portal	Si; vía Wincc Basic (TIA Portal) integrado.
Eléctrico	Tensión de alimentación	24 Vdc
	Rango de tensión admisible	19,2 a 28,8 Vdc
	Corriente de consumo	230 mA
	Consumo de potencia	5,5 W
	Salida acústica	Vibrador
Ambiente	Temperatura de trabajo mínimo	0°C
	Temperatura de trabajo máximo	50°C
	Índice de protección	IP65
Memoria	Tamaño de memoria para el usuario	10 MB

Fuente: <http://www.automation24.es/sistemas-de-control/panel-hmi-siemens-ktp700-basic-pn-6av2123-2gb03-0ax0-i102-1729-0.htm>

Elaborado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.10.2 Comunicación

Las pantallas interfaz Hombre Maquina (HMI), KTP 700 posee dos puertos de comunicación USB y Ethernet que pueden ser elegidos dependiendo de la necesidad y la red requerida. Para establecer la comunicación entre el LOGO y la pantalla HMI se utilizará la comunicación Ethernet.

1.10.3 Software TIA Portal

La programación del HMI KTP 700, se realizó utilizando el software TIA Portal, como se puede apreciar en la figura 15-1.

Es un software gratuito, interactivo, eficiente y fácil de utilizar por lo que posee un nivel de versatilidad alto. Permite la creación de pantallas amigables según el diseño que se quiera implementar, configurar la red de comunicación, monitorear y simular la aplicación creada aun si no esté conectada la pantalla HMI.

(Molina,2009,http://campusabierto.es/enlinea/pluginfile.php/88/mod_resource/content/1/S7-1200_Paso_a_Paso_v1.0.pdf)

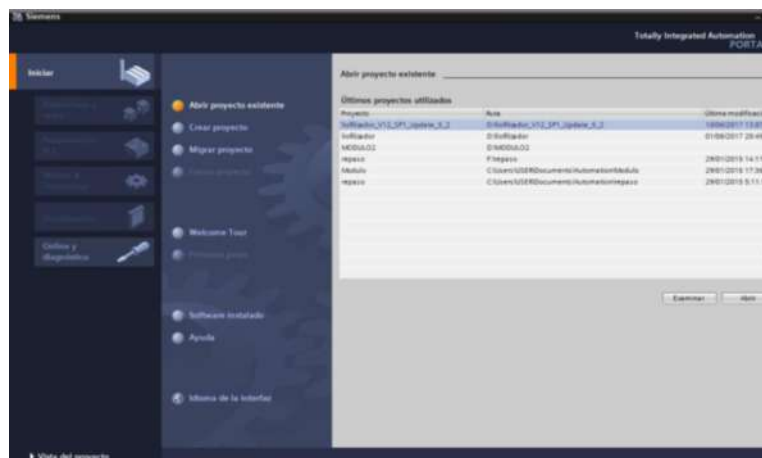


Figura 15 - 1 Software de Programación TIA Portal
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

El TIA Portal ofrece las siguientes ventajas:

- Los programas se elaboran en la computadora mediante “drag and drop” (arrastrar y colocar).
- La carga de datos en los dispositivos se efectúa de manera inmediata.
- El diagnóstico y configuración se simboliza por medios gráficos.
- Se puede manejar de manera independiente los datos de configuración y visualización.
- Es posible gestionar los datos de forma conjunta.

1.11 Sensores

Los sensores en automatización son dispositivos capaces de recibir información de magnitudes físicas del ambiente como por ejemplo temperatura, presión, fuerza, humedad, distancia entre otros y transformar a señales eléctricas de voltaje o corriente que pueden ser procesados y controlados por el ser humano.

Los hay de diversa naturaleza los mismos que pueden ser elegidos de acuerdo a la variable que se quiera detectar y controlar, su construcción está basada en elementos pasivos, es decir de elementos en los que en función de alguna variable varía su magnitud.

1.11.1 Sensor de Temperatura

Son elementos diseñados para interpretar la temperatura que proviene de un medio cualquiera, y transformarla en señales eléctricas que puedan ser procesados por un dispositivo controlador.

En el mercado existen una variedad de sensores de temperatura que pueden ser elegidos de acuerdo al tipo de necesidad, como por ejemplo la temperatura máxima a la que debe funcionar, precisión costo, etc.

1.11.1.1 PT100 y PT1000

Son elementos fabricados de platino que poseen un amplio rango al medir temperaturas, posee una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0°C es decir varía la resistencia conforme al cambio de temperatura, son altamente lineales, confiables y exactos.

En la figura 16-1 se puede visualizar el tipo de sensor PT100 que se utilizara en este trabajo.



Figura 16 - 1 Sensor de temperatura PT100
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

A continuación, en la tabla 7-1 se detallan las especificaciones del sensor de temperatura PT100 que se empleará en este trabajo:

Tabla 7 - 1 Características generales del sensor PT100

Ítem	Descripción
Tipo de Sensor	PT100
Rango de medición	-200°C a 850°C
Linealidad	Alta
Sensibilidad	Alta

Reproductibilidad	Alta
Tiempo de respuesta	Menor a 200 ms
Exactitud	Alta
Voltaje de salida	Orden de los mV
Resolución	0,01°C
Conexión	3 hilos

Fuente: http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb_08_II/pb0811t.pdf

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.12 Sensor de presión de vacío

Es un dispositivo que puede medir valores inferiores a la presión atmosférica, también se denominan vacuómetros, poseen amplios rangos de medida, son estables y tienen poca dependencia de la temperatura. Este valor de presión al vacío puede ser generado por una bomba, caldera, ventilador u otro medio. El vacuómetro utilizado en el desarrollo de este trabajo se puede visualizar en la figura 17-1.

Las características más importantes de los sensores de vacío se mencionan a continuación:

- Proporcionan resultados exactos y confiables
- Son estables en el tiempo
- Garantizan seguridad en el proceso
- Su uso es de manera rápida y sencilla
- Poseen un reducido mantenimiento

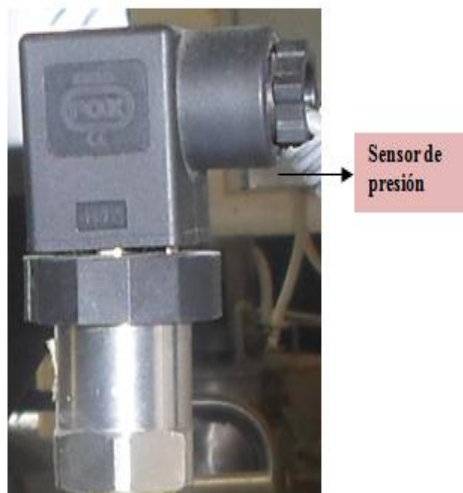


Figura 17 - 1 Sensor de Presión de Vacío

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

El vacuómetro instalado tiene las siguientes características que se detallan a continuación en la tabla 8-1.

Tabla 8 - 1 Características del vacuómetro

Ítem	Especificación
Tipo de sensor	Vacuómetro
Modelo	SA1060 GADP
Voltaje de alimentación	10-30 V DC
Estabilidad	Alta
Rango de medición de Presión	-1 a 6 Bar
Salida analógica	4-20 mA
Corriente de funcionamiento de medición	Max. 150 mA
Tipo de protección	IP54
Peso	98 gramos

Fuente: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/sensor-pirani-vsp62.htm>

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.13 Actuadores

Son dispositivos capaces de generar una fuerza para realizar algún tipo de movimiento circular o lineal en otros dispositivos que conforman un proceso según las órdenes recibidas de un controlador o regulador.

Dependiendo del origen de la fuerza los actuadores pueden ser: (Gil, 2011, Pp. 2-79)

- Eléctricos: Son el tipo de actuadores que utilizan la energía eléctrica para realizar una tarea específica.
- Electrónicos: Su funcionamiento está basado en mecanismos electrónicos y al igual que los actuadores eléctricos utilizan la energía eléctrica como fuente de poder.
- Hidráulicos: La fuente de energía utilizada para realizar una acción son aceites minerales u otros líquidos.
- Neumáticos: Realizan un trabajo tomando como fuente de energía el aire u otro gas a presión comprendida entre 5 a 10 bares.

1.13.1 Motor eléctrico

Los motores son máquinas eléctricas que realizan un trabajo mecánico determinado, debido a la generación de un campo magnético producido por sus bobinados, están formados por componentes como rotor y estator. En el mercado existen variedad de motores de corriente continua y alterna, cuya elección depende de la aplicación que se requiera, costo, mantenimiento etc.

1.13.2 Bomba de vacío

Las bombas de vacío son máquinas encargadas de extraer el aire contenido en un volumen herméticamente cerrado, el movimiento de sus paletas es generada por el accionamiento de un

motor lo que caracteriza su velocidad de bombeo, trabajan en rangos óptimos de presiones bajas.

Consta de un cilindro excéntrico y paletas rotativas, cuando se genera movimiento en las paletas, el aire que existe en el interior del recipiente ingresa al cilindro, y luego mediante el empuje de las paletas cierto aire sale al exterior.

1.13.2.1 Componentes de una Bomba de vacío

Los componentes de una bomba de vacío se describen a continuación:

(Quiminet, 2014, <https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-de-una-bomba-de-vacio-y-sus-caracteristicas-62213.htm>).

Rotor: Se encarga de iniciar el movimiento de las paletas rotatorias cuando esta gira por acción del motor.

Estator: Proporciona una presión uniforme de manera que las paletas rotatorias se deslicen sobre sus paredes permitiendo la entrada de aire o gas.

Puerta al vacío: Es aquella puerta que permite el ingreso y retención de aire o algún tipo de gas en el interior del recipiente.

Recipiente: Es el lugar donde se aloja el aire extraído de un determinado volumen.

Válvula de descarga: Ayuda a que el flujo de aire que ingresa tome la dirección hacia la puerta de descarga.

Puerta de descarga: Permite la salida de aire contenido entre las paredes del rotor y estator.

Aceite: Es un elemento imprescindible que debe contener la bomba, permite que la salida del aire se pueda dar de manera óptima sin que esta tienda a regresar al recipiente.

1.13.3 Resistencia eléctrica de calentamiento

Tienen la capacidad de transformar energía eléctrica en calor, el aumento o disminución de este depende de la cantidad de tiempo que esté conectada.

Su construcción está hecha de alambres a base de níquel y cromo, porque es un material resistente e inoxidable y soporta altas temperaturas hasta los 1000°C.

El calentamiento por resistencias eléctricas se puede dar de dos formas:

Directo: Es cuando la corriente pasa sobre la superficie de un objeto, adecuado para piezas metálicas, uniformes y de sección pequeña.

Indirecto: Se realiza cuando la superficie se calienta por convección o radiación y es el tipo de calentamiento más utilizado.

1.13.3.1 Clasificación de las resistencias eléctricas

Las resistencias de calentamiento se clasifican de la siguiente manera:

- Metálicas
- No metálicas
- Tubos radiantes
- Resistencias blindadas (Figura 18-1)

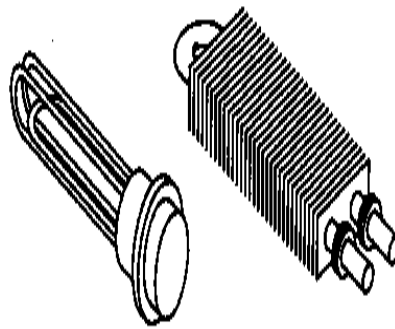


Figura 18 - 1 Resistencias blindadas

Fuente: <http://www6.uniovi.es>

Se describe a continuación la construcción y aplicaciones de las resistencias blindadas.

Resistencias blindadas

Son resistencias turbulares, construidas de material níquel-cromo, siendo adecuados para aplicaciones donde sea necesario el calentamiento de sólidos, líquidos y aire, su alta calidad permite que estos materiales sean resistentes a la corrosión, la vibración y los impactos.

Tiene un amplio rango de aplicaciones entre las que se pueden mencionar:

- Calentamiento de líquidos como agua, aceites, petróleo.
- Calentamiento de aire, en convección forzada y natural.
- Hornos industriales de tratamientos térmicos.
- Máquinas para el embalaje y el envasado.
- Saunas, mostradores calientes y cortinas de aire.

La resistencia utilizada en este trabajo permite el intercambio de calor a 1100W y 110 voltios.

1.14 Elementos eléctricos

1.14.1 Contactor eléctrico



Figura 19 - 1 Contactor eléctrico

Elaborado por: VELASCO, Deicy, 2017

Es un dispositivo electromecánico que permite el paso o no de corriente eléctrica en un circuito una vez energizada sus bobinas, consta de contactos que puede abiertos o cerrados, su funcionamiento es parecido a la de un interruptor. En la figura 19-1 se muestra un contactor eléctrico de 9 A.

1.14.1.1 Elementos de un contactor

Los elementos principales de un contactor se mencionan a continuación:

Contactos principales: Son usados para permitir o interrumpir la corriente al circuito de potencia o fuerza, 1-2,3-4,5-6.

Contactos auxiliares: Soportan menos intensidad que los contactos auxiliares por lo que se usan en los circuitos de mando o maniobra, 11-12 (NC), 13-14 (NA), 15-16 (Contacto de apertura temporizada), 17-18 (Contacto de cierre temporizado).

Circuito electromagnético: Cuando circula corriente eléctrica genera un campo electromagnético lo que permite la apertura o cierre de los contactos de los circuitos.

1.14.1.2 Elección de un contactor

Al momento de elegir un contactor se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Tensión de funcionamiento y frecuencia de la bobina puede ser continua o alterna.
- Consumo de corriente del actuador.
- Número de veces que se va abrir y cerrar el circuito electromagnético.
- Condiciones de la red de trabajo, monofásica o trifásica.
- Uso de catálogos, donde los fabricantes especifican los modelos.

1.14.2 Breaker eléctrico

Es un dispositivo utilizado para proteger a los equipos eléctricos y electrónicos de cortocircuitos al tener la capacidad de interrumpir la corriente cuando esta excede de un determinado valor abriendo un circuito automáticamente (Fierros, 2015, <http://fierros.com.co/revista/ediciones-2011/edicion15/iluminacion-y-electricos-10/dispositivos-de-proteccion-electricos-uso-y-caracteristicas.htm>).

En la figura 20-1 se puede observar el breaker eléctrico implementado en el tablero de control.



Figura 20 - 1 Breaker eléctrico
Elaborado por: VELASCO, Deicy, 2017

Según las características de la corriente que protegen existen tres tipos de breaker eléctricos que son:

- Breaker Térmico.
- Breaker Magnético.
- Breaker Termomagnético.

Los parámetros más importantes que caracterizan a un breaker eléctrico se mencionan a continuación:

Calibre o corriente nominal: Se denomina a la corriente de trabajo que soporta el dispositivo, comprendidas entre los rangos de 5 a 64 amperios.

