



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

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LAZO
CERRADO PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE
DESTILACIÓN DE ALCOHOL FERMENTADO EN LA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: CHRISTIAN DARÍO GUANGASI PILAPANTA
DANIEL SEBASTIAN NOBOA RIVERA

TUTOR: ING. MARCO VITERI BARRERA

Riobamba-Ecuador

2016

©2016, Cristian Darío Guangasi Pilapanta, Daniel Sebastian Noboa Rivera.

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

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

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LAZO CERRADO PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE DESTILACIÓN DE ALCOHOL FERMENTADO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH”, de responsabilidad de los señores Christian Darío Guangasi Pilapanta y Daniel Sebastian Noboa Rivera, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay Salazar. PhD.	_____	_____
DECANO FIE		
Ing. Jorge Paucar Samaniego	_____	_____
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES		
Ing. Marco Viteri Barrera	_____	_____
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		
Ing. Wilson Zúñiga Vinuesa	_____	_____
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, GUANGASI PILAPANTA CHRISTIAN DARÍO y NOBOA RIVERA DANIEL SEBASTIAN, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Daniel Sebastian Noboa Rivera
C.I. 060412205-1

Christian Darío Guangasi Pilapanta
C.I. 180461942-5

DEDICATORIA

Yo, Daniel Sebastian Noboa Rivera dedico este trabajo a mi madre Sonia Rivera por ser mi principal apoyo y brindarme su total confianza en todo momento.

A mi difunto padre Wilson Noboa que siempre me apoyo y fue un ejemplo de superación, a mis hermanos Pablo Noboa y Alexis Noboa por sus deseos y por brindarme su ayuda incondicional cuando más lo necesitaba.

A mis profesores y amigos que estuvieron a lo largo de mi carrera por brindarme sus experiencias y conocimientos para poder forarme como profesional.

Daniel

La responsabilidad, dedicación y perseverancia inculcadas al comienzo de una nueva vida fortalecen la base para un futuro lleno de retos y adversidades en el cual no solo deberá aceptar derrotas sino también a aprender de ellas, dichas cualidades no es más que las enseñanzas de los primeros maestros de un niño, como lo son mis padres Teresa y Juan a quienes agradezco infinitamente y de todo corazón por todo el amor, comprensión y apoyo incondicional brindado a mí y a mis hermanos que sin los cuales esta meta no hubiese sido posible.

De igual manera agradezco a mi abuelito Pedro, tíos, tías y primos por su apoyo hacia mis padres en los momentos cuando más los necesitábamos, también quisiera mencionar a mi tío Lucho y mi tía Bacha que en este año dejaron un gran vacío en nuestra familia y agradecerles por la veces que me brindaron desde platito de sopa hasta sus buenos concejos y por ultimo de manera muy especial a mi mamita Camichito que en paz descanse con quien viví los momentos más felices de mi infancia, “*gracias por todo*”.

Christian

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros padres, familiares y amigos que nos brindaron su apoyo incondicional en el transcurso de nuestra carrera universitaria y también por su confianza brindada hacia nosotros.

A nuestros profesores y amigos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales por impartirnos sus conocimientos y brindarnos sus experiencias profesionales que fueron de gran importancia para poder formarnos como profesionales a lo largo de la carrera, agradecemos al Ing. Marco Viteri Director de nuestra tesis, al Ing. Wilson Zúñiga y el Ing. José Morales Miembros del Tribunal, por su total apoyo y confianza en el desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
DERECHO DE AUTOR	ii
CERTIFICACIÓN	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1 Proceso de destilación de alcohol fermentado	7
1.1.1 Introducción	7
1.1.2 Conceptos Básicos	7
1.1.2.1 Alcohol Fermentado	7
1.1.2.2 Sustancias miscibles e inmiscibles	11
1.1.2.3 Destilación	12
1.1.2.4 Tipos de destilación	12
1.2 Sistema eléctrico	18
1.2.1 Introducción	18
1.2.2 Conceptos básicos	18
1.2.2.1 Moto compresor heladera	18
1.2.2.2 Bomba de agua	19
1.2.2.3 Resistencia eléctrica	20
1.2.2.4 Contactores	20
1.2.2.5 Guarda motores	20
1.2.2.6 Relé	21

1.2.2.7	<i>Breakers</i>	21
1.2.2.8	<i>Fuente DC</i>	21
1.3	Sistema electrónico	22
1.3.1	Introducción	22
1.3.2	Conceptos Básicos	22
1.3.2.1	<i>Controlador de temperatura</i>	22
1.3.2.2	<i>Controlador lógico programable (PLC)</i>	23
1.3.2.3	<i>Sensores</i>	27
1.3.2.4	<i>Electroválvulas</i>	28
1.3.3	Sistemas de control	33
1.3.3.1	<i>Control de lazo abierto</i>	33
1.3.3.2	<i>Control de lazo cerrado</i>	34
1.3.4	Lenguaje de programación para un autómeta	35
1.3.4.1	<i>Diagrama de funciones</i>	36
1.3.5	Interfaz Humano Maquina HMI	39
1.3.5.1	<i>Funciones de un HMI</i>	39
1.3.5.2	<i>Sistemas SCADA</i>	40
1.3.5.3	<i>Módulos de un SCADA</i>	41
1.3.5.4	<i>LabVIEW</i>	42
1.3.5.5	<i>Módulo DSC LabVIEW</i>	42
1.3.5.6	<i>Interfaz de comunicación</i>	42
1.3.6	Protocolos de comunicación industrial	43
1.3.6.1	<i>Niveles de Redes Industriales</i>	43

CAPÍTULO II

	MARCO METODOLÓGICO	46
2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL	46
2.1	Diagnostico físico y requerimientos para la realización del proyecto	46
2.2	Diseño del tablero de control	48
2.2.1	<i>Tablero principal</i>	48
2.2.2	<i>Tablero secundario</i>	49
2.3	Dimensionamiento de protecciones y conductores	49
2.3.1	<i>Motobomba de agua</i>	50
2.3.2	<i>Compresor de frio</i>	50
2.3.3	<i>Resistencia eléctrica</i>	51
2.3.4	<i>Protección y calibre del cable hacia el tablero de control</i>	52

2.4	Montaje de tableros de control	52
2.5	Programación del PLC y del HMI	53
2.5.1	Configuración y programación del EASY PLC	54
2.5.1.1	<i>Creación de nuevo programa en esms Config</i>	54
2.5.1.2	<i>Módulo de expansión de entrada/salidas</i>	55
2.5.1.3	<i>Módulo de expansión ELC12-E-PT-100</i>	57
2.5.1.4	<i>Diseño y Creación de programa de control</i>	60
2.5.1.5	<i>Depuración y transferencia de programa PC – PLC</i>	70
2.5.2	Configuración y programación del software HMI	73
2.5.2.1	<i>Configuración del adaptador de red del PLC</i>	74
2.5.2.2	<i>Direcciones modbus de variables a monitorear</i>	78
2.5.2.3	<i>Creación de variables en NI OPC server</i>	80
2.5.2.4	<i>Creación del software HMI en Labview</i>	83
2.5.2.5	<i>Creación de instalador del software HMI</i>	87

CAPÍTULO III

	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	89
3	PRUEBAS Y RESULTADOS	89
3.1	Evaluación del equipo antes de la automatización	89
3.1.1	Problemáticas existentes en la torre de destilación	90
3.1.1.1	<i>Regulación manual de la entrada de alimentación</i>	90
3.1.1.2	<i>Control manual de la entrada de vapor</i>	91
3.1.1.3	<i>Consumo excesivo de agua para la etapa de condensación</i>	92
3.1.1.4	<i>Control manual de la válvula de salida del destilado y retorno del reflujo</i>	93
3.1.2	Operación del equipo	94
3.1.2.1	<i>Recursos de operación</i>	94
3.1.2.2	<i>Calidad de producto terminado</i>	95
3.2	Calibración de las variables del equipo	96
3.2.1	Pruebas de calentamiento de la columna de destilación	96
3.2.2	Pruebas de estabilización de temperatura en la columna de destilación	97
3.3	Evaluación del equipo después de la automatización	98
3.3.1	Operación del equipo	99
3.3.1.1	<i>Recursos de operación</i>	99
3.3.1.2	<i>Calidad de producto terminado</i>	101
3.4	Comparación de los resultados previo y posterior a la automatización	101
3.4.1	Comparación de consumo de recursos	102

3.4.1.1	<i>Consumo de vapor</i>	102
3.4.1.2	<i>Consumo de agua</i>	103
3.4.2	<i>Comparación de calidad de producto</i>	103
3.4.2.1	<i>Volumen de producto final</i>	104
3.4.2.2	<i>Concentración alcohólica</i>	104
3.4.3	<i>Resumen de comparación de resultados</i>	105
 CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES		108
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Propiedades Físicas del Etanol.....	8
Tabla 2-1:	Propiedades Químicas del Etanol	8
Tabla 3-1:	Fórmulas del Etanol	9
Tabla 4-1:	Peligrosidad del Etanol	9
Tabla 5-1:	Bebidas Fermentadas Conocidas	9
Tabla 6-1:	Bebidas Destiladas Conocidas	10
Tabla 7-1:	Características del Sensor PT100.....	28
Tabla 8-1:	Especificaciones electroválvula para alimentación del producto.....	30
Tabla 9-1:	Especificaciones electroválvula de vapor para alimentación de la torre.....	31
Tabla 10-1:	Especificaciones electroválvula de vapor para alimentación de la torre.....	32
Tabla 11-1:	Símbolos de Ladder	38
Tabla 12-1:	Símbolos de FBD.....	38
Tabla 1-2:	Listado de elementos de control usados en el equipo de destilación	47
Tabla 2-2:	Valores de dimensionamiento de trampas de valor.....	47
Tabla 3-2:	Cargas del tablero secundario de mayor potencia.....	49
Tabla 4-2:	Resultados de dimensionamiento.....	52
Tabla 5-2:	Características del módulo de expansión ELC12-E-8DC-DA-R.....	56
Tabla 6-2:	Características del módulo de expansión ELC12-E-PT100.....	58
Tabla 7-2:	Descripción del bloque amplificador analógico.....	60
Tabla 8-2:	Parámetros de comunicación del estándar RS232	71
Tabla 9-2:	Configuración de acceso web por defecto	72
Tabla 10-2:	Tabla de códigos de petición y respuesta MODBUS.....	78
Tabla 11-2:	Mapa de memoria de protocolo Modbus para xlogic.....	79
Tabla 12-2:	Mapa de direcciones MODBUS del proyecto.	80
Tabla 1-3:	Resultados de proceso antes de la automatización.....	95
Tabla 2-3:	Pruebas con diferentes temperaturas.....	98
Tabla 3-3:	Resultados de proceso posterior a la automatización.....	101
Tabla 4-3:	Comparación de resultados	102
Tabla 5-3:	Resumen de comparación	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1:	Alcoholímetro con escala de Gay Lussac.....	11
Figura 2-1:	Diagrama proceso de destilación fragmentada.....	15
Figura 3-1:	Torre destiladora de alcohol del laboratorio de Procesos Industriales	15
Figura 4-1:	Etapas que sigue el alcohol fermentado durante el proceso	17
Figura 5-1:	Moto compresor heladera	19
Figura 6-1:	Motobomba de agua	19
Figura 7-1:	Resistencia eléctrica	20
Figura 8-1:	Controlador 3s c900	23
Figura 9-1:	Easy PLC.....	23
Figura 10-1:	Estructura Básica de un proceso con PLC.....	25
Figura 11-1:	Sensor PT100	27
Figura 12-1:	Accionamiento y retorno de válvulas	29
Figura 13-1:	Electroválvula para alimentación del producto	30
Figura 14-1:	Electroválvula de vapor.....	31
Figura 15-1:	Electroválvula para el reflujo	32
Figura 16-1:	Control de lazo abierto	34
Figura 17-1:	Control de lazo cerrado	35
Figura 18-1:	Lenguaje SFC (GRAFCET)	37
Figura 19-1:	Partes de un sistema SCADA.....	41
Figura 20-1:	Arquitectura OPC	43
Figura 21-1:	Niveles de Redes Industriales.....	44
Figura 22-1:	Características de buses y protocolos.....	45
Figura 1-2:	Diagrama unifilar del tablero principal (destiladora)	48
Figura 2-2:	Diagrama unifilar del tablero secundario (pasteurizadora)	49
Figura 3-2:	Tablero principal de control	53
Figura 4-2:	Tablero secundario	53
Figura 5-2:	Programación en diagrama de funciones.....	54
Figura 6-2:	Creación de nuevo programa modo estándar	54
Figura 7-2:	Creación de nuevo programa modo personalizado.....	55
Figura 8-2:	Configuración de la dirección del módulo de expansión de salida	56
Figura 9-2:	Configuración de la dirección de salida en esms Config.....	57
Figura 10-2:	Configuración de la dirección del módulo de PT-100.....	57
Figura 11-2:	Conexión PT-100 2 y 3 hilos.....	58
Figura 12-2:	Direccionamiento de entrada para PT-100	59

Figura 13-2:	Amplificador analógico	59
Figura 14-2:	Acondicionamiento de señal para PT-100.....	60
Figura 15-2:	Diagrama general de control	61
Figura 16-2:	Torre de destilación cubierta con lana y fibra de vidrio.....	61
Figura 17-2:	Diagrama de control de la torre de destilación	62
Figura 18-2:	Diagrama de flujo del proceso de destilación.....	63
Figura 19-2:	Diagrama de control de calentamiento y estabilización de la torre	63
Figura 20-2:	Bloque de comparación de esms Config	64
Figura 21-2:	Señal de salida del comparador analógico.....	65
Figura 22-2:	Bloque de selector de umbral analógico.....	65
Figura 23-2:	Diagrama de tiempo de selector de umbral analógico.....	66
Figura 24-2:	Señal de salida del umbral analógico	66
Figura 25-2:	Señal de control para electroválvula de vapor.....	67
Figura 26-2:	Diagrama Grafset de secuencia de alimentación.....	68
Figura 27-2:	Diagrama de funciones de secuencia de alimentación.	68
Figura 28-2:	Señales de control de vapor y alimentación.	69
Figura 29-2:	Ventana de configuración de comunicación de Esms Config.	70
Figura 30-2:	Configuración del puerto RS232.	71
Figura 31-2:	Cable ELC- RS232.....	72
Figura 32-2:	Configuración del puerto Ethernet.	73
Figura 33-2:	Topología de comunicación del HMI.....	74
Figura 34-2:	Ventanilla administrador de configuración del adaptador de red wifi	75
Figura 35-2:	Ventanilla STA de configuración del adaptador de red wifi	75
Figura 36-2:	Página web del PLC, configuración de modo de trabajo.	76
Figura 37-2:	Página web del PLC, configuraciones de red.....	77
Figura 38-2:	Página web del PLC, conexión a red wifi	77
Figura 39-2:	Página web del PLC, asignación IP estática.....	77
Figura 40-2:	Propiedades de canal, selección Modbus TCP/IP	81
Figura 41-2:	Propiedades de dispositivo, dirección del PLC	81
Figura 42-2:	Propiedades de etiqueta	82
Figura 43-2:	Etiquetas creadas en OPC Server 2012	82
Figura 44-2:	Nuevo proyecto y librerías	83
Figura 45-2:	Configuración de OPC Client I/O Server	83
Figura 46-2:	Creación de variables ligadas	84
Figura 47-2:	Estructura de proyecto en Labview	84
Figura 48-2:	Lectura de temperatura del calderín	85
Figura 49-2:	Escritura de banderas Start y Volumen de alimentación.....	85

Figura 50-2:	Software de Interfaz Humano Maquina	86
Figura 51-2:	Creación del ejecutable	87
Figura 52-2:	Creación del instalador	87
Figura 53-2:	Añadir ejecutable al instalador	88
Figura 54-2:	Proyecto final en Labview.....	88
Figura 1-3:	Diagrama de flujo de destilación a seguir de forma manual	90
Figura 2-3:	Válvula manual de alimentación	91
Figura 3-3:	Válvula manual para regulación de temperatura	91
Figura 4-3:	Sensores analógicos de temperatura.....	92
Figura 5-3:	Condensadores del destilador	92
Figura 6-3:	Válvula de reflujo.....	93
Figura 7-3:	Alcohol de 82GL de concentración.....	95
Figura 8-3:	Curvas de calentamiento de la columna de destilación	96
Figura 9-3:	Curvas de estabilización de temperatura en la columna de destilación.....	97
Figura 10-3:	Alcohol a 85GL con regulación de 77°C	98
Figura 11-3:	Alcohol a 50GL usado como materia prima.....	99
Figura 12-3:	Prueba final de destilación	100
Figura 13-3:	Recipiente del condensador.....	100
Figura 14-3:	Diagrama de barras del consumo de recursos anterior y actual	106
Figura 15-3:	Diagrama de barras del rendimiento anterior y actual del destilador	106

INDICE DE ABREVIATURAS

AC	Corriente alterna.
CPU	Unidad de Control de Proceso.
DC	Corriente Continua.
NC	Normalmente Cerrado
NO	Normalmente Abierto
PLC	Controlador Lógico Programable
HMI	Interfaz Hombre Máquina.
GRAFCET	Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones
TCP	Protocolo de Transmisión de Datos
IP	Protocolo de Internet
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
VAC	Voltaje de Corriente Alterna
VDC	Voltaje de Corriente Directa
GL	Gay Lussac (Escala de concentración alcohólica de una bebida)
FBD	Diagrama de Bloques de Funciones
OPC	OLE of Process Control
DSC	Supervisión y Control de Registro de Datos
PSI	Libras por Pulgadas Cuadradas
°C	Grados Centígrados
W	Vatios
STA	Conexión modo estación
AP	Access Point
SSID	Service Set Identifier

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** MANUAL DE USUARIO
- ANEXO B.** DATOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO
- ANEXO C.** DISEÑO DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN

RESUMEN

Se realizó el diseño e implementación de un sistema de lazo cerrado para el control del proceso de destilación de alcohol fermentado en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Al inicio se realizaron pruebas de funcionamiento del equipo de destilación de alcohol para identificar las causas de su ineficiencia, siendo las más notables: posibles errores humanos durante la operación manual del equipo, consumo excesivo de recursos y un producto final con baja concentración alcohólica. Para la automatización del equipo se reemplaza los elementos manuales por sensores y actuadores adecuados al proceso, incorporando un controlador lógico programable (PLC), módulos de expansión de entradas y salidas digitales y módulos de sensores de temperatura para estabilizar la temperatura en el punto de ebullición del etanol mediante un control de lazo cerrado, se usa la red local (LAN) del laboratorio de procesos industriales para establecer comunicación con el software de interfaz humano-máquina (HMI) instalado en el ordenador del laboratorio. Este software está desarrollado en Labview usando el módulo Datalogging and Supervisory Control (DSC) que brinda soporte para comunicarse con todos los PLCs existentes. Además se implementa la red de campo modbus TCP (Protocolo de Control y Transmisión) que mediante comandos de petición-respuesta la central de control solicita los datos que interesan ser controlados y supervisados por el operador del equipo de destilación. Una vez implementado el sistema de control se realizan pruebas para descartar posibles fallas haciendo de este un equipo robusto al ambiente de operación. Como resultado de la automatización se logra disminuir el consumo de recursos hasta en un 97.6% aumentando también la calidad del producto terminado en un 8.75%, se concluye entonces que al realizar la automatización del equipo hay un incremento en la productividad del proceso de destilación de alcohol fermentado. Se recomienda a los estudiantes de la facultad de ciencias hacer uso del manual de operación del equipo antes de ponerlo en funcionamiento.

PALABRAS CLAVES: <ALCOHOL [ETANOL]>, <DESTILACIÓN DE ALCOHOL>, <SOFTWARE DE INGENIERÍA [LABVIEW]>, <MODULO [DATALOGGING AND SUPERVISORY CONTROL (DSC)]>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE [PLC]>, <REDES INDUSTRIALES>, <INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA [HMI]>.

SUMMARY

There was realized the design and implementation of a system of bond for the control of the process of distillation of alcohol fermented in the faculty of sciences of the higher institute of learning of Chimborazo. To the beginning there were realized tests of functioning of equipment operation of distillation of alcohol to identify the causes of its inefficiency, the most notable being: possible human errors during manual operation of the equipment, excessive consumption of resources and a final product with low alcohol concentration. For the automation of equipment replaced the elements manuals by sensors and actuators suitable for the process, incorporating a programmable logic controller (PLC), expansion modules of digital inputs and outputs and modules of temperature sensors to stabilize the temperature in the boiling point of ethanol by a closed-loop control uses the local area network (LAN) of the laboratory of industrial processes to establish communication with the software of interface human-machine (HMI) installed on the computer of the laboratory. This software is developed in Labview using the module datalogging and supervisor control (DSC), which provides support to communicate with all PLCs exist. In addition the field network is implemented modbus TCP (control and transmission protocol) using commands of solicit-response the central control request the data that interest be controlled and monitored by the operator of distillation equipment. Once implemented the control system test are performed to rule out potential failures, making this a strong team to the operating environment. As a result of automation allows to reduce the consumption of resources until a 97.6% also increasing the quality of the product ending in a 8.75%, it is concluded that to perform the automation of equipment there is an increase in the productivity of the processes of distillation of fermented alcohol. It is recommended to students of the Faculty of Sciences make use of the manual of operation of the equipment before putting it in operation.

Key words: <ALCOHOL [ETHANOL]>, < DISTILLATION OF ALCOHOL>, <ENGINEERING SOFTWARE [LABVIEW]>, <MODULE DATALOGGING AND SUPERVISORY CONTROL [DSC]>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER [PLC]>, <INDUSTRIAL NETWORKS>, <INTERFACE HUMAN-MACHINE [HMI]>.

INTRODUCCIÓN

A través de los siglos el ser humano ha ido creando un conjunto de herramientas y máquinas de acuerdo a las necesidades que se presentaban y con el fin de facilitar su trabajo, de aquí nace la revolución industrial a través de la mecanización que fue una etapa necesaria para lograr la automatización. Las primeras máquinas sustituían el esfuerzo del ser humano, posteriormente por medio del uso de nuevas tecnologías estas máquinas fueron capaces de realizar un conjunto de tareas sustituyendo el trabajo del hombre.

La automatización industrial nació con la evolución de la electrónica y las computadoras las cuales son dos herramientas necesarias para un proceso automatizado. Para que un proceso sea autónomo debe tener estas dos herramientas de manera que se pueda controlar y el sistema pueda operar adecuadamente, en realidad los beneficios que proporciona un sistema automatizado son múltiples y cada día surgen nuevas aplicaciones y nuevos procesos.

Hoy en día gracias a la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías es posible la automatización de procesos industriales implementados con el fin de mejorar el proceso de producción y generar un mercado competitivo. Las empresas comerciales e industriales del Ecuador cuentan con sistemas autónomos capaces de facilitar el trabajo y obtener productos de calidad reduciendo costos e incrementando la producción.

Es por esto que es necesario contar con un proceso automatizado para mejorar la calidad del producto y eliminar la etapa manual que se ejecuta en el proceso, los equipos de destilación separan los componentes de una mezcla por medio de la temperatura (calor), de esta manera se convierten en gases extrayendo el elemento menos volátil en este caso el alcohol, para lograr el proceso deseado es necesario tener en cuenta un cierto grado de temperatura constante en un tiempo determinado, dependiendo del tipo de destilación que se realice.

El proceso de destilación consiste en separar el agua del alcohol obteniendo más grados de concentración en definitiva se logra la purificación del alcohol por medio de una etapa de evaporación, para esto es necesario controlar la temperatura y el tiempo de destilación, por medio de sensores, controladores y actuadores industriales.

En el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo existen una variedad de módulos industriales que carecen de un sistema automático en el desarrollo del proceso, lo que significa que no se optimiza de la mejor manera los costos y el tiempo en la elaboración de algún producto obteniendo como resultados pérdidas y un proceso regular y trabajoso.

ANTECEDENTES

La destilación es una técnica que el humano ha usado desde la antigüedad, según rastros egipcios y babilónicos su uso se remonta en el 300 AC y su mayor esplendor se alcanzó en Alejandría entre en año 200 a 300 DC. Hasta el momento se ha desarrollado diversas técnicas de destilación dependiendo de las propiedades de las sustancias a separar.

Debido a las propiedades físicas del etanol-agua (alcohol fermentado) se debe implementar la destilación fragmentada que consiste en separar la sustancia volátil (etanol) de las que no lo son (agua y demás sustancias) mediante calentamiento, la sustancia volátil se evapora y pasa por una serie de filtros denominados platos hasta llegar a la etapa de condensación y obtener dicha sustancia en forma líquida.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química se dispone de un equipo de destilación diseñado específicamente para realizar esta técnica de destilación.

Este equipo fue diseñado por Viviana Vanessa Medina Carrillo y Myriam Anabel Sánchez Salinas en el año 2012 previo a la obtención del título Ingeniero Químico en dicha carrera y posteriormente fue donado a la facultad de Ciencias.

El proceso de destilación en el equipo no podía ser puesto en marcha por personal sin mucha experiencia debido a la complejidad de operación pues necesitan de un monitoreo constante del proceso de producción por lo que existe la posibilidad de fallas humanas afectando la calidad del producto final.

Al realizar pruebas del equipo antes de la automatización se identificó las etapas que requerían ser controladas; calentamiento de la torre, alimentación del producto, regulación de la temperatura, condensación y reflujo.

El vapor generado por un caldero ingresa al alimentador de la torre mediante una válvula manual elevando la temperatura hasta el punto de ebullición del alcohol, la entrada de la materia prima afecta la temperatura pues existe un choque térmico, no dispone de un sistema de condensación adecuado por lo que existe gran desperdicio de agua y finalmente mediante un alcoholímetro se comprueba el grado de concentración de alcohol del producto final, en caso de no cumplir con el nivel requerido se sigue retroalimentando y purificando el alcohol.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo podremos mejorar el proceso de destilación de alcohol fermentado en el que actualmente se controla la temperatura de forma manual?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los tipos de destilación que actualmente se están usando?

¿Cómo se puede controlar la temperatura de destilación?

¿De qué forma se puede monitorear las variables implicadas en el proceso de destilación?

¿Que se beneficiaría al realizar el proceso de forma automatizada frente a la forma manual?

¿Qué redes de comunicación a nivel de campo se pueden implementar en el sector industrial para la transferencia de información entre los equipos de regulación, control y monitorización?

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La investigación se centra en el ámbito de la automatización industrial la cual ha ido evolucionando de acuerdo a las necesidades de los seres humanos, por ende es un tema amplio para análisis y aplicación de esta rama a requerimientos empresariales. La investigación partirá de esta ciencia aplicando los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería electrónica en control y redes industriales.

Los seres humanos han buscado la manera de ir mejorando su calidad de vida a través de proyectos y trabajos los cuales han ido mejorando con el tiempo. El proyecto de investigación se enfoca exactamente en el mismo principio, el de mejorar la calidad de vida y proporcionar facilidad para realizar un trabajo. Este proyecto es posible realizarlo gracias a la automatización industrial, ciencia que permite automatizar un sistema de control de manera que realice las tareas establecidas por el ser humano. El objetivo principal de la automatización radica en satisfacer todas las necesidades del hombre y su entorno. Podemos destacar en este campo la reducción del trabajo, el aumento de la seguridad, ahorro de dinero y tiempo, comunicación usuario – máquina para el manejo del sistema de control, en si mejoraría la producción y eficacia del proceso industrial.

El sistema de control autónomo ofrece mayores comodidades y seguridad en su producción gracias a su tecnología, el sistema tendrá un controlador centralizado en donde se recibirá información de múltiples sensores que luego de ser procesadas el sistema actuará de la manera adecuada.

El proceso de destilación de alcohol fermentado que se realiza en el laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no cuenta con un sistema autónomo y su proceso se hace más complejo y menos efectivo, es por esto que se debe controlar las variables que se presentan en un proceso de destilación para de esta manera tener un proceso balanceado y estable. Por medio de un tablero de control podemos controlar el proceso de destilación y monitorear de manera constante la temperatura para mantener el elemento volátil que en este caso es el alcohol y este no se pierda por el exceso de calor.

De la misma manera por medio de un controlador lógico programable (PLC) podremos realizar un control óptimo de temperatura a partir de valores medidos y con ello manipular los actuadores

para facilitar el trabajo de producción de alcohol de manera que el proceso sea automático y el producto sea de calidad. El proyecto aspira el uso de tecnologías de automatización industrial para el diseño e implementación de un control de lazo cerrado tomando la temperatura deseada y comparando constantemente con la temperatura de salida en el proceso de destilación de alcohol fermentado con el fin de asegurar la eficacia del proceso, reducir costos y eliminar la etapa manual del proceso.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El presente trabajo es una aplicación de la automatización industrial, el cual servirá para controlar, seleccionar y monitorear el proceso de destilación de alcohol el cual depende de la temperatura, presión y del grado de alcohol, disminuyendo la operatividad manual en la regulación de temperatura y de esta manera incrementaremos la eficacia y la calidad del producto final y de la misma manera se reducirá pérdidas y carga de trabajo.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar e implementar un sistema lazo cerrado para el control de temperatura en un proceso de destilación de alcohol fermentado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el proceso de destilación de alcohol fermentado.
- Diseñar e implementar un control para la regulación de temperatura a niveles adecuados para la obtención de alcohol en el proceso de destilación.
- Desarrollar un programa que permita realizar la operación y visualización de información sobre de las variables implicadas en el proceso de destilación desde una interface hombre maquina (HMI).
- Realizar pruebas de funcionamiento y calibrar el controlador para una óptima estabilización de temperatura.

CAPÍTULO 1

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Proceso de destilación de alcohol fermentado.