Tensión de trabajo: Se refiere al voltaje de trabajo, pueden ser monofásicos o trifásicos.

Poder de corte: Es el valor de corriente máxima que el dispositivo tiene capacidad de interrumpir para evitar cortocircuitos.

Poder de cierre: Es la corriente máxima que puede circular por el dispositivo en el momento en que se cierre, evitando que se dañe.

Numero de polos: Se refiere al número de cables que se pueden conectar al breaker.

1.15 Guardamotor

Es el encargado de proteger los circuitos eléctricos de los motores de sobrecargas, mediante un disparo térmico o salto, que permite interrumpir la corriente cuando esta excede del valor que puede consumir el motor.

Los guardamotores se clasifican según sus características de disparo en:

- **Térmicos:** Posee la capacidad de ajuste y evita la sobrecarga de motores.
- **Magnéticos:** Es posible setear el rango de corriente máxima que se desee que pase por el motor, evitando cortocircuitos.
- **Magnetotérmicos:** Es la combinación de térmico y magnético, ofreciendo mejor protección a la instalación al poseer un relé de sobrecarga.

El guardamotor utilizado en este trabajo se muestra en la Figura 21-1.



Figura 21 - 1 Guardamotor
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

1.16 Elementos de maniobra

Tabla 9 - 1 Definición de los elementos de maniobra

ELEMENTOS DE MANIOBRA		
Nombre	Definición	Elemento
PULSADOR	Su función es permitir el flujo de corriente eléctrica cuando se lo presiona activando algún elemento o proceso, vuelve a su posición de reposo una vez que se deja de presionar.	
LUCES DE SEÑALIZACIÓN	Son indicadores de mensajes de las diferentes acciones que se realizan, como por ejemplo el color verde que indica el arranque y control del proceso y el color rojo que significa paro o peligro.	
SELECTOR	Es un dispositivo que puede enviar señales de corriente mediante la apertura o cierre de sus contactos normalmente abiertos o cerrados, para realizar acciones en modo manual o automático en un circuito eléctrico, su funcionamiento es parecido a la de un interruptor. En la figura 29-1 se puede observar el selector utilizado.	
CONDUCTORES	Son materiales que permiten transmitir carga eléctrica a los dispositivos, es importante que se dimensionen de manera adecuada, para evitar que lleguen intensidades elevadas evitando alteraciones.	

Fuente: VELASCO, Deicy, 2017

Elaborado por: VELASCO, Deicy, 2017

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción (ETAPAS DE DISEÑO)

En este capítulo se analiza y describe los pasos que se siguieron para realizar el diseño e implementación del sistema de control mediante una interfaz HMI para el Liofilizador de alimentos, en el mismo que se detallan procedimientos, etapas, parámetros del proceso, diagramas de conexión entre otros. En el grafico 1-2 se describe las etapas realizadas para el diseño e implementación del Liofilizador de alimentos.

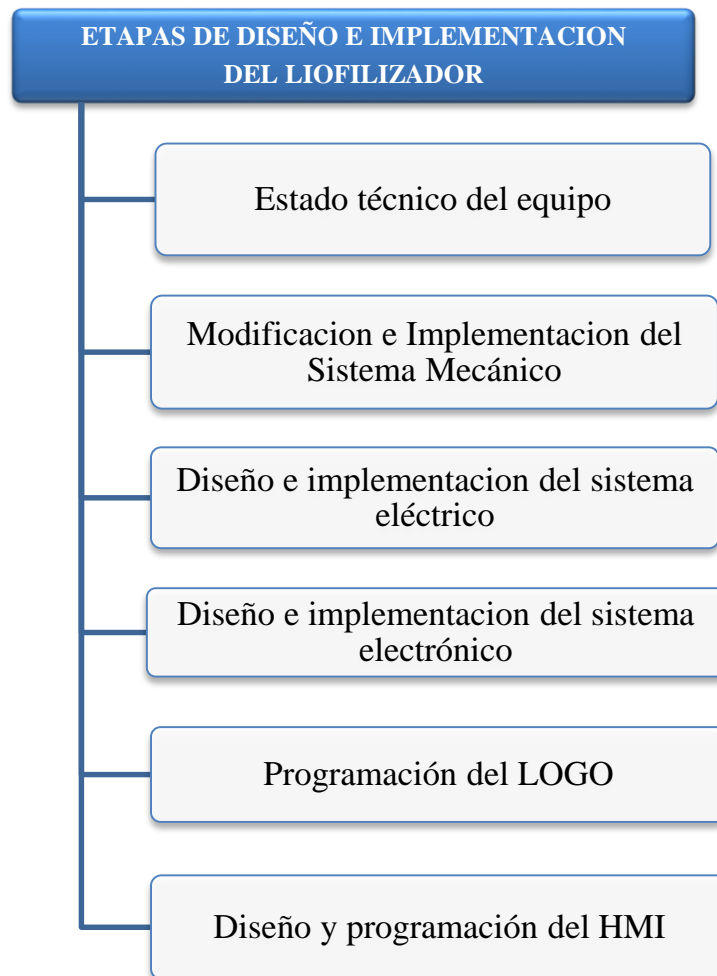


Gráfico 1 - 2 Etapas del diseño e implementación del Liofilizador de alimentos
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Para proceder al diseño e implementación de los sistemas eléctrico, electrónico y mecánico de este trabajo de titulación se utilizó el método heurístico el cual consiste en explorar alternativas para llegar a una solución deseada, para lo cual se realizaron cinco pasos, como primero se

identificó y presentó el problema, se plantearon posibles soluciones, estas se aplicaron y por último se realizaron pruebas para comprobar los efectos que genera el sistema con dichas soluciones.

2.2 Etapas del diseño e implementación del Liofilizador de alimentos

Para el funcionamiento correcto de los sistemas eléctrico, electrónico, mecánico, control y monitoreo, teniendo en cuenta los parámetros que requiere el sistema, se realizaron diferentes etapas las mismas que consisten en pasos que se realizaron para que el trabajo se desarrolle de manera eficiente cumpliendo los objetivos y necesidades del proceso.

En el grafico 2-2 se describe cada etapa del proceso, los actuadores que intervienen y los respectivos parámetros (temperatura y presión) que se debe establecer para la liofilización de los productos.

Calentamiento	Vacío	Ubicación	Liofilización	Salida
<ul style="list-style-type: none"> • Se activa la resistencia eléctrica. • El Pt100 sensa la temperatura. • El HMI muestra los parametros y permite su modificación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se activa la bomba hasta extraer el aire 45 s. • El vacuometro sensa la presión. • Al desactivar la bomba se pone en funcionamiento la válvula check. 	<ul style="list-style-type: none"> • Activa la alarma 2s, indicando que ha llegado a la temperatura ingresada permitiendo abrir la compuerta y ubicar el producto en las bandejas, para luego poder realizar la liofilización. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inicia la cuenta del tiempo que se ingresó, y en todo el proceso se registran la temperatura y la presión activando o apagando la resistencia eléctrica o la bomba segun sea el alcance de la temperatura o presión maxima o minima. • La bomba se activará cada 3 minutos 3s. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se activará la alarma 2s con el objetivo de indicar que el proceso finalizo y se puede retirar todo el material contenido en el interior de la camara de secado.

Gráfico 2 - 2 Etapas, parámetros y actuadores que intervienen en el proceso de liofilización
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.3 Algoritmo de control de Temperatura

En la figura 1-2 se muestra el algoritmo utilizado para llevar a cabo el control de la temperatura del sistema, una vez que el valor es ingresado desde la pantalla HMI, el control se lleva a cabo activando o desactivando la resistencia.

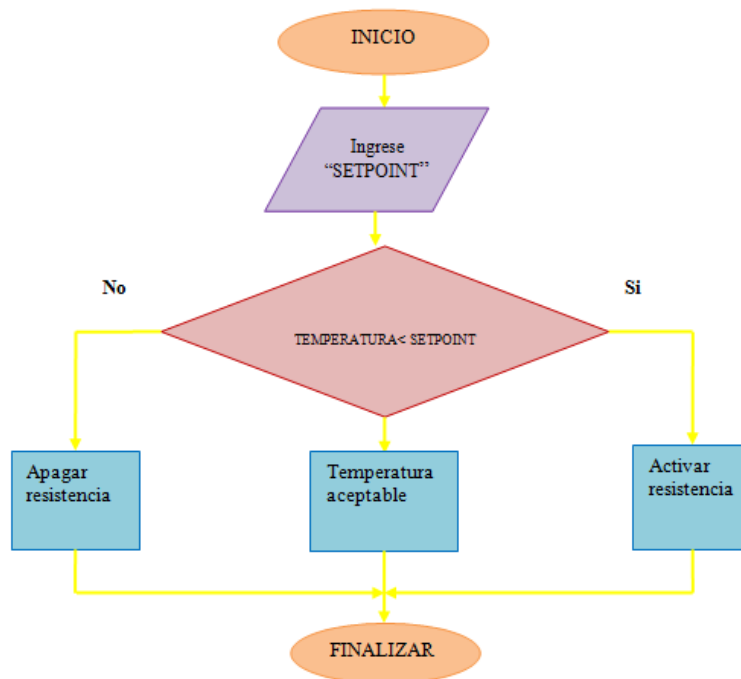


Figura 1 - 2 Diagrama de flujo del control de temperatura
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.4 Algoritmo de control de presión para encender y apagar la bomba

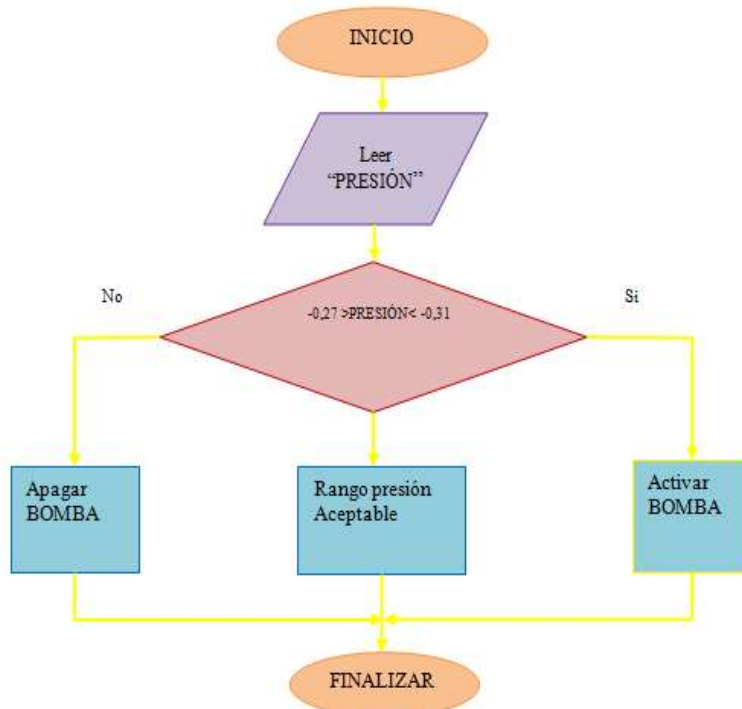


Figura 2 - 2 Diagrama de flujo del control de presión
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.5 Modelo del Sistema de control para el Liofilizador

La figura 3-2 indica el esquema en lazo cerrado utilizado para diseñar e implementar el sistema de control. Las señales de entrada son la temperatura y la presión que son proporcionadas por el sensor PT100 y el vacuómetro. El sistema recibe información a través de un “SETPOINT” para el valor de temperatura, por otra parte, la presión dispone de un rango de funcionamiento determinado.

El relé lógico programable es el controlador del sistema ya que recibe la información de los sensores, la interpreta y procesa para activar/desactivar la resistencia eléctrica o la bomba estabilizando los parámetros requeridos, teniendo en cuenta que las señales de los sensores se retroalimentan para de esta manera controlar los actuadores, evitando fallas en las salidas deseadas del liofilizador.

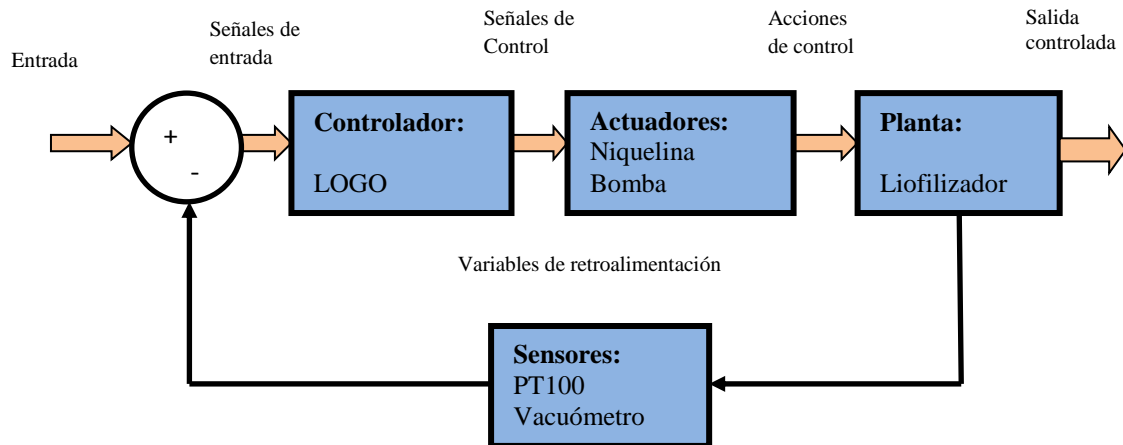


Figura 3 - 2 Esquema de bloques del sistema de control para el Liofilizador
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.6 Estado Técnico del Liofilizador

Se realizó un análisis del estado y condiciones en las que se encuentra el Liofilizador para determinar las adecuaciones que se debe realizar. Se deben seguir los siguientes pasos:

Determinar el equipo a ser evaluado

Liofilizador tipo bandejas para el secado de la remolacha azucarera

Lista de los aspectos a ser evaluados

- 1 Acero inoxidable.
- 2 Cámara de secado.

- 3 Motor eléctrico 1Ø 0,5 Hp.
- 4 Bomba mecánica 0,5 Hp.
- 5 Contactor 1.
- 6 Contactor 2.
- 7 Pulsador 1.
- 8 Pulsador 2.
- 9 Resistencia eléctrica.
- 10 Manómetro.
- 11 Termostato.
- 12 Red eléctrica 110 Voltios.
- 13 Sistema de vacío.
- 14 Instalación eléctrica.
- 15 Válvula de alivio de presión.
- 16 Válvula de desfogue de agua.

Calificar los aspectos

El aspecto debe ser calificado como bueno, regular, malo y muy malo, según se considere el estado. A continuación, en la tabla 1-2 se muestra la calificación asignada a cada aspecto.

Tabla 1 - 2 Calificación de aspectos

ASPECTO	CALIFICACIÓN			
	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
Acero inoxidable		X		
Cámara de secado		X		
Motor eléctrico 1Ø, 0,5 Hp	X			
Bomba mecánica 1 Hp			X	
Contactor 1	X			
Contactor 2		X		
Pulsador 1	X			
Pulsador 2		X		
Resistencia eléctrica	X			
Manómetro	X			
Termostato				X
Red eléctrica 110 V	X			
Sistema de vacío		X		
Instalación eléctrica			X	
Válvula de alivio de presión	X			
Válvula de desfogue de agua	X			

Fuente: VITERY, Marco, 2003

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la tabla 2-2 se puede visualizar los valores que se asignan según las calificaciones dadas a los diferentes aspectos.

Tabla 2 - 2 Asignación de Valores a Calificaciones

Calificación	Valor
Bueno	1
Regular	0,80
Malo	0,60
Muy malo	0,40

Fuente: VITERY, Marco, 2003
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Con los datos obtenidos realizamos la siguiente operación que se muestra en la tabla 3-2

Tabla 3 - 2 Aspectos Evaluados

Calificación	Número de Calificaciones	Valor asignado	(Número de calificaciones* Valor asignado)
Bueno	8	1	8
Regular	5	0,80	4
Malo	2	0,60	1,2
Muy malo	1	0,40	0,4

Fuente: VITERY, Marco, 2003
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Si sumamos nos da un total de: 13,6

Este valor lo dividimos por el número de aspectos que se están evaluando y luego multiplicamos por 100.

$$\frac{13,6}{16} = 0,85$$

$$0,85 * 100 = 85\%$$

Para tomar una decisión de acuerdo al resultado obtenido nos debemos basar en el Estado de servicio de mantenimiento que se especifica en la tabla 4-2.

Tabla 4 - 2 Selección del Estado de Servicio de mantenimiento

ESTADO DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO		
Bueno	90 – 100	Revisión
Regular	80 – 89	Reparación pequeña
Malo	70 – 79	Reparación media
Muy malo	< 69	Reparación general

Fuente: VITERY, Marco, 2003

Realizado por: Velasco, Deicy; 2017

El estado técnico del equipo es Regular por lo que se deberá realizar una reparación pequeña.

2.7 Modificación a realizar en el Sistema Mecánico del equipo

Para mejorar el proceso que realiza el Liofilizador de alimentos se realizó una reparación pequeña al sistema mecánico, modificando algunos de sus componentes, consiguiendo obtener un sistema de control y monitoreo confiable y eficiente. Los componentes a modificar se han diseñado en el software SOLIDWORKS.

Lista de componentes a modificarse

- Tubería con válvula check.
- Resistencia eléctrica.
- Acople de bomba monofásica con la tubería y válvula check.

2.7.1 Diseño de componentes modificados

2.7.1.1 Tubería con válvula check

La tubería fue implementada con la finalidad de impedir el reingreso de aire a la cámara cuando se apague la bomba, está construida de acero inoxidable de ½ pulgada, en forma de L cuya longitud es de 20cmx15cm, dicha tubería está conectada directamente a la parte inferior del equipo debido a la facilidad de succión de aire. En la figura 4-2 se muestra el diseño en SOLIDWORKS de la tubería con válvula check para la bomba.

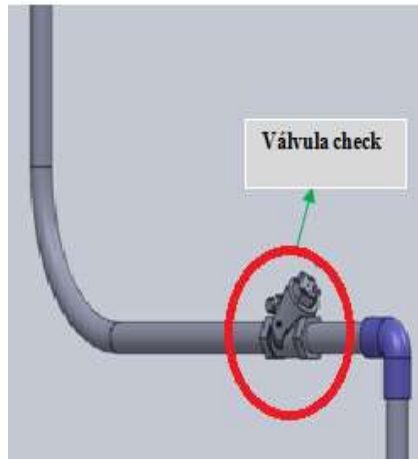


Figura 4 - 2 Tubería con válvula check
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.7.1.2 Resistencia

Se instaló una resistencia eléctrica con conexión a 110 V construida de hierro fundido, la elección del material se debe a la eficiencia de calentamiento que posee, cuyo diámetro es de 3 cm, fue colocada en la mitad del interior del Liofilizador con la finalidad de transmitir calor de manera uniforme en las bandejas en las que se disponen los productos. En la figura 5-2 se observa el diseño en SOLIDWORKS de la niquelina y sus medidas.

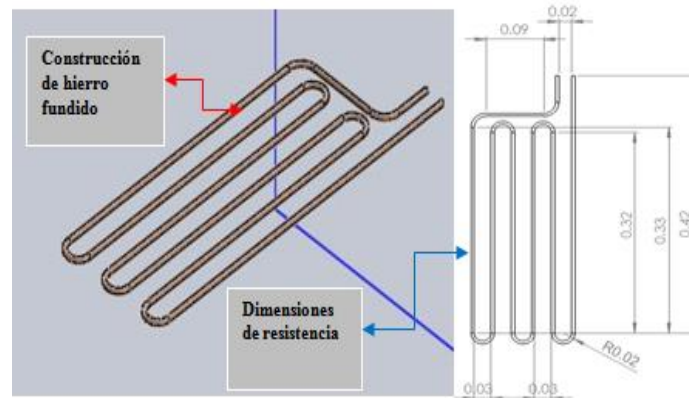


Figura 5 - 2 Diseño de la resistencia eléctrica
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.7.1.3 Acople de bomba monofásica con tubería y válvula check

Se instaló una bomba monofásica de paletas marca Tst de 1 Hp, la misma que se acopló a la tubería con válvula check, en la figura 6-2 se puede observar el diseño realizado en SOLIDWORKS del dispositivo.

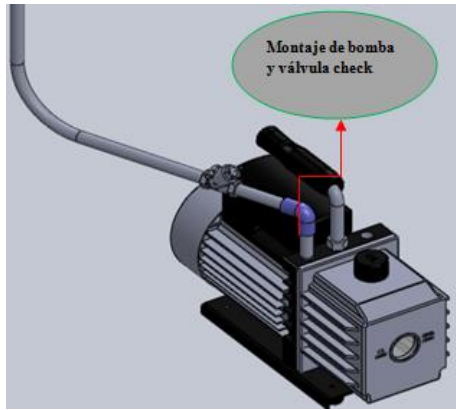


Figura 6 - 2 Bomba monofásica con tubería y válvula check
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.8 Implementación

Se realizó el montaje de la bomba, se colocó el cable de alimentación por un tubo corrugado para proteger del calor y de posibles accidentes, como se puede visualizar en la figura 7-2.



Figura 7 - 2 Colocación de bomba de 1 Hp
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Luego se procedió a realizar la instalación de la tubería para la bomba con el acople de una válvula check, como se muestra en la figura 8-2.



Figura 8 - 2 Tubería con válvula check para la bomba
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Luego de haber implementado el sistema de calor y vacío, se colocó una llave manual que se muestra en la figura 9-2 para el desfogue de agua como consecuencia de la humedad del alimento la misma que se adhiere en las paredes del equipo.



Figura 9 - 2 Llave para el desfogue de agua
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.9 Diseño e implementación del sistema eléctrico

2.9.1 Diseño del sistema eléctrico

2.9.1.1 Cálculo de protecciones para cargas

Para calcular los valores de las protecciones se utilizó el dimensionamiento por corriente, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1 - 2 Ecuación para corriente de protección

$$I_p = 1,25 * I_n$$

Dónde:

I_p = Corriente de protección

1,25= Constante de protección

I_n = Corriente nominal

LOGO

Datos

Voltaje de funcionamiento: 24 V

Potencia: 2,2 W

Cálculo de la Protección

$$I_{nominal} = \frac{P}{V}$$

$$I_{nominal} = \frac{2,2 W}{24V}$$

$$I_{nominal} = 0,09 A$$

$$I_p = 1.25 * I_{nominal}$$

$$I_p = 1.25 * 0,09A$$

$$I_p = 0,1125 A$$

Fuente de alimentación

Voltaje: 110V

Potencia: 77W

Cálculo de la Protección

$$I_{nominal} = \frac{77W}{110V}$$

$$I_{nominal} = 0,7 A$$

$$I_p = 1.25 * 0,7A$$

$$I_p = 0,875A$$

HMI

Voltaje: 24V

Potencia: 5,5W

Cálculo de la Protección

$$I_{nominal} = \frac{5,5W}{24V}$$

$$I_{nominal} = 0,22A$$

$$I_p = 1.25 * 0,22A$$

$$I_p = 0,275A$$

Resistencia eléctrica

Voltaje: 110V

Potencia: 1100W

Cálculo de la Protección

$$I_{nominal} = \frac{1100W}{110V}$$

$$I_{nominal} = 10A$$

$$I_p = 1.25 * 10A$$

$$I_p = 12,5A$$

Bomba

Voltaje: 110V

Potencia: 746W

Cálculo de la Protección

$$I_{nominal} = \frac{746W}{110V}$$

$$I_{nominal} = 6,78A$$

$$I_p = 1.25 * 6,78A$$

$$I_{nominal} = 8,475A$$

En la tabla 5-2 se muestra las protecciones que se usará en del tablero de control implementado.

Tabla 5 - 2 Valores de protecciones para los dispositivos

Equipo	Corriente de Protección	Cantidad	Corriente Total
LOGO	0,1125 A	1	0,1125 A
Fuente de alimentación	0,875 A	1	0,43 A

HMI	0,275 A	1	0,275 A
Resistencia eléctrica	12,5 A	1	12,5 A
Bomba	8,475 A	1	8,475 A
Corriente de Protección Total			22,2375 A

Realizado por: Velasco, Deicy; 2017

Para la protección de la red es necesario un breaker de 2 polos a 30A.

2.9.1.2 Cálculo de conductores

Para realizar el dimensionamiento de los conductores del sistema eléctrico del tablero de control, se debe calcular la caída de tensión para el circuito monofásico, tomando en cuenta que el conductor será el correcto cuando no supere el 5%. La caída de tensión para un circuito monofásico es la que se muestra en la ecuación:

Ecuación 2 - 2 Caída de tensión para un circuito monofásico

$$\Delta V = 2IREL$$

Donde:

Re= Resistencia específica del conductor

L= Longitud de la fuente hacia la carga

I= Corriente de la carga

En la tabla 6-2 se muestra las dimensiones y características de los conductores.

Tabla 6 - 2 Calibre de conductores eléctricos

CALIBRE	ÁREA SECCIONAL TRANSVERSAL	N. DE ALAMBRES	DIÁMET. NOMINAL CONDUCTOR	ESPESOR AISLAM. NOMINAL	DIÁMET. TOTAL APROX.	PESO TOTAL APROX.	RESIST. ELECTRICA CD A 20°C (1)	AMPACIDAD AL AIRE LIBRE A 30°C (2) AMPERES		
								60	75	90
18	0,82	1	1,02	0,76	2,54	0,9	21,03	-	-	-
16	1,31	1	1,29	0,76	2,81	1,9	13,20	-	-	18

14	2,08	1	1,63	0,76	3,15	2,7	8,28	20	20	25
12	3,31	1	2,05	0,76	3,57	3,9	5,21	25	25	30
10	5,26	1	2,59	0,76	4,11	5,8	3,28	30	35	40
8	8,37	1	3,26	1,14	5,54	9,8	2,06	40	60	55
6	13,3	1	4,12	1,52	7,16	15,8	1,30	55	65	75

Fuente: <https://iguerrero.files.wordpress.com/2009/05/kobrex-thw-vinikob-tabla.jpg>

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Caída de Tensión para un circuito monofásico

LOGO

Para calcular el calibre del conductor que se utilizará en el LOGO se tomaron en cuenta los siguientes datos:

Voltaje de funcionamiento= 24V

Corriente= 0,09A

Longitud= 2m=0,002Km

Se utilizó la ecuación 2-2 para realizar el cálculo de la caída de tensión.

Cable Número 16

La resistencia para el conductor #16 AWG es de $13,20 \frac{\Omega}{Km}$ como se muestra en la tabla 6-2.

Cálculo

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(0,09A) * 13,20 \frac{\Omega}{Km} * (0,002Km)$$

$$\Delta V = 0,047$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V * 100}{110} = \frac{0,047 * 100}{110} = 0,04\%$$

El conductor calculado es el correcto debido a que la caída de tensión es menor al 5%.

Fuente de alimentación

Voltaje de funcionamiento= 24V

Corriente= 0,7A

Longitud= 2m=0,002Km

Se utilizó la ecuación 2-2 para realizar el cálculo de la caída de tensión.

Cable Número 16

La resistencia para el conductor #16 AWG es de $13,20 \frac{\Omega}{Km}$ como se muestra en la tabla 6-2.

Cálculo

$$\Delta V = 2(0,7A) * 13,20 \frac{\Omega}{Km} * (0,002Km)$$

$$\Delta V = 0,036$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V * 100}{110} = \frac{0,036 * 100}{110} = 0,032\%$$

Para que el conductor calculado sea el correcto la caída de tensión debe ser menor al 5%.

HMI

Voltaje de funcionamiento= 24V

Corriente= 0,22A

Longitud= 2m=0,002Km

Se utilizó la ecuación 2-2 para realizar el cálculo de la caída de tensión.

Cable Número 16

La resistencia para el conductor #16 AWG es de $13,20 \frac{\Omega}{Km}$ como se muestra en la tabla 6-2.

Cálculo

$$\Delta V = 2(0,22A) * 13,20 \frac{\Omega}{Km} * (0,002Km)$$

$$\Delta V = 0,012$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V * 100}{110} = \frac{0,012 * 100}{110} = 0,011\%$$

Para que el conductor calculado sea el correcto la caída de tensión debe ser menor al 5%.

Resistencia eléctrica

Voltaje de funcionamiento= 110V

Corriente= 10A

Longitud= 3m=0,003Km

Se utilizó la ecuación 2-2 para realizar el cálculo de la caída de tensión.

Cable Número 10

La resistencia para el conductor #10 AWG es de $3,28 \frac{\Omega}{Km}$ como se muestra en la tabla 6-2.

Cálculo

$$\Delta V = 2(10A) * 3,28 \frac{\Omega}{Km} * (0,003Km)$$

$$\Delta V = 0,19$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V * 100}{110} = \frac{0,19 * 100}{110} = 0,17\%$$

Para que el conductor calculado sea el correcto la caída de tensión debe ser menor al 5%.

Bomba

Voltaje de funcionamiento= 110V

Corriente= 6,78A

Longitud= 3m=0,003Km

Se utilizó la ecuación 2-2 para realizar el cálculo de la caída de tensión.

Cable Número 16

La resistencia para el conductor #16 AWG es de $13,20 \frac{\Omega}{Km}$ como se muestra en la tabla 6-2.

Cálculo

$$\Delta V = 2(6,78A) * 13,20 \frac{\Omega}{Km} * (0,003Km)$$

$$\Delta V = 0,53$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V * 100}{110} = \frac{0,53 * 100}{110} = 0,48\%$$

Para que el conductor calculado sea el correcto la caída de tensión debe ser menor al 5%.