1.1.1 *Introducción*

La destilación es un proceso por el cual es posible separar la sustancia menos volátil de una mezcla líquida aprovechando las diferentes volatilidades de dicha mezcla, el principal objetivo de este proceso es obtener la sustancia menos volátil con mayor pureza, para llevar a cabo la destilación se realiza las etapas de evaporación y condensación

En la etapa de evaporación se llega al punto de ebullición de la sustancia de interés para que se convierta en vapor y después volverla a convertir en líquido por medio de la condensación quedando así la sustancia más volátil en el recipiente de entrada, por lo general agua.

En el presente proyecto la sustancia de interés es el etanol cuya temperatura de ebullición es a los 78.4°C, al estabilizar el proceso en esta temperatura se evapora el etanol de otras sustancias incluyendo el agua cuyo punto de ebullición es mayor alrededor de los 100°C.

1.1.2 *Conceptos Básicos*

1.1.2.1 *Alcohol Fermentado*

La fermentación alcohólica conocida también como fermentación etílica es un proceso biológico realizado por las levaduras o algunas clases de organismos o bacterias, estos organismos se encargan de transformar el azúcar proveniente de cereales, frutas o vegetales en alcohol y dióxido de carbono. La fermentación se produce en ausencia de oxígeno y se utiliza para elaborar muchos productos necesarios como el queso, medicamentos, vinos etc. el alcohol adopta distintas formas y se puede utilizar como limpiador, antiséptico o sedante.

Una causa de que el proceso de fermentación se detenga es la graduación alcohólica por la resistencia de la levadura al etanol por lo que el alcohol fermentado no posee una riqueza alcohólica elevada y mediante un proceso de destilación se purifica esta sustancia

- *Etanol*

El etanol o conocido como alcohol etílico es un líquido proveniente de la fermentación, es un compuesto químico orgánico que se extrae del azúcar de cereales frutas o vegetales, es inflamable

e incoloro con una densidad relativa de 0,789 a 20°C, es utilizado para la elaboración de productos como resinas, pegamentos, solventes, etc.

Las siguientes tablas muestran las propiedades y características del etanol detalladamente:

Tabla 1-1: Propiedades Físicas del Etanol

Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	810 kg/m ³ ; (0,810 g/cm ³)
Masa molecular	46,07 uma
Punto de fusión	158,9 K (-114,1 °C)
Punto de ebullición	351,6 K (78,6 °C)
Temperatura crítica	514 K (241 °C)
Presión crítica	63 atm

Fuente: <http://www.ecured.cu/Etanol>

En la tabla 2-1 se observa las propiedades químicas del etanol, de las cuales indica que es un producto miscible es decir forma una sustancia homogénea al ser mezclada con agua.

Tabla 2-1: Propiedades Químicas del Etanol

Acidez (pKa)	15,9
Solubilidad en agua	Miscible
KPS	n/d
H0 gas	-235.3 kJ/mol
H0 líquido	-277.6 kJ/mol
S0 líquido	1 bar 161.21 J•mol ⁻¹ •K ⁻¹
Valores en el SI y en condiciones normales	0 °C y 1 atm
Momento dipolar	n/d D

Fuente: <http://www.ecured.cu/Etanol>

Tabla 3-1: Fórmulas del Etanol

Fórmula semidesarrollada	CH ₃ -CH ₂ -OH
Fórmula estructural	CH ₂ OH-CH ₃
Continúa	
Fórmula molecular	C ₂ H ₆ O

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/91070200/Etanol-propiedades#scribd>

Tabla 4-1: Peligrosidad del Etanol

Punto de inflamabilidad	286 K (13 °C)
Temperatura de autoignición	636 K (363 °C)
Límites de explosividad	3.3 a 19%

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/91070200/Etanol-propiedades#scribd>

- *Bebidas fermentadas*

Se conocen como bebidas fermentadas aquellas que han pasado solamente por el proceso de fermentación por lo que poseen poca concentración alcohólica.

Tabla 5-1: Bebidas Fermentadas Conocidas

PRODUCTO	ORIGEN
Vino	Uva
Sidra	Manzana
Vino de fruta	Frutas Diversas
Sake	Arroz
Hidromiel	Miel
Cerveza	Cereales
Pulque	Maguey

Fuente: <http://www.vinodefruta.com/fermentados>

- *Bebidas destiladas*

Las bebidas destiladas son aquellas que han sido sometidas a un proceso de destilación luego de haber pasado por el proceso de fermentación, el objetivo principal de la destilación es aumentar la concentración de alcohol por medio de la separación de otros componentes presentes por la fermentación.

Una vez obtenida la bebida destilada puede ser o no sometido a un proceso de envejecimiento para mejorar la calidad del producto.

Tabla 6-1: Bebidas Destiladas Conocidas

PRODUCTO	ORIGEN
Pisco	Uva
Grappa	Uva
Ron	Caña de azúcar
Cachaza	Caña de azúcar
Cocuy	Maguey
Tequila	Maguey
Brandy	Uva
Whisky escocés	Cebada
Whisky americano	Maíz
Ginebra	Enebro
Vodka	Papa

Fuente: http://www.vinodfruta.com/fermentados_y_destilados_marco.htm

La materia prima que se utiliza para el proceso de destilación en el equipo de laboratorio de procesos industriales es alcohol fermentado con una concentración de 40 GL y 50 GL (grado alcohólico en la escala Gay Lussac), el objetivo es lograr aumentar ese grado de concentración separando el agua y otras sustancias presentes en la materia prima.

- *Escala de Gay Lussac*

El grado alcohólico volumétrico de una bebida alcohólica es la expresión en grados del número de volúmenes de alcohol contenidos en 100 volúmenes de producto.

La escala de Gay Lussac GL consta de 100 divisiones y cada una corresponde al tanto por ciento de alcohol que contiene el líquido medido, tiene la ventaja que nos permite conocer directamente el porcentaje de alcohol de una disolución alcohólica.

En su gran mayoría el Gay Lussac es la escala que más se utiliza para medición de alcohol en un líquido debido a su facilidad de medición y es la más utilizada en América Latina.

El instrumento flota en el líquido de acuerdo a la concentración de alcohol que posea y su escala determina el grado de alcohol en la que se encuentra.



Figura 1-1: Alcoholímetro con escala de Gay Lussac

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

El efecto de un aumento de temperatura, suele disminuir las diferencias relativas de las volatilidades entre los componentes de una mezcla dada; de igual manera, una disminución de la temperatura de vaporización aumenta las diferencias de las volatilidades.

La presión de vapor depende de dos factores: la naturaleza del líquido y la temperatura, de manera que a medida que se eleva la temperatura la presión de vapor aumentará, hasta llegar al punto de ebullición de un líquido.

La destilación depende de los valores de temperatura y presión existentes dentro de la torre pues al aumentar la temperatura el etanol se evapora y este vapor genera una presión con lo que facilita su condensación

1.1.2.2 *Sustancias miscibles e inmiscibles*

- *Sustancias miscibles*

La miscibilidad se refiere a la propiedad que tienen algunos líquidos, sólidos o gases de transformarse o mezclarse con otro tipo de sustancias a tal grado que se puede llegar a una solución homogénea entre esta mezcla.

Una mezcla formada por dos o más sustancias tienen la capacidad de conservar todas sus propiedades cuando se habla de miscibilidad, o al contrario sus componentes unidos pueden separarse por medios físicos que pueden ser la cristalización, destilación, evaporación, entre otros.

Un ejemplo muy común de sustancias miscibles es el alcohol y el agua, debido a su fácil combinación o mezcla obteniéndose una solución homogénea permaneciendo todas sus propiedades después de su mezcla.

- *Sustancias inmiscibles*

Las sustancias inmiscibles al diferencia de las miscibles no pueden lograr una solución homogénea, no se logra la mezcla entre dos o más sustancias y en ninguna proporción son capaces de formar una fase homogénea.

Un ejemplo común de sustancias inmiscibles es el agua y el aceite ya que por ningún motivo son capaces de mezclarse y obtener todas sus propiedades debido a que no son solubles en todas sus proporciones.

1.1.2.3 Destilación

Como ya se mencionó la destilación ayuda a la separación de sustancias mediante calentamiento para luego condensar la sustancia más volátil mediante enfriamiento. Pero las sustancias poseen diversas propiedades tanto físicas como químicas y son estas propiedades las que se deben tomar en cuenta antes de querer purificar una determinada sustancia.

Durante la historia de la humanidad se han desarrollado diversas técnicas de destilación para la purificación de sustancias según sus propiedades, estas técnicas se las detalla a continuación.

1.1.2.4 Tipos de destilación

- Destilación fragmentada
- Destilación por vapor
- Destilación al vacío
- Destilación molecular centrífuga
- Sublimación
- Destilación destructiva

Se realiza una descripción breve de cada tipo de destilación, para conocer sus características.

- *Destilación por vapor*

La destilación por vapor se basa en el equilibrio de líquidos inmiscibles, esta destilación se emplea para separar las sustancias que se encuentran en una mezcla y que poseen un punto de ebullición muy alto.

Este proceso de destilación se emplea cuando existe o se cumple los siguientes parámetros:

- ✓ Volátiles
- ✓ Inmiscibles en agua
- ✓ Presión de vapor baja
- ✓ Punto de ebullición alto (mayor a 100°C)

Cuando se quiere destilar una mezcla de dos líquidos inmiscibles, el punto de ebullición requerido será una temperatura a la cual la suma de sus presiones de vapor es igual a la atmosférica. Esta temperatura deberá ser inferior al punto de ebullición del componente más volátil.

En definitiva la destilación por vapor es un proceso utilizado para separar sustancias insolubles en el agua y ligeramente volátiles de otras no volátiles que se encuentran en la mezcla o producto inicial.

- *Destilación al vacío*

El proceso de destilación al vacío tiene el mismo principio de destilación, este se emplea cuando es necesario reducir el punto de ebullición de la sustancia, lo importante en esta destilación es que al crear un vacío en el proceso se puede reducir el punto de ebullición de la sustancia casi a la mitad.

Debido a que existen muchas sustancias que se desean separar por destilación, no todas estas soportan una gran cantidad de temperatura por lo que emplear otro tipo de proceso de destilación no funcionaría ya que se perdería o descompondrían químicamente.

El proceso de destilación al vacío tiene como objetivo destilar una mezcla o producto a temperaturas bajas por medio de la disminución de su presión, generalmente este proceso se utiliza en productos naturales como vitaminas.

- *Destilación molecular centrifuga*

La destilación molecular centrifuga es una técnica de depuración que tiene una amplia utilización en el procesamiento de alimentos, productos farmacéuticos entre otros.

En una centrifugadora o en un instrumento llamado vórtice las fuerzas se separan, los componentes que contiene una mezcla son mayores que la gravedad haciendo exitosa su separación.

- *Sublimación*

Sublimación es el proceso de transformación del estado sólido al estado gaseoso sin pasar por ningún momento al estado líquido.

El proceso que se utiliza en la sublimación es la misma que la destilación simple salvo que en este caso se necesita convertir la mezcla sólida en gas para posteriormente separar sus componentes y finalmente hacerla solida nuevamente, en este proceso se debe tener mucho cuidado de que el sólido no obstruya o perjudique en el aparato de destilación.

Mediante la sublimación se logra destilar componentes sólidos por medio del calentamiento convirtiendo el componente más volátil en gas para posteriormente obtener purificación solida mediante el enfriamiento de este modo los gases al condensarse se depositan en la base de una pieza de porcelana en forma de cristales.

Este método de destilación por sublimación se la utiliza en el yodo purificado o el hielo seco.

- *Destilación destructiva*

La destilación destructiva es un método empleado para separar componentes de una mezcla por medio de temperaturas elevadas.

Al extraer los componentes de una mezcla estas se separan por fraccionamiento en el mismo proceso, a esto se lo conoce como destilación destructiva o separación seca. Este tipo de proceso se lo utiliza en el carbón y madera

La destilación destructiva obtiene como resultados la separación de componentes derivados de una mezcla y estos no pueden volver a ser reconstruidos a su estado original.

- *Destilación fragmentada*

Este proceso se emplea cuando se quiere separar sustancias con puntos de ebullición distintos pero cercanos, algunos ejemplos de destilación comunes que se emplean es el petróleo y alcohol.

A diferencia de la destilación simple la destilación fraccionada utiliza una columna de fraccionamiento que contiene pequeños platos distribuidos en una torre a lo largo de su longitud, de esta manera a medida que el vapor va ascendiendo se van separando sus componentes enriqueciendo la sustancia más volátil en una temperatura establecida, de tal manera que cada división va adquiriendo una temperatura igual al punto de ebullición de una sustancia.

Una vez calentada la torre el vapor pasa por cada división obteniendo un mejor grado de enriquecimiento hasta llegar al punto final de la torre para que posteriormente pase por un proceso de enfriamiento para transformar el estado gaseoso en líquido y obteniendo así la sustancia más volátil separada de sus componentes iniciales.

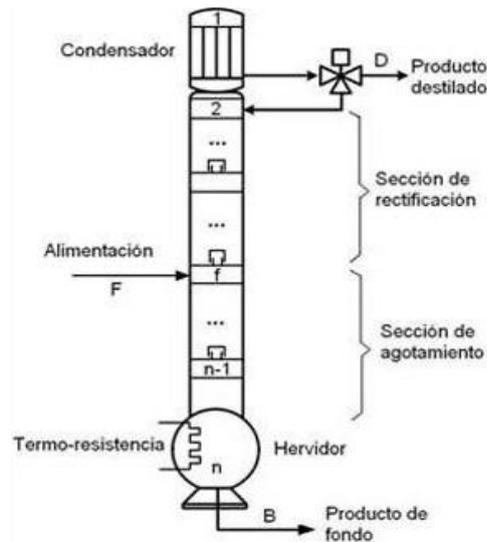


Figura 2-1: Diagrama proceso de destilación fragmentada
Fuente: <http://operaciones-unitarias-1.wikispaces.com/Tipos+de+Destilacion>

- *Columna de destilación*

La torre está dividida en platos en donde el alcohol evaporado va ascendiendo a causa de una fuerza ligera generada por la diferencia de presiones existentes entre plato-plato.

Una vez elevada la temperatura en la parte superior de la torre el alcohol pasa por un proceso de enfriamiento en un condensador por el que fluye agua, el alcohol pasara por una etapa de retroalimentación para conseguir mayor concentración.

La destiladora de alcohol que actualmente se usa en el laboratorio de procesos industriales consta de siete platos.



Figura 3-1: Torre destiladora de alcohol del laboratorio de Procesos Industriales

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

- *Operación del equipo de destilación*

- Calentamiento de la torre
- Alimentación del producto
- Regulación de la temperatura
- Condensación
- Reflujo

- *Calentamiento de la Torre*

Para que la destilación se lleve a cabo se necesita calentar la columna del equipo hasta llegar a la temperatura de ebullición del etanol y estabilizarla. En este caso el calor es suministrado por un caldero que genera vapor hasta una presión máxima de 60 psi.

- *Alimentación del Producto*

La alimentación se controla con una válvula de paso la cual se debe accionar en cantidades mínimas para evitar que el vapor y el líquido drenado reaccionen por el cambio de temperatura que se genera y la torre se enfríe.

- *Regulación de la temperatura*

La temperatura de la torre debe ser lo más estable posible y cercana al punto de ebullición del etanol para que el alcohol se concentre en mayores cantidades en la cima de la columna, los operadores del equipo estabilizaban la temperatura en un rango de 74°C a 80°C.

- *Condensación*

En esta etapa el alcohol en forma gaseosa pasa por un proceso de enfriamiento que consiste en reducir la temperatura con ayuda del agua condensando el vapor de alcohol, para esto se necesita un flujo constante de agua que circule constantemente por el condensador.

- *Reflujo*

El reflujo regula la cantidad de alcohol que es retroalimentado hacia la zona de enriquecimiento de la torre, mientras la llave no se abra el alcohol se sigue enriqueciendo obteniendo más grados de concentración y la temperatura permanece estable.

Una vez obtenido la concentración de alcohol finalmente pasa por un nuevo condensador obteniendo el producto final, en caso de no satisfacerse con los grados de alcohol obtenidos se vuelve a ingresar como alimentación y pasará nuevamente por el proceso de destilación.

En la siguiente figura se muestra las etapas por la cuales pasa el alcohol durante la destilación hasta obtener el producto terminado.

PROCESO DEL ALCOHOL DESTILADO

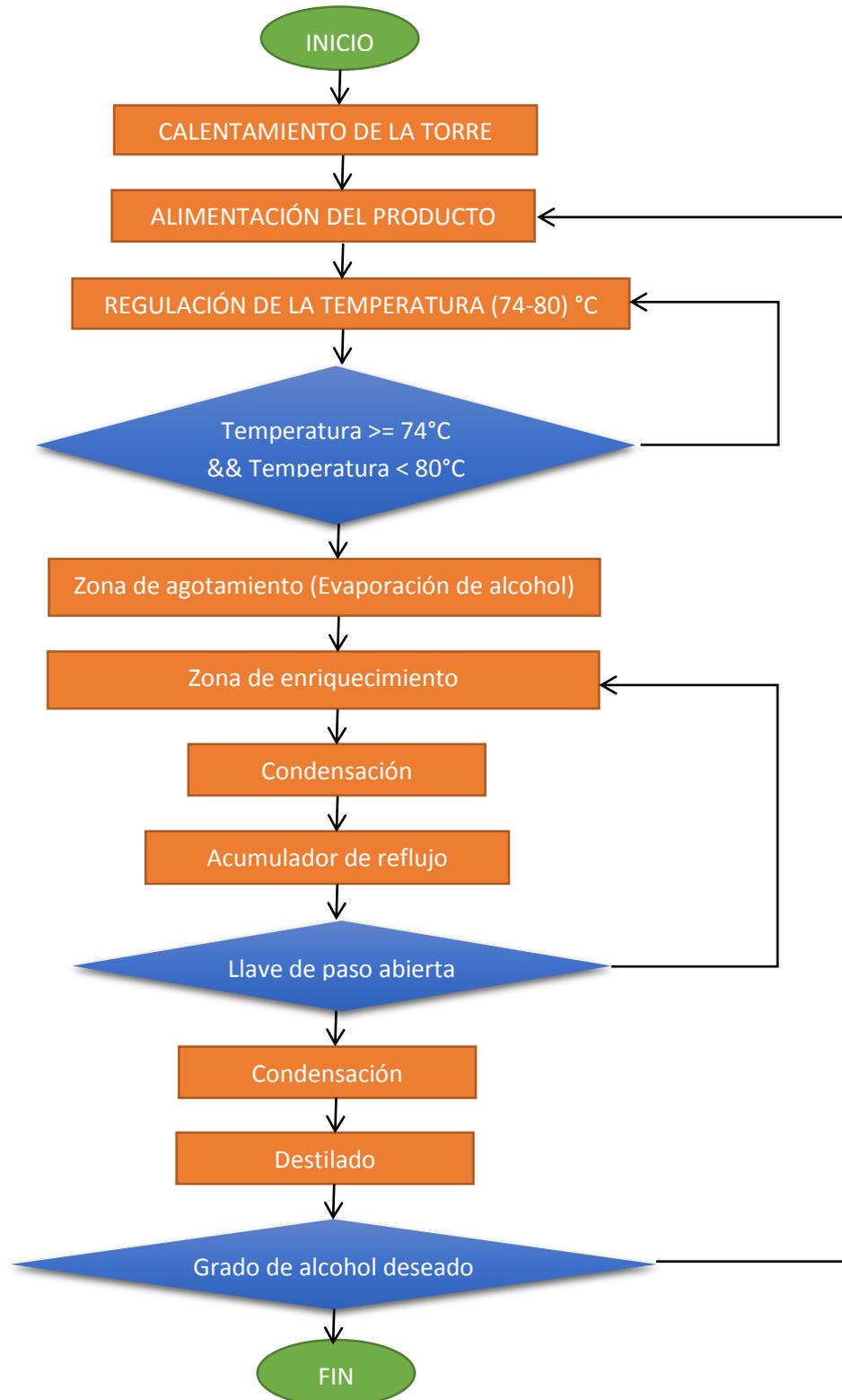


Figura 4-1: Etapas que sigue el alcohol fermentado durante el proceso
Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

1.2 Sistema eléctrico

1.2.1 Introducción

La torre de destilación requiere de un sistema refrigerante para poder desarrollar la etapa de condensación por enfriamiento, es por esto que es necesario incorporar un equipo adicional que realice este proceso, por medio de una maquina pasteurizadora proveniente del laboratorio de procesos industriales se ha acoplado su sistema de refrigeración en el proceso de destilación realizando las respectivas conexiones obteniendo un flujo constante en el condensador.

El equipo de pasteurizadora incorpora un sistema eléctrico que controla una resistencia eléctrica, un compresor de frio y una bomba para recircular agua por los condensadores.

De esta manera se resuelve el uso excesivo de agua en la torre y se mantiene en un nivel bajo de temperatura mejorando el proceso de enfriamiento.

El sistema eléctrico consta de una serie de componentes incorporados para generar un control de su proceso, está conformado por un tablero de control en donde se puede ejecutar y maniobrar el proceso de enfriamiento, se puede obtener la temperatura del agua por medio de un sensor de temperatura (termocupla) y visualizarlo en un display incorporado en el tablero. Consta de un compresor que reduce la temperatura a niveles bajos y mantiene fría el agua que va a ingresar a los condensadores, una bomba de agua que transporta el líquido hacia la torre por medio de sus conexiones, se realiza un ciclo repetitivo puesto que el agua nuevamente regresa al contenedor.

El circuito de fuerza está constituido por un breaker, un contactor, un guarda motor y relés, que son los encargados de controlar los actuadores por medio de interruptores.

1.2.2 Conceptos básicos

1.2.2.1 Moto compresor heladera

El moto compresor es el corazón de un sistema refrigerante, es el encargado de aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como gases y los vapores, logrando así una temperatura a niveles bajos.

Consiste en la transformación de un líquido a gas y viceversa. Existen cinco pasos principales en un circuito de refrigeración: evaporación, condensación, compresión, expansión y recepción.



Figura 5-1: Moto compresor heladera
Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

1.2.2.2 *Bomba de agua*

La bomba de agua es muy utilizada en procesos en donde se desea trasladar el líquido de un sector a otro. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. Su principal funcionalidad es convertir la energía mecánica en hidráulica, estas bombas son utilizadas para mantener un líquido en movimiento generando un aumento de presión a su salida. Las bombas hidráulicas constan de un orificio de entrada (aspiración) y otro de salida (impulsión), las bombas más utilizadas son de tipo volumétricas y de tipo turbo bomba.



Figura 6-1: Motobomba de agua
Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

1.2.2.3 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica es un actuador que transforma la energía eléctrica en calor, en la actualidad las resistencias eléctricas se usan para distintas aplicaciones en las industrias por su sistema de calentamiento.

Existen diferentes tipos de resistencias eléctricas las cuales tiene el mismo principio y son usadas para diferentes aplicaciones de acuerdo al grado de calentamiento que se requiera, estos pueden ser: resistencias selladas, lámparas de calor, resistencias cerámicas, otros materiales.

Cada tipo de resistencia posee distintos tipos de materiales que conforman un grado de concentración de calor generando el efecto Joule.



Figura 7-1: Resistencia eléctrica

Fuente: <https://www.edina.com.ec>

1.2.2.4 Contactores

Los contactores son componentes electromagnéticos que pueden ser normalmente abiertos NA o normalmente cerrados NC, estos se enclavan cuando existe alimentación en sus bobinas.

Los contactores son muy usados en un sistema eléctrico debido a que pueden ser maniobrados por medio de un control o mando, sus principales aplicaciones están en el arranque y control de motores eléctricos, la energización de cargas resistivas, banco de capacitores, sistemas de iluminación, entre otras.

Un contactor electromagnético está conformado por los siguientes elementos: el electroimán, los contactos, la cámara de extinción del arco eléctrico, elementos mecánicos. De manera que el contactor conmuta con la existencia de campo magnético cambiando su estado de encendido a apagado o viceversa.

1.2.2.5 Guarda motores

Los guarda motores son interruptores magneto térmicos generalmente usados para protección en motores ya sean monofásicos o trifásicos.

Las características principales de los guarda motores, al igual que de otros interruptores automáticos magneto térmicos, son la capacidad de ruptura, la intensidad nominal o calibre y la curva de disparo. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase.

Posee elevada capacidad de interrupción, permitiendo su empleo incluso instalaciones con elevado nivel de corrientes de cortocircuito. Asegura total protección al circuito eléctrico y al motor a través de su disparador térmico (ajustable para protección contra sobrecargas

1.2.2.6 Relé

El relé es un dispositivo electromagnético que puede activarse o desactivarse combinando otra serie de circuitos por medio de sus contactos. Posee varios contactos agrupados en forma de circuito conmutado accionados por efectos electromagnéticos. Los relés tienen una forma sencilla de funcionamiento, la bobina es alimentada por corriente alterna o directa dependiendo del grado de potencia de la aplicación, esta corriente pasa por la bobina generando una fuerza electromotriz originando inducción magnética que hace que los contactos cambien de estado.

Un relé está compuesto generalmente de: bobina, pivote, armadura, núcleo de material ferromagnético, contactos NA y NC.

1.2.2.7 Breakers

Los breakers son interruptores de corriente utilizados para la protección de un sistema eléctrico de posibles sobrecargas.

A diferencia de otros dispositivos de protección el breaker puede volver a ser utilizado una vez cambiado su estado, en una instalación eléctrica es indispensable contar con este tipo de protección para evitar posibles daños que puede causar una sobrecarga.

1.2.2.8 Fuente DC

La fuente DC es utilizada para alimentación de dispositivos en un tablero eléctrico debido a que la alimentación de distintos dispositivos requieren de un voltaje y corriente continuos para su funcionamiento y en ocasiones es necesario contar con una fuente adicional capaz de abastecer energía a todos los componentes que requieran de energía continua . La alimentación del controlador es fundamental para su funcionamiento, el objetivo principal de la fuente de alimentación es suministrar voltaje hacia el CPU del PLC y hacia las demás tarjetas que contenga según su configuración.

Generalmente la alimentación consta de la siguiente manera:

- 5 V para alimentar a todas las tarjetas
- 5.2 V para alimentar al programador
- 24 V para los canales de lazo de corriente 20 mA.

1.3 Sistema electrónico

1.3.1 Introducción

La torre de destilación actualmente no cuenta con un sistema electrónico ya que su proceso es totalmente manual y depende del manejo de personal capacitado.

Un sistema electrónico es un conjunto de componentes o dispositivos combinados para generar un proceso a base de datos físicos obtenidos por sensores ya sea analógicos o digitales para posteriormente almacenarlos en un controlador y establecer una acción dependiendo del proceso a través de actuadores.

Con el fin de generar un proceso automático y asegurar la confiabilidad en el proceso se ha establecido un sistema electrónico conformado por un controlador (PLC), dispositivos de entrada (sensores), dispositivos de salida (electroválvulas) y una interfaz hombre-máquina. Todos estos elementos trabajan conjuntamente para ejecutar un control óptimo y mejorar la productividad

1.3.2 Conceptos Básicos

1.3.2.1 Controlador de temperatura

Un controlador de temperatura acepta como entradas señales provenientes de sensores que pueden ser termopares o RTD y cambiar los estados de sus salidas acorde con la configuración previamente establecida para controlar la activación de actuadores como calefactores o enfriadores los que cambiarán el valor de la temperatura en el proceso y nuevamente será medida por los sensores cerrando de esta manera el ciclo de funcionamiento.

Existen tres clases de controladores de temperatura:

Controladores PID.- son usados en procesos en los cuales se requiera un control analógico, con ello se obtiene valores comprendidos entre encendido y apagado compensando los cambios de temperatura.

Controladores proporcionales.- estos controladores tienen la capacidad de regular la potencia del actuador dependiendo si la temperatura actual está más cercana o no al punto de estabilización.

Controlador on/off.- es el más sencillo de los controladores pues únicamente enciende o apaga en actuador si la temperatura actual supera o no al punto de equilibrio.

Como los cambios de temperatura en el proceso no es muy complejo se usa un controlador on/off



Figura 8-1: Controlador 3s c900
Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

1.3.2.2 Controlador lógico programable (PLC)

Conocido también como autómatas programables es un dispositivo electrónico capaz de controlar un proceso por su amplio funcionamiento generalmente utilizado para automatizar un proceso en una industria. Los PLCs pueden ser programados en lenguajes de alto nivel con instrucciones lógicas capaces de realizar un proceso, consta de varias entradas y salidas tanto analógicas como digitales que mediante una serie de instrucciones se activan o desactivan dependiendo del proceso.



Figura 9-1: Easy PLC
Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

Estructura Básica de un proceso con PLC

- CPU
- Programador

- Circuitos de entrada
- Circuitos de salida
- Memoria de trabajo
- Memoria de programa
- Fuente de poder
- Sensores
- Actuadores

Un PLC o autómata programable contiene un conjunto de herramientas tanto software como hardware capaz de controlar un proceso o un conjunto de instrucciones establecidas ya que tiene la capacidad de recibir y procesar señales externas de sensores y mediante esto controlar otros componentes de acuerdo a un programa o secuencia creada por el usuario o manipulador del controlador.

- *Unidad de Procesamiento Central (CPU)*

Es la parte principal del PLC o controlador en donde se encuentra el pilar o fuente de información, se podría decir que es el cerebro del controlador, el CPU del PLC esta diseñada y estructurada a base de microprocesadores y memorias que contienen la unidad de control, también existe la memoria interna o la RAM del programador, contadores, temporizadores, reles entre otros.

La función principal del CPU es leer los datos de las señales establecidas por los sensores (entradas) para posteriormente ejecutar un proceso o una instrucción secuencial, mediante esto se podría manipular un conjunto de actuadores gracias al control del CPU hacia sus salidas, el procesamiento es permanente y a gran velocidad.

- *Módulos de entradas y salidas*

Son los módulos donde se recibe (entradas) y se envía las señales (salidas), a través de este módulo podemos realizar el intercambio de información de acuerdo a un conjunto de pasos o instrucciones establecidas por el controlador.

Los módulos de entradas y salidas pueden ser discretos o analógicos a diferente valor de tensión que puede ser en continua DC o alterna AC.