Sensor PT100

Voltaje de funcionamiento= 24Vcc

Corriente= 0,002A

Longitud= 3m=0,003Km

Se utilizó la ecuación 2-2 para realizar el cálculo de la caída de tensión.

Cable Número 18

La resistencia para el conductor #18 AWG es de $21,03 \frac{\Omega}{Km}$ como se muestra en la tabla 6-2.

Cálculo

$$\Delta V = 2(0,002A) * 21,03 \frac{\Omega}{Km} * (0,003Km)$$

$$\Delta V = 0,00025$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V * 100}{110} = \frac{0,00025 * 100}{110} = 0,00022\%$$

Para que el conductor calculado sea el correcto la caída de tensión debe ser menor al 5%.

Luz piloto

Voltaje de funcionamiento= 110V

Corriente= 0,03A

Longitud= 2m=0,002Km

Se utilizó la ecuación 2-2 para realizar el cálculo de la caída de tensión.

Cable Número 18

La resistencia para el conductor #18 AWG es de $21,03 \frac{\Omega}{Km}$ como se muestra en la tabla 6-2.

Cálculo

$$\Delta V = 2(0,03A) * 21,03 \frac{\Omega}{Km} * (0,002Km)$$

$$\Delta V = 0,0025$$

$$\Delta V = \frac{\Delta V * 100}{110} = \frac{0,0025 * 100}{110} = 0,0022\%$$

El número de cable utilizado para cada uno de los dispositivos se puede visualizar en tabla 7-2.

Tabla 7 - 2 Valores de Conductores

Dispositivo	Corriente (A)	Caída de tensión (%)	Numero de conductor (AWG)
LOGO	0,09	0,04	16
Fuente de alimentación	0,7	0,032	16
HMI	0,22	0,011	16
Bomba	6,78	0,48	16
Resistencia eléctrica	610	0,17	10
Sensor PT100	0,002	0,00022	18
Luz piloto	0,03	0,0022	18

Realizado por: VELASCO, Deicy. 2017

2.9.1.3 Diagramas de circuitos

En la figura 10-2 se puede observar el diseño del diagrama de mando del sistema, en el cual se muestra la conexión de cada uno de los dispositivos fuente, LOGO, contactores, actuadores y protección.

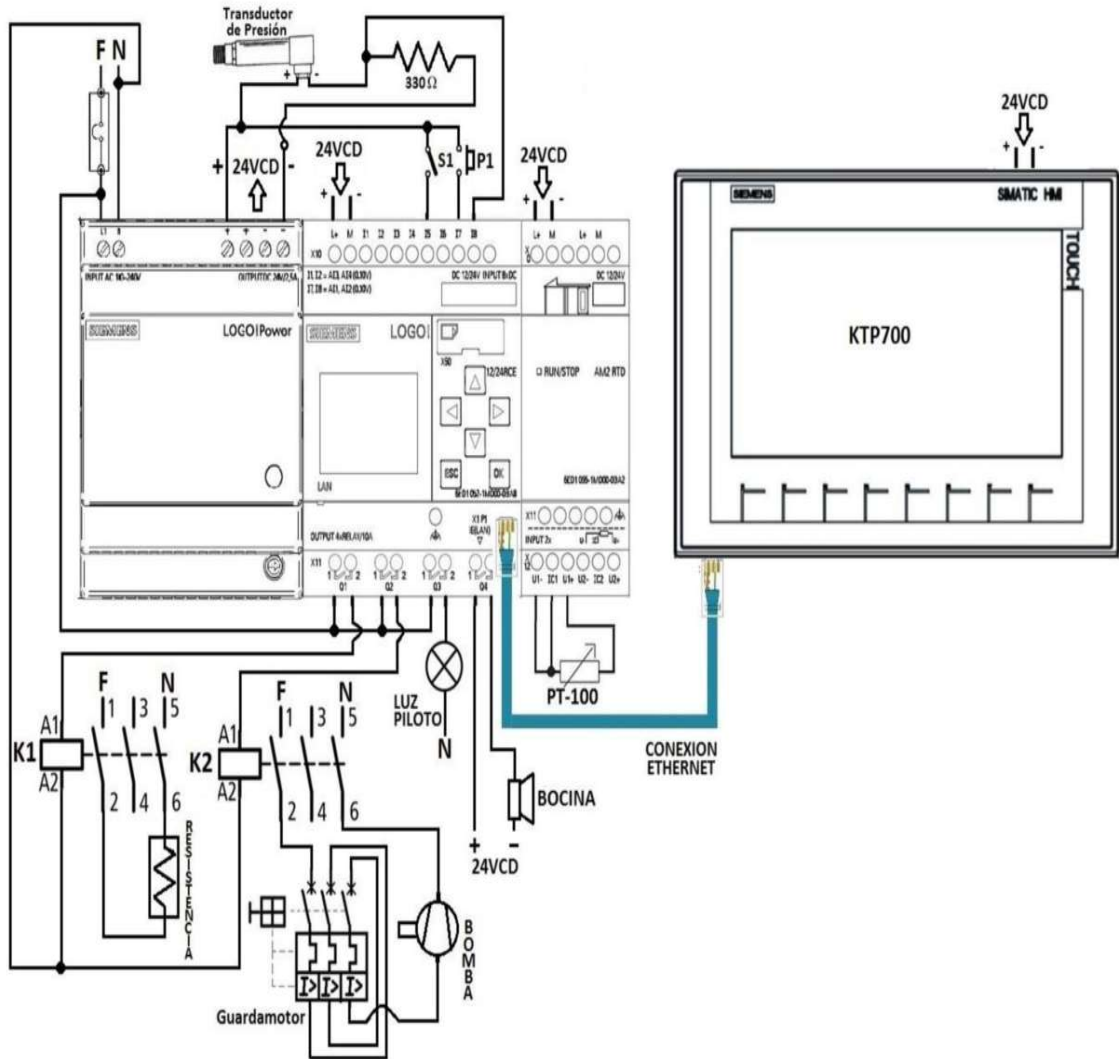


Figura 10 - 2 Diagrama de mando del Sistema de control
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.9.2 Implementación del Sistema eléctrico

En esta etapa se describe la implementación del sistema eléctrico tomando como referencia los diagramas de conexión que se muestra en la figura 9-2, además de las protecciones y el calibre de los conductores calculados para cada dispositivo. Se detalla lo que se realizó a continuación:

2.9.2.1 Distribución de Riel Din y canaletas

Se realizó la distribución de Riel Din para la ubicación de los dispositivos y de canaletas para el cableado de los mismos, como se muestra en la figura 11-2.



Figura 11 - 2 Distribución de Riel Din y canaletas
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.9.2.2 *Ubicación de los dispositivos eléctricos y electrónicos en el tablero*

En la figura 12-2 se muestra la ubicación de los dispositivos electrónicos como: LOGO, fuente de alimentación, módulo de temperatura y dispositivos eléctricos como breakers, contactores.

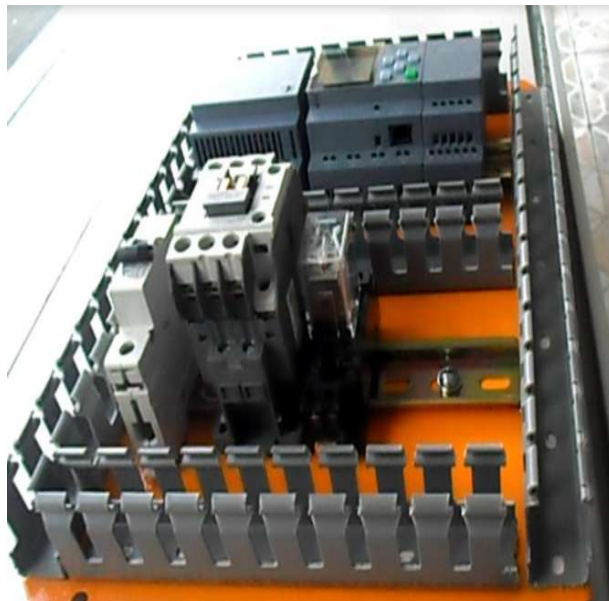


Figura 12 - 2 Colocación de dispositivos en el tablero
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.9.2.3 *Cableado de dispositivos de control y protección*

Se procedió a realizar el cableado de cada uno de los dispositivos con los conductores calculados anteriormente, se puede visualizar en la figura 13-2.



Figura 13 - 2 Cableado de los dispositivos
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.9.2.4 Colocación de la pantalla HMI, pulsador, luz piloto y selector

En la tapa externa del tablero se procedió a colocar la pantalla HMI, el selector, pulsador y la luz piloto, como se muestra en la figura 14-2.



Figura 14 - 2 Colocación de pantalla HMI, pulsador, luz y selector
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.9.2.5 Conexión de la pantalla HMI, pulsador, luz piloto y selector

En la figura 15-2 se puede visualizar la parte interior del tablero con la conexión de la pantalla HMI, pulsador, luz piloto y selector.

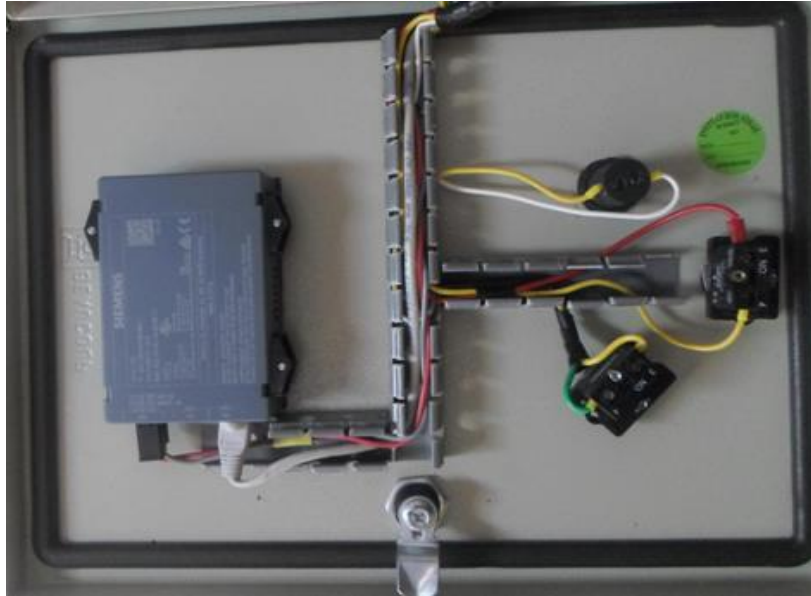


Figura 15 - 2 Conexión de pantalla HMI, pulsador, luz y selector
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.9.2.6 Finalización de implementación de tablero de control

Se puede visualizar la parte interior y exterior del tablero de control terminado en la figura 16-2.



Figura 16 - 2 Vista interior y exterior del tablero terminado
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.10 Implementación del sistema electrónico

2.10.1 Implementación del sensor de temperatura (PT100)

Se colocó un sensor de temperatura PT100 en el módulo AM2 RTD a 5,5 cm del cilindro externo del equipo, como se visualiza en la figura 17-2.



Figura 17 - 2 Implementación del Sensor PT100
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.10.2 Implementación del vacuómetro

Se procedió a realizar la instalación del sensor de presión (Vacuómetro), en la parte superior a 25 cm de la profundidad total de la cámara del equipo como se muestra en la figura 18-2.



Figura 18 - 2 Implementación del Vacuómetro
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

El sensor tiene salida analógica de 4 a 20 mA, pero el logo puede leer entradas analógicas de 0-10 V, lo que se procedió hacer para modificar estos valores se colocó una resistencia de 330 ohmios formando un circuito en serie con las terminales del sensor.

A continuación, para establecer los nuevos parámetros aplicamos la ley de ohm que se puede visualizar en la ecuación 3-2:

Ecuación 3 - 2 Ley de Ohm

$$V = I * R$$

Reemplazamos los valores de corriente analógica del sensor

$$V = 0,004(A) * 330(\Omega)$$

$$V = 1,32 V$$

$$V = 0,02(A) * 330(\Omega)$$

$$V = 6,6 V$$

Luego determinamos cuales son los valores de voltaje según la presión de lectura del sensor

$$-1 \text{ bar} \longrightarrow 1,32 \text{ V}$$

$$6 \text{ bar} \longrightarrow 6,6 \text{ V}$$

En la tabla 8-2 se muestra el resumen de los valores que genera el control del vacuómetro, detallando el voltaje y la presión.

Tabla 8 - 2 Resumen de valores de control del vacuómetro.

Presión (Bar)	Voltaje (V)	Corriente (mA)
0	2.02	6.12
-0.1	1.95	5.90
-0.2	1.87	5.66
-0.3	1.8	5.45
-0.4	1.71	5.18
-0.5	1.65	5
-0.7	1.51	4.57

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.11 Programación del LOGO

La programación del LOGO realizará las siguientes funciones:

Al ingresar el producto congelado en las bandejas para posteriormente liofilizarlos, se procedió a ingresar la temperatura deseada "SETPOINT" y luego pulsar "INICIO", señales que son leídas por los sensores, se activa la resistencia eléctrica para realizar el calentamiento de la máquina el tiempo es controlado por temporizadores del LOGO, el nivel de "VACÍO" hará que la bomba se encienda cuando detecta ingreso de aire y se apague cuando el valor es el adecuado. Según la temperatura ingresada en el HMI y la temperatura receptada por el sensor PT100, se dará paso a

la transferencia de calor en la cámara de liofilización mediante la activación o apagado de la niquelina, la cual es controlada por el LOGO mediante un rango de histéresis.

En la tabla se identifican las entradas y salidas que se utilizarán para desarrollar el programa.

2.11.1 Entradas digitales

En la tabla 9-2 se describen las entradas digitales que intervienen para programar el logo.

Tabla 9 - 2 Entradas digitales

Descripción	Designación
Selector	I5
Pulsador	I7

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.11.2 Entradas analógicas

En la tabla 10-2 se describen las entradas analógicas que se utilizó para programar el LOGO.

Tabla 10 - 2 Entradas analógicas

Descripción	Designación
Sensor de temperatura (PT100)	AI3
Sensor de presión (Vacuómetro)	AI2

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.11.3 Salidas digitales

En la tabla 11-2 se describen las salidas digitales que se utilizó para programar el LOGO.

Tabla 11 - 2 Salidas digitales

Descripción	Designación
Resistencia	Q1
Bomba	Q2
Luz verde	Q3
Buzzer	Q4

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.12 Programación del HMI

2.12.1 LOGO TDE

En este trabajo de titulación, la programación del HMI (LOGO TDE), se realizó en el software Logo Soft Comfort, mediante comunicación Ethernet y alimentación de 24 Voltios, en la figura se puede visualizar la configuración de los parámetros, como la lectura de la temperatura, el tiempo de duración del proceso, el estado de la resistencia, la presión del interior y el control de temperatura y presión.



Figura 19 - 2 Configuración de pantalla LOGO TDE
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.12.1.1 Funcionamiento de pantalla LOGO TDE

En la pantalla de la figura 20-2 se muestra el ingreso del valor de temperatura y el tiempo de secado deseado, además del control de la temperatura real hasta alcanzar el valor ingresado.

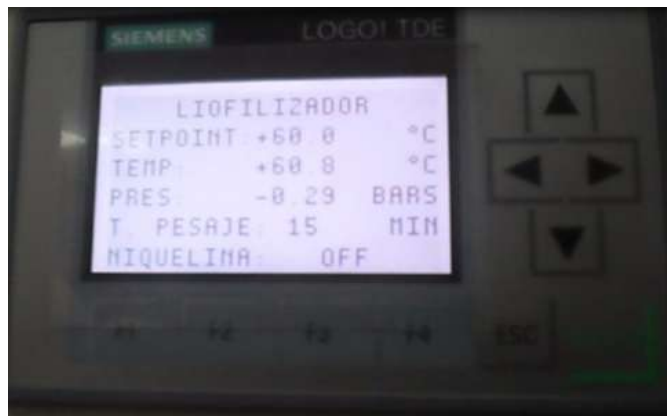


Figura 20 - 2 Funcionamiento de pantalla LOGO TDE
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.12.2 KTP 700

La implementación de esta pantalla permite que el operario pueda visualizar, interactuar, modificar y monitorear los parámetros ingresados de una forma más gráfica y amigable.

La programación del HMI KTP 700, se realizó en el software TIA Portal, donde se especificó el equipo (Pantalla) con el cual se trabajará, luego se estableció el puerto de comunicación Ethernet, dicho procedimiento dio paso a la ubicación de los distintos elementos que se deseen utilizar como por ejemplo pulsadores, displays, pudiendo cambiar sus características y asignándole direcciones de red si es necesario.

Inicialización y asignaciones de red

En la figura 21-2 se visualiza la pantalla inicial del Software Tia Portal, en la que debemos ingresar un nombre al proyecto que deseamos crear.

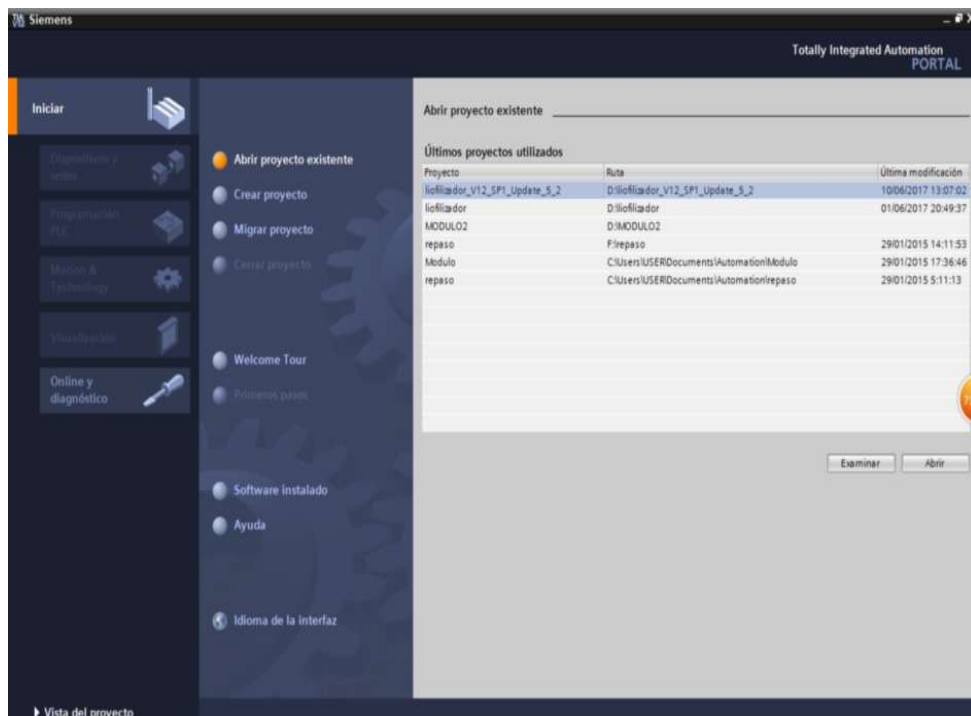


Figura 21 - 2 Pantalla inicial de TIA Portal

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Seguidamente se abrió la ventana de la figura 22-2, en la cual se dio clic en la opción agregar un dispositivo seleccionando KTP 700 que corresponde al HMI a utilizar.

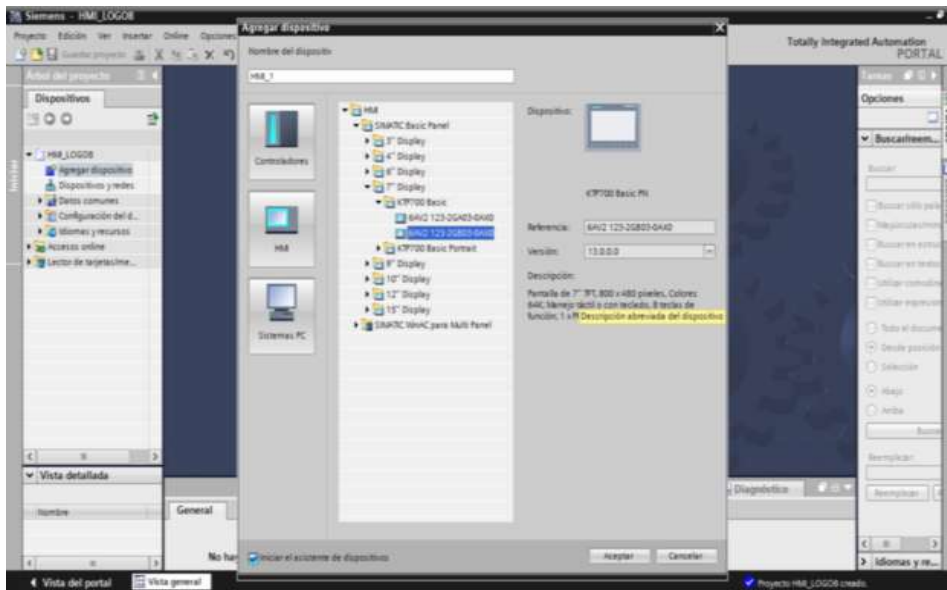


Figura 22 - 2 Pantalla para seleccionar HMI
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la pantalla de la figura 22-2, damos clic en aceptar, generando la pantalla de la figura 23-2, en la cual debemos poner en cancelar para iniciar un nuevo proyecto en blanco, y comenzar la configuración de la interfaz de la pantalla.

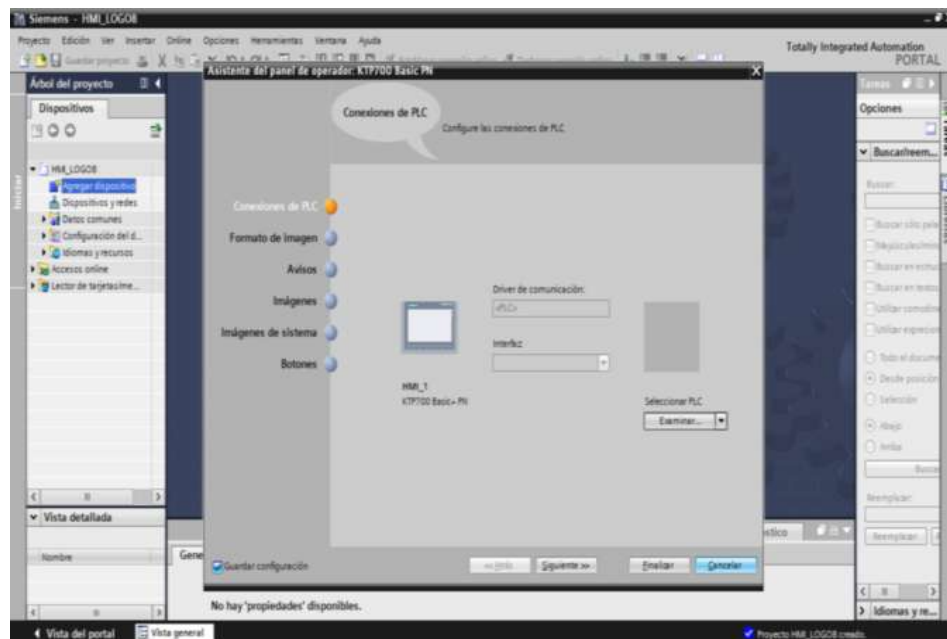


Figura 23 - 2 Pantalla para iniciar proyecto en blanco
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la pantalla de la figura 23-2, se puede visualizar la pantalla HMI que se seleccionó con los diferentes iconos, botones y herramientas que se pueden utilizar para diseñar el panel.

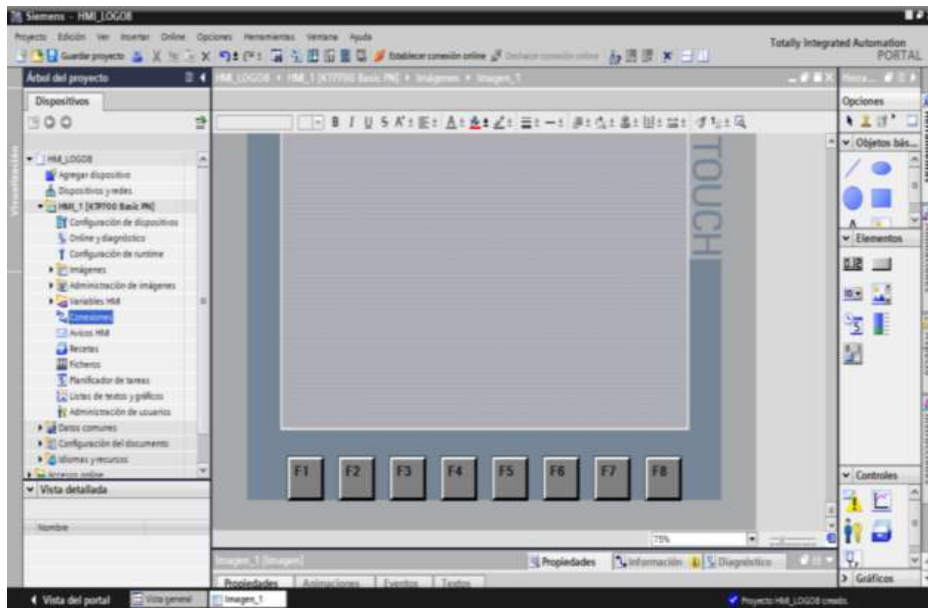


Figura 24 - 2 Interfaz de pantalla KTP 700
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Luego se debe ir a conexiones, para agregar la conexión con LOGO, en la que es necesario configurar las direcciones IP del LOGO y de la pantalla KTP 700, seleccionando además el puerto de comunicación Ethernet, como se visualiza en la figura 24-2.

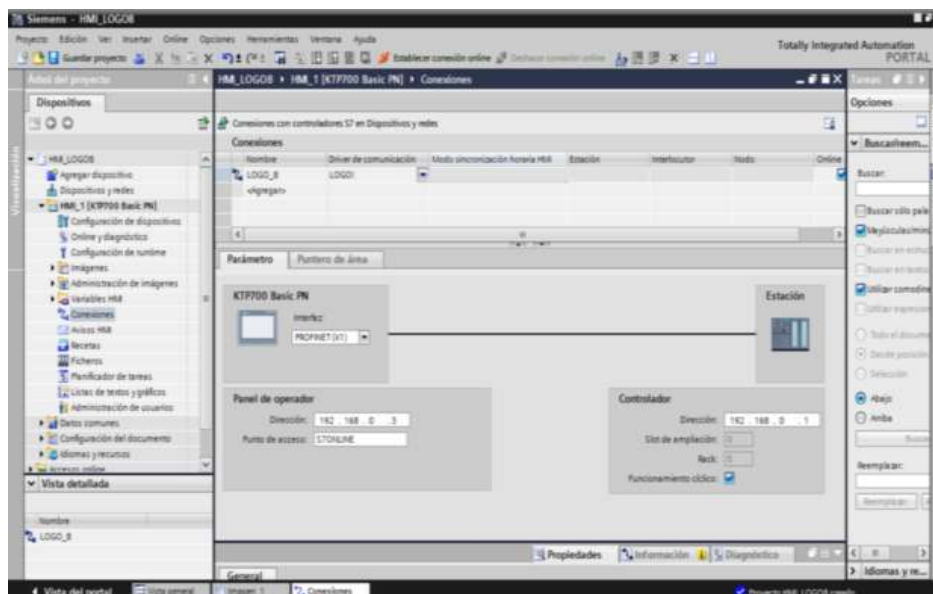


Figura 25 - 2 Pantalla de configuración de puerto de comunicación y direcciones IP
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la ventana de la figura 25-2 se ingresó el nombre del PLC que se va a usar en este caso LOGO8, luego seleccionar el driver de comunicación LOGO!, posteriormente en la parte inferior de la ventana se ingresó la dirección IP 192.168.0.1 correspondiente al logo y 192.168.0.3 para la pantalla HMI.

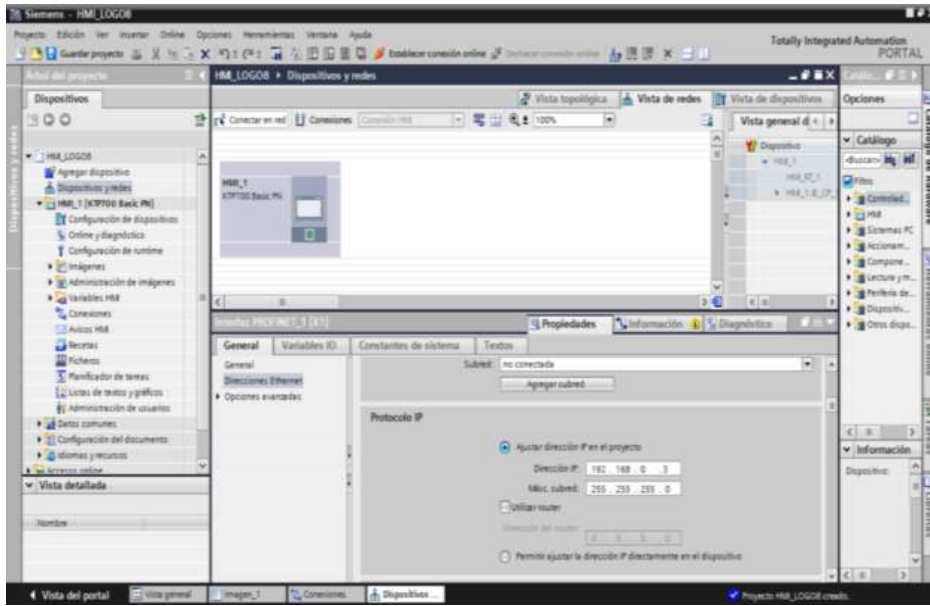


Figura 26 - 2 Pantalla de configuración de dirección IP y máscara de subred del HMI
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la pantalla de la figura 26-2 se debe ajustar el protocolo IP del HMI, ingresando la dirección IP la misma que debe coincidir con la que se ingresó en la ventana de conexiones junto con su máscara 255.255.255.0, al dar clic en finalizar se abrirá la ventana que permite la creación de la interfaz amigable, en la que se procedió a crear las variables de la HMI que intervienen en el proceso, se puede visualizar en la figura 27-2.