- *Módulos de Memorias*

El PLC cuenta con dispositivos almacenadores de memoria que pueden ser permanentes o provisionales estos pueden ser:

- RAM (memoria provisional)

- EPROM y EEPROM (memoria permanente)

- *Unidad de Programación*

La unidad de programación es el medio de comunicación entre hombre-máquina generalmente estos están constituidos por teclados o dispositivos de visualización.

La unidad de programación puede ser manual, de calculadora o de video (computadora), depende del tipo de programación que se realice y la interfaz que se utilice.

- *Circuito de Entrada*

Es la circuitería inicial que generalmente comanda el proceso, estos dispositivos van conectados a las entradas ya sea digitales o analógicas del PLC, mediante estas señales se puede registrar para realizar la programación adecuada, estos pueden ser: pulsadores, selectores, interruptores, botones de emergencia, sensores Fotoeléctricos, sensores de Proximidad, sensores de temperatura, sensores inductivos, sensores capacitivos, etc.

- *Circuito de Salida*

Son los dispositivos que actúan por disposición del controlador, estos se conectan a las salidas del PLC para realizar ejecutar un proceso que generalmente asido establecido por el controlador mediante sus entradas y señales recibidas de los sensores, estos pueden ser: electroválvulas, motores, alarmas, luces piloto, ventiladores, bocinas, solenoides etc.

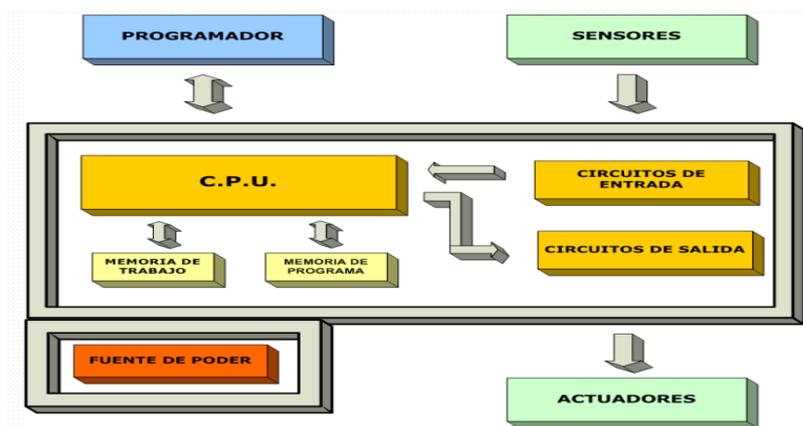


Figura 10-1: Estructura Básica de un proceso con PLC

Fuente: <http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C..pdf>

- *CLASIFICACIÓN DE LOS PLC*

En la actualidad existe una gran variedad de PLC por lo que existe una amplia clasificación si se habla respecto a número de entradas y salidas, tamaño de memoria, funciones, capacidad,

apariciencia o aspecto entre otros, de acuerdo con estos aspectos los PLC pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- *PLC Tipo Nano*

Generalmente son de tipo compacto ya que integran una estructura básica como es la fuente de poder para la alimentación del PLC, el CPU donde se comanda las instrucciones del controlador y las entradas y salidas que pueden ser de tipo digital y analógico en donde intervienen los sensores y actuadores en un sistema de control.

Se llaman de tipo nano ya que no tienen la suficiente capacidad para manejar gran cantidad de entradas y salidas, generalmente estos PLC manejan en un rango no mayor de 100 entradas y salidas.

Este tipo de PLC permite manejar un número moderado de entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

- *PLC Tipo Compacto*

El PLC compacto tiene un mayor tamaño que el PLC nano y permite manejar una gran variedad de módulos especiales como pueden ser:

- Entradas y salidas tanto digitales como analógicas
- Módulos de comunicación
- Expansiones o módulos de entradas y salidas
- Interfaces de operadores
- Módulos contadores rápidos

- *PLC Tipo Modular*

Estos tipos de PLC son los más completos ya que contienen a más de una estructura básica (entradas, salidas, fuente de alimentación, CPU) componen un conjunto de elementos que conforman el controlador final estos son:

- El Rack
- La fuente de alimentación
- La CPU
- Los módulos de entrada y salida

En este tipo de controladores podemos encontrar los Micro PLC y otros tipos que permiten manejar hasta miles de entradas y salidas debido a su gran capacidad, generalmente estos PLC son más grandes por sus prestaciones.

1.3.2.3 Sensores

Un sensor de temperatura es un instrumento de medición de calor dentro de un ambiente en donde se pueden involucrar sólidos, líquidos o gases.

Sirven para medir los grados de temperatura existentes de líquidos, en movimiento o en depósito, motores, ductos, cañerías, turbinas, reactores, etc. Generalmente a los sensores se les encuentra en todo tipo de proceso industrial en donde se requiera controlar el nivel de temperatura.

- Sensores Termo resistivos

A estos sensores también se las conoce como termo resistencias ya pues cambian su resistencia a medida que se aumenta o disminuye la temperatura, existen varios tipos de sensores resistivos los más conocidos son los RTD, su estructura está basado en materiales metálicos resistentes al calor como el platino y el níquel.

Sensor PT100 (Termo resistivo)



Figura 11-1: Sensor PT100

Fuente: <http://www.srcsl.com/caracteristicas-sensores-pt100>

El sensor PT100 conocido como RTD o termo resistivo es un sensor de temperatura muy utilizado en la industria por su rango de medición y su estructura metálica capaz de resistir altas temperaturas.

La resistencia de la PT100 varía de acuerdo al aumento o disminución de la temperatura, de manera que a 0°C su resistencia indicará 100 ohms. La variación de resistencia del PT100 no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Para el proceso de destilación se utilizarán 2 sensores PT100 tanto en la parte superior como inferior de la torre para controlar y monitorear la temperatura en ambos sectores, como no se requiere controlar temperaturas superiores a los 100°C este tipo de sensores sería el más óptimo por su amplio rango de medición y fácil instalación en el equipo destilador.

Tabla 7-1: Características del Sensor PT100

Sensor Tipo	Termo Resistivo
Exactitud	Clase A según norma EN 60 751
Vástagos	Acero inoxidable
Temperatura	De -200 a 600°C
Salida	4 a 20 mA
Conexión	2,3 y 4 hilos
Conexión a Proceso	Sanitaria, bridada o roscada
Estándar de Calidad	ISO 9001:2000

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

- *Sensores Termoeléctricos*

Generalmente conocidos como termocuplas o termopares, son dispositivos que producen un voltaje proporcional a la diferencia de temperatura entre el punto de unión de dos alambres metálicos disímiles y cualquiera de los extremos libres, a este fenómeno se lo denomina efecto Seebeck.

- *Sensores Piro eléctricos*

También denominados termómetros de radiación, son dispositivos que miden indirectamente la temperatura a partir de la medición de la radiación térmica infrarroja que emiten los cuerpos calientes.

1.3.2.4 *Electroválvulas*

Las electroválvulas son diseñadas principalmente para controlar el paso de un fluido a través de un conducto o tubería el cual necesita ser controlado en este caso de manera eléctrica por medio del solenoide que posee, existen muchos tipos de válvulas dependiendo de la aplicación y funcionamiento.

Las electroválvulas pueden ser normalmente abiertas NA y normalmente cerradas NC de accionamiento directo o indirecto.

Las válvulas pueden ser nombradas por:

- Número de vías (direccionales)
- Número de posiciones
- Accionamiento
- Retroceso
- Posición en la que se encuentra

Accionamientos y retornos

Las válvulas pueden accionarse de 4 maneras:

- Manual
- Mecánico
- Eléctrico
- Neumático

Accionamiento manual			
Manual general		Palanca	
Pulsador de seta		Pedal	
Accionamiento mecánico			
Pulsador mecánico		Rodillo escamoteable	
Rodillo		Muelle	
Accionamiento neumático			
Presión		Depresión	
Accionamiento eléctrico			
Electroimán		Electroimán servopilotado	

Figura 12-1: Accionamiento y retorno de válvulas

Fuente: <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com>

- *Electroválvulas sencillas*

Estas válvulas son comúnmente conocidas y las más fáciles de usar ya que solo necesitan de alimentación eléctrica para su funcionamiento.

Las electroválvulas sencillas pueden ser normalmente abiertas o normalmente cerradas dependiendo de sus características de modo que cuando exista alimentación en su solenoide estas cambiaran de estado y se enclavaran hasta el momento de cerrar o cortar su alimentación.

Existen diversos tipos de electroválvulas que pueden ser utilizadas para fluidos, vapor, gases, etc dependiendo de sus especificaciones.

- *Electroválvula para alimentación del producto*

Para la automatización de la maquina destiladora utilizaremos electroválvulas de fluido normalmente cerradas de bronce para la alimentación del producto que van hacer controlados por el sistema de control, estas electroválvulas son las más adecuadas para el proceso debido a que son fácilmente manipuladas por el controlador y constan de las características necesarias para su correcto funcionamiento.

La electroválvula de alimentación se activara o desactivara para mantener un rango constante de temperatura entre 77 y 78°C.

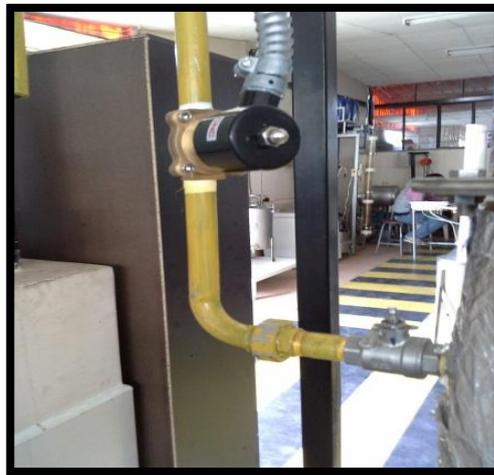


Figura 13-1: Electroválvula para alimentación del producto

Fuente: GUANGASI, Cristian, y NOBOA, Daniel, //2016

Tabla 8-1: Especificaciones electroválvula para alimentación del producto

Alimentación	110V AC
Tamaño	½ pulgada
Tipo	laton
Conexión	NPT
Temperatura máxima	80°C
Presión	0 a 10 kgr / cm ^2

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

- *Electroválvula de vapor para alimentación de la torre*

Para la alimentación de la torre utilizaremos una electroválvula de vapor de 24V DC normalmente cerrada de bronce capaz de soportar grandes presiones y temperatura para un correcto funcionamiento.

Esta electroválvula es controlada por el sistema de control dependiendo del grado de temperatura que se encuentre ya que está relacionada directamente con los datos de temperatura que proporcionan los sensores PT100 tanto en la parte superior como inferior de la torre.

Esta válvula se activara o desactivara dependiendo del grado de temperatura que se encuentre la torre que en este caso sería el punto de ebullición del alcohol en un rango entre 77 y 78°C, esta temperatura debe ser constante para que el alcohol se transforme en vapor y pueda ascender por los platos de la torre manteniendo un proceso óptimo.



Figura 14-1: Electroválvula de vapor
Fuente: GUANGASI, Cristian, y NOBOA, Daniel, //2016

Tabla 9-1: Especificaciones electroválvula de vapor para alimentación de la torre

Alimentación	24V DC
Tamaño	½ pulgada
Tipo	bronce
Conexión	NPT
Temperatura máxima	185°C
Presión	0.2 a 10 kgr/cm ²

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

- *Electroválvula de vapor para el reflujo*

Para el enriquecimiento del alcohol utilizaremos una electroválvula de vapor en acero inoxidable con alimentación de 220V AC normalmente cerrada capaz de soportar grandes presiones y temperatura para un correcto funcionamiento.

Esta electroválvula es controlada por el sistema de control mediante tiempos, que pueden ser regulados a través del computador por medio de su interfaz hombre – máquina, dependiendo del tiempo de enriquecimiento se podrá lograr mayores grados de concentración de alcohol obteniendo mejores resultados.

La electroválvula dejara pasar el producto final por 5 minutos y volverá a cerrarse para continuar con el proceso, mediante esta operación se tendrá el producto terminado con el grado de concentración establecida dependiendo del tiempo de enriquecimiento que se haya establecido.



Figura 15-1: Electroválvula para el refluj
Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

Tabla 10-1: Especificaciones electroválvula de vapor para alimentación de la torre

Alimentación	220V AC
Tamaño	1 pulgada
Tipo	Acero inoxidable
Conexión	NPT
Temperatura máxima	180°C
Presión	0 a 10 kgr / cm ²
Potencia	2 W

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

1.3.3 *Sistemas de control*

Un sistema de control es un conjunto de componentes físicos interrelacionados entre sí para realizar un proceso sin la intervención de agentes exteriores.

Un sistema de control automático generalmente está compuesto de dispositivos de entrada, dispositivos de salida y una unidad de control o controlador.

La implementación y desarrollo de los sistemas de control están presentes en diferentes aplicaciones, en el ámbito doméstico, en los procesos industriales, en el desarrollo tecnológico y científicos entre otros obteniendo un amplio avance en todos los campos.

Los sistemas de control han sustituido el trabajo del hombre a través de procesos autónomos obteniendo mejores resultados en su ejecución por medio de máquinas controladas.

En la producción industrial su utilización permite:

- Aumentar la calidad y la cantidad del producto fabricado.
- Mejorar los sistemas de seguridad del proceso industrial.
- Ejecutar operaciones que para el hombre serían riesgosas y se obtendría resultados menos eficientes.
- Reducir costes en la realización de procesos.

1.3.3.1 *Control de lazo abierto*

Los sistemas de control de lazo abierto son aquellos en los cuales la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control).

Estos tipos de sistema no tienen retroalimentación por lo que su control sería efectuado para sistemas en los cuales no existan perturbaciones y de ser así el control no sería el adecuado.

Los sistemas de lazo abierto poseen las siguientes características:

- No se compara la salida del sistema con otro valor o referencia.
- Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- La exactitud de la salida del sistema depende del proceso que realice el controlador.
- En presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente.
- El control en lazo abierto suele aparecer en dispositivos con control secuencial, debido a que no poseen retroalimentación

El sistema de control de lazo abierto no es suficiente para controlar un sistema en el cual existan perturbaciones debido a que su control no es completo.

Estos sistemas son los más sencillos, la acción del controlador es independiente de la salida controlada de la planta. Así, los sistemas de control de lazo abierto están compuestos únicamente por el controlador, la planta, la entrada de referencia al controlador, la señal de control de la planta y la salida controlada.

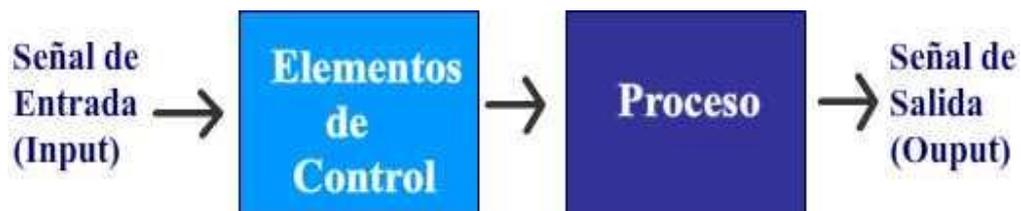


Figura 16-1: Control de lazo abierto

Fuente: http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_2a.htm

1.3.3.2 Control de lazo cerrado

Los sistemas de control de lazo cerrado son aquellos en los que la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control).

Estos sistemas de control poseen retroalimentación y pueden controlar cualquier tipo de perturbaciones con ayuda de la señal de sensores las cuales realizan el ciclo repetitivo en el proceso.

Generalmente este tipo de sistemas son completos ya que poseen dispositivos de entrada, dispositivos de salida, controlador y retroalimentación por medio de sensores que sirven para comparar la señal de entrada con la de salida.

La toma de decisiones del sistema no depende sólo de la entrada sino también de la salida.

El sistema es más flexible y capaz de reaccionar si el resultado que está obteniendo no es el esperado, generalmente llamamos robots a un sistema de lazo cerrado debido a su capacidad de reaccionar frente a alguna perturbación.

Las características que se pueden destacar en un control de lazo cerrado son:

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

Generalmente un sistema de control de lazo cerrado posee

- Señal de entrada
- Comparador
- Elementos de control
- Proceso
- Señal de salida
- Sensor (retroalimentación)

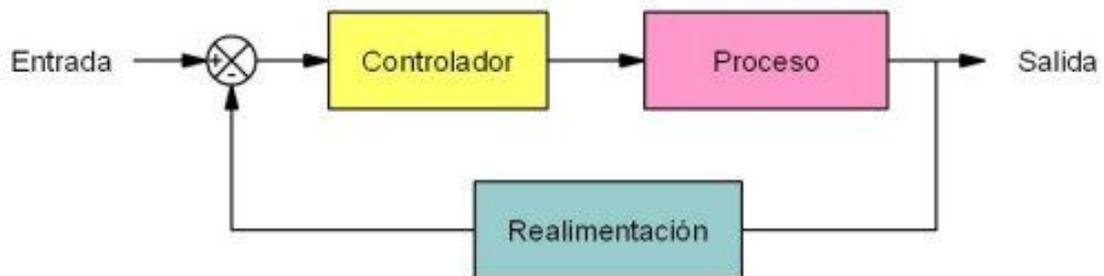


Figura 17-1: Control de lazo cerrado

Fuente: http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html

En el diseño del sistema de control para el proceso de destilación de alcohol fermentado se utilizará un sistema de lazo cerrado con retroalimentación de manera que se pueda ejecutar el proceso de manera permanente y sea capaz de solucionar problemas de inestabilidad frente a perturbaciones.

En este caso contaremos con un controlador (PLC) que ejecutara las acciones frente a perturbaciones, un proceso de destilación con ayuda de actuadores (electroválvulas) que van a realizar el proceso de forma secuencial dependiendo de las señales de entrada, y una retroalimentación (sensores de temperatura) que van a mantener el sistema estable y en ejecución.

El sistema de control garantiza un proceso óptimo y estable para obtener un producto de calidad mejorando la producción y efectividad en la destilación, por medio del sistema de lazo cerrado se podrá obtener un proceso permanente y autónomo por medio de sus dispositivos de entrada, salida y de control.

1.3.4 Lenguaje de programación para un autómeta

La programación de un PLC es un conjunto de instrucciones secuenciales generadas con el objetivo de realizar un proceso lógico y cumplir una determinada tarea.

El proceso de programación de un PLC requiere de un conjunto de pasos, primeramente es necesario definir y analizar el problema que tratamos de resolver mediante la automatización para de esta manera tener una visión y claridad de que es lo que necesitamos.

Una vez teniendo claro lo que se va a realizar se procede a declarar las entradas salidas q vamos a necesitar para que se lleve a cabo el proceso, tanto para sensores como para actuadores estableciendo el tipo de entrada y salida que se requiera (digital o analógica).

Las entradas y salidas nos sirven de variables para poder realizar la programación, se debe establecer un conjunto de pasos secuenciales empezando desde el inicio hasta el final diseñando un algoritmo lógico.

Tomando en cuenta todos estos pasos se procede a realizar la programación en el lenguaje adecuado para el PLC estableciendo una comunicación entre el programa y el PLC de tal manera que se pueda quemar o insertar el algoritmo a la memoria del PLC.

Finalmente luego de declarar las variables y después de diseñar el algoritmo lógico se procede a verificar su funcionamiento a través del mismo programa o dentro del PLC realizando las respectivas pruebas y corrigiendo los posibles errores que pueda existir.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones el PLC con su respectivo algoritmo realizara el proceso y la secuencia será constante a excepción de existir un circuito de paro o desconectando por completo la alimentación del controlador.

1.3.4.1 Diagrama de funciones

- Lenguaje SFC (GRAFCET)

Es un tipo de lenguaje gráfico utilizado para una representación en secuencias de control de un algoritmo lógico.

Es conveniente realizar este tipo representación antes de utilizar cualquier otro tipo de lenguaje ya que aquí se describe los pasos a seguir de una secuencia a través de ecuaciones generadas que nos van a ayudar a realizar una programación adecuada.

Una vez entendido el problema y lo que se quiere resolver mediante un conjunto de pasos se procede a diseñar el GRAFCET teniendo todos los pasos para posteriormente realizar el algoritmo de control.

El GRAFCET contiene 3 elementos principales para diseñar el algoritmo de control:

- Pasos (etapas)
- Transiciones (condiciones)
- Acciones

El algoritmo ira activando la etapa en la que se encuentre y desactivando la etapa anterior de tal forma que se genere un control secuencial y repetitivo y en cada etapa deberán cumplirse las condiciones establecidas.

Para llegar a la siguiente etapa se debe cumplir las transiciones o condiciones las cuales realizan las acciones formándose una secuencia ordenada de pasos.

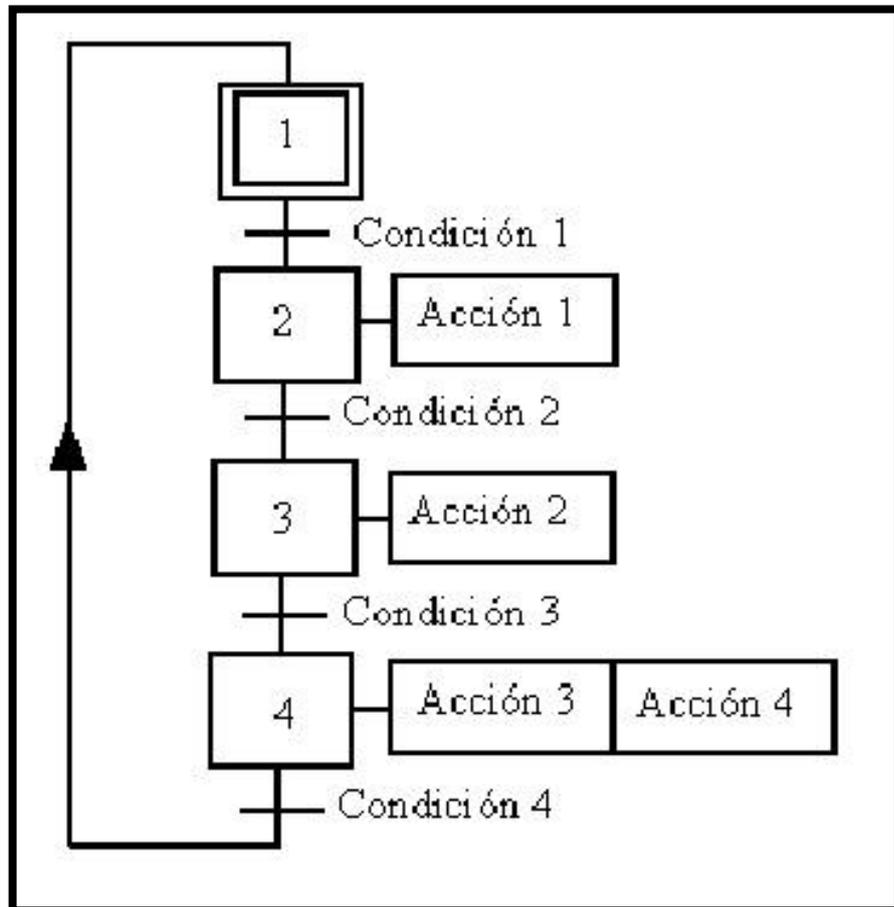


Figura 18-1: Lenguaje SFC (GRAFCET)

Fuente: <http://www.academia.edu/>

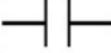
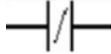
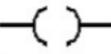
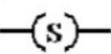
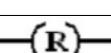
- Lenguaje Ladder

Ladder conocido también como lenguaje de contactos o escalera es un conjunto de contactos utilizados para establecer una secuencia.

El ladder es un lenguaje gráfico clásico muy utilizado para la programación de PLCs debido a su facilidad al momento de realizar un esquema o diseño.

Consta de un conjunto de elementos básicos que se describen a continuación:

Tabla 11-1: Símbolos de Ladder

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando existe un 1 lógico
	Contacto NC	Se activa cuando existe un 0 lógico
	Bobina NA	Se activa cuando existe un 1 lógico
	Bobina NC	Se activa cuando existe un 0 lógico
	Bobina SET	Una vez activada no se podrá desactivar si no existe una bobina de RESET
	Bobina RESET	Desactiva la bobina SET cuando está activa

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

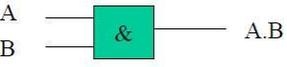
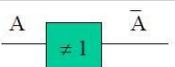
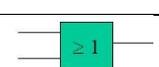
- *Diagrama de funciones FBD*

Es otro tipo de lenguaje gráfico utilizado para la programación de PLCs a través de un conjunto de bloques de funciones lógicas. Generalmente se utiliza símbolos lógicos para representar los bloques de funciones por lo que no se requiere incorporar una bobina de salida debido a que está representada por medio de una variable asignada a la salida del bloque. Este tipo de algoritmo es cómodo ya que trabaja con un conjunto de compuertas lógicas en lugar de contactos pero son equivalentes respectivamente.

El lenguaje FBD tiene las siguientes características:

- Las salidas de los bloques funcionales no se conectarán entre sí.
- La evaluación de una red estará terminada antes de la siguiente.

Tabla 12-1: Símbolos de FBD

Símbolo	Nombre	Descripción
	(A) AND (B)	Solo si A y B son 1 la respuesta es 1
	NOT (A)	A negado
	(C) OR (B)	Si C o B es uno la respuesta es 1

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

1.3.5 Interfaz Humano Maquina HMI

Interfaz hombre-máquina (HMI) es un protocolo de comunicación entre el usuario y ordenador en donde se obtiene un lenguaje visual capaz de controlar una aplicación o proceso.

La sigla HMI es la abreviación en ingles de Interfaz Hombre Máquina, generalmente a una interfaz se la conoce como una ventana de procesos que puede estar incorporado en un sistema de control, dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora.

La principal función de un HMI es supervisar, monitorear y ejecutar acciones por medio de mandos establecidos por la interfaz con la finalidad de realizar un proceso.

Para que una interfaz hombre maquina se pueda desarrollar es necesario tener una entrada y una salida. Primero está la entrada, un usuario necesita de algún medio para comunicarse con la máquina y dale instrucciones a través de comandos, una vez establecido la comunicación se requiere de una salida, que le permita a la maquina mantener al usuario actualizado acerca del progreso de los procesos, o la ejecución de comandos en un espacio físico, por medio de la salida se puede monitorear y visualizar el estado de un proceso manteniendo informado de cualquier tipo de situaciones que se pueden generar en el transcurso de la operación.

Un sistema HMI busca:

- Captar la situación en forma rápida.
- Crear condiciones para la toma de decisiones correctas.
- Que los equipos se utilicen en forma óptima y segura.
- Garantiza la confiabilidad al máximo.
- Cambiar con facilidad los niveles de actividades del operador
- Establecer una interfaz interactiva para que el usuario pueda manipular las acciones y ejecutar los procesos

1.3.5.1 Funciones de un HMI

- Monitoreo
- Supervisión
- Alarmas
- Control
- Históricos

Monitoreo: Es la capacidad que tiene el HMI de obtener y mostrar datos de un proceso en tiempo real, este tipo de datos puede ser visualizado de forma numérica, por medio de texto o gráficos con el objetivo de obtener una lectura más fácil de interpretar.

Supervisión: Una vez monitoreado y establecido los datos se ajustan las condiciones de trabajo del proceso directamente desde el ordenador por medio de un lenguaje visual.

Alarmas: En un proceso se debe reconocer eventos excepcionales en donde el proceso podría obtener algún tipo de riesgo en la ejecución, es necesario reportar este tipo de eventos para mantener un proceso óptimo libre de intervenciones.

Control: Es un conjunto de instrucciones secuenciales o algoritmos lógicos capaces de realizar un proceso por medio de entradas y salidas. El control es visualizado y comandado por el usuario a través de su interfaz, dependiendo de las entradas recibidas por el sistema se ejecutara el proceso y se realizara el debido control por medio de sus salidas.

Históricos: Es la capacidad de muestrear y almacenar datos recibidos manteniendo un histórico en tiempo real de un proceso, esta herramienta es muy poderosa para la optimización y corrección de procesos.

1.3.5.2 Sistemas SCADA

SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre computadores personales en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios.

Los sistemas SCADA originalmente fueron diseñadas para cubrir las necesidades de un sistema de control centralizado, en la ejecución de un proceso por medio del sistema SCADA se puede establecer una comunicación entre el usuario y maquina por medio de los cuales se hace el control y adquisición de datos hacia el campo y desde el campo.

Generalmente un sistema SCADA conectado a un proceso autónomo consta de las siguientes partes:

- **Proceso objeto del control:** es el proceso que se desea supervisar, es el origen de los datos para el sistema de comunicación.
- **Adquisición de datos:** es un conjunto de instrumentos de medición interconectados en el sistema para monitorear y obtener datos de algún fenómeno físico de tal manera que pueda generar un proceso y establecer un control.
- **SCADA:** combinación de hardware y software que permite la adquisición y visualización de datos obtenidos por medio de las entradas.

- Clientes: conjunto de aplicaciones que utilizan los datos obtenidos por el sistema SCADA

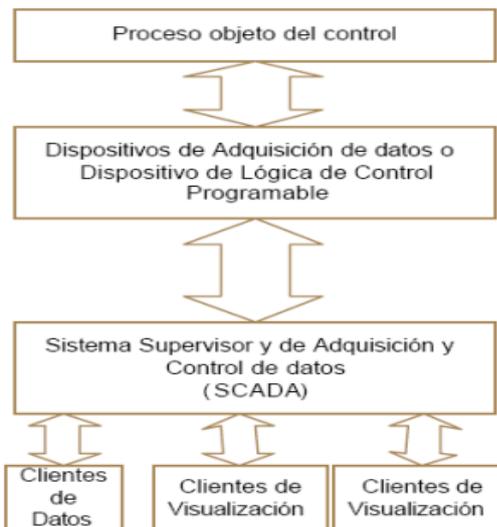


Figura 19-1: Partes de sistema SCADA

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

Un SCADA está formado por:

- Ordenador Central o MTU (master terminal unit).
- Ordenadores Remotos o RTU's (remote terminal units).
- Red de comunicación.
- Instrumentación de campo.

1.3.5.3 Módulos de un SCADA.

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.

Interfaz gráfico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.

Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando pre programado a partir de los valores actuales de variables.

Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA.

1.3.5.4 LabVIEW

LabVIEW es un software aplicado a la ingeniería y ciencia, utilizado para el desarrollo de proyectos tanto de ingeniería como científicos impulsando al desarrollo de muchas ciencias. Es una herramienta muy útil para resolver problemas de manera más eficiente.

LabVIEW puede comunicarse con cualquier tipo de controlador lógico programable PLC formando una interfaz por medio de sus herramientas para establecer una comunicación hombre-máquina visualizando todo tipo de proceso.

Los servidores OPC están disponibles virtualmente para todos los PLCs y para PACs (Programmable Automation Controller), por lo que es posible establecer un sistema SCADA y lograr una comunicación entre el PLC y el ordenador.

1.3.5.5 Módulo DSC LabVIEW

El Módulo LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC), Se utiliza para el desarrollo de aplicaciones de medición, control y seguimiento. Hace de LabVIEW un cliente OPC.

El módulo DSC agrega funciones a variables compartidas como:

- Registro
- Alarmas
- Monitoreo de eventos o procesos de control
- Escalas
- Tendencias de datos en tiempo real e históricos
- Seguridad del sistema de control
- Librería extensa de gráficos industriales

1.3.5.6 Interfaz de comunicación

Es necesario establecer una comunicación entre el ordenador y los dispositivos de campo que actualmente se estén utilizando. Esto puede ser mediante drivers específicos o drivers OPC.

- Interface OPC

OPC (OLE for Process Control) es una interfaz de comunicación que permite proporcionar un acceso fácil y sencillo hacia los datos de un sistema de control.

Las aplicaciones que requieren servicios, es decir datos, desde el nivel de automatización para procesar sus tareas, los piden como clientes desde los componentes de automatización, quienes a la vez proveen la información requerida como servidores. La idea básica del OPC está en normalizar el interface entre el servidor OPC y el cliente OPC independientemente de cualquier fabricante particular.

Los servicios prestados por los servidores OPC para clientes OPC por medio del interface OPC típicamente implican la lectura, cambio y verificación de variables de proceso. Mediante estos servicios es posible operar y controlar un proceso. Los servidores OPC apoyan el nexo de tales aplicaciones a cualquier componente de automatización que esté en red por medio de un bus de campo o Ethernet Industrial.

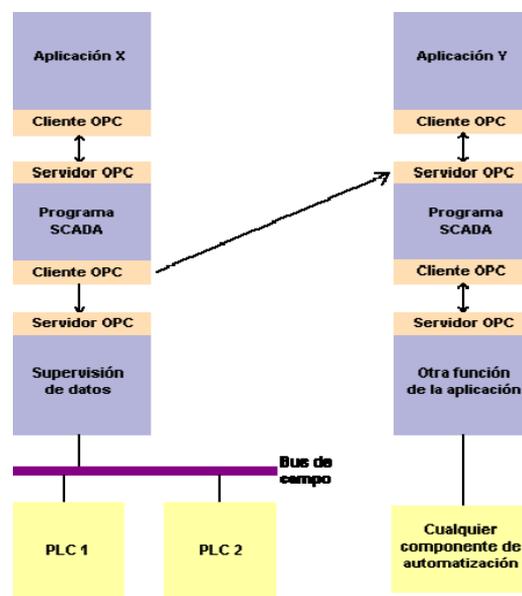


Figura 20-1: Arquitectura OPC
Fuente: <http://www.uco.es,scada.pdf>

1.3.6 Protocolos de comunicación industrial

En principio un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha ido avanzando conjuntamente con los dispositivos de control a los cuales se desea realizar la comunicación.

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo

1.3.6.1 Niveles de Redes Industriales

Nivel de bus de campo

Nivel de red más próximo al proceso y se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, equipos de medida, etc.). Suelen formar células de fabricación.

Nivel de LAN

Nivel superior al anterior que enlaza las células de fabricación. Está formado por autómatas de gama alta y ordenadores para control de calidad.

Nivel de LAN/WAN

Nivel más próximo al área de gestión, que integra los niveles anteriores en una estructura de fábrica o múltiples factorías. Está formado por ordenadores y redes de ordenadores.

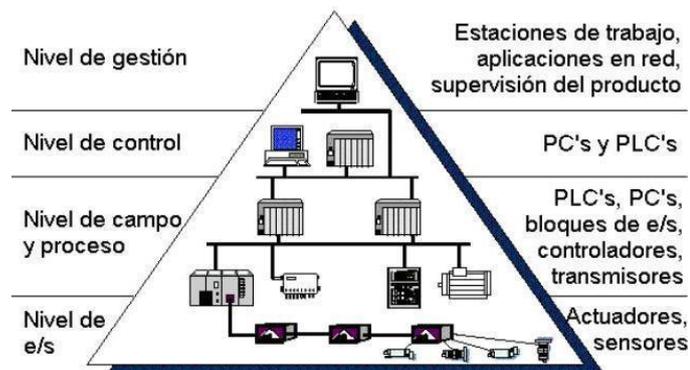


Figura 21-1: Niveles de Redes Industriales

Fuente: <http://redesindustriales.over-blog.com/2014/10/redes-industriales-0.html>

Un bus de campo es un sistema en donde se transmite la información por medio de datos externos obtenidos por un sistema de medición los cuales simplifican notablemente la instalación y operación de máquinas industriales utilizados en procesos de producción. El objetivo principal de un bus de campo es sustituir las conexiones entre los elementos de campo y el equipo de control para de esta manera generar un control óptimo y estético.

Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión.

Los buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

- HART.
- Profibus.
- Fieldbus Foundation.

Comparación de características entre algunos buses y protocolos						
Nombre	Topología	Soporte	Máx dispositivos	Rate Transm. bps	Distancia máx Km	Comunicación
Profibus DP	línea, estrella yanillo	par trenzado fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	línea, estrella yanillo	par trenzado fibra óptica	14400/segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		par trenzado fibra óptica	127/segm	500K		Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus HSE	estrella	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	100M	0.1 par 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	estrella o bus	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
LonWorks	bus, anillo, lazo, estrella	par trenzado fibra óptica coaxial, radio	32768/dom	500K	2	Master/Slave peer to peer
Interbus-S	segmentado	par trenzado fibra óptica	256 nodos	500K	400/segm 12.8 total	Master/Slave
DeviceNet	truncal/puntual c/bifurcación	par trenzado fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/repetid	Master/Slave, multi-master, peer to peer
AS-I	bus, anillo, arbol, estrella	par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Master/Slave
Modbus RTU	línea, estrella, arbol, red con segmentos	par trenzado coaxial radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial	bus, estrella, malla-cadena	coaxial par trenzado fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Master/Slave peer to peer
HART		par trenzado	15 p/segm	1.2K		Master/Slave

Master/Slave: Maestro/Escavo
Peer to Peer: Punto a Punto
Multi-Master: Multi Maestro

Figura 22-1: Características de buses y protocolos

Fuente: http://www.microbyte.cl/elec/picarti/200609/aie_automat3.gif

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

La realización de un proyecto de automatización es muy importante dentro de un proceso de producción ya que puede acelerar la productividad de forma considerable a diferencia de hacer el mismo proceso de forma manual, además contribuye a la minimización de errores pues al remplazar los sensores visuales y actuadores manuales por elementos eléctricos y electrónicos favorecen considerablemente el proceso de producción.

Para ejecutar de manera organizada el proyecto se realizará en dos etapas. Diseño e implementación, la primera ayudará al dimensionamiento y selección de los elementos que se utilizaran para realizar el proceso de producción y la segunda la ejecución del diseño, estas dos etapas conjuntamente determinarán la confiabilidad del funcionamiento del equipo.

En este capítulo se detallará las etapas de realización del sistema autómatas desde la selección de los elementos adecuados según los requerimientos de operación del equipo hasta la realización de la interfaz humana máquina (HMI) con la cual el personal operador podrá supervisar y controlar de forma sencilla la funcionalidad del equipo.

2.1 Diagnostico físico y requerimientos para la realización del proyecto.

Los alimentos deben ser tratados de forma muy especial y cuidadosa pues la mayor complicación al tratar con productos alimenticios es la contaminación de estos con sustancias que se pueden encontrar en sus alrededores para lo cual se evalúa el equipo para determinar si cumple con las normas sanitarias correspondientes.

El laboratorio de procesos industriales cuenta con las instalaciones adecuadas para tratamiento de alimentos, de igual manera no existe riesgo de contaminación con sustancias tóxicas aledañas y consta con un sistema adecuado de drenaje de aguas servidas. Al determinar una adecuada instalación y ubicación, se procede con la evaluación del equipo, puesto que el equipo es usado para extracción de alcohol etílico los materiales que estarán en contacto con el producto deben estar catalogados para uso alimenticio siendo el acero inoxidable el más recomendado.

- Elementos seleccionados

El material que se usa para la estructura así como los elementos de control que van a estar en contacto con el producto serán de acero inoxidable, las características de operación que soporten los elementos serán acordes a las condiciones de trabajo del equipo, en este caso la temperatura de vapor es alrededor de los 150°C, presión de hasta 60 psi y temperatura de equipo de destilación hasta los 120 grados. A continuación se detalla las características de los sensores y actuadores para el equipo:

Tabla 1-2: Listado de elementos de control usados en el equipo de destilación

Cantidad	Elemento	material	Características	Ubicación
1	Electroválvula de vapor	Bronce	Conexión 1/2" NPT, presión 0.2 a 10 Kgr/cm ² , temperatura hasta 185°C	Entrada de vapor al calderín
2	Sensores de temperatura PT-100	Acero inoxidable	Conexión 1/2" NPT, Rango de operación - 50-400°C, longitud 15cm, 3hilos	tanque, columna de destilación
1	Electroválvula de reflujo	Acero inoxidable	Conexión 1" NPT, presión 0 a 10 Kgr/cm ² , temperatura hasta 185°C	Descarga de producto terminado
1	Electroválvula de limpieza	Latón	Conexión 1/2" NPT, presión 0.2 a 10 Kgr/cm ² , temperatura hasta 85°C	Entrada de agua hacia la columna de destilación.

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016.

Una parte esencial y de gran ayuda para el control de temperatura de la torre de destilación es la trampa de vapor, pues mejora la estabilización de la temperatura, descargando continuamente el condensado almacenado en la camisa de vapor del calderín. El dimensionamiento de la trampa de vapor ideal requiere de especificaciones acorde con la aplicación, es decir, con el proceso en cuestión en este caso se usara para el calentamiento de un equipo por vapor y se debe de escoger la trampa para esta aplicación para una descarga continua de condensado y mantener un calentamiento estable, además según la cantidad máxima de condensado que se almacena por hora podremos escogerla de la siguiente tabla. Para el proyecto se escoge una tubería de media pulgada por ser un equipo que requiere pocas cantidades de vapor para mantenerse estable.

Tabla 2-2: Valores de dimensionamiento de trampas de vapor

Máxima Carga de Condensado	Tamaño de la Tubería a la Salida del Equipo
Menor a 200 kg/h (440 lb/h)	15 mm [1/2 in.]
200 - 500 kg/h (440 a 1100 lb/h)	20 mm [3/4 in.]
0.5 - 1 t/h	25 mm [1 in.]
1 - 2 t/h	32 mm [1 1/4 in.]
2 - 3 t/h	40 mm [1 1/2 in.]
3 - 5 t/h	50 mm [2 in.]
Más de 5 t/h	65 - 100 mm [2 1/2 - 4 in.]

Fuente: (trampas de vapor, 2016, www.tlv.com)

2.2 Diseño del tablero de control.

En el apartado anterior se ha indicado los elementos a usar para realizar el proceso de destilación, ahora se indica la forma de conexión de estos elementos para su correcto funcionamiento lo cual se realizara en dos diagramas pues estarán distribuidos en 2 tableros de control. El primero o tablero principal que consta con el controlador lógico programable (PLC) encargado del proceso de destilación y el tablero secundario encargado de la etapa de condensación ubicado en el equipo de pasteurización, se usa el condensador del equipo de pasteurización en el proceso de destilación para optimizar espacio y minimizar gastos.

2.2.1 Tablero principal

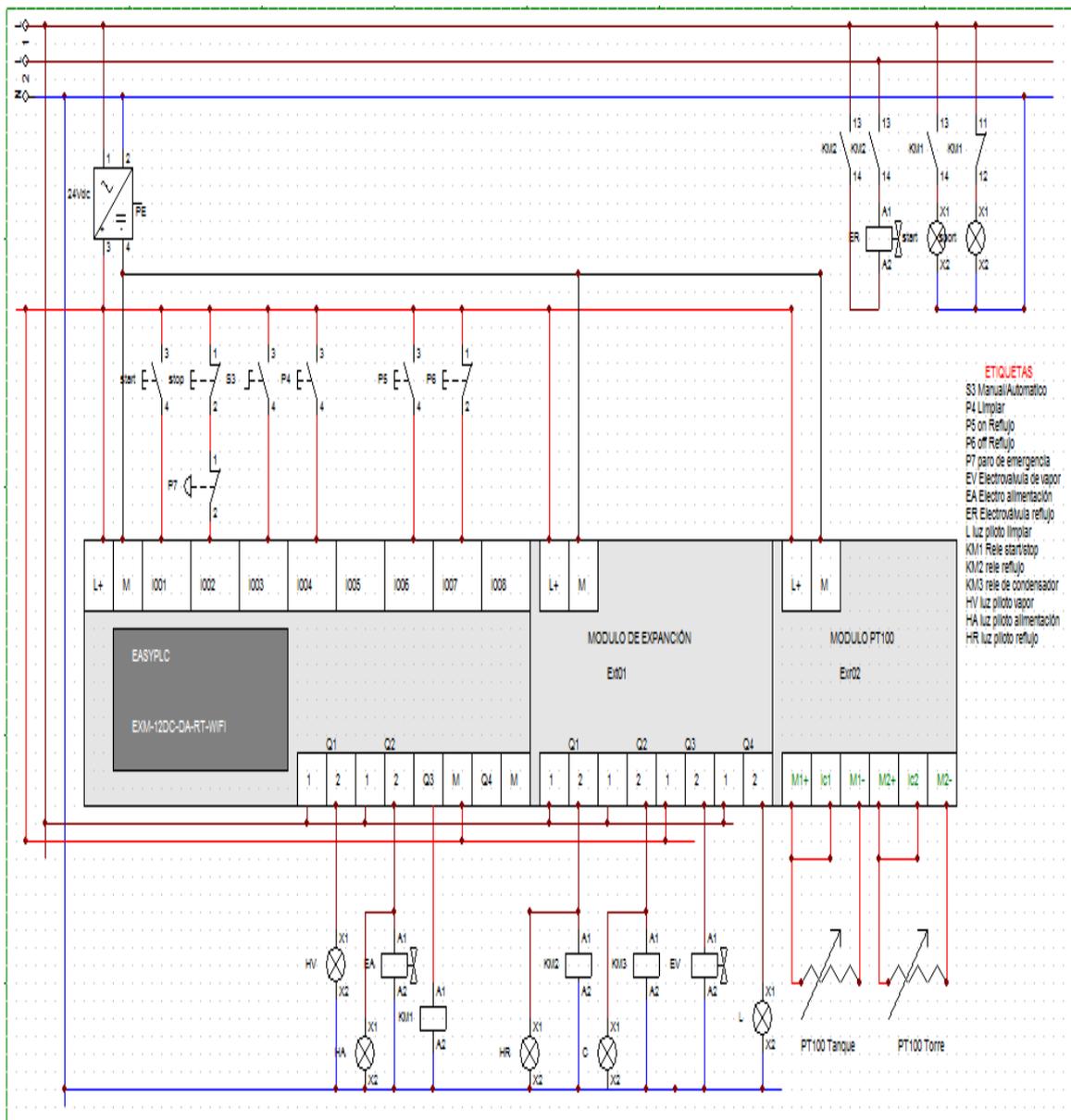


Figura 1-2: Diagrama unifilar del tablero principal (destiladora)

Realizado por: Guangasi C. Noboa D. 2016

2.2.2 Tablero secundario

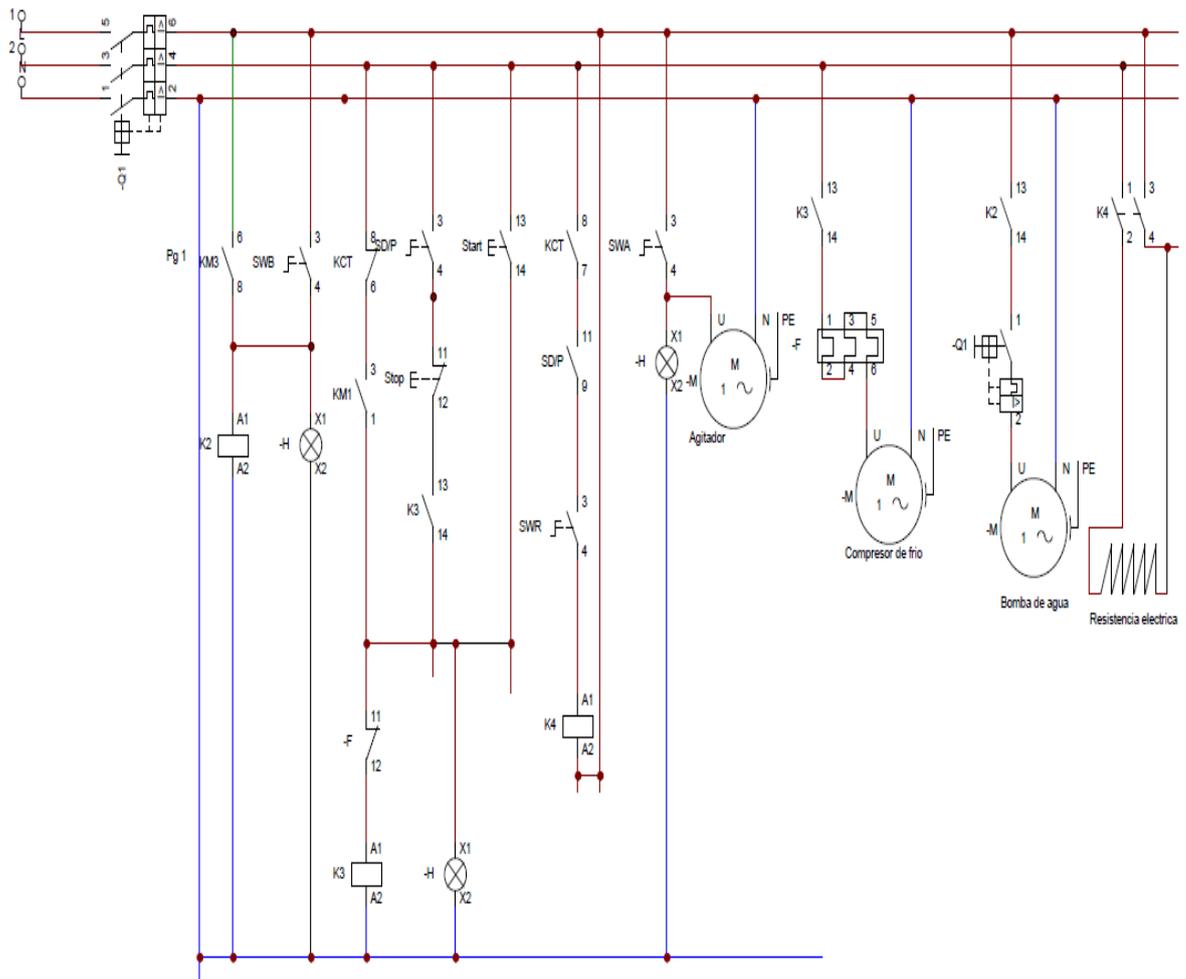


Figura 2-2: Diagrama unifilar del tablero secundario (pasteurizadora)

Realizado por: Guangasi C. Noboa D. 2016

2.3 Dimensionamiento de protecciones y conductores

En el tablero principal las únicas cargas que se usan son electroválvulas de baja potencia así que no se realizará el dimensionamiento de cables pues las corrientes son muy bajas y las distancia muy cortas. En este apartado se centrara en el dimensionamiento de las protecciones y cables del tablero secundario pues en este se ocupan cargas de mayor potencia como motobomba de agua, compresor de frio y una resistencia eléctrica usada en la etapa de calentamiento para el proceso de pasteurización, los datos para el dimensionamiento se describe en la siguiente tabla.

Tabla 3-2: Cargas del tablero secundario de mayor potencia

Carga	Potencia	Factor de potencia	Distancia	Caída de tensión	Voltaje nominal
Motobomba de agua	0.5HP	0.85	1.5m	<2%	110 Vac
Compresor de frio	0.5 HP	0.85	1.5m	<2%	110 Vac
Resistencia eléctrica	4 KW	1	1.5m	<2%	220Vac

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016.

Antes de realizar los cálculos describimos la simbología necesaria:

In: corriente nominal

Ip: corriente de protección

P: Potencia

Ic: corriente de conductor

Vn: voltaje nominal

Vp: caída de voltaje

fp: factor de potencia

G: resistividad

L: longitud de conductor

D: diámetro

Se: sección de conductor

2.3.1 *Motobomba de agua*

$$In = \frac{P}{Vn * fp} = \frac{373 W}{110 * 0.85} = 3.989A$$

Protección

$$Ip = 2 * In = 2 * 3.989 = 7.98 A$$

El inmediato superior es 10 A

Calibre de conductor de cobre

Por corriente

$$Ic = 1.25 * In = 4.99A$$

Por caída de tensión

$$Se = \frac{2 * G * L * Ic}{Vp} = \frac{2 * 0.018 * 1.5 * 3.989}{110 * 0.02} = 0.098mm^2$$

$$D = 2 * \sqrt{\frac{Se}{\pi}} = 2 * \sqrt{\frac{0.098}{\pi}} = 0.35mm$$

Como resultado se daría un calibre 20 AWG pero por norma se usa #12AWG tipo TW según el catálogo de INCABLE.

2.3.2 *Compresor de frio*

$$In = \frac{P}{Vn * fp} = \frac{373 W}{110 * 0.85} = 3.989A$$

Protección

$$I_p = 2 * I_n = 2 * 3.989 = 7.98 A$$

Del catálogo de siemens se escoge un guarda motor con un rango que incluya la corriente de protección y calibramos a esta corriente, guarda motor de 7 a 10 A

Calibre de conductor de cobre

Por corriente

$$I_c = 1.25 * I_n = 4.99A$$

Por caída de tensión

$$S_e = \frac{2 * G * L * I_c}{V_p} = \frac{2 * 0.018 * 1.5 * 3.989}{110 * 0.02} = 0.098mm^2$$

$$D = 2 * \sqrt{\frac{S_e}{\pi}} = 2 * \sqrt{\frac{0.098}{\pi}} = 0.35mm$$

Como resultado se daría un calibre 20 AWG pero por norma se usa #12AWG tipo TW según el catálogo de incable.

2.3.3 Resistencia eléctrica

$$I_n = \frac{P}{V_n * f_p} = \frac{4000 W}{220 * 1} = 18.18A$$

Protección

Su inmediato superior es 20 A, por ser carga resistiva no se duplica la corriente para la protección como en los motores

Calibre de conductor de cobre

Por corriente

$$I_c = 18.18A$$

Por caída de tensión

$$S_e = \frac{G * L * I_c}{V_p} = \frac{0.018 * 1.5 * 18.18}{220 * 0.02} = 0.11mm^2$$

$$D = 2 * \sqrt{\frac{S_e}{\pi}} = 2 * \sqrt{\frac{0.11}{\pi}} = 0.377mm$$

Como resultado daría un calibre 20 AWG pero por norma se usa #12AWG tipo TW según el catálogo de incable.

2.3.4 Protección y calibre del cable hacia el tablero de control

Como las cargas no funcionan todas al mismo tiempo lo más sencillo es escoger una protección superior a los 20A de la niquelina por ser la carga más grande, esta protección será de 30 A.

El calibre del cable del tomacorriente hacia el tablero de control debe soportar la suma de las 3 corrientes correspondientes a las 3 cargas y una caída de tensión menor a 3% en una longitud de 2.5m para lo cual se realiza el siguiente calculo.

$$I_{total} = 1.25 * I_{motobomba} + 1.25 * I_{compresor} + I_{resistencia} = 28.18A$$

$$S_e = \frac{G * L * I_c}{V_p} = \frac{0.018 * 2.5 * 28.18}{220 * 0.03} = 0.1921mm^2$$

$$D = 2 * \sqrt{\frac{S_e}{\pi}} = 2 * \sqrt{\frac{0.1921}{\pi}} = 0.5mm$$

Según el catálogo de incable se elige un cable 3x10AWG tipo ST-I.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos del dimensionamiento de protecciones y calibres de los cables.

Tabla 4-2: Resultados de dimensionamiento

CARGA	PROTECCIÓN	CABLE	TIPO
Motobomba de agua	10 A	2x12AWG	TW
Compresor de frio	7 A	2x12AWG	TW
Resistencia eléctrica	20 A	2x12AWG	TW
Total	30 A	3X10AWG	ST-I

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016.

Los cables usados para cada carga son tipo TW que es un código formado por una simbología de su material de aislamiento y el medio de operación, T es aislamiento termoplástico y W resistente a la humedad, mientras ST es aislamiento de silicio termoplástico para mayor información de los calibres de cables puede revisar la página oficial de incable (<http://www.incable.com>).

2.4 Montaje de tableros de control.

Una vez que ya se ha diseñado y dimensionado adecuadamente se procede a realizar el montaje de los tableros, para saber que dimensión de tablero se requiere se debe colocar ordenadamente todos los elementos y se mide la superficie que todos estos ocupan. Basándose en el diseño del tablero principal se realiza el respectivo cableado en el tablero como se ve en la figura 3-2.



Figura 3-2: Tablero principal de control
Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016

De la misma manera se realiza el cableado en el tablero secundario junto con los elementos correspondientes, respetando las protecciones y cables previamente calculados para cada carga.



Figura 4-2: Tablero secundario
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

2.5 Programación del PLC y del HMI.

Para el proyecto se usa un EASY PLC EXM 12DC-DA-RT-WIFI cuyo lenguaje de programación está basado en diagrama de funciones, para mayor información puede revisar el manual en Xlogic.

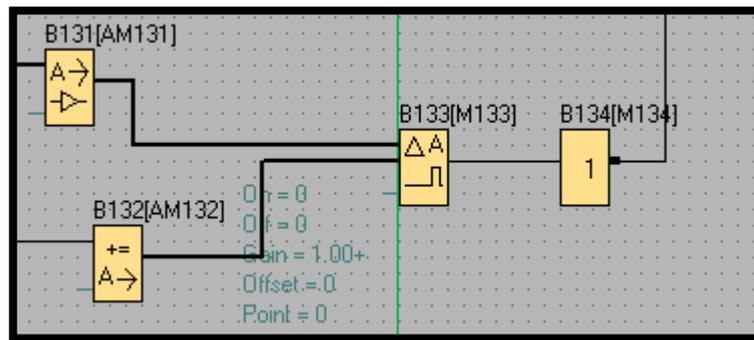


Figura 5-2: Programación en diagrama de funciones
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Para el software HMI (Interfaz Humano Maquina) se usara la red Ethernet del laboratorio de procesos industriales para conectar el controlador con la PC. Se configura la red wifi del PLC en modo estación (STA por sus siglas en ingles) y usando direcciones modbus podrá establecer comunicación con un software desarrollado en Labview, como último paso se creara un instalador de este software para su distribución.

2.5.1 Configuración y programación del EASY PLC.

El software para programar EASY PLC es el esms Config que pueden descargarlo gratuitamente desde su página oficial (<http://xlogic-plc.com>) así como el manual de configuración de todos los PLC de esta marca, el mismo que se usara en este apartado para detallar la manera de configuración del PLC.

2.5.1.1 Creación de nuevo programa en esms Config

Para crearlo existen dos modos, el modo estándar y modo personalizado, en el primer modo se puede seleccionar la serie de PLC y configurar las entradas como digital o analógico

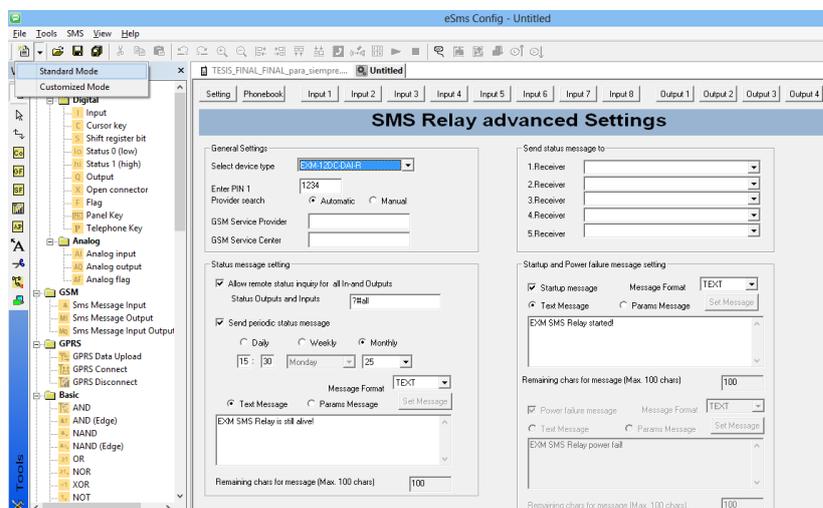


Figura 6-2: Creación de nuevo programa modo estándar
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

En el modo personalizado es posible seleccionar el PLC correspondiente y configurar la plataforma donde se escribirá el programa, para este proyecto se usara el EASY PLC EXM-12DC-DA-RT-WIFI.

Es necesario aclarar que cada serie de PLC posee un hardware distinto y dependerá de la aplicación, lugar de instalación y más que nada del proceso de automatización en el que se vaya a instalar. En la lista proporcionada por el esms Config al marcar una serie de PLC se despliega la información de los recursos que posee cada uno de los PLC.