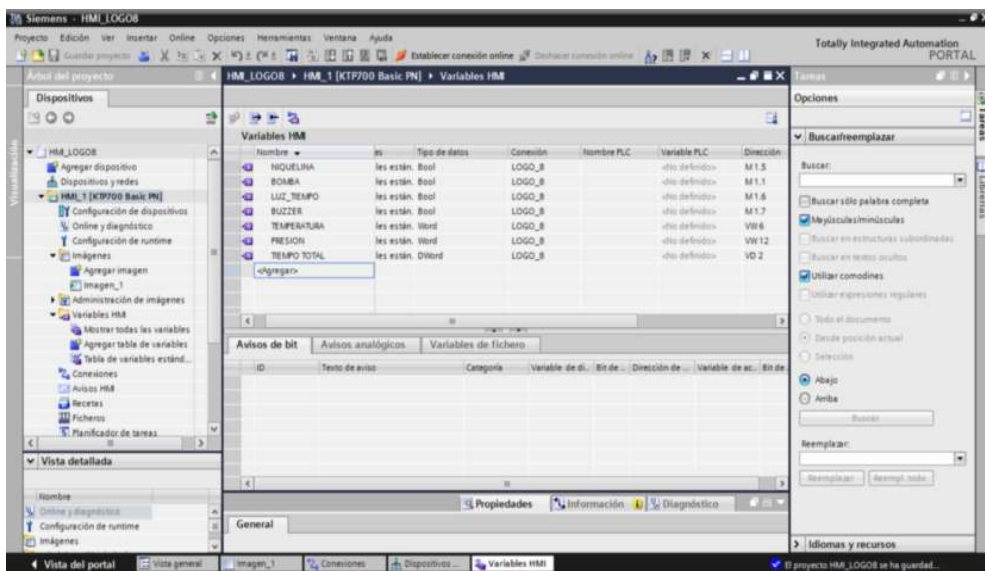


Figura 27 - 2 Pantalla de creación de variables y tipos de datos
Realizado por: Velasco, Deicy; 2017

En la figura 27-2 se puede observar la creación de variables de la HMI, especificando el tipo de datos que deben tomar y la asignación de una dirección de memoria, posteriormente desplegándose la ventana que se muestra en la figura 28-2.

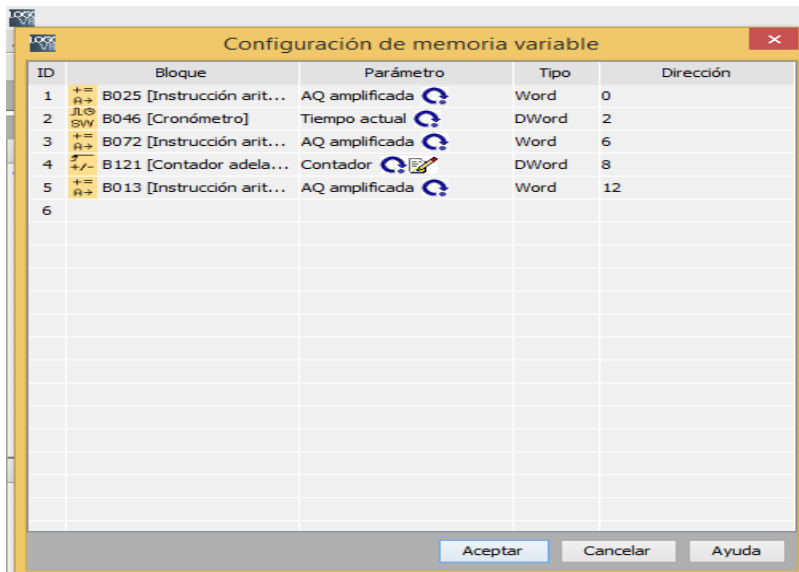


Figura 28 - 2 Pantalla de asignación de memoria a las variables
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Se debe tomar en cuenta que las memorias asignadas a las variables creadas en la figura 28-2 deben coincidir con las creadas en el LOGO8, de modo que puedan ser interpretadas y procesadas por los elementos utilizados en el HMI.

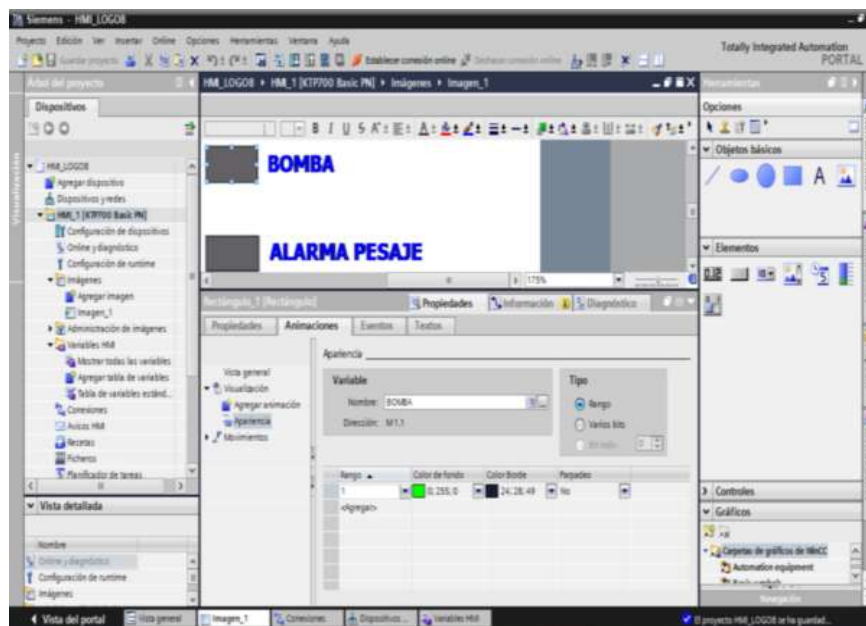


Figura 29 - 2 Ingreso de botones
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Para ingresar diferentes elementos se procedió a direccionar los iconos a las variables creadas, posteriormente se utilizó la barra de herramientas colocada en la parte derecha del área de trabajo se procedió a modificar sus características, dando doble clic sobre el botón. Se muestra el resultado de ingresar botones para indicar estados de los actuadores, en la figura 29-2 y 30-2.

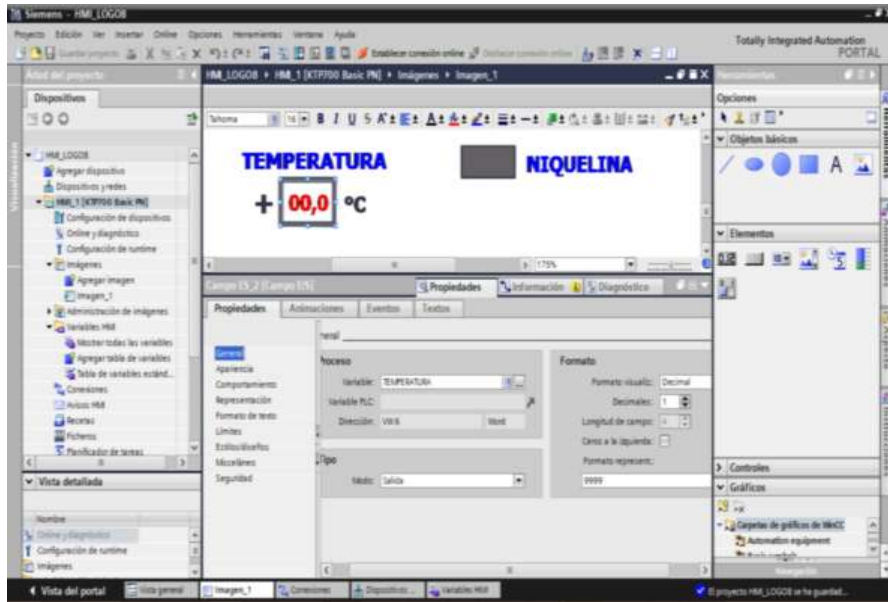


Figura 30 - 2 Ingreso de botones
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.12.2.1 Diseño de pantallas HMI

En la figura 31-2 se muestra la pantalla de presentación del trabajo de titulación desarrollado y el ingreso al proceso.



Figura 31 - 2 Pantalla de la carátula e ingreso al proceso
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la figura 32-2 se visualiza el panel amigable del proceso en el que se muestra los datos que deben ser ingresados, los iconos que emitirán color rojo o verde con la activación /desactivación de los actuadores, los parámetros reales que está generando el sistema, y el control que realizan los sensores PT100 y vacuómetro.

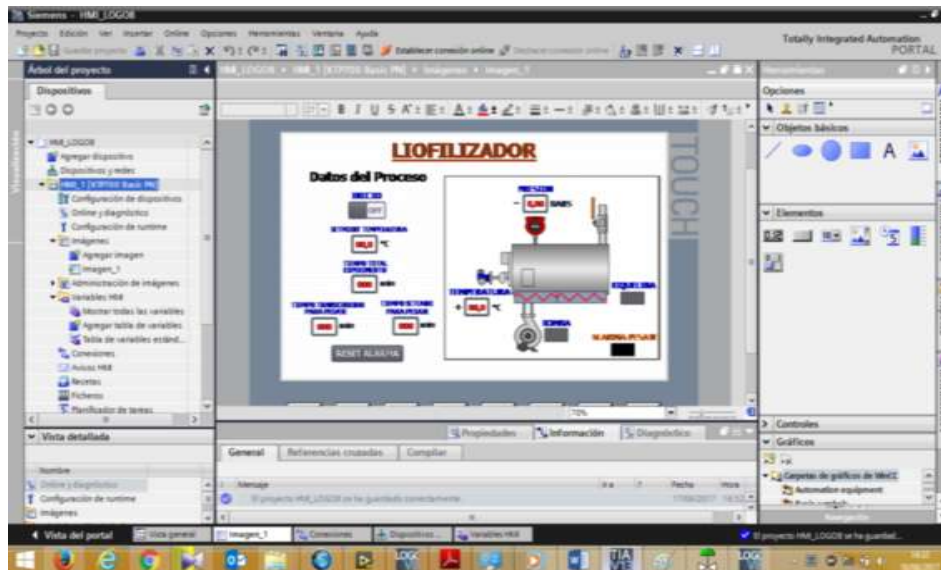


Figura 32 - 2 Pantalla interactiva del proceso
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

2.12.2.2 Pantallas del funcionamiento del HMI

Activación de la resistencia eléctrica

En la figura 33-2 se puede observar que la resistencia se encuentra activa en color verde debido a que la temperatura real del sistema aun no es la misma que la temperatura ingresada por el operario, de manera que el sensor de temperatura PT100 censa hasta alcanzar el nivel de histéresis programado en el controlador.



Figura 33 - 2 Pantalla de activación de la resistencia
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Activación de bomba de vacío

Se puede observar en la figura 34-2 la activación en color verde de la bomba, cuando el vacuómetro detecta que disminuye del valor de presión adecuado en el interior de la cámara.



Figura 34 - 2 Pantalla de activación de la bomba de vacío
 Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Control de encendido de la resistencia eléctrica y bomba, valores de variables insuficientes

En la figura 35-2 se muestra la activación en color verde tanto de la niquelina como de la bomba, esto debido a que los valores ingresados por el operario aun no son los mismos que los valores reales que se están generando en el proceso, se desactivarán cuando los parámetros sean los adecuados.



Figura 35 - 2 Pantalla de activación de resistencia y bomba de vacío
 Realizado por: Velasco, Deicy; 2017

Activación de alarma, finalización de tiempo de proceso

Se puede visualizar en la figura 36-2 la alarma en color rojo, que suena cuando se cumple el tiempo de proceso que ingresó el operario, indicándole que puede retirar el producto final.



Figura 36 - 2 Pantalla de activación de la alarma
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Valores de variables estables, actuadores apagados

En la figura se muestra 37-2 el panel del sistema con el estado de los actuadores (bomba y resistencia) desactivados esto debido a que los sensores PT100 y vacuómetro detectan que los niveles de los parámetros son los necesarios, cuando aumenten o disminuyan se activarán nuevamente.



Figura 37 - 2 Pantalla de desactivación de actuadores
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Al finalizar con la reparación y automatización se procedió a poner en marcha el liofilizador, para de esta manera verificar el comportamiento del sistema eléctrico, mecánico y electrónico.

3.1 Sistema mecánico

Dentro del sistema mecánico se realizó la verificación de que no exista escape de aire o fugas en el liofilizador asegurando un cierre hermético de la cámara cilíndrica, asimismo de que los elementos del sistema de transmisión se encuentren fijos y funcionen eficientemente generando entornos adecuados que puedan ser controlados. Para que no existan problemas en el sistema de vacío se comprobó el funcionamiento de la bomba de 1 Hp, la misma que proporciona datos de presión aceptables para realizar el proceso.

La válvula check se encuentra sujeta a la puerta de entrada de la bomba de una manera segura, impidiendo así el escape de aire, ingreso de agua a la bomba y que el sistema de transmisión se deteriore.

3.2 Sistema eléctrico

Se realizó una revisión de la instalación de la línea monofásica del tablero de distribución al tomacorriente del liofilizador, lo cual se hizo midiendo sus voltajes, verificando el buen estado de los conductores y el adecuado dimensionamiento.

Se realizó la medición de voltaje en la entrada del tablero de control y se verificó una tensión línea-neutro de 110 voltios para la línea monofásica. Se comprobó una tensión de 110 voltios a la entrada de la fuente de poder, niquelina, y bomba de vacío, asegurando de que no existen caídas de tensión en la línea.

Además, se verificó que el voltaje a la entrada de la pantalla HMI marca KTP 700 es de 24 voltios y de igual manera a la salida de la fuente de poder, comprobando que no existen caídas de tensión.

3.3 Sistema electrónico

Se procede a verificar el correcto funcionamiento del sistema electrónico, a través de la red de comunicación entre el LOGO y el HMI, visualizando las lecturas receptadas por los sensores de temperatura y presión, además del accionamiento de los actuadores al energizar las bobinas de esta manera identificando entradas y salidas programadas en el LOGO.

3.4 Tamaño muestral para determinar el número de pruebas

Para asegurar que los resultados obtenidos son adecuados y confiables, debemos conocer el número de muestras necesarias mediante el cálculo del tamaño muestral y estimar una media poblacional infinita para lo cual se procedió a utilizar la formula estadística 1.3 haciendo uso de la tabla 1-3 para determinar valores.

Tabla 1 - 3 Valores de alfa según el nivel de confianza

Valor de α	Nivel de confianza
90%	1,645
95%	1,96
99%	2,58

Fuente: <http://www.scielo.org.mx/img/revistas/tca/v1n1/a6c2.jpg>
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Ecuación 1 - 3 Ecuación para tamaño muestral para estimar una media poblacional

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \sigma^2}{e^2}$$

Donde:

n= número de muestras

Z_{α} = para el nivel de confianza del 95% es de 1.96

σ^2 = variación presentada de 2 °C

e^2 = error deseado de 1°C

$$n = \frac{1.96^2 * 2}{1^2}$$

$$n = 7,68$$

$$n = 8$$

Según la ecuación 1.3 debemos realizar 8 pruebas en las mediciones del experimento, de modo que al comparar los resultados con la media hallada estos valores sean válidos y confiables.

3.5 Temperatura del sistema antes y después de implementar el sistema de control para el proceso de Liofilización

En el gráfico 1-3 se puede observar el funcionamiento del equipo antes y después de implementar el sistema de control, se verificó que el tiempo que tarda en llegar a la temperatura de 75°C para liofilizar guineo antes y después de la implementación es similar, con una

diferencia mínima de 3 a 4 minutos, además podemos visualizar que se logró la estabilización de la temperatura con el control del sistema implementado.

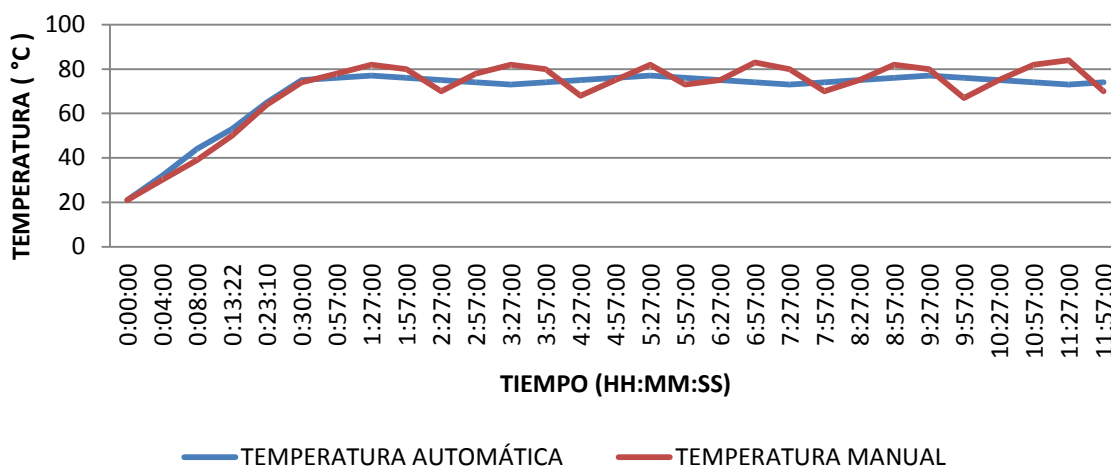


Gráfico 1 - 3 Comparación del sistema antes y después de implementar el sistema de control
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

3.6 Resultados de funcionamiento: temperatura, tiempo y presión

Para comprobar el funcionamiento del sistema de control del liofilizador de alimentos, se procedió a realizar 8 pruebas, donde se realizó el calentamiento de la cámara de secado hasta obtener la temperatura a la que se desea trabajar, dicha temperatura dependerá de la naturaleza de cada alimento a ser liofilizado, la prueba se hará para una temperatura de 75⁰C.

Primera Prueba realizada el 12 de Mayo del 2017 a las 10:00, se puede observar en la tabla 2-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75⁰C.

Tabla 2 - 3 Primera Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
16	00:00	0,1
29	03:14	0,27
38	04:24	0,28
46	06:20	0,30
57	15:05	0,29
69	24:47	0,31
75	30:05	0,31

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Segunda Prueba, realizada el 13 de Mayo del 2017 a las 12:30 horas, se puede observar en la tabla 3-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75⁰C.

Tabla 3 - 3 Segunda Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
17	00:00	0,1
30	03:26	0,28
39	04:32	0,27
47	06:21	0,30
55	14:18	0,31
61	22:17	0,30
75	30:00	0,30

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Tercera Prueba, realizada el 15 de Mayo del 2017 a las 15:30 horas, se muestra en la tabla 4-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75°C.

Tabla 4 - 3 Tercera Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
18	00:00	0,2
27	03:01	0,27
39	04:33	0,28
49	06:55	0,28
59	15:20	0,26
68	24:32	0,31
75	30:00	0,31

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Cuarta Prueba, realizada el 17 de Mayo del 2017 a las 11:17 horas, se puede observar en la tabla 5-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75°C.

Tabla 5 - 3 Cuarta Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
19	00:00	0,1
28	03:07	0,28
36	04:14	0,30
45	05:15	0,30
55	14:16	0,29
64	23:13	0,31
75	30:03	0,31

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Quinta Prueba, realizada el 18 de Mayo del 2017 a las 14:27 horas, se muestra en la tabla 6-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75°C.

Tabla 6 - 3 Quinta Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
20	00:00	0,1
29	03:12	0,31
36	04:11	0,30
43	05:01	0,30
54	14:08	0,29
65	23:21	0,27
75	30:00	0,29

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Sexta Prueba, realizada el 19 de Mayo del 2017 a las 09:30 horas, se puede observar en la tabla 7-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75°C.

Tabla 7 - 3 Sexta Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
18	00:00	0,2
31	03:33	0,28
40	04:39	0,27
49	06:56	0,28
57	15:03	0,30
66	23:38	0,31
75	30:03	0,31

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Séptima Prueba, realizada el 20 de Mayo del 2017 a las 16:00 horas, se puede observar en la tabla 8-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75°C.

Tabla 8 - 3 Séptima Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
20	00:00	0,1
27	03:01	0,28
35	04:10	0,27
43	05:04	0,30
51	13:25	0,30
62	22:29	0,31
75	30:12	0,28

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Octava Prueba, realizada el 21 de Mayo del 2017 a las 18:00 horas, se muestra en la tabla 9-3 las lecturas de temperatura que corresponden a la liofilización de guineo, la temperatura que se desea obtener en la cámara de secado es de 75°C.

Tabla 9 - 3 Octava Prueba de la etapa de calentamiento de la máquina

Temperatura (°C)	Tiempo (Minutos)	Presión (bar)
19	00:00	0,2
25	02:39	0,29
34	04:04	0,29
46	06:22	0,30
58	15:10	0,31
67	24:01	0,31
75	30:00	0,28

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

3.7 Comparación del tiempo de proceso para liofilizar guineo antes y después de implementar el sistema de control

El tiempo que duraba el proceso de liofilización para el guineo antes era aproximadamente de 6:30 minutos, ya que el operario perdía tiempo debido a que manualmente debía encender o apagar la resistencia para lograr mantener lo más estable la temperatura de trabajo. Con el sistema de control implementado las acciones mencionadas anteriormente se realizan de manera automática por lo que el tiempo es de seis horas, es decir se redujo este tiempo en treinta minutos, como se puede visualizar en el grafico 2-3.

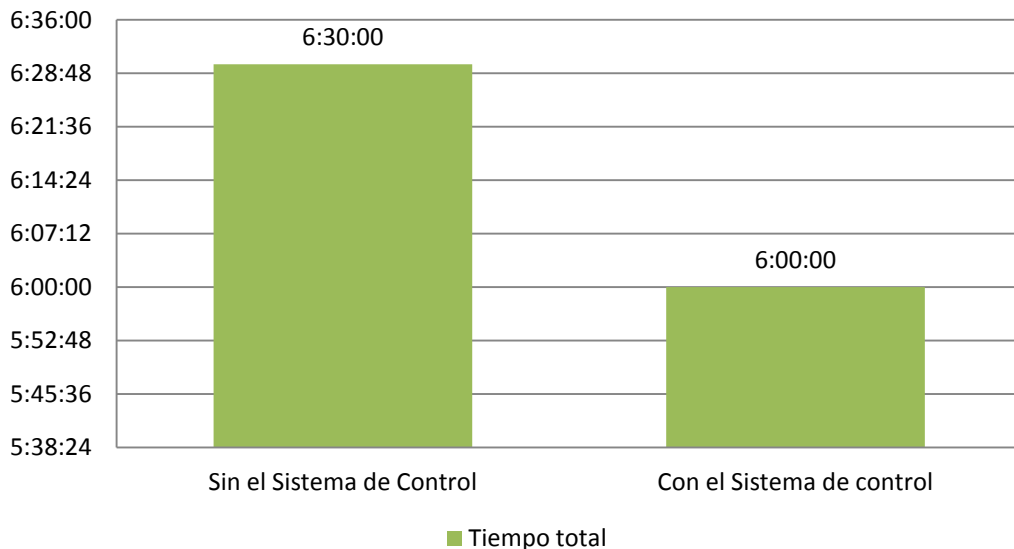


Gráfico 2 - 3 Tiempo del proceso antes y después de implementar el sistema de control

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

3.8 Comportamiento de la bomba

La prueba consistió en analizar los valores que proporciona la bomba al encenderla verificando que el límite máximo de presión que puede generar es de 0,9 bares, comprobando mediante pruebas realizadas a diferentes productos se determinó que aproximadamente en el rango de

0,27- 0,31 bares se efectúa la succión de humedad necesaria para efectuar el secado de los alimentos sometidos al proceso, cabe recalcar que si se disminuye o por el contrario se incrementa este valor puede sufrir daños la máquina y el producto.

En la tabla 10-3 se puede observar el tiempo que demora la bomba en adquirir los datos de presión, concluyendo que tarda 45 segundos en obtener el valor que será utilizado para realizar el proceso de liofilización.

Tabla 10 - 3 Tiempo necesario para obtener el valor de presión

Tiempo (segundos)	Presión (bar)
2	0,1
8	0,3
10	0,5
17	0,9
22	0,12
24	0,14
26	0,16
40	0,29
42	0,30
45	0,31

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

3.9 Consumo de potencia eléctrica de la bomba

Con el sistema anterior la bomba permanecía encendida todo el tiempo que duraba el proceso, debido a la presencia de fugas, con el sistema actual la bomba consume 6,66 A como se puede visualizar en la figura 1-3, como el suministro de voltaje es de 110 V consume 732,6 W.



Figura 1 - 3 Datos tomados de la corriente de la bomba

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Teniendo en cuenta que el tiempo para liofilizar guineo era de 6:30 horas, entonces la máquina consumía 7150 Wh.

Con el sistema de control implementado, el vacío generado en el interior se mantiene por un prolongado tiempo gracias al cierre hermético por completo del equipo además de la instalación de la válvula check, entonces tiene un consumo de potencia de 732,6 Watts, la máquina funciona aproximadamente 6 horas consumiendo un total de 4395,6 Wh.

Mostrando una reducción del consumo de potencia eléctrica de la bomba al 61,47%, que se muestra en el gráfico 3-3.

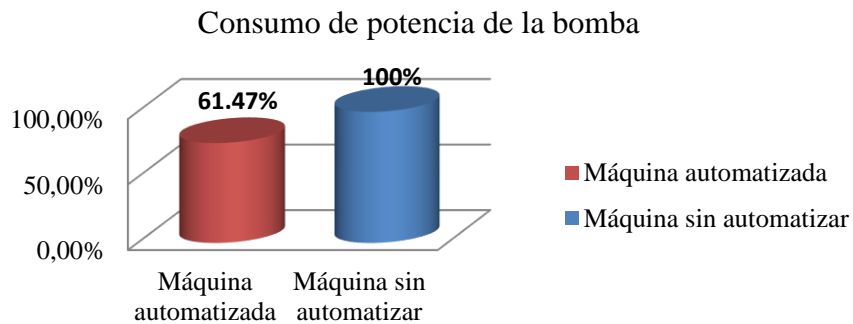


Gráfico 3 - 3 Comparación del consumo de potencia de la bomba antes y después
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

3.10 Consumo de potencia eléctrica de la resistencia eléctrica

Con el sistema anterior la resistencia eléctrica consumía aproximadamente **1100 W**, con el sistema actual la resistencia consume 7,62 A, como se puede visualizar en la figura 2-3 como el suministro de voltaje es a 110 V la potencia es de **838,2 W**, es decir se presenta una reducción del consumo de potencia de **76,2%** que se puede observar en el gráfico 4-3.



Figura 2 - 3 Datos tomados de la corriente de la resistencia
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

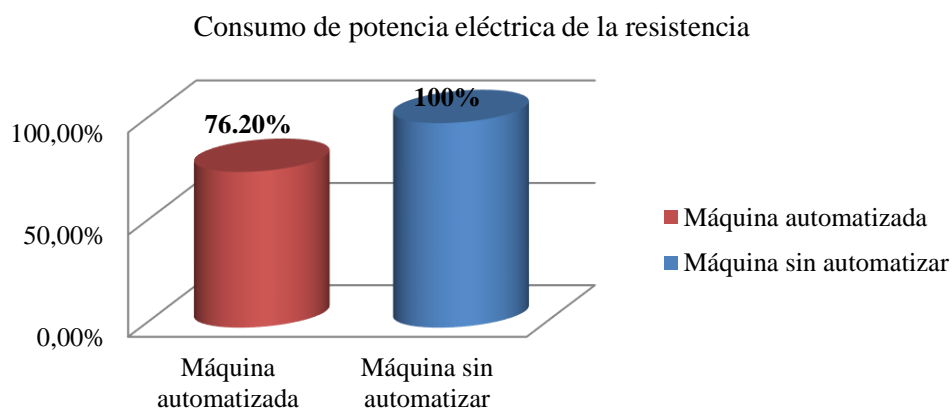


Gráfico 4 - 3 Comparación del consumo de potencia de la resistencia antes y después
Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

3.11 Pruebas de liofilización realizadas a diferentes productos después de implementar el sistema de control.

Esta prueba se realizó el 20 de Mayo del 2017, se utilizó manzana cortada en rodajas y una temperatura de 65⁰C para su liofilización. En la tabla 11-3 se visualiza los parámetros como: el peso inicial del producto, peso final y el tiempo total de liofilización de 8 horas.

Tabla 11 - 3 Liofilización de manzana

Tiempo	Peso de muestra (g)		
	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)
11:00	77	79	45
11:30	74	70	45
13:00	36	24	33
13:30	26	23	29
14:00	21	19	23
14:30	19	18	21
15:00	19	18	20
18:30	-	-	7
19:06	-	-	7
Peso perdido	58 g	61 g	38 g
Horas trabajadas	8:06:00 h		

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Esta prueba se realizó el 22 de Mayo del 2017, se utilizó papa cortada en rodajas y una temperatura de 60⁰C para su liofilización. En la tabla 12-3 se visualiza los parámetros como: el peso inicial del producto, peso final, y el tiempo total de liofilización de 6 horas.