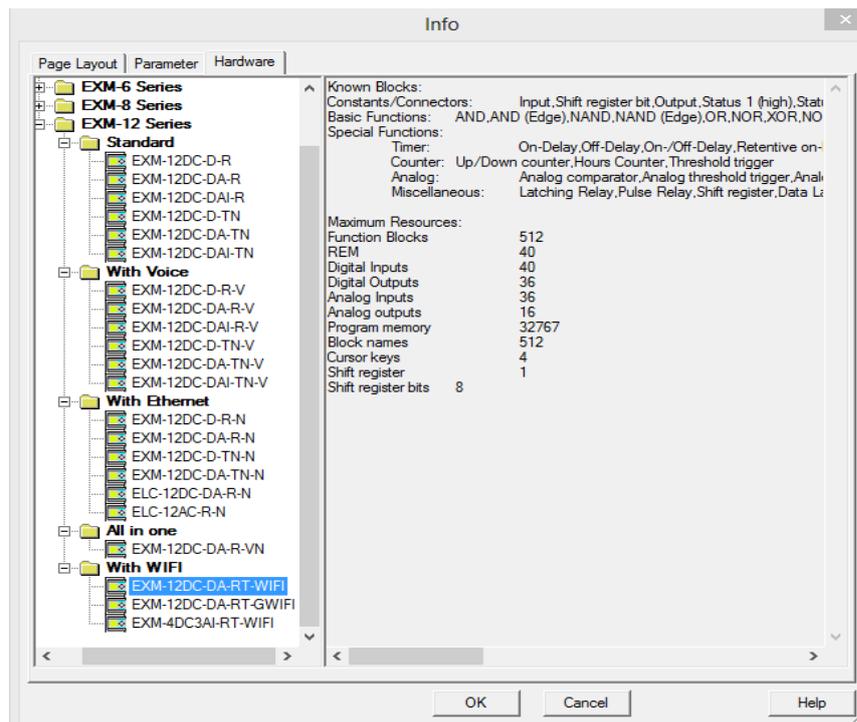


Figura 7-2: Creación de nuevo programa modo personalizado
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Antes de realizar la programación del controlador lógico programable (PLC) se considera que las salidas a controlar son 7 y el controlador únicamente tiene 4 salidas digitales, además no posee entradas directas para sensores de temperatura por lo que se debe usar módulos de expansión de salidas y un módulo de expansión para sensores de temperatura PT-100, para poder usarlos correctamente se debe direccionar cada módulo de forma que no exista conflicto de comunicación y las señales sean transmitidas desde y hacia el PLC para cumplir con el proceso, la configuración de cada uno se detalla a continuación.

2.5.1.2 Módulo de expansión de entrada/salidas

Este módulo posee 4 entradas que pueden ser configuradas como digitales o analógicas y 4 salidas de relé, las cuales se usaran directamente sin necesidad de acondicionarla para voltajes alternos.

Tabla 5-2: Características del módulo de expansión ELC12-E-8DC-DA-R

Entradas digital	4 DI “0”max 3VDC,1mA “1” min 8VDC, 1.5mA
Entrada analógica	4 AI (0-10V)
Salidas	4 salidas de relé 10 A con carga resistiva 2A con carga inductiva
Voltaje de alimentación	12 a 24 Vdc
Frecuencia de switcheo	2 Hz con carga resistiva 0.5 Hz con carga inductiva
Grado de protección	IP20
Temperatura ambiente	-20°C a 55°C
Temperatura de trabajo	-40°C a 70°C
Dimensiones	(A,L,P) 48 x 90 x 64 mm

Fuente: (x-Messenger brochure 2013, <http://xlogic-plc.com>)

Realizado por: Guangasi C., Noboa D. 2016.

Para este proyecto se configura el módulo de expansión de entrada/salida con la dirección 0 en decimal y 000 en binario, la dirección de estos módulos se configura con el dip-switch ubicado en la parte superior del módulo de expansión y en cuanto a la programación se debe sumar un valor de ‘1’, es decir se selecciona las salidas de la extensión Ext.01.



Figura 8-2: Configuración de la dirección del módulo de expansión de salida

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

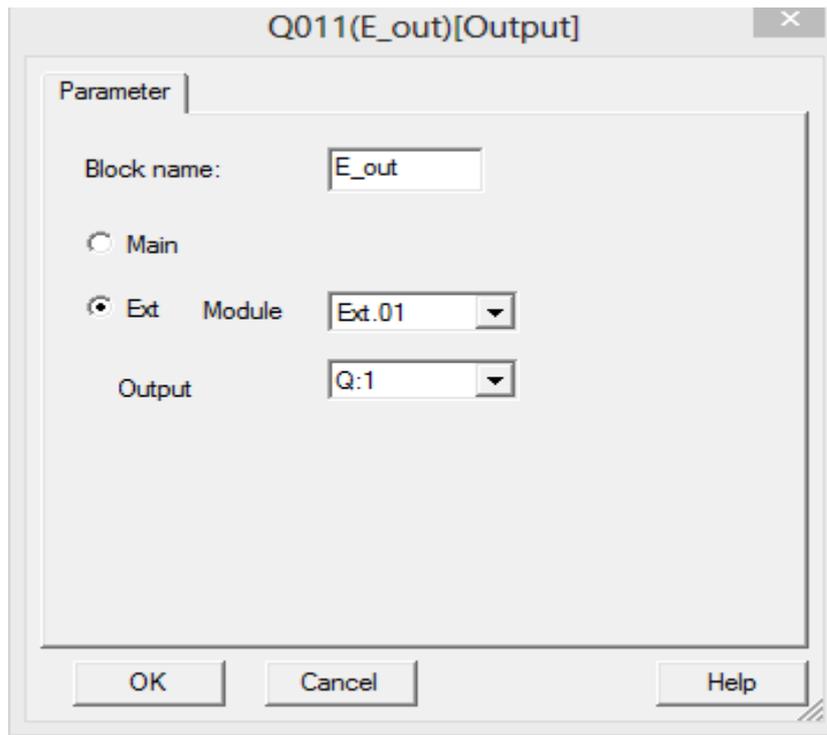


Figura 9-2: Configuración de la dirección de salida en esms Config
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

2.5.1.3 Módulo de expansión ELC12-E-PT-100

De la igual manera se debe configurar físicamente la dirección del módulo de expansión de PT-100, en este proyecto se asigna al módulo la dirección 1 en decimal o 001 en binario que internamente será el módulo de expansión Ext.02 que únicamente posee entrada para dos sensores que pueden ser de 2 o 3 hilos.



Figura 10-2: Configuración de la dirección del módulo de PT-100
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

La conexión de los sensores de temperatura hacia el módulo depende del número de hilos que tenga el sensor como se muestra a continuación.

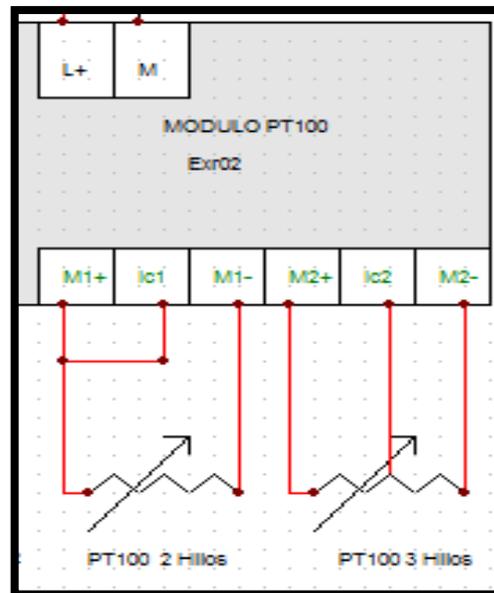


Figura 11-2: Conexión PT-100 2 y 3 hilos
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Tabla 6-2: Características del módulo de expansión ELC12-E-PT100

Entradas	2 PT-100
Rango de temperatura	-50°C- +200°C
Voltaje de alimentación	12 a 24 Vdc
Salidas	No
Grado de protección	IP20
Temperatura ambiente	-20°C a 55°C
Temperatura de trabajo	-40°C a 70°C
Dimensiones	(A,L,P) 48 x 90 x 64 mm

Fuente: (x-Messenger brochure 2013, <http://xlogic-plc.com>)

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Internamente en el esms Config se debe escoger las entradas analógicas 1 y 2 del módulo Ext.02 porque este software no tiene restricción sobre los módulos, es decir, en caso de escoger la 3 y 4 mediante software si es permitido aunque físicamente no exista y de la misma manera las entradas las podemos elegir aunque físicamente no existan.

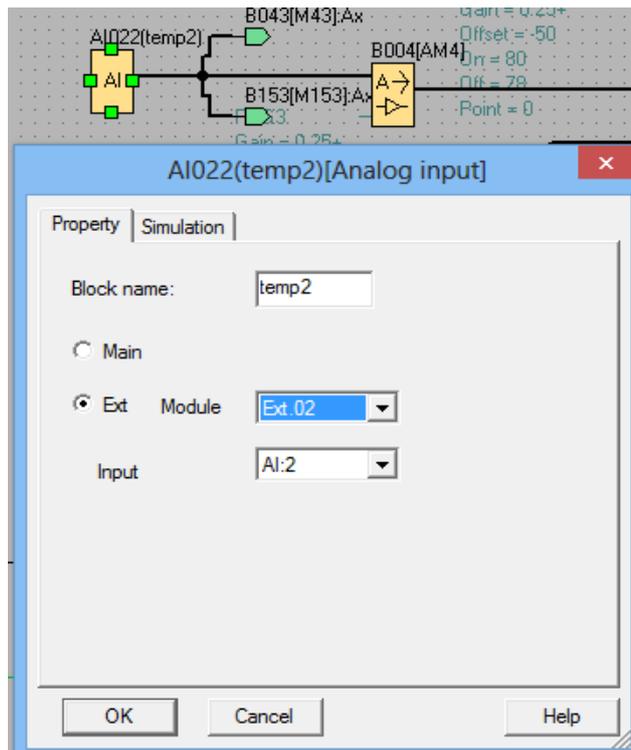


Figura 12-2: Direccionamiento de entrada para PT-100
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Hay que recordar que el módulo de expansión de PT-100 consta de un puente de wheatstone que consiste en medir resistencias mediante un equilibrio de voltajes y el PT-100 es un dispositivo termo resistivo RTD que a la temperatura de 0°C corresponde a una resistencia de 100 ohms y a medida que aumenta la temperatura aumenta el valor de resistencia, la señal que es captada por el controlador es un valor de voltaje mas no de temperatura y por esta razón es necesario convertir este valor mediante un bloque de acondicionamiento de señal propio del esms Config, este bloque se llama “Amplificador Analógico”.

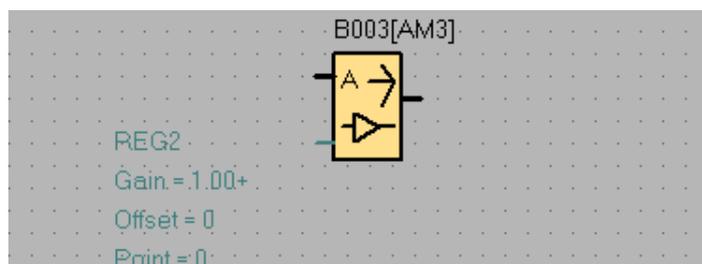


Figura 13-2: Amplificador analógico
 Fuente: (Esms Config, 2016)

Con este bloque es posible acondicionar señales de voltaje de 0-10V, señales de corriente de 0-20mA o 4-20mA o como en este caso señales directamente de un sensor de temperatura RTD. Hay que aclarar que es posible configurar el bloque de condicionamiento de señal para una entrada analógica de pt100 aun si el modulo no este físicamente conectado o direccionado pues este no se restringe, pero el valor que marque no corresponderá a su equivalente en temperatura.

Tabla 7-2: Descripción del bloque amplificador analógico

Entrada Ax	Entrada analógica Valor interno 0-1000
Parámetros	A ganancia valores entre +-10 B valores de compensación hasta +-10000 P número de decimales valores 0,1,2,3
Salidas AQ	Salida analógica Rango de valores -32768...+32767

Fuente: (x-Messenger manual 2013, p. 247, <http://xlogic-plc.com>)

Al seleccionar directamente el sensor RTD los parámetros del bloque se escriben directamente por defecto siendo la ganancia de 0.25, compensación de -50 y el rango de -50 a 200°C, también se puede seleccionar las unidades de temperatura entre Celsius o Fahrenheit.

Para calcular el valor de salida se aplica esta fórmula $AQ = Ax * gain + offset$

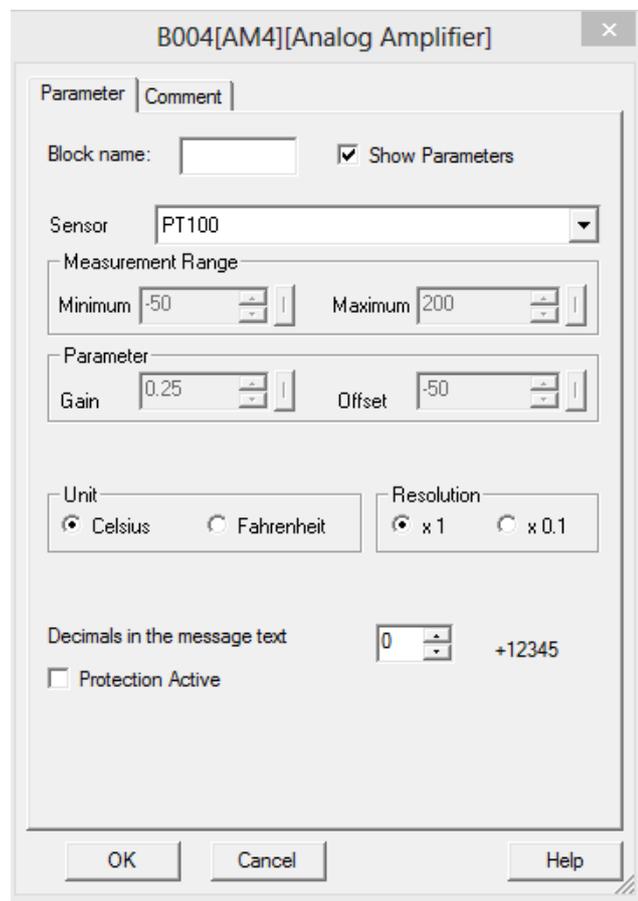


Figura 14-2 Acondicionamiento de señal para PT-100
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

2.5.1.4 Diseño y Creación de programa de control

Antes de la creación del programa de control previamente se diseñó un diagrama de bloques en el cual se involucran de forma general todas las variables dentro del proceso de destilación.

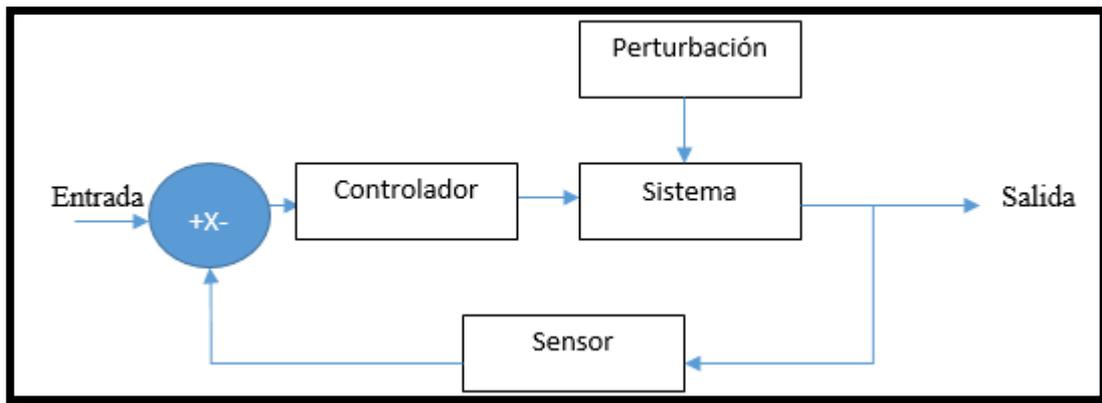


Figura 15-2: Diagrama general de control

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

El sistema requiere que la temperatura sea estable en el punto de ebullición del etanol (78.4°C) en la cima de la torre. La entrada será el punto de equilibrio es decir el punto de ebullición del etanol y la salida será el actuador responsable del calentamiento de la torre, las perturbaciones son todas aquellas variables externas que de una u otra manera perjudican la estabilidad del sistema, para este caso las variables son: la temperatura ambiente, la entrada de materia prima (Alcohol con baja concentración) y salida de producto terminado (alcohol con alta concentración). Como se puede observar tanto la entrada de materia prima y salida de producto terminado son variables que están dentro del proceso de producción y controlarlas es de gran importancia para minimizar las perturbaciones del sistema, en cuanto a la temperatura ambiente la mejor manera de minimizar esta perturbación es cubrir la columna de destilación y el calderín con un material que evite en lo mayor posible el contacto con el ambiente.



Figura 16-2: Torre de destilación cubierta con lana y fibra de vidrio

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Bien ahora solo queda el control de las dos perturbaciones restantes lo que se puede lograr con la misma señal de salida del sistema de la figura 15-2, quedando de la siguiente manera.

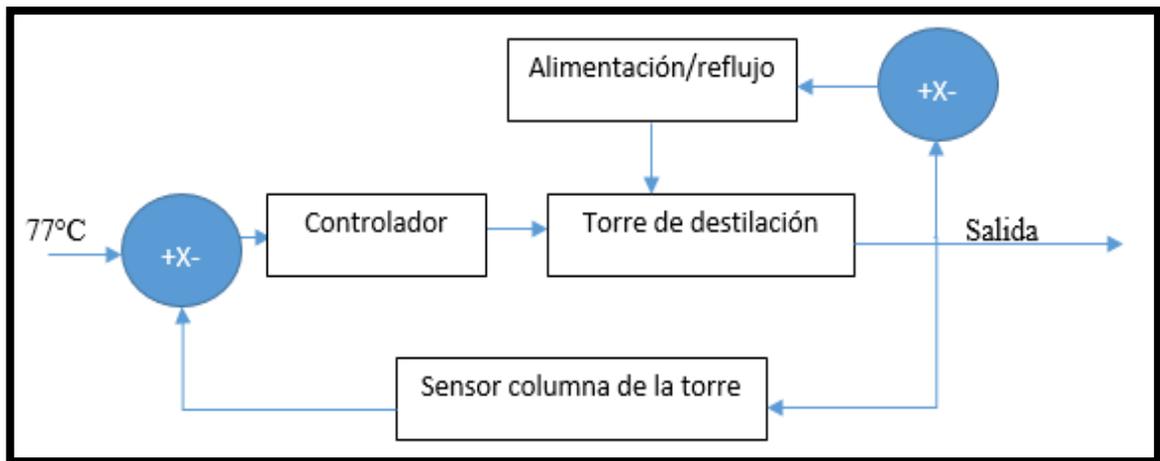


Figura 17-2: Diagrama de control de la torre de destilación

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Ahora ya es un sistema con perturbaciones mínimas pues ya están sujetas a una señal retroalimentada para su mejor control cuyo funcionamiento será: que tanto la entrada y salida de producto se activaran siempre y cuando la temperatura en la columna sea estable caso contrario estarán desactivadas.

Debido a que el proceso de destilación es lento no se requiere un control adicional para estabilizar la temperatura de la columna, adicional a esto se debe mencionar que los flujos de entrada y salida del producto son pequeños y resultado del balance de masa al momento del diseño del equipo.

La temperatura se selecciona un grado menos debido a la estructura y ubicación del equipo pues al hacer pruebas se determinó que ésta es la temperatura ideal para obtener un producto con mayor concentración alcohólica.

- *Secuencia de funcionamiento*

1. Calentamiento de la torre de destilación
2. Pregunta si la torre está caliente
 - 2.1. Caso negativo
 - 2.1.1. Active electroválvula de vapor
 - 2.2. Caso positivo
 - 2.2.1. Siga al paso 3
3. Pregunta si temperatura en la columna es estable
 - 3.1. En caso afirmativo
 - 3.1.1. Activa entrada y salida de producto
 - 3.2. En caso negativo
 - 3.2.1. Activar electroválvula de vapor

- Diagrama de flujo

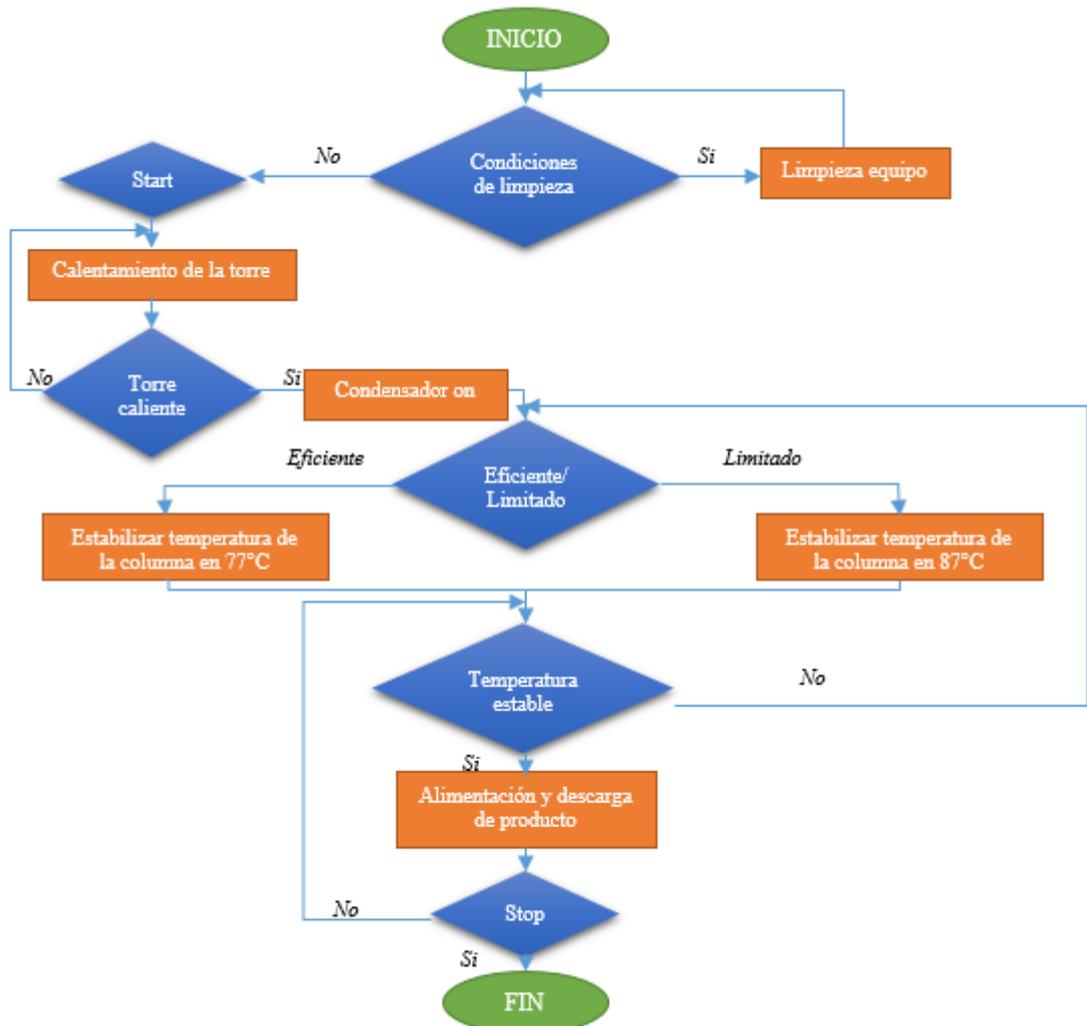


Figura 18-2: Diagrama de flujo del proceso de destilación
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

- Control de calentamiento y estabilización de temperatura en la torre

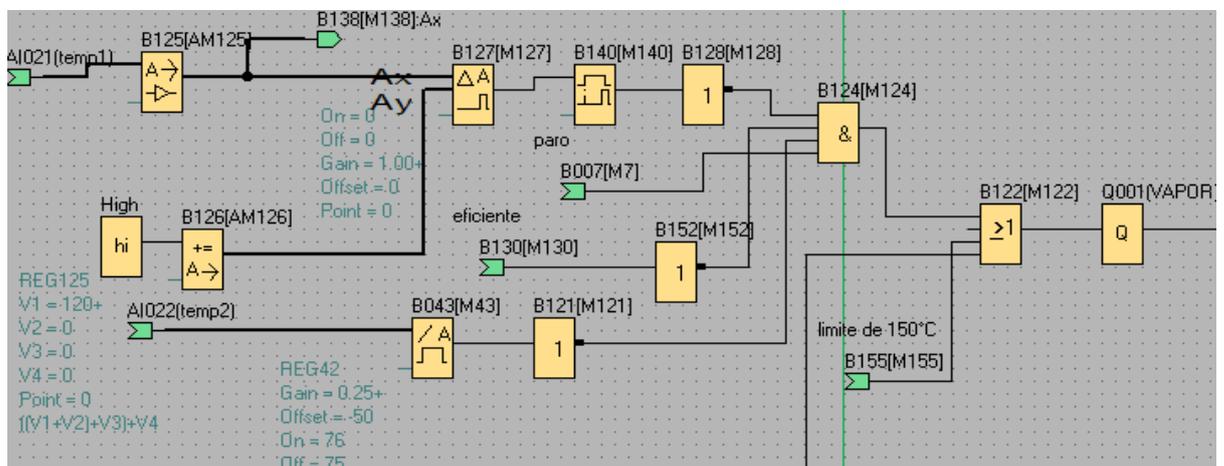


Figura 19-2: Diagrama de control de calentamiento y estabilización de la torre
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

El control de calentamiento y estabilización de temperatura se realiza en dos etapas:

- La primera etapa consiste en calentar la torre lo más rápido posible controlando que la temperatura del calderín suba hasta los 120°C para evaporar la mayor cantidad posible de etanol-agua y reducir el tiempo de calentamiento de la torre a comparación de hacerlo de forma manual.
- La segunda etapa consiste en estabilizar la temperatura de la columna en 77°C por ser el punto de ebullición del etanol.

La señal de control para la salida deseada se logra con un comparador y un umbral de un grado de diferencia, esto se realiza con dos bloques específicos propios de esms Config, el comparador analógico y el selector de umbral analógico.

- *Primera etapa:* Calentamiento de la torre

Comparador analógico

Lo interesante de este bloque es que es posible configurar la activación de su salida por los valores de la diferencia entre Ax y Ay.

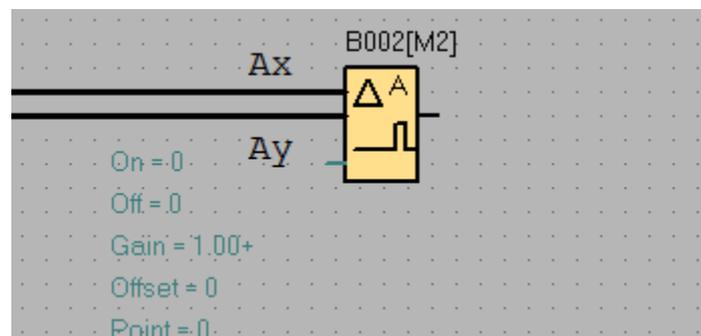


Figura 20-2: Bloque de comparación de esms Config

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Como se observa en la figura 20.2 se puede acondicionar las señales analógicas que entran al bloque con parámetros de ganancia y compensación, como la señal entrante ya está acondicionada el parámetro de ganancia es 1 y el parámetro de compensación es 0, siendo las señales Ax y Ay:

$$Ax \text{ actualizado} = (Ax \cdot \text{Gain}) + \text{offset}$$

$$Ay \text{ actualizado} = (Ay \cdot \text{Gain}) + \text{offset}$$

La salida digital del bloque será '1' cuando $Ax - Ay > 0$ y '0' cuando $Ax - Ay \leq 0$. Ax es la temperatura del calderín y Ay un valor de 120 obteniendo un control sobre la electroválvula de vapor que active la misma con temperaturas bajas a 120°C pero la desactive al sobrepasar este

límite, así que después del bloque de comparación debemos negar su salida. La señal de control se representa de mejor manera en la figura 21-2.

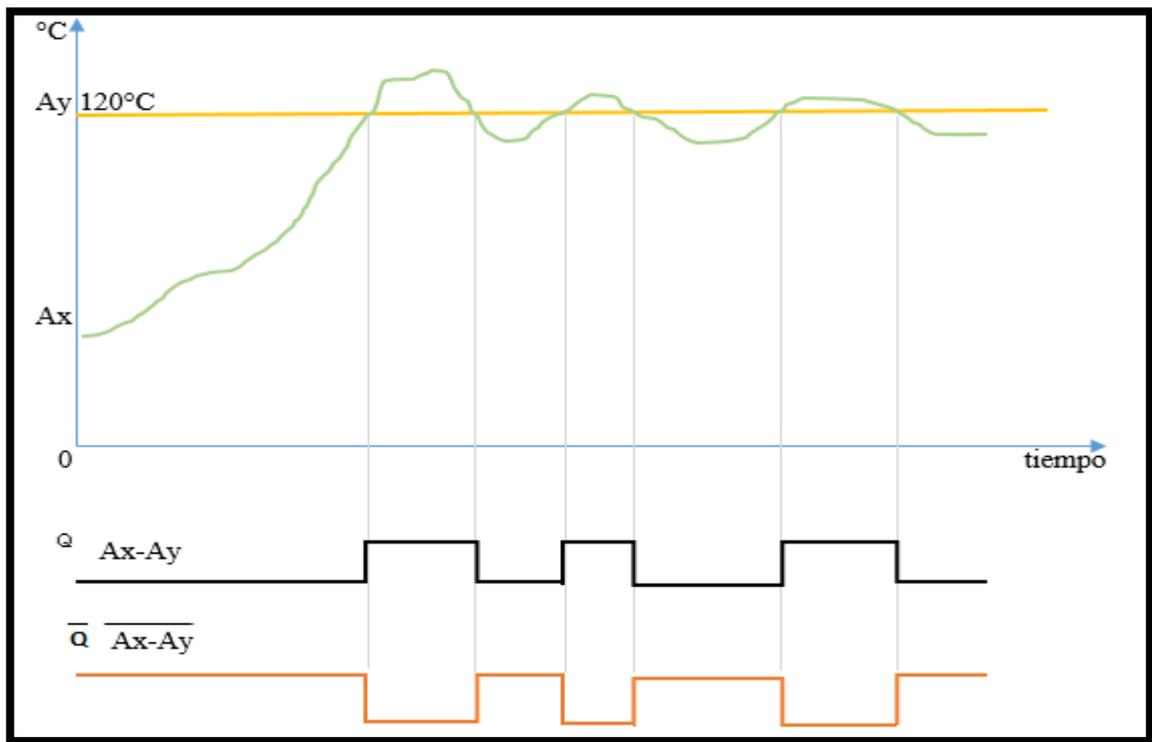


Figura 21-2: Señal de salida del comparador analógico

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

- *Segunda etapa:* estabilización de temperatura en la columna

Selector de umbral analógico.

Este bloque propio de esms Config puede ser configurado de forma que funcione como acondicionador de una señal directa de sensor RTD PT100, como se observa en la figura 22-2 los parámetros corresponden al acondicionamiento de temperatura, junto a esto se configura el umbral correspondiente para estabilizar la temperatura. Para el proyecto los puntos de encendido y apagado (On/Off) de su salida digital son 76 y 75°C respectivamente.

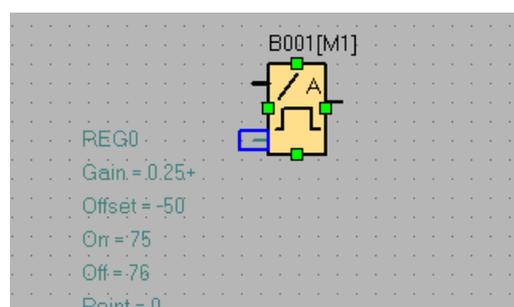


Figura 22-2: Bloque de selector de umbral analógico

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

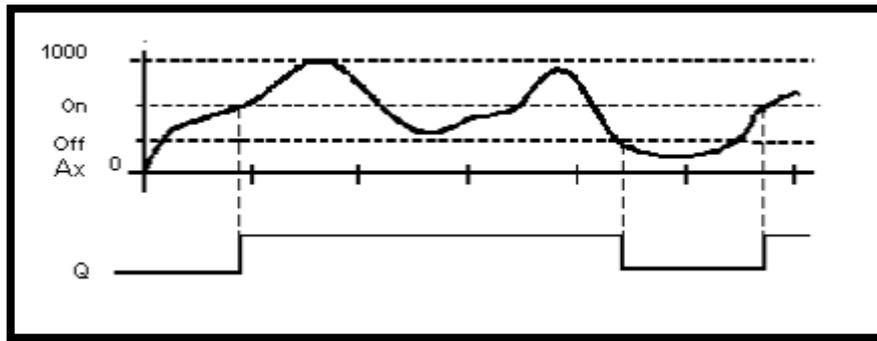


Figura 23-2: Diagrama de tiempo de selector de umbral analógico
Fuente: (x-Messenger manual 2013, p. 245, <http://xlogic-plc.com>)

Al observar la figura 23-2 se da un mejor entendimiento de la funcionalidad de este bloque cuya salida digital se rige a la siguiente regla de cálculo:

Si limite (On) \geq limite (Off), entonces

Si valor actual $Ax > On$, $Q=1$

Si valor actual $Ax \leq Off$, $Q=0$

Si limite (On) $<$ limite (Off), entonces

Si $On \leq$ valor actual $Ax < Off$, $Q=1$

Para el caso del proyecto se configurar los puntos $ON > OFF$ y adicional a esto se niega la salida como se muestra en la figura 24-2, Ax es la temperatura de la columna de destilación:

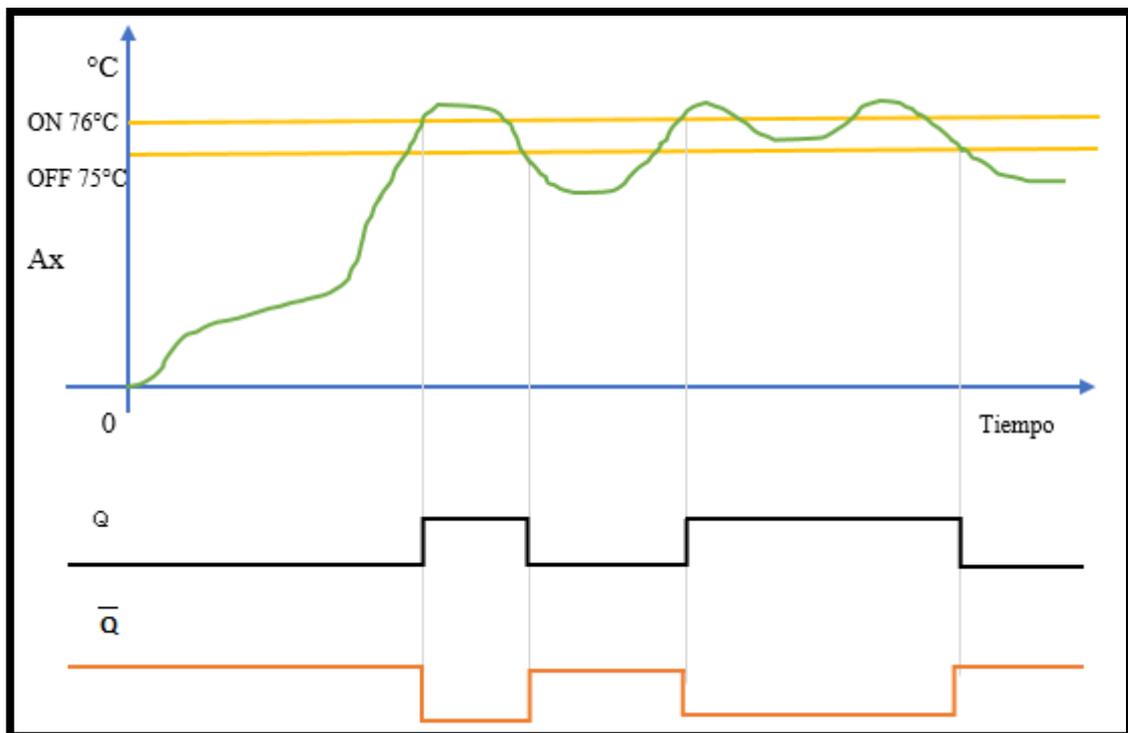


Figura 24-2: Señal de salida del umbral analógico
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Bien ya se tiene los bloques configurados, ahora se juntan las señales de las 2 etapas en una operación booleana “AND” y así obtener una sola salida digital de control para la electroválvula de vapor, para el comparador la señal de entrada analógica Ax es la proveniente del sensor ubicado en el calderín mientras que para el umbral es del sensor ubicado en la columna. La figura 25-2 muestra la simulación del calentamiento y estabilización de las temperaturas que se obtendría con el diagrama de control de la figura 19-2

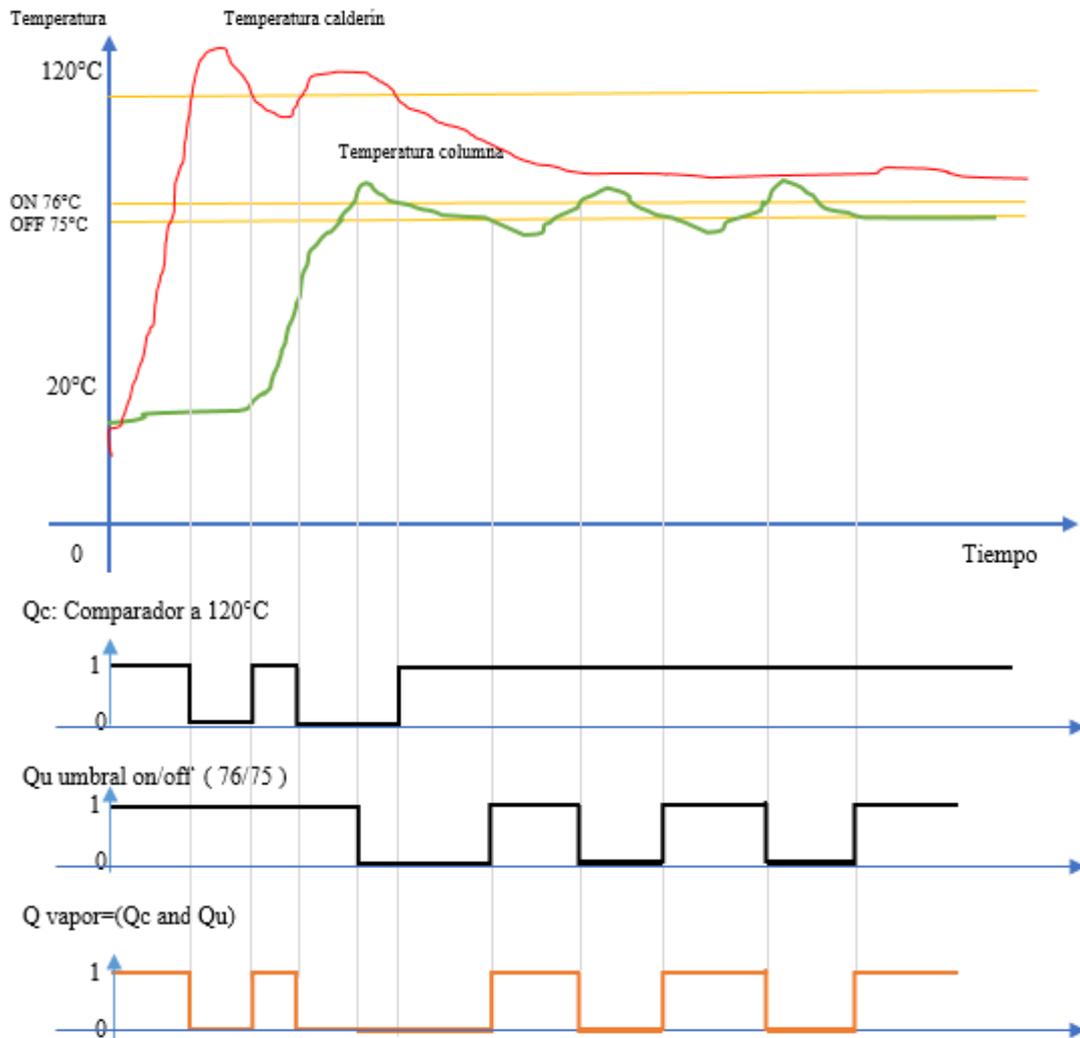


Figura 25-2: Señal de control para electroválvula de vapor
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Como se observa en el diagrama de flujo de la figura 18-2 la etapa de alimentación y descarga de producto empieza una vez que la torre ya haya sido calentada, ahora se parte de la señal de control de la electroválvula de vapor de la figura 25-2 y una vez más se usa el comparador analógico, en esta ocasión para empezar un ciclo repetitivo cuando se haya superado un cierto valor de temperatura en la columna para lo cual se necesita diseñar un diagrama Grafset.

- Diagrama Grafset para secuencia de alimentación

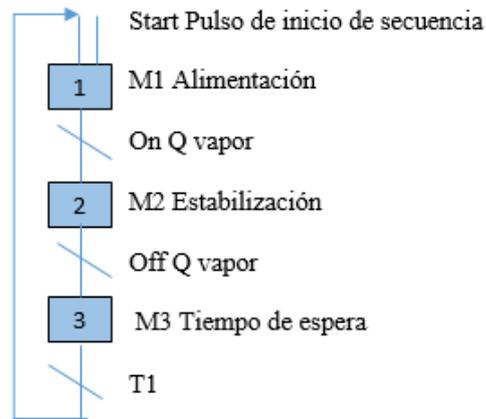


Figura 26-2: Diagrama Grafset de secuencia de alimentación

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

- Ecuaciones del diagrama Grafset

$$M1 = Start + M3.T1 + M1.\overline{M2}$$

$$M2 = M1.Qv + M2.\overline{M3}$$

$$M3 = M2.\overline{Qv} + M3.\overline{M1}$$

Las ecuaciones del diagrama Grafset proporcionan gran apoyo al momento de programar el autómatas ya sea en lenguaje de diagramas de contactos o diagrama de funciones.

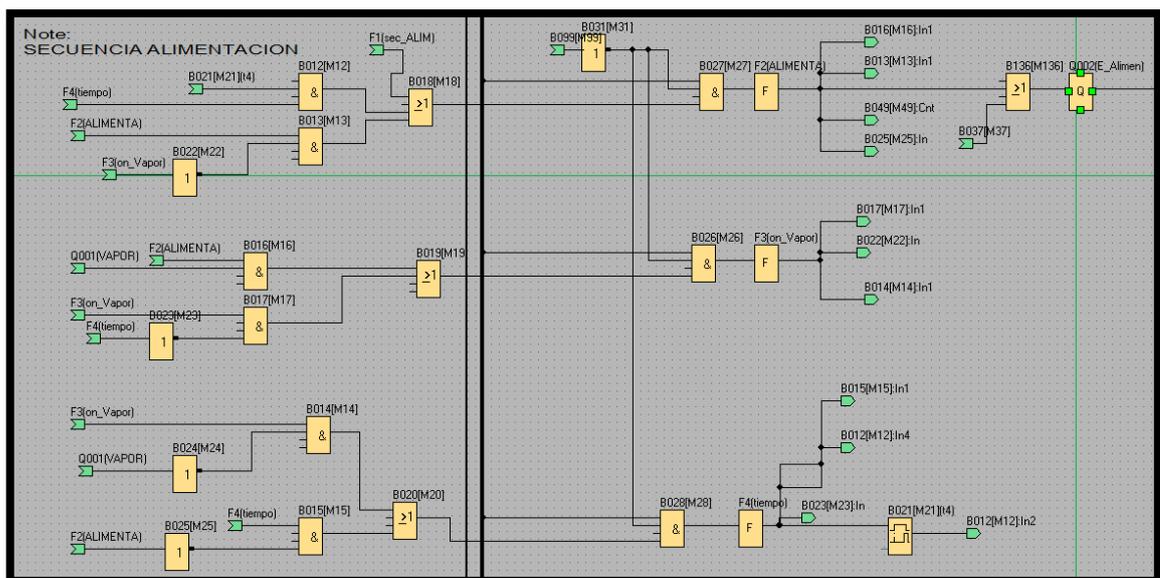


Figura 27-2: Diagrama de funciones de secuencia de alimentación.

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Ahora ya es posible analizar la salida digital de la secuencia de descarga y alimentación partiendo de la salida de control de vapor de la figura 25-2.

La salida de control digital será '1' lógico cuando la secuencia Grafset se encuentre en el estado M1 y la salida de control de vapor tenga el valor de '0' lógico, así:

$$Q \text{ Alimentación} = Qc' \text{ and } \overline{Qv}$$

La secuencia Grafset comenzara cuando la temperatura de la columna supere los 70°C, y la salida "Q alimentación" pasa a ser "Q vapor negado". Cuando la temperatura en la columna es estable permite la entrada y salida de producto y por esta acción la temperatura descenderá en algún momento en el futuro y dará prioridad a estabilizar nuevamente la temperatura activando solamente la entrada de vapor al calderín tal como se muestra a continuación.

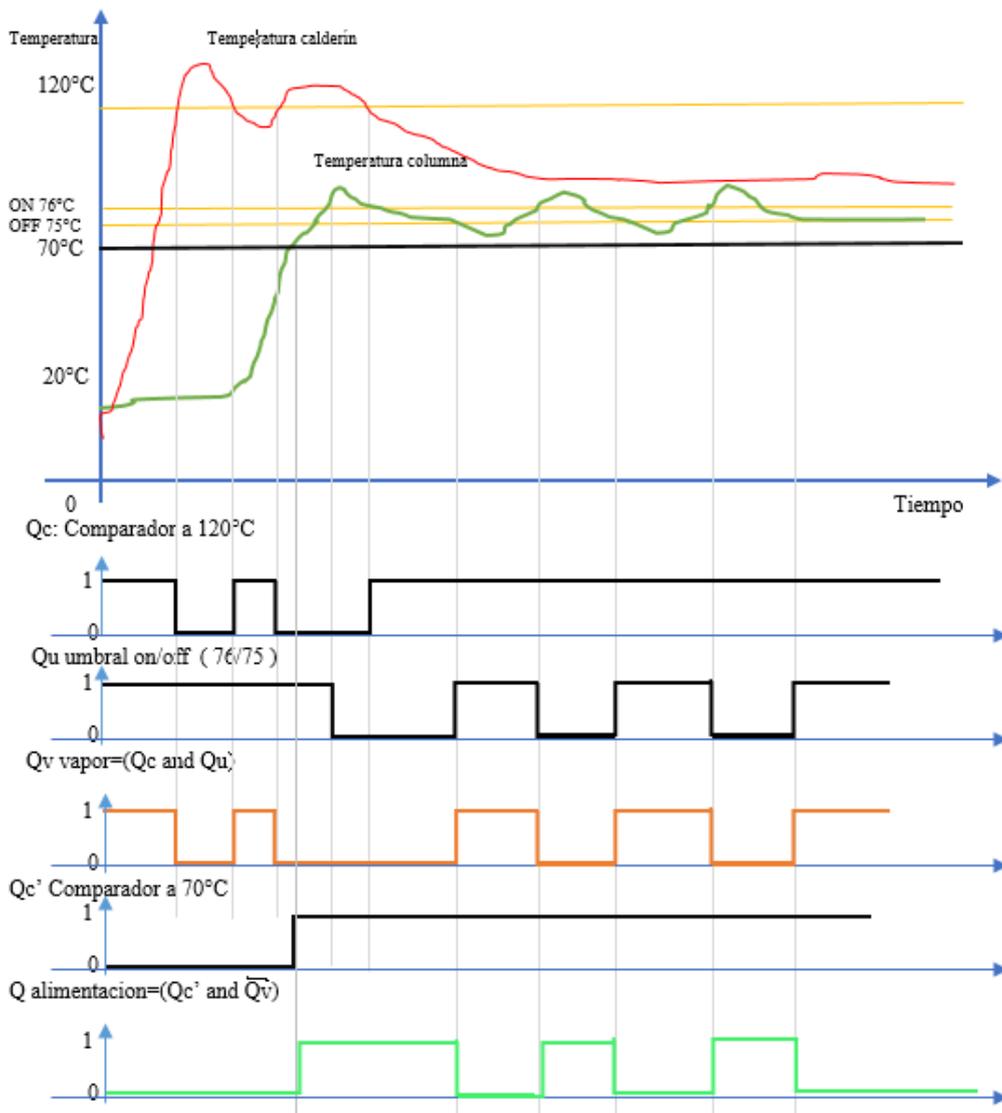


Figura 28-2: Señales de control de vapor y alimentación.

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

2.5.1.5 Depuración y transferencia de programa PC – PLC

Una vez creado la programación necesaria para el control del proceso en el cual intervienen las señales entrantes de sensores para un óptimo control de los actuadores en las salidas, se procede a cargar este programa en el controlador, para ello primeramente se debe tener comunicación entre la PC contenedora del programa creado e instalado el programa ensamblador en este caso el Esms Config disponible en la página web oficial de xlogic y el controlador correspondiente, para el presente proyecto es la serie EXM-12-DC-DA-RT-WIFI.

Para establecer la conexión entre PC-PLC se abre la pestaña de configuración de comunicación en Tools/Configurations o en su icono de acceso rápido  presente en la pantalla principal del Esms Config desplegándose la siguiente ventana.

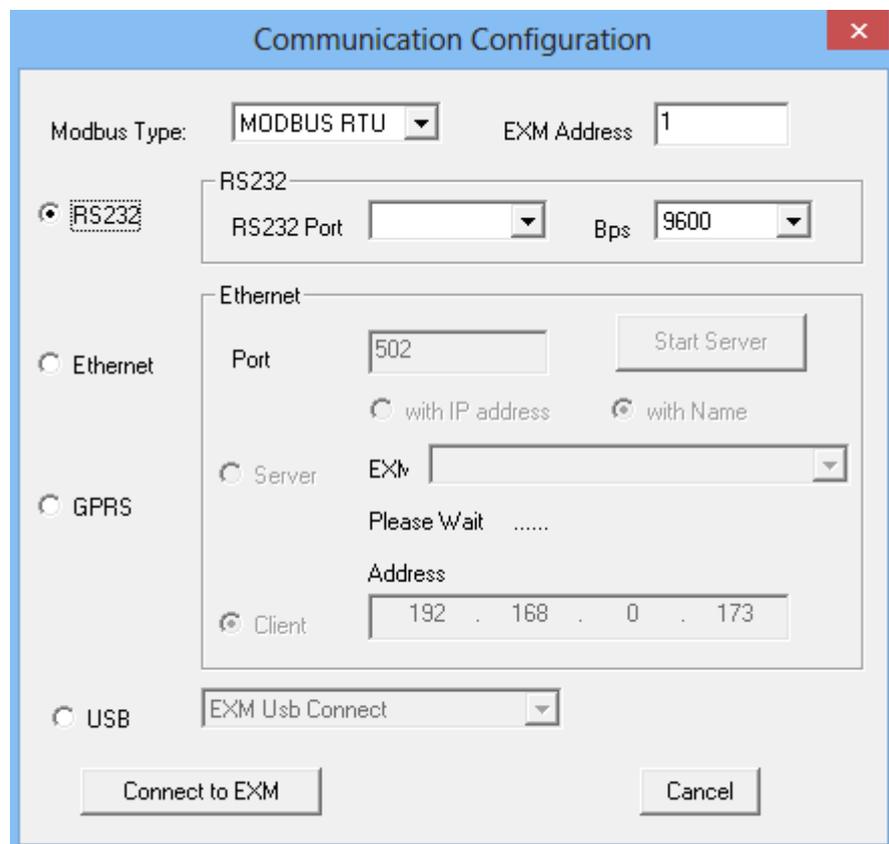


Figura 29-2: Ventana de configuración de comunicación de Esms Config.
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Como se observa es posible comunicarse con el controlador de varias formas, las que se usaron en el proyecto fueron el RS232 para el cual se necesita el cable ELC-RS232 y Ethernet pues el PLC cumple con los requisitos de hardware. No es posible comunicarse por GPRS ya que no posee el hardware necesario.

- *Conexión RS232*

RS232 o Recommended Standard (estándar recomendado) 232 es una norma por la cual se estandariza los parámetros de velocidad, control, niveles de voltaje, distancia y conectores de unos de los modos de comunicación serial.

Tabla 8-2: Parámetros de comunicación del estándar RS232

Velocidad (baudios)	1200.2400...9600
Paridad	Par, impar, sin paridad
Bit de parada	1 o 2
Cantidad de bits de datos	7 u 8
Niveles de tensión	+15/-15 V
Numero de hilos	3 a 19
Distancia	< 30 m

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Dentro de este estándar de comunicación es posible elegir entre dos protocolos, modbus ASCII o Modbus RTU los cuales asignan las propiedades de la trama de comunicación como caracteres, comprobación de errores, inicio de trama, extremo de bastidor, brechas en el mensaje, paridad, bit de inicio, bits de datos y bit de parada.

Bien ahora sabiendo esto, se configura el puerto de comunicación con modbus RTU que usa la arquitectura maestro/esclavo, con una velocidad de transmisión de 9600 baudios y el puerto RS232 aparecerá como COM1 o COM2 al momento que el controlador está conectado mediante el cable serial, el puerto COM1 tiene asignada la interrupción IRQ4 y COM2 la IRQ3.

EXM address es la dirección del PLC en este caso es 1, en caso de no saber cuál es la dirección se puede buscar directamente en el PLC en set parameters/ set address/ Master address.



Figura 30-2: Configuración del puerto RS232.

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.



Figura 31-2: Cable ELC- RS232.
Fuente: (energytomotion, 2016, www.energytomotion.com)

- *Conexión Ethernet*

El controlador que se usa en el proyecto posee el hardware necesario para la conexión Ethernet ya sea por el puerto RJ45 o por conexión inalámbrica usando el WIFI del controlador. De igual manera se configura el puerto direccionando al controlador por su dirección IP y asignándole el puerto 502, el mismo que usa el protocolo de control de transmisión (TCP) garantizando la entrega de los paquetes en el mismo orden en que fueron enviados.

Al momento de elegir la conexión Ethernet se deshabilita las demás opciones y se asigna Modbus TCP que sirve para comunicar entre dispositivos cliente/servidor que básicamente es el protocolo serial de modbus RTU encapsulado en Ethernet TCP. Antes de conectarse al controlador ya sea mediante cable o wifi se revisara las configuraciones por defecto para su acceso web:

Tabla 9-2: Configuración de acceso web por defecto

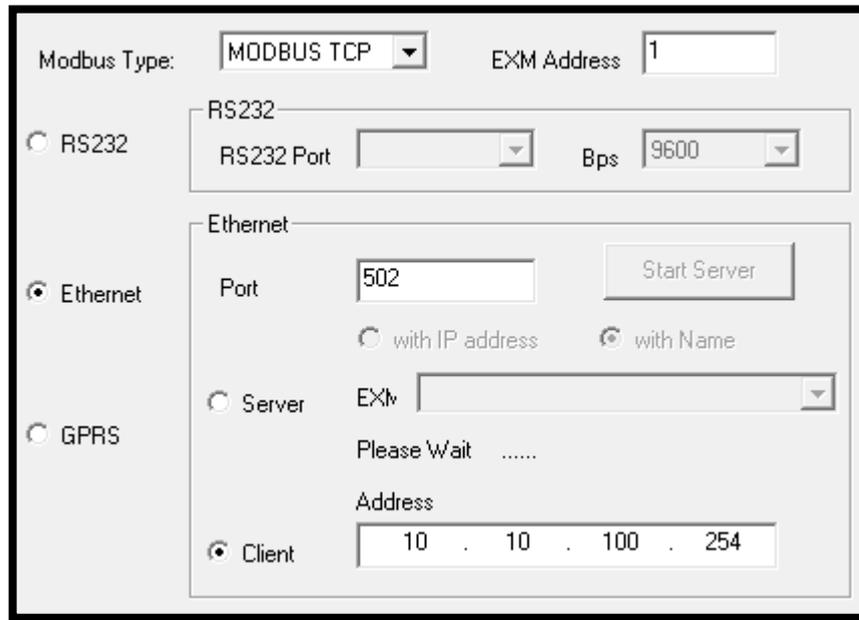
Parámetro	Valor por defecto
SSID	HF-A11x_AP
Dirección IP	10.10.100.254
Mascara de subred	255.255.255.0
Nombre de usuario	admin
Contraseña	admin

Fuente: (x-Messenger manual, p361, 2013)

Ahora si es posible configurar el puerto Ethernet para acceder al controlador, existen dos formas de conexión según las necesidades de trabajo, conectarse en modo servidor y en modo cliente

pero en este proyecto únicamente se requiere conexión en modo cliente, si desea más información sobre la conexión en modo servidor véase el manual de usuario en la página de x-logic.

Se digita los valores correspondientes para la configuración en modo cliente, la dirección IP 10.10.100.254, puerto de acceso 502, Modbus TCP y la dirección del PLC verificando que los dispositivos estén en la misma red ya sea por conexión directa con cable o wifi.



The image shows a software configuration window for Modbus. At the top, 'Modbus Type' is set to 'MODBUS TCP' and 'EXM Address' is '1'. Below this, there are three radio button options: 'RS232', 'Ethernet', and 'GPRS'. The 'Ethernet' option is selected. Under the 'Ethernet' section, there are two sub-sections: 'Server' and 'Client'. The 'Client' option is selected. In the 'Client' section, the 'Port' is set to '502', and the 'Address' is set to '10 . 10 . 100 . 254'. There is also a 'Start Server' button and a 'Please Wait' indicator.

Figura 32-2: Configuración del puerto Ethernet.
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Una vez que la conexión por USB o Ethernet este hecha lo que queda por hacer es transferir el programa hacia el PLC, en la pestaña Tools/tranfer/PC-EXM en la barra de herramientas o directamente en su icono de acceso rápido.

2.5.2 Configuración y programación del software HMI.

Un sistema automático debe tener una interfaz humano maquina (HMI) también denominado interfaz hombre maquina (MMI) que sirva como puente de comunicación entre el controlador de un equipo y el operador, mostrando las variables necesarias que intervienen dentro del proceso de tal forma que sea sencillo de interpretar.

Los sistemas de monitoreo pueden ser de dos forma, instalados en el mismo equipo como paneles de operador o establecer comunicación con dispositivos remotos es decir con una central de control, en el proyecto se usa esta última forma de monitoreo para lo cual se requiere realizar un software instalable en ese equipo, este software HMI será realizado en Labview usando el módulo Datalogging and Supervisory Control (DSC) que brinda soporte para comunicación con PLCs.

Como ya se menciona anteriormente se usa la red del laboratorio de procesos industriales para establecer la comunicación entre el PLC y un ordenador ubicado en el mismo laboratorio a través de un Router con SSID= “ProcIndustriales”.