Tabla 12 - 3 Liofilización de papa

Tiempo	Peso de muestra (g)		
	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)
12:45	135	127	81
13:00	107	116	80
13:15	94	106	79
16:00	40	48	46
16:15	39	44	43
16:30	39	42	43
17:15	-	42	38
18:30	-	-	28
18:43	-	-	28
Peso perdido	96 g	85 g	53 g
Horas trabajadas	6:05:00 h		

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Esta prueba se realizó el 1 de Junio del 2017, se utilizó remolacha en rodajas y una temperatura de 70°C para su liofilización. En la tabla 13-3 se visualiza los parámetros como: el peso inicial del producto, peso final y el tiempo total de liofilización de 10 horas con treinta minutos.

Tabla 13 - 3 Liofilización de remolacha

Tiempo	Peso de muestra (g)		
	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)
12:50	150	139	125
13:50	139	148	119
14:26	130	137	115
14:47	124	130	111
15:07	117	123	108
15:28	112	117	106
16:46	94	95	97
17:04	89	88	93
18:50	67	57	75
19:20	61	54	73
19:50	56	50	59
20:50	50	46	55
21:20	50	45	50
21:44	-	45	47
23:13	-	-	41
23:22	-	-	41
Peso perdido	100 g	94 g	84 g
Horas trabajadas	10:32:00 h		

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

Esta prueba se realizó el 2 de Junio del 2017, se utilizó acelga cortada en rodajas y una temperatura de 50°C para su liofilización. En la tabla 14-3 se visualiza los parámetros como: el peso inicial del producto, peso final y el tiempo total de liofilización de 5 horas.

Tabla 14 - 3 Liofilización de acelga

Tiempo	Peso de muestra (g)		
	Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)
13:00	48	43	36
14:00	15	20	29
15:00	7	10	26
15:45	-	5	19
17:00	-	-	8
17:15	-	-	8
Peso perdido	41 g	38 g	28 g
Horas trabajadas	5:15:00 h		

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la tabla 15-3, se muestra los parámetros utilizados para la liofilización de algunos alimentos.

Tabla 15 - 3 Datos de temperatura y tiempo empleados para la liofilización de alimentos

Producto	Tiempo (horas)	Temperatura (°C)
Papa	06:04:00	60
Manzana	08:00:00	65
Remolacha	10:30:00	70
Acelga	05:05:00	50

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

En la gráfica 5-3 se muestra el tiempo y la temperatura empleado para liofilizar diferentes productos.

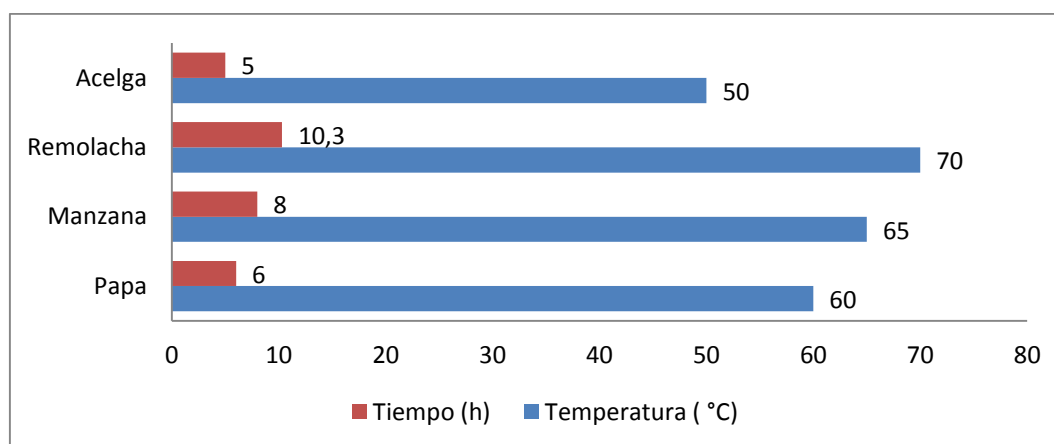


Gráfico 5 - 3 Tiempo y Temperatura empleado de alimentos liofilizados.

Realizado por: VELASCO, Deicy, 2017

3.12 Costos de implementación del sistema de control

En la tabla 16-3 se muestra los costos de cada uno de los dispositivos que se utilizaron para proceder a implementar el sistema de control de este trabajo de titulación.

Tabla 16 – 3 Análisis de costos

DISPOSITIVO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
LOGO 8		250	1	280
FUENTE DE ALIMENTACION		110	1	150
MODULO AM2 RTD		220	1	250
PANTALLA HMI		300	1	300
BOMBA 1 HP	HP	350	1	350
NIQUELINA	Watts	60	1	60
CONTACTORES 9A	A	25	2	50
BREAKER 30A	A	26	1	26
GUARDAMOTOR	A	35	1	35
PULSADOR		1.50	1	1.50
LUZ PILOTO		2.00	1	2.00
SELECTOR		2.00	1	2.00
TABLERO		35	1	35
CABLE #10,16 Y 18 AWG	m	1.50	7 metros	10.50
CANALETAS	m	5.25	2 metros	10.50
RIEL DIN	m	5.25	1 metro	5.25
TORNILLOS		0.15	20	3.00
SENSOR PT100		50	1	50
SENSOR DE PRESIÓN		270	1	300
OTROS				
COSTO TOTAL				1920.75

CONCLUSIONES

- Las características de diseño y construcción del Liofilizador permite que los parámetros a tomar en cuenta para realizar el proceso sean la temperatura y la presión de vacío que se genera en el interior para extraer la humedad contenida en los alimentos.
- La interfaz amigable permite al operario tener conocimiento del proceso, visualizar, modificar y monitorear los parámetros ingresados.
- El rango de presión de trabajo necesario para realizar el proceso, se determinó mediante pruebas, debido a que no se considera una variable que se pueda monitorear ya que las características de diseño y construcción del equipo no lo admiten, como consecuencia causaría daños en el Liofilizador y en la muestra de alimento sometida al proceso.
- El tiempo empleado antes y después de implementar el sistema de control para realizar la liofilización dió como resultado una mayor eficacia, como consecuencia se redujo en 30 minutos debido a que el proceso se realiza automáticamente una vez que son ingresados los parámetros adecuados.
- La automatización del liofilizador ayuda a que pueda ser operado con mayor frecuencia, debido a que no requiere que el proceso sea realizado de forma manual para estabilizar los parámetros de presión y temperatura ingresados.
- El estado técnico del equipo permitió verificar las condiciones de funcionamiento, donde se analizaron los posibles errores y se procedió a realizar una pequeña reparación de las diferentes averías generadas para luego dar paso a la implementación del sistema de control de una forma eficiente.
- Se redujo en un 61,47% el porcentaje el consumo energético de la bomba, ya que fue reemplazada por una de mayor eficiencia y con niveles de vacío aceptables para realizar la liofilización.
- El consumo de potencia de la resistencia se redujo en 76,2% debido a que se instaló en el medio del cilindro, facilitando la distribución de calor uniforme a las bandejas que contienen producto.

RECOMENDACIONES

- Las muestras de alimentos a liofilizar se deben de congelar en rodajas con el menor espesor posible para evitar que el tiempo de proceso se alargue debido a la mayor concentración de agua.
- La temperatura ingresada debe ser la adecuada dependiendo de las características del alimento, de lo contrario el proceso no será adecuado y no se obtendrán productos de calidad.
- Si se requiere realizar las pruebas de peso y verificación se recomienda, hacerlo de manera rápida para evitar contraer la humedad del ambiente en el producto y aumento de tiempo para finalizar el proceso.
- Leer los manuales de operación y procedimiento para la manipulación del liofilizador para evitar dañar algún dispositivo del tablero de control y ocasionar accidentes humanos.
- Se recomienda antes y después de utilizar el equipo desfogar el agua existente por la tubería abriendo la válvula colocada en la parte inferior para evitar que ingrese a la bomba y esta se deteriore.
- Se recomienda realizar revisiones periódicas del sistema eléctrico, electrónico y mecánico por parte del personal encargado, ya que la condición de funcionamiento del equipo tiende acumular impurezas como polvo, residuos de alimentos, agua que pueden afectar el funcionamiento y eficiencia del proceso.
- Se debe establecer un mantenimiento regular al sistema de vacío, para evitar fallas en el funcionamiento de la bomba y como consecuencia en la calidad del producto liofilizado.
- Al realizar la liofilización se debe tener en cuenta principios de higiene debido a que se trata de productos alimenticios que luego suelen ser utilizados en procesos subsecuentes y en ocasiones para el consumo humano.
- Se recomienda utilizar guantes cuando se desee sacar las bandejas del equipo, para evitar quemaduras o algún tipo de accidente.

BIBLIOGRAFÍA

- BUSTOS, Álvaro.** *Sistemas electrónicos para mecatrónica* [en línea] 2008.
[Consulta: 12 de Junio de 2017].
Recuperado de:
<http://mecatronicabustos.blogspot.com/2008/09/sistemas-electronicos-para-mecatronica.html>
- CANTO, Carlos.** *Automatización: Conceptos generales* [archivo PDF] 2006.
[Consulta: 26 de Febrero de 2017].
Disponible en:
http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/3_AUTOMATIZACION_GENERAL.PDF
- CASTRO, Adrian.** *Sensores utilizados en la Automatización Industrial* [archivo PDF] 2008.
[Consulta: 30 de Abril de 2017].
Disponible en: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0813t.pdf>
- COBO, Raúl.** *El ABC de la automatización* [archivo PDF] 2008.
[Consulta: 18 de Junio de 2017].
Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>
- CHAVARRIAS, Marta.** *Liofilización para una mejor conservación* [en línea] 2010.
[Consulta: 21 de Agosto de 2017].
Recuperado de:
<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2010/02/17/191173.php>
- DESROSIER, Norman.** *Conservación de Alimentos*. México D.F: CECSA, 1964. pp. 154-194
- FIERROS.** *Dispositivos de protección eléctricos: uso y características* [en línea] 2015.
[Consulta: 18 de Junio de 2017].
Recuperado de: <http://fierros.com.co/revista/ediciones-2011/edicion15/iluminacion-y-electricos-10/dispositivos-de-proteccion-electricos-uso-y-caracteristicas.htm>
- FLORES, Linda. & NUÑEZ, Diego.** *Diseño y construcción de un liofilizador para el secado de la remolacha azucarera (Beta vulgaris var. saccharifera)*. [en línea] (Tesis Pregrado). (Ingeniería Química). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. (2014). pp 6-70
[Consulta: 14 de Septiembre del 2016].
Recuperado de: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/3201/1/96T00235.pdf>
- GIL, Arturo.** *Sensores y actuadores* [archivo PDF] 2011.
[Consulta: 10 de Abril de 2017].
Disponible en: <http://isa.umh.es/asignaturas/asc/temasautomatas/Tema6.pdf>
- GONZÁLEZ, Víctor.** *Introducción HMI* [archivo PDF] 2005.
[Consulta: 15 de Mayo de 2017].
Disponible en:
<http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/Introduccion%20SCADAS%20y%20HMI.pdf>

HERNÁNDEZ, Ricardo. *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con Matlab.* Naucalpan de Juárez, Edo. de México: PEARSON EDUCACION, 2010. Pp. 2-17.

KEMOLO. *Liofilizador* [en línea] 2015.

[Consulta: 12 de Enero de 2017].

Recuperado de: <http://www.liofilizador.com/products/showproduct.php?lang=es&id=43>

LOGO SIEMENS. *Manual Edición 06/2003* [archivo PDF] 2003.

[Consulta: 27 de Noviembre de 2016].

Disponible en:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf

LÓPEZ, José. *Sistemas de vacío* [archivo PDF] 2013.

[Consulta: 15 de Marzo de 2017].

Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/14.pdf>

MOYOTA, Byron. & GUILCAPI, Lidia. *Desarrollo de un sistema de control y monitoreo mediante receta batch para un deshidratador a vapor de vegetales en la Facultad de Ciencias.* [en línea] (Tesis Pregrado). (Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica. Riobamba-Ecuador. (2017). pp. 1-120

[Consulta: 15 de Enero del 2017].

Recuperado de: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/6509/1/108T0188.pdf>

MICRO. *Automatización y control* [archivo PDF] 2014.

[Consulta: 20 de Julio de 2017].

Disponible en:

<https://www.distritec.com.ar/micro/pdf/10-Automatizacion%20Y%20Control.pdf>

OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de Control Moderna.* (5a edición). Madrid-España: PEARSON, 2010. Pp. 1-9.

PARZANESE, Magali. *Tecnologías para la industria alimentaria* [archivo PDF] 2012.

[Consulta: 23 de Agosto de 2017].

Disponible en:

http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_03_Liofilizados.pdf

POALACIN, Silvia. & HUARACA, Jaime. *Automatización del reactor para el proceso de elaboración de yogurt en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias.* [en línea] (Tesis Pregrado). (Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica. Riobamba-Ecuador. (2015). pp. 7-64

[Consulta: 20 de Enero del 2017].

Recuperado de: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/5006>

PURDUE EXTENSION. *Métodos para la conservación de alimentos* [archivo PDF] 2012.

[Consulta: 25 de Junio de 2017].

Disponible en: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fs/fs-15-s-w.pdf>

PRADO, Andresilo. *¿Qué es el método heurístico?* [en línea] 2013.

[Consulta: 28 de Enero de 2017].

Recuperado de: <https://inteciencia.wordpress.com/2013/01/22/que-es-el-metodo-heuristico/>

QUIMINET. *El funcionamiento de una bomba de vacío y sus características* [en línea] 2014.
[Consulta: 29 de Julio de 2017].
Recuperado de: <https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-de-una-bomba-de-vacio-y-sus-caracteristicas-62213.htm>

REPICKY. *Principio de Funcionamiento de las bombas de vacío de canal lateral.* [en línea].
2011
[Consulta: 10 de Febrero de 2017].
Recuperado de:
<http://www.repicky.com.ar/bombas-de-vacio-de-canal-lateral-funcionamiento.html>

SACO, Roberto. *Introducción a HMI* [archivo PDF] 2005.
[Consulta: 11 de Mayo de 2017].
Disponible en: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>

WILDI, Theodore. *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia.* (6a edición). Naucalpan de Juárez, Edo. de México: PEARSON, 2007. Pp. 870-903.

ANEXOS

ANEXO A

FICHA TÈCNICA

ANEXO B

INSTRUCTIVO

ANEXO C

MANUAL DE USUARIO

ANEXO D

MANUAL TÈCNICO

ANEXO E

DISEÑO DEL EQUIPO