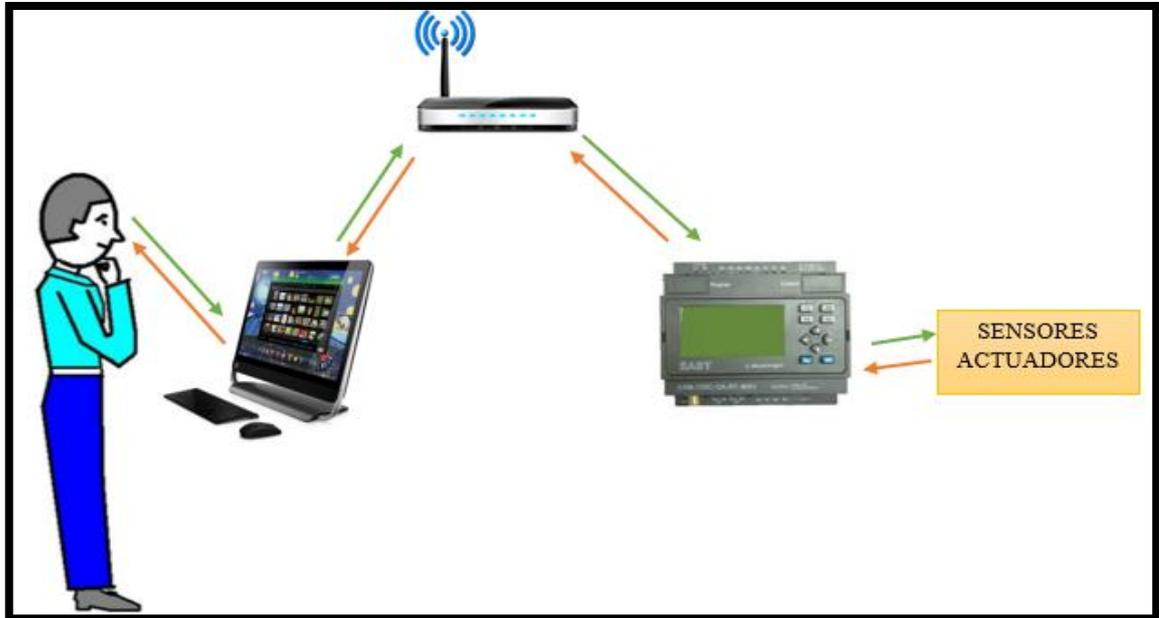


Figura 33-2: Topología de comunicación del HMI

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

2.5.2.1 Configuración del adaptador de red del PLC

Como toda red wifi la red del PLC puede ser configurado de 2 modos, que funcione como punto de acceso (modo AP) o en modo estación (STA). En modo AP se puede conectar a la red wifi si se encuentra en el rango de cobertura y así comunicarse con el controlador, mientras en modo STA funciona como un cliente que tiene acceso a una red inalámbrica, el PLC está configurado en modo STA actuando como cliente dentro de la red wifi ProcIndustriales.

Hay dos maneras de cambiar la configuración del adaptador de red del PLC, la primera es usando el cable USB y la otra directamente conectándose a la red wifi del PLC, se recomienda esta última porque el PLC busca automáticamente las redes wifi cercanas, sin embargo se explica las dos formas.

- Mediante cable USB

En la primera opción usando el cable USB deben conectarse PC-PLC y acceder a *Tools/Wifi parameters* abriéndose una ventana en la que es posible configurar el adaptador de red, si es la primera vez que acceden a los parámetros del adaptador wifi se debe seleccionar una velocidad de 57600 baudios y en caso de cambiarla acceder con la nueva velocidad.

Existen 4 ventanillas para configurar el adaptador wifi, en la ventanilla *Manage* se cambia el modo de trabajo de AP a STA para que sea un cliente de un punto de acceso cercano.



Figura 34-2: Ventanilla administrador de configuración del adaptador de red wifi
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Luego se selecciona la ventanilla *STA*

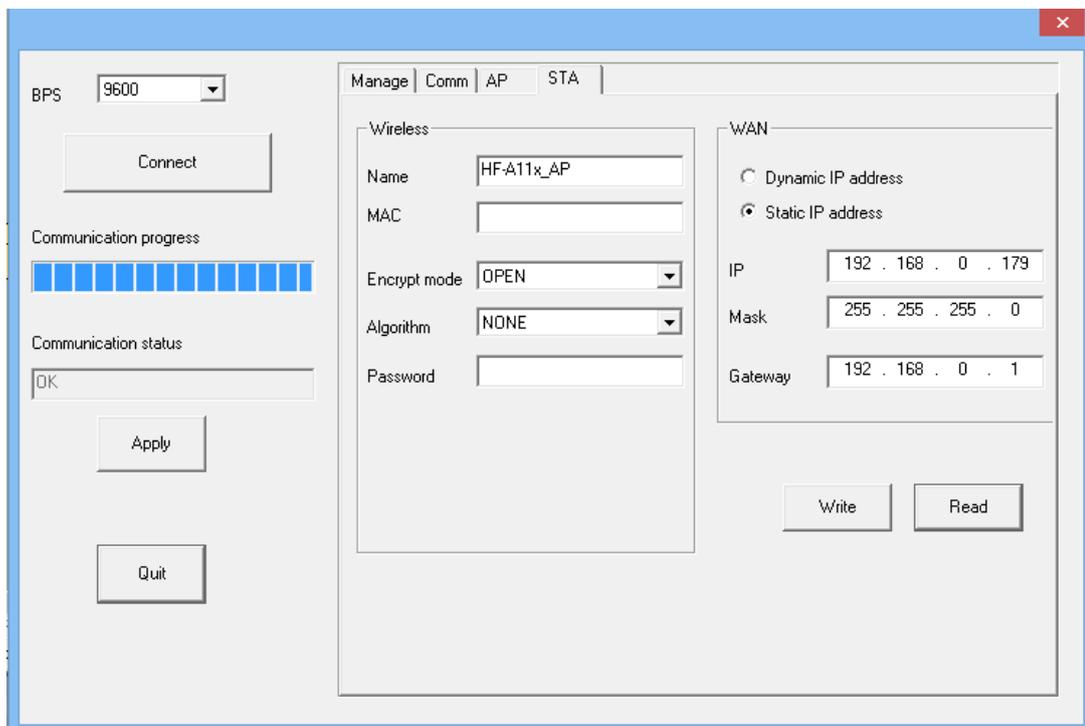


Figura 35-2: Ventanilla STA de configuración del adaptador de red wifi
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

En la ventanilla STA de la figura 35-2 se ingresa el nombre y contraseña de la red a la que se conectara el PLC en la casilla nombre y contraseña del Wireless, luego se asigna una dirección IP estática de clase C con su respectiva mascara de subred porque estará conectado a un Router, la puerta de enlace por defecto de un Router es 192.168.0.1 de otra forma se debe ingresar la puerta de enlace del Router correspondiente. Se debe seleccionar una dirección IP estática porque esta IP siempre será usada por el PLC de otra forma las direcciones serán asignadas de forma automática y el software HMI no podrá direccionar a las variables del controlador.

Para terminar la configuración de los valores se pulsa el botón Write para escribir los cambios de otra forma estos no se guardarán.

- *Mediante la red wifi*

En esta opción la PC debe estar dentro de la red del PLC y acceder a la dirección 10.10.100.254 mediante un explorador de internet e ingresar con el nombre de usuario por defecto admin y contraseña admin cargando su página la misma que se muestra a continuación.

Working Mode Configuration

You may configure the Uart-WIFI module wifi mode and data transfer mode.

AP Mode:
Access Point

STA Mode:
Station Mode

Data Transfer Mode

Figura 36-2: Página web del PLC, configuración de modo de trabajo.
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

De igual manera se puede cambiar el modo de trabajo del adaptador de red pero antes de cambiar a modo STA es necesario configurar primero estos parámetros en la pestaña de “*interfaz de configuración STA*” de otro modo la red wifi desaparecerá y nuevamente se debe de cambiar a modo AP con ayuda del cable USB o reseteando el controlador a sus configuraciones de fábrica.

Ahora se ubica en la pestaña *Wifi-Uart setting* y en configuraciones de red se cambia al puerto 502 y también a protocolo TCP, las demás casillas se deja con las configuraciones de fábrica.

Network Setting	
Mode	Server ▼
Protocol	TCP ▼
Port	502
Server Address	192.168.0.107
MAX TCP Num. (1-32)	32
TCP Time out (MAX 600 s)	300

Figura 37-2: Página web del PLC, configuraciones de red
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

La configuración del modo estación (STA) es recomendable hacerlo desde la página web porque en la interfaz de configuración STA es posible buscar las redes wifi cercanas al PLC, en la casilla *AP's SSID* (nombres de puntos de acceso en español) se busca y selecciona la red a la cual se desea conectar el PLC, una vez seleccionada la red se digita su contraseña en la casilla *Pass Phrase*.

STA Interface Parameters	
AP's SSID	WILLIAM <input type="button" value="Search..."/>
MAC Address (Optional)	<input type="text"/>
Security Mode	WPA2PSK ▼
Encryption Type	AES ▼
Pass Phrase	25031090

Figura 38-2: Página web del PLC, conexión a red wifi
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Al conectar el PLC a la red se le asigna una dirección IP de forma automática pero la central de control no puede saber qué dirección fue asignada al PLC cada vez que se conecta y no se comunicara, para evitar este problema se asigna una dirección IP estática de forma manual.

WAN Connection Type:

Static Mode	
IP Address	192.168.0.173
Subnet Mask	255.255.255.0
Default Gateway	192.168.0.1
DNS	8.8.4.4

Figura 39-2: Página web del PLC, asignación IP estática
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Por motivos de prueba se realizó la conexión PC-PLC mediante la red wifi del servicio de internet de mi casa, así que el Router está configurado con un SSID=WILLIAM, contraseña=25031090, puerta de enlace 190.168.0.1, y la dirección estática asignada al PLC es 192.168.0.173 con su respectiva mascara de subred.

Ahora ya es posible cambiar a modo de trabajo STA en la pestaña de “*configuración modo de trabajo*”, al instante de cambiar a modo STA ya entra a la red seleccionada como un dispositivo más, ocupando la dirección IP asignada al controlador.

Para comprobar que el controlador este en red con el Router se procede a conectar la PC en la misma red y de igual manera se ingresa a la página web del PLC con ayuda de un explorador de internet pero con la diferencia que ya no se usa la dirección IP por defecto del controlador (10.10.100.254) sino la dirección IP estática asignada manualmente en este caso será 192.168.0.173, si no es posible acceder algo se hizo mal y debe repetir el proceso.

2.5.2.2 Direcciones modbus de variables a monitorear

Modbus es un protocolo de comunicación basado en el modelo maestro/esclavo si es RTU o cliente/servidor si es TCP, no requiere licencia y es muy seguro. Los códigos de petición y respuesta de modbus soportados por xlogic se resumen en la tabla 10-2.

Tabla 10-2: Tabla de códigos de petición y respuesta MODBUS

Código (Hex)	Descripción	Longitud de mensaje	Comentario
01	Leer bobina de una grupo (00000-0xxxx)	--	Relé salida
02	Lee estado de grupo Input (10000-1xxxx)	--	Relé entrada
03	Lee múltiples registros (40000-4xxxx)	----	Registros salida
05	Forza el estado de bobina (00000-0xxxx)	1	Forzar una bobina
06	Establece datos de registro (40000-4xxxx)	80	Establece salida de registro
15	Forza múltiples bobinas (00000-0xxxx)	Muchos	
16	Escribe múltiples registros (40000-4xxxx)		
19-4F	Reservados		

Fuente: (Modbus TCP protocol p27, 2013)

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Se debe tener en cuenta que la longitud de los mensajes de petición/respuesta enviados del operador al PLC no debe exceder de los 80 bytes si esto sucede el comando no se ejecutara y de forma viceversa no debe permitirse que la longitud de los mensajes enviados desde el PLC exceda de 80 bytes u ocurrirá un error de estado numero 3(el comando no se puede ejecutar).

Las direcciones modbus estas asignadas de diferente manera dependiendo de la marca del PLC que se disponga, las direcciones para la serie de xlogic son las siguientes.

Tabla 11-2: Mapa de memoria de protocolo Modbus para xlogic

Nombre	Tipo	Código modbus	Dirección decimal	Formato dato	Atributo
Digital Input DI	1x	02	CPU:0-7 EXT1:8~15 EXT2:16~23 EXT3:24~31 ... EXT8:64~72	bit	R
Cursor C	1x	02	256-259	bit	R
Digital Output DO	0x	01(R)05(W)15(MW)	(CPU):0~7 (EXT1):8~15 (EXT2):16~23 (EXT3):24~31 ... (EXT7):56~63 (EXT8):64~71	Bit	R/W
Middle coil	0x	01(R)	256-767	Bit	R
Digital Flag DF	0x	01(R)05(W)15(MW)	1536-1663	bit	R/W
REG(timer counter)	4x	03(R) 16(MW)	0-511	Long	R/W
Analogic Input AI	4x	03(R)	1024-1279 CPU:1024-1031 EXT1:1032-1039 EXT2:1040~1047... EXT8:1088~1095	Signed short	R
Analogic Output AO	4x	03(R)06(W)16(MW)	1280-1535 CPU:1280-1281 EXT1:1282-1283 EXT2:1284-1285... EXT8:1296~1297	Signed short	R/W
Analogic quantity Buffer	4x	03(R)	1536-2074	Signed short	R
Analogic quantity buffer AF	4x	03(R)06(W)16(MW)	Elc12sre:3072-3135	Signed short	R/W
HEG for block frequency	4x	03(R) 16(MW)	2560-3071	Word	R
RTC	4x	03(R) 16(MW)	Year:3328 Month:3329 Day:3330 Hour:3331 Minute:3332 Second:3333	Signed short	R/W

Fuente: (Modbus TCP protocol p18, 2013)

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Gracias a la tabla 11-2 y la programación del PLC es posible monitorear todas las variables que se desee, pero es recomendable seleccionar únicamente aquellas variables que interesa ser visualizadas el operador del equipo.

Para poder direccionar correctamente cada variable es necesario saber que a las direcciones de la tabla 11-2 se les debe sumar un valor de 1 por ejemplo: la salida Q1 perteneciente al CPU según la tabla 11-2 sería un código 0x y la dirección decimal 0 por lo que la dirección correspondería a 000000 pero como se debe sumar 1 quedaría 000001. En la siguiente tabla se muestra las direcciones modbus de las variables a monitorear en el proceso de destilación:

Tabla 12-2: Mapa de direcciones MODBUS del proyecto.

Nombre	Tipo	Código modbus	Dirección modbus	Formato dato	Atributo
Digital Input DI	1x	02		bit	R
manual automático			3		
Limpieza			4		
ON reflujo			5		
OFF reflujo			6		
Digital Output	0x	01(R)05(W)15(MW)		Bit	R/W
Entrada Vapor			1		
Entrada alimentación			2		
Start /Stop			3		
Electroválvula reflujo			9		
Condensación			10		
Limpieza			12		
Digital Flag DF	0x	01(R)05(W)15(MW)		bit	R/W
Start			1550		
Stop			1551		
Fin del proceso			1544		
REG(timer couter)	4x	03(R) 16(MW)		long	R/W
Temperatura tanque			1		
Temperatura torre			43		
Tiempo restante(fin)			92		
Volumen entrante			98		
Analogic flag Af	4x	03(R)06(W)16(MW)		Signed short	R/W
Volumen set			3073		
Tiempo calentamiento de torre			3074		
Tiempo destilación			3075		
Tiempo ultima descarga			3076		

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

2.5.2.3 Creación de variables en NI OPC server

En el apartado 2.5.2.1 únicamente se estableció comunicación entre PC-PLC mediante el adaptador de red del controlador y la red wifi del laboratorio de procesos industriales pero aún falta direccionar en la PC las variables del proceso que se van a monitorear y juntarlas todas en una sola ventana de visualización para el usuario, para lo cual se usa el paquete de NI Datalogging and Supervisory Control (DSC) de Labview por su habilidad de comunicarse con todos los controladores lógicos programables (PLCs).

En este apartado se centrara en como enlazar las variables del PLC con la PC, para lo cual se requiere que esté instalado Labview y el paquete DSC, es recomendable que las versiones sean las mismas.

Una vez ya instalado se procede a abrir el *NI OPC Server Configuration* para poder crear un nuevo canal de comunicación, aquí se elige la marca y serie de PLC con el cual se va a comunicar pero como EasyPLC es nuevo en el mercado no se lo puede concentrar en la lista por esta razón se seleccionó el protocolo de comunicación modbus TCP/IP Ethernet y a la vez el puerto 502, el mismo que se usó en la configuración del adaptador de red del PLC.

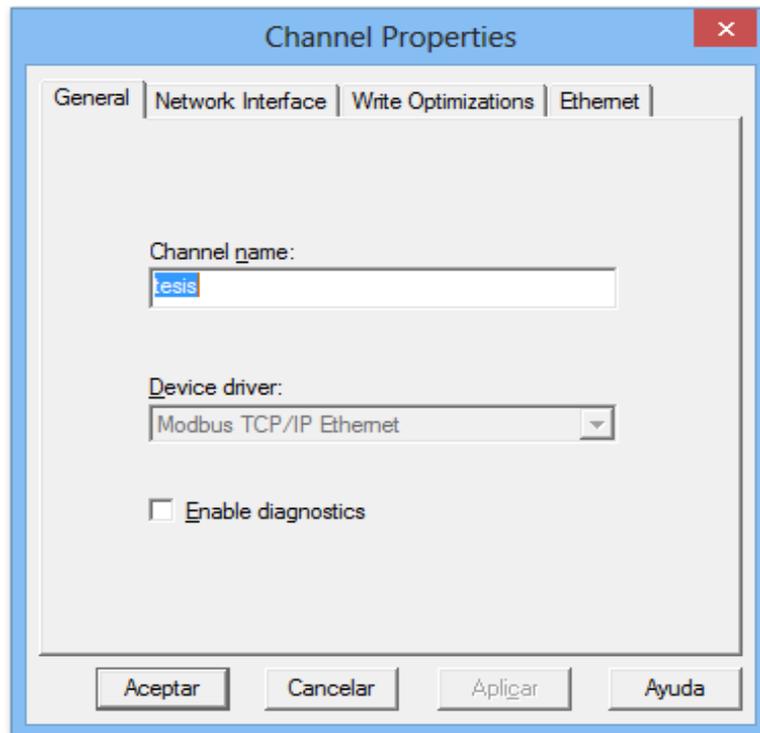


Figura 40-2: Propiedades de canal, selección Modbus TCP/IP
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Luego de crear el canal de comunicación se añade un nuevo dispositivo y se procede a configurar el modelo, la dirección IP, la dirección del controlador, el puerto, protocolo de comunicación y la forma de transmisión de los datos.

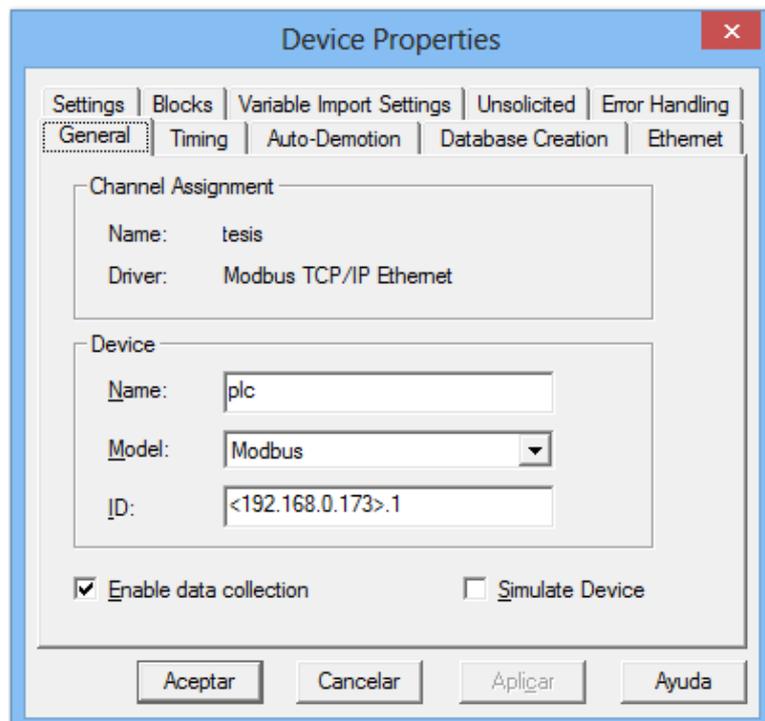


Figura 41-2: Propiedades de dispositivo, dirección del PLC
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Ahora únicamente queda por crear nuevas etiquetas con ayuda del mapa de direcciones MODBUS del proyecto de la tabla 12-2 para lo cual se digita el nombre, la dirección, el tipo de dato, acción (leer o escribir) y el tiempo de escaneo en milisegundos.

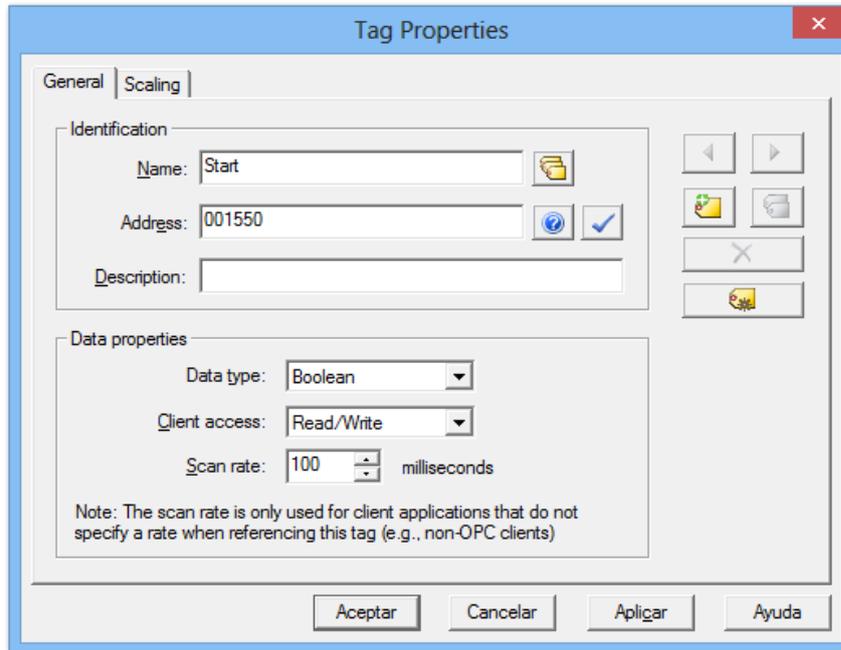


Figura 42-2: Propiedades de etiqueta
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

En la siguiente figura se muestran todas las direcciones creadas para realizar en software HMI.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
t_vision	403078	Word	100	None
muestra	403077	Word	10	None
T_ultima_descarga	403076	Word	10	None
T_Destilacion	403075	Word	10	None
T_C_Torre	403074	Word	10	None
set volumen	403073	Word	100	None
P_Volumen	400098	Long	10	None
T_enriquesimiento	400092	Long	10	None
temp_Torre	400043	Long	10	None
temp_Tanque	400001	Long	10	None
manual_automatico	100003	Boolean	10	None
V	001557	Boolean	10	None
CF	001556	Boolean	10	None
stop	001551	Boolean	100	None
start	001550	Boolean	100	None
t_muestra	001549	Boolean	10	None
F12	001548	Boolean	10	None
F8	001544	Boolean	10	None
F7	001543	Boolean	10	None
enviar_T_E	001542	Boolean	10	None
descarga	000012	Boolean	10	None
condensador	000010	Boolean	10	None
reflujo	000009	Boolean	10	None
on_off	000003	Boolean	10	None
alimentacion	000002	Boolean	10	None
vapor	000001	Boolean	10	None

Figura 43-2: Etiquetas creadas en OPC Server 2012
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

2.5.2.4 Creación del software HMI en Labview

Para trasladar las etiquetas creadas en el apartado 2.5.2.3 a una sola ventana de visualización que sea interactiva entre el proceso y el operador se debe crear un nuevo proyecto en Labview y dentro de éste 2 nuevas librerías de la siguiente manera.



Figura 44-2: Nuevo proyecto y librerías
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

En la primera librería se crea un nuevo I/O Server y se elige el OPC Client, en este se escoge *National Instrument.NIOPCServers.V5* pues dentro de esta carpeta se encuentran las etiquetas del proyecto, las mismas que se observar en la figura 43-2.

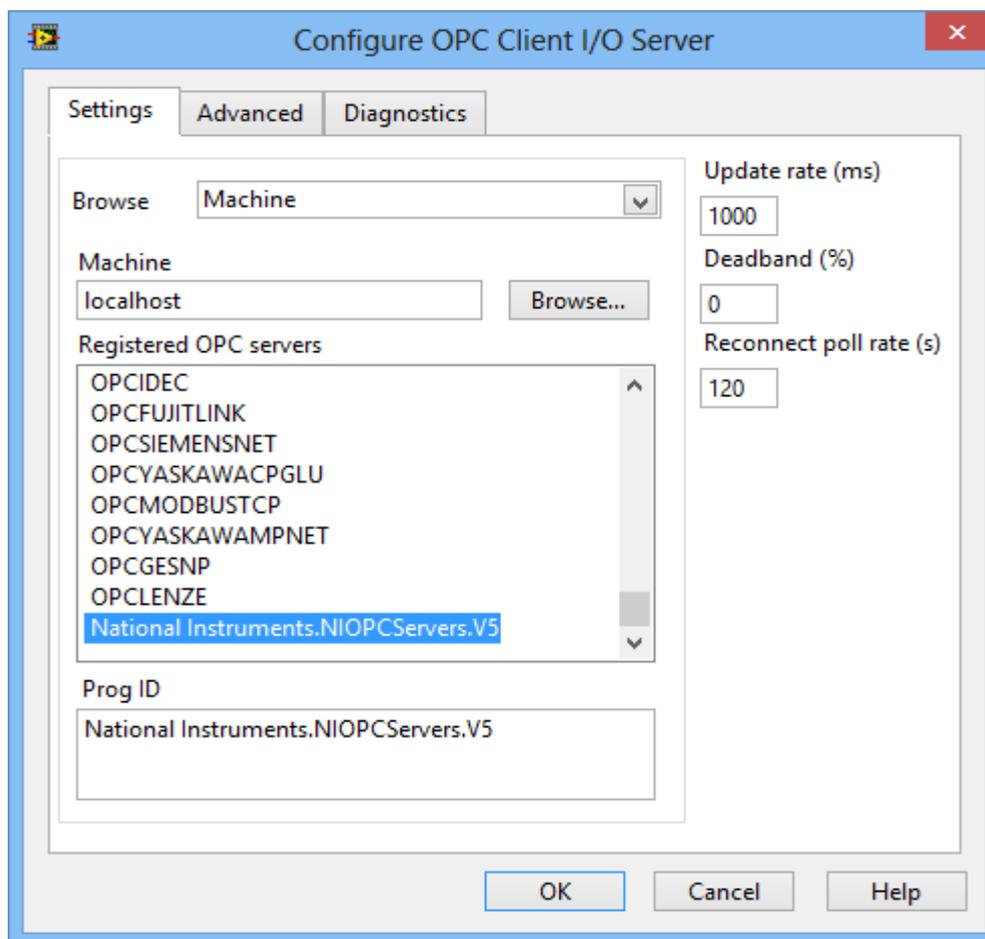


Figura 45-2: Configuración de OPC Client I/O Server
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

En la segunda librería se crea nuevas variables ligadas al proyecto, se ubica la dirección de las variables y se añade todas a esta librería del proyecto así:

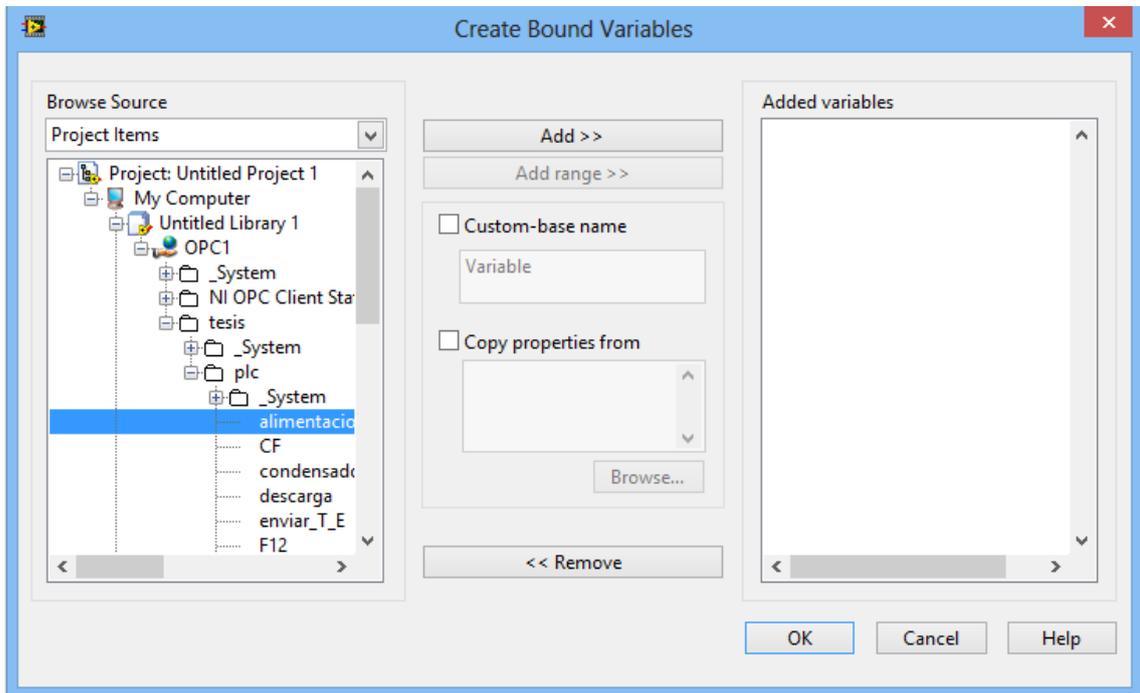


Figura 46-2: Creación de variables ligadas

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

De esta forma las variables del PLC ya se encuentran dentro del proyecto lo único que se debe hacer es crear un nuevo VI que consta del panel frontal donde van los indicadores y del panel de diagrama de bloque donde va el diagrama de programación.

La estructura del proyecto creado queda de la siguiente manera, ahora solo se arrastra las variables al panel de diagrama de bloques para realizar la programación correspondiente de lectura y escritura de cada una de las variables.

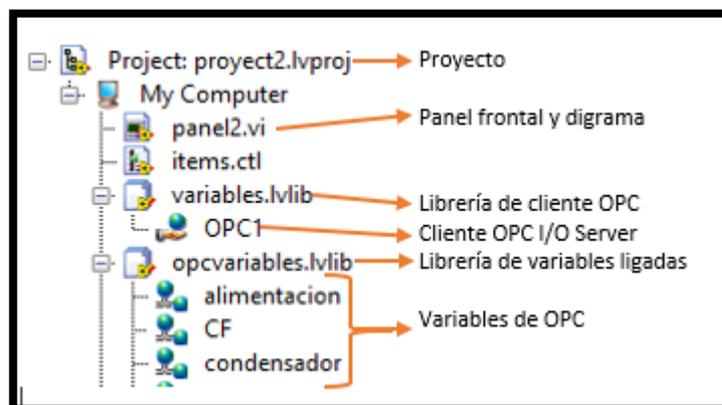


Figura 47-2: Estructura de proyecto en Labview

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Para realizar un buen programa de monitoreo en el cual la comunicación no se pierda y las variables den los valores correctos en tiempos mínimos, es decir, que tanto la escritura y lectura sea en tiempo real se recomienda separar ambas acciones.

La lectura se lo hace de forma directa de manera que al ejecutarse cada ciclo del programa se lee el valor actualizado de las variables sin ningún problema así:

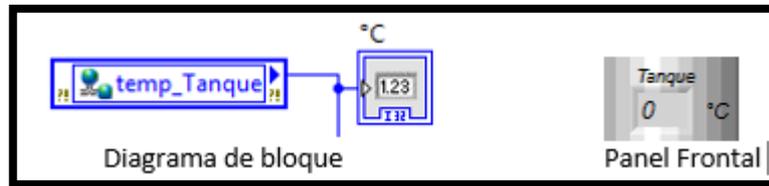


Figura 48-2: Lectura de temperatura del calderín
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

La escritura debe tener una estructura condicionada para su ejecución pues solamente debe ejecutarse cuando existan cambios en los valores en el panel frontal porque de otra manera se escribiría cada vez que se ejecute el programa sobrecargando el canal de comunicación y provocando una lentitud en el programa de monitoreo pues no se ejecutara en tiempo real, por ejemplo la secuencia de la figura 49-2 se ejecutara al pulsar el botón Start o al cambiar en valor string de volumen de alimentación.

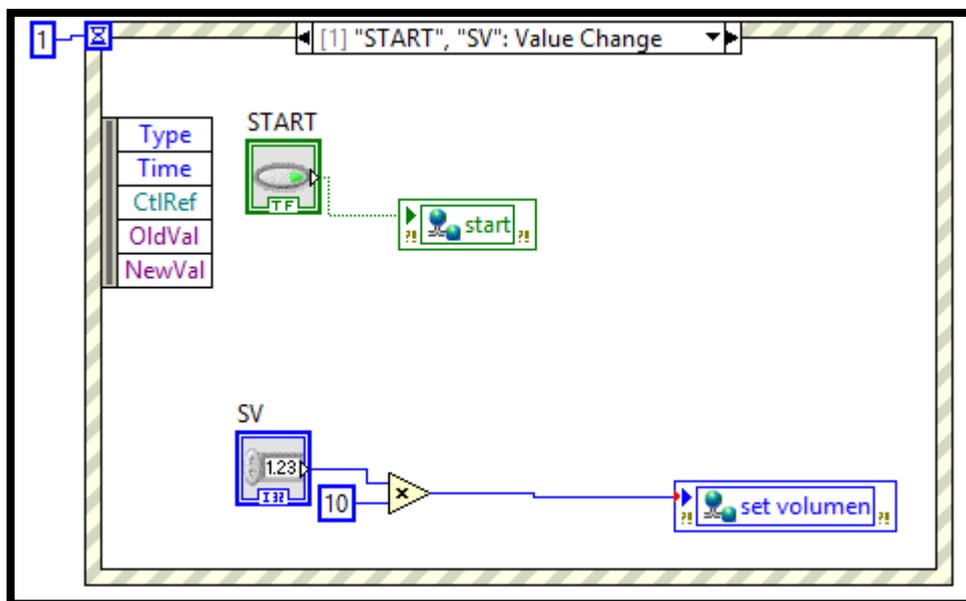


Figura 49-2: Escritura de banderas Start y Volumen de alimentación
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Una vez realizado la programación adecuada y después de probar que funcione correctamente la comunicación, se personalizo los indicadores de manera que sea muy similar al equipo así:

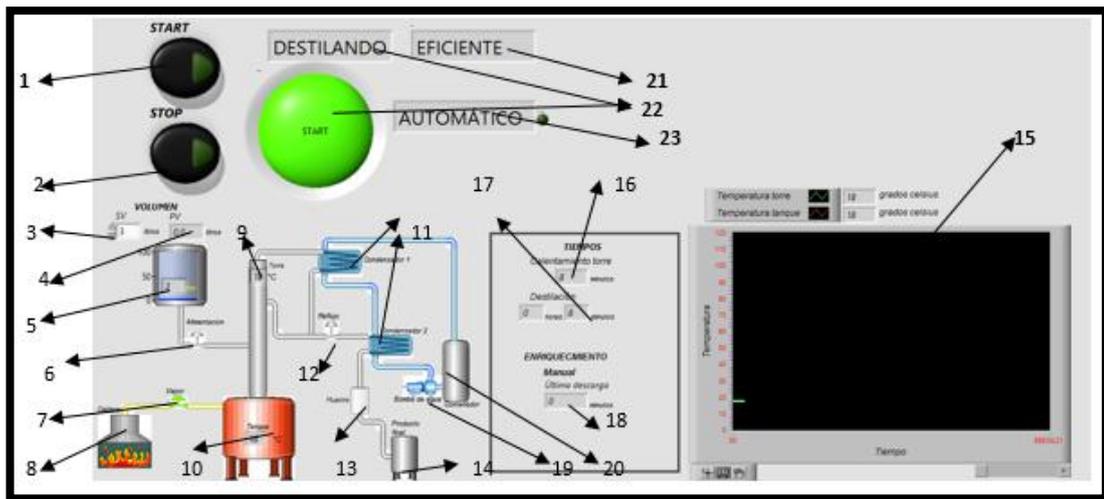


Figura 50-2: Software de Interfaz Humano Maquina
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Partes del software HMI

1. Pulso de inicio
2. Pulso de paro
3. Ingresar volumen
4. Volumen ingresado
5. Volumen presente en el tanque
6. Válvula de alimentación
7. Válvula de vapor
8. Caldero
9. Temperatura de la torre
10. Temperatura del tanque
11. Condensadores
12. Válvula de reflujo
13. Contenedor de muestra
14. Contenedor del producto final
15. Grafica de temperaturas
16. Tiempo de calentamiento de la torre
17. Tiempo total del proceso
18. Tiempo que permanece cerrada la válvula de reflujo en forma manual
19. Bomba de agua hacia condensadores
20. Contenedor de agua para etapa de condensación
21. Indicador de modo de destilación
22. Indicador inicio/paro
23. Indicador forma de destilación manual o automático

2.5.2.5 Creación de instalador del software HMI

Labview es un software muy completo que no solo ayuda a realizar programas para monitorear sistemas autómatas sino que también facilita la creación del instalador de las aplicaciones realizadas para ayudar a la distribución e instalación en cualquier computadora que se necesite sin necesidad que Labview esté instalado en ese computador.

Primeramente se debe instalar el paquete de application builder y previamente crearse el ejecutable de dicha aplicación con clic derecho en Build specifications dentro del proyecto realizado

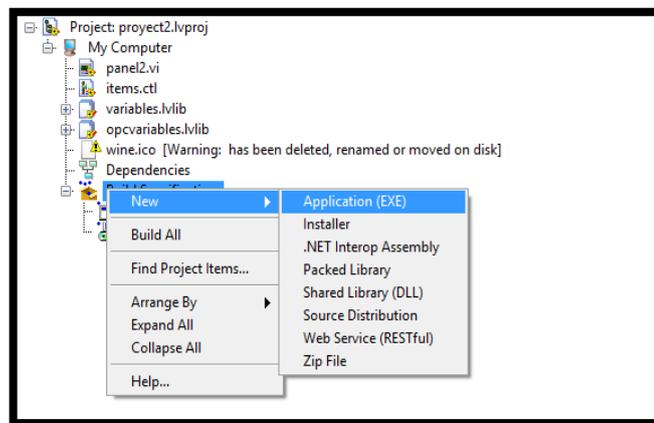


Figura 51-2: Creación del ejecutable
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Se abre una ventana en la que se configura el nombre del ejecutable, el destino, el icono del ejecutable y en la parte de Source files se debe elegir el VI como startup para que sea la primera en abrirse al ejecutar la aplicación por ser esta donde se encuentra los indicadores gráficos del proceso y las demás incluirlas en la ventana de abajo, finalmente pulsamos en el botón de Build.

Luego se crea el instalador de igual manera que el ejecutable pero aquí se elige installer, así:

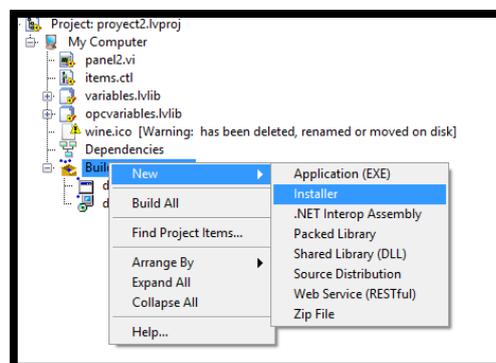


Figura 52-2: Creación del instalador
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Se abre una ventana donde se configura el destino, nombre y en la parte de Source Files se añade el ejecutable así:

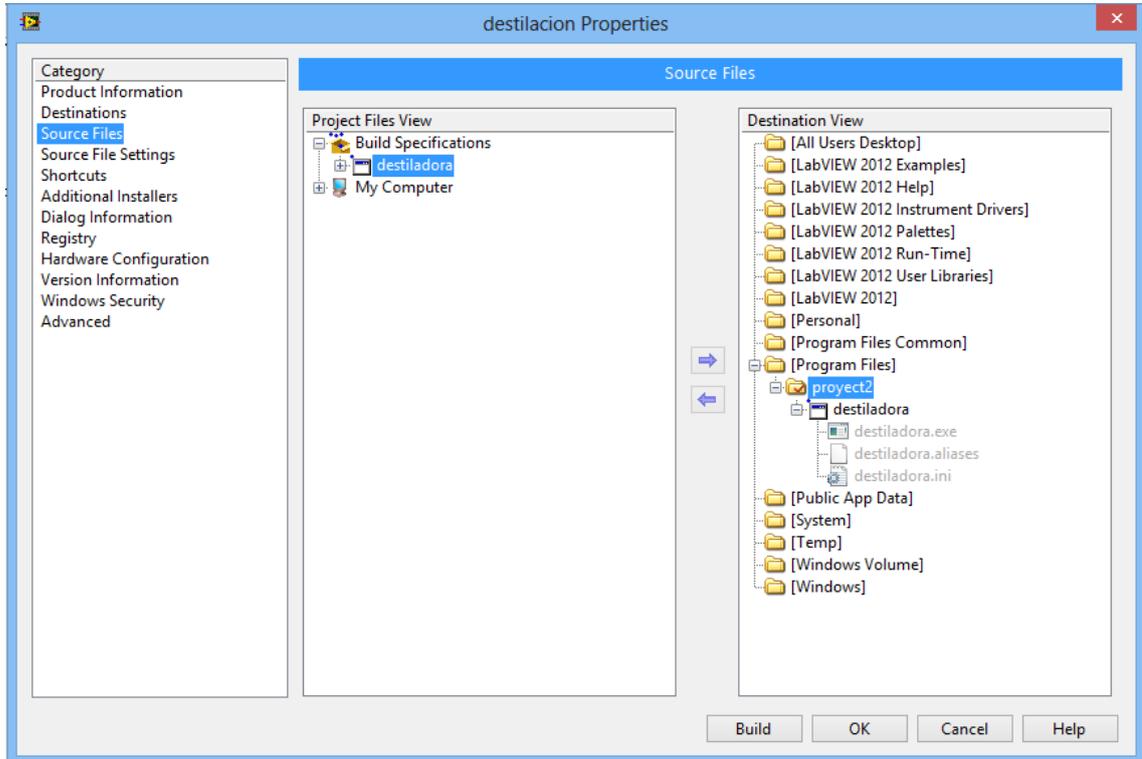


Figura 53-2: Añadir ejecutable al instalador

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Por último se pulsa el botón Build para crear el instalador, en caso que el proyecto tenga más funciones que incluyan otros paquetes se los selecciona en la parte de additional installers, para mayor información sobre la creación de instaladores en Labview puede revisar la página oficial de national instrument (www.ni.com). Ahora el proyecto del software HMI creado en Labview queda de la siguiente manera y listo para distribuirse.

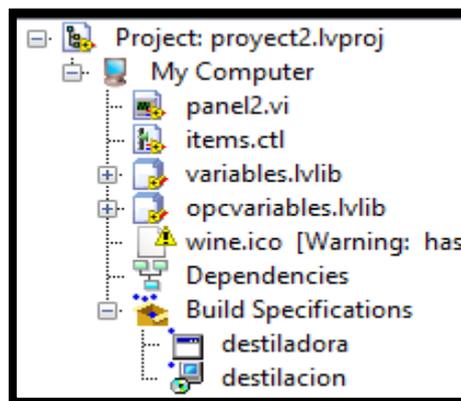


Figura 54-2: Proyecto final en Labview

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las concentraciones alcohólicas en bebidas fermentadas son relativamente bajas por lo que se emplea el método de destilación para separar y concentrar las sustancias más volátiles del alcohol fermentado pero de igual manera con este método no se puede obtener una sustancia con concentración puramente alcohólica, es decir bebida con 100 grados GL (Gay Lussac) por lo que se emplea otro método llamado deshidratación el cual no se profundizará en el presente proyecto.

Para poder realizar la evaluación del equipo se debe saber que el mismo fue diseñado de tal forma que tanto los flujos de alimentación, destilado y reflujo están acordes a las dimensiones de la columna de destilación y el número de platos en el destilador, estos flujos determinan la cantidad de producto terminado y la concentración alcohólica que se obtendrá a la salida a partir de una determinada cantidad y concentración alcohólica menor en la entrada usada como materia prima.

En el presente capítulo se detalla las mejoras obtenidas en el equipo de destilación de alcohol fermentado ubicado en el laboratorio de procesos industriales de la ESPOCH posterior a la automatización.

Previamente se realizaron pruebas de destilación de alcohol con el equipo antes de ser intervenido para su automatización para determinar los aspectos que provocaban ineficiencia en su operación y consumo excesivo de recursos.

Una vez implementado la automatización del proceso se realiza pruebas de funcionamiento para descartar cualquier tipo de fallo ya sea en hardware o software haciendo de este un equipo robusto al ambiente de operación además con las debidas seguridades y lo que es más importante aún, la optimización de los recursos usados en el proceso para obtener un producto de calidad.

Y como parte final se resalta las mejoras más significativas obtenidas por la modernización del equipo de destilación, también se realiza cuadros comparativos de la funcionalidad del equipo previo y posterior a la automatización manteniendo las mismas condiciones de operación.

3.1 Evaluación del equipo antes de la automatización

Para la correcta utilización de la torre y llevar a cabo el proceso de forma manual se debe seguir una serie de pasos, los cuales se ordenaron en el siguiente diagrama de flujo y por el mismo hecho de ser manual es un poco complicado hasta para las personas con experiencia con este equipo.

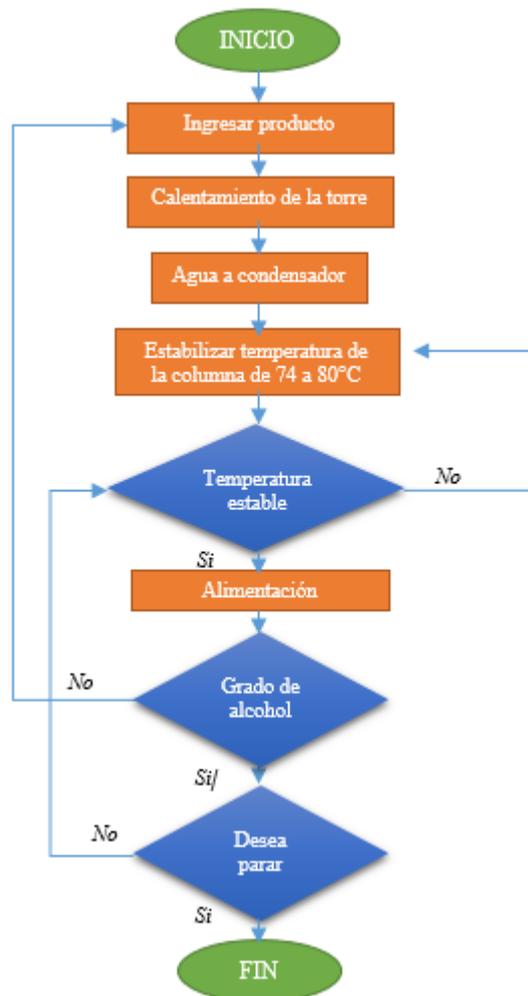


Figura 1-3: Diagrama de flujo de destilación a seguir de forma manual
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Con este diagrama de flujo se puede encontrar los problemas existentes en el proceso, los más complicados de controlar por el operador y las falencias estructurales del equipo.

3.1.1 Problemáticas existentes en la torre de destilación

3.1.1.1 Regulación manual de la entrada de alimentación

La torre de destilación contiene dos centros de almacenamiento de alcohol que se encuentran tanto en la parte superior como inferior de la torre, en la parte superior se puede almacenar hasta 80 litros de alcohol fermentado.

En la parte inferior se puede colocar agua destilada o más recomendable alcohol para acelerar el proceso, en caso de colocar alcohol en el recipiente superior se posee una válvula manual para alimentar el producto a la torre que puede ser accionada para dejar caer el alcohol de manera que esta se convierta en vapor por medio de la regulación de temperatura que existe entre plato y

plato, cabe recalcar que la alimentación se debe regular a cierta cantidad de flujo para evitar una reacción química o riesgo en el proceso de destilación.

Durante el proceso de destilación se debe alimentar el producto a la torre regularmente dependiendo de la temperatura existente en la torre para que de esta manera la temperatura se mantenga estable al punto de ebullición del etanol y el producto pueda seguir ascendiendo en forma de vapor para llegar a la siguiente etapa.

La ejecución manual que se da en el proceso de destilación de la torre no es el adecuado debido a que no se tiene un control preciso o el más óptimo al momento del proceso, y la maquina no puede ser usada por otro usuario que desconozca o no sepa su funcionamiento ya que podría haber riesgos por su mal uso, es necesario la presencia de una persona encargada para que se realice el proceso además el tiempo para llevar a cabo la destilación es mucho.



Figura 2-3: Válvula manual de alimentación
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

3.1.1.2 Control manual de la entrada de vapor

La torre destiladora necesita ser calentada lo más rápido posible y luego mantener la temperatura estable mediante vapor proveniente del caldero, con ayuda de una válvula manual que permite el paso de vapor al calderín de la torre, por medio del aumento de temperatura el líquido convertido en vapor calienta a la torre y mantiene regulada la temperatura entre plato y plato.



Figura 3-3: Válvula manual para regulación de temperatura
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

La válvula debe ser accionada con el fin de mantener la temperatura lo más cercano posible al punto de ebullición del etanol en la parte superior de la torre para obtener resultados favorables, generalmente se lo mantiene entre un rango de 77-78 °C para separar el alcohol de otras sustancias en forma de vapor, al no estar dentro de este rango la concentración de alcohol disminuye considerablemente dando un producto de baja calidad aparte que la operación es muy difícil puesto que solo hay un grado de diferencia en el rango y la temperatura se visualiza en sensores analógicos.



Figura 4-3: Sensores analógicos de temperatura
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

3.1.1.3 Consumo excesivo de agua para la etapa de condensación

Internamente en la columna de destilación se encuentran sustancia en forma líquida y gaseosa por sus puntos de ebullición diferentes, la sustancia que interesa al proceso se encuentra en forma gaseosa por lo que una etapa de enfriamiento es necesario para obtener el producto final en la salida.



Figura 5-3: Condensadores del destilador
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Esta etapa se realiza enviando agua del grifo, es decir, agua a temperatura ambiente la misma que se desperdicia porque no dispone de un sistema de enfriamiento óptimo y no existe recirculación del mismo líquido. El proceso de destilación tiene un tiempo considerable de ejecución de acuerdo

a la cantidad de producto que se desea destilar y el grado de concentración, es por esto que un flujo constante de agua en el sistema de manera permanente es un consumo excesivo.

De acuerdo con las pruebas realizadas el consumo mínimo de agua es de 1.5 litros por minuto dando un volumen de 90 litros por cada hora, esto haciendo relación a que el proceso dura alrededor de 36 horas de las cuales 28 requerían flujo de agua, da como resultado un consumo total de 2520 litros o 2.52 metros cúbicos. En caso de abrir totalmente la llave del grifo el consumo es de 6 litros por minuto resultando 10080 litros o 10.08 metros cúbicos para terminar el mismo proceso.

3.1.1.4 Control manual de la válvula de salida del destilado y retorno del reflujo

Para descargar el producto final del destilador se posee una válvula manual que se regula de tal forma que una parte del producto pasa hacia la muestra en donde se mide el grado de concentración de alcohol y otra parte es retroalimentada hacia la zona de enriquecimiento de la torre y así obtener un grado de concentración mayor.



Figura 6-3: Válvula de reflujo
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

Al abrir esta válvula se da una perturbación en la torre provocando que la temperatura salga del rango de estabilización permitido y por ende la concentración alcohólica del producto disminuye.

La manera más eficiente de obtener el producto con mayor concentración alcohólica y en menos tiempo es operar esta válvula de dos maneras, la primera es manteniendo la válvula cerrada para que todo vuelva a la zona de enriquecimiento aumentando la concentración alcohólica y la segunda es regulando la válvula de tal manera que la temperatura de la columna sea estable dentro del rango permitido, lo que resulta más difícil para el operador pues debe estar pendiente de la temperatura y del control de la entrada de vapor.

3.1.2 *Operación del equipo*

Para evitar los problemas del equipo por ser operado de forma manual y obtener un producto con alto grado alcohólico optimizando los recursos, el proceso debe ser realizado por el personal que tenga experiencia previa con el manejo del equipo.

Al realizar la automatización estas maniobras serán ejecutadas por el controlador, minimizando los errores que posiblemente cometían los operadores del equipo durante el proceso y facilitara la obtención de producto final

Para esta prueba se ingresó 40 litros con una concentración alcohólica de 50 GL (grados alcohólicos en la escala Gay Lussac) y se determinó la cantidad de recurso se consume y la calidad de producto final que se obtiene en la salida

3.1.2.1 *Recursos de operación*

En este apartado se detalla los gastos indirectos de fabricación, es decir, los recursos necesarios para la producción pero que no forman parte del producto terminado, aquí se encuentra el vapor necesario para la evaporación del etanol ingresado y el agua para la condensación del etanol con mayor riqueza alcohólica.

Para realizar el proceso primeramente se debe calentar la torre, lo cual se lleva a cabo alrededor de 3 a 4 horas, una vez caliente se envía agua hacia los condensadores y empieza la destilación consumiendo vapor y agua a la vez

- *Vapor*

Para el cálculo de la cantidad de vapor consumido se consideró que la caldera que genera el vapor necesario es ideal, es decir, que con los mismos recursos (agua, gas) y en las mismas condiciones de funcionamiento siempre genera la misma cantidad de vapor, previamente a esto se realizó el mantenimiento de la caldera para descartar cualquier tipo de fallo que pueda generar pérdidas y con ello los resultados expuestos serán más precisos.

Al considerar que el caldero es ideal es posible usar la magnitud fundamentada *tiempo* para medir el consumo de vapor pues cada hora representara la misma cantidad de vapor y facilitara la comparación después de automatizar el equipo.

Bien, ahora si es prudente decir que el proceso tuvo una duración de 2 días de 8:00am a 24:00pm dando 32 horas de consumo de vapor de las cuales 8 fueron destinadas para el calentamiento de la torre y 28 horas para la estabilización de temperatura en el punto de ebullición del etanol.

- *Agua*

La cantidad de agua que se usa para la etapa de condensación depende del porcentaje que la válvula este abierta, mediante pruebas se mantenía un flujo mínimo de 1.5 litros por minuto y máximo de 6 litros por minuto.

El proceso requiere que el agua empiece a fluir cuando la columna de destilación este caliente, en esta prueba el tiempo que el agua flujo fue de 28 horas dando como mínimo un consumo de 2520 litros y máximo de 10080 litros.

3.1.2.2 Calidad de producto terminado

Finalmente el producto terminado obtenido fue de 6 litros a 82 GL, en la siguiente ilustración se muestra la medición de grado alcohólico con ayuda del alcoholímetro.



Figura 7-3: Alcohol de 82GL de concentración.
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

La siguiente tabla resume los resultados expuestos anteriormente

Tabla 1-3: Resultados de proceso antes de la automatización

Volumen de materia prima	40 litros
Grado alcohólico inicial	50 GL
Tiempo de calentamiento	8 horas
Tiempo de estabilización	28 horas
Volumen de producto final	6 litros
Grado alcohólico final	82 GL
Consumo de agua	2.52 a 10.08 m ³

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Estos resultados son puramente reales y cabe mencionar que el proceso de destilación es lento, las maniobras de entrada de vapor, entrada de alimentación y regulación de reflujo también tuvieron mucho ver en el proceso por el mismo hecho de realizar las acciones de forma manual y el personal a cargo de la destilación fue alguien con experiencia previa con el equipo destilador.

3.2 Calibración de las variables del equipo

Una vez obtenido los resultados de operación manual se realizó los cambios necesarios para el control, los mismos que se detallaron en el capítulo 2.

En este apartado se realiza pruebas para calibrar el funcionamiento del equipo y maximizar la producción, minimizando recursos, aumentando la calidad y cantidad del producto terminado. Para lo cual se requiere separar en dos etapas, la etapa de calentamiento en la que se reduce el tiempo de consumo de vapor, y la segunda etapa de estabilización de temperatura en la columna para obtener un producto con mayor concentración alcohólica.

3.2.1 Pruebas de calentamiento de la columna de destilación

El calentamiento de la torre en la operación manual se realizaba de tal manera que se mantenía un valor de 78°C a 80°C (cercano al punto de ebullición del etanol), para el calentamiento de manera automática se cambió este funcionamiento haciendo que la temperatura en el calderín suba hasta un límite de 120°C y se mantenga en esa hasta que la temperatura en la columna de destilación supere los 70°C.

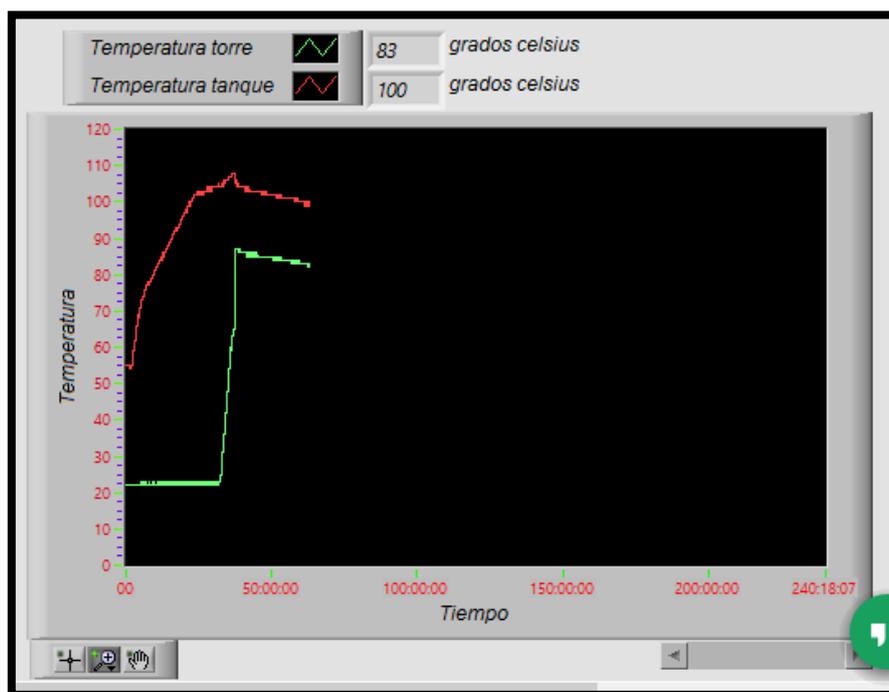


Figura 8-3: Curvas de calentamiento de la columna de destilación
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

En la figura 8-3 se observa que la curva de temperatura del tanque sube rápidamente de manera que la columna se calienta en tan solo 36 minutos y con otras pruebas hasta 58 minutos, a comparación de hacer el calentamiento de forma manual se reduce considerablemente el tiempo y por ende el consumo de vapor.

3.2.2 Pruebas de estabilización de temperatura en la columna de destilación

Como ya se mencionó anteriormente con la estabilización de temperatura en la columna mejora notablemente la calidad de producto terminado, para encontrar el punto de estabilización más óptimo se probó con varias temperaturas y se observó si el producto final aumentaba o disminuía.

Para realizar las pruebas se escogió un rango de temperatura entre 74°C y 80°C, teniendo en cuenta que mientras más cerca este del punto de ebullición del etanol mejor será el producto.

El punto de equilibrio ideal es correspondiente a una temperatura de 77°C en la cima de la torre, probando que con esta se obtiene una bebida con mayor concentración alcohólica a comparación de las demás temperaturas.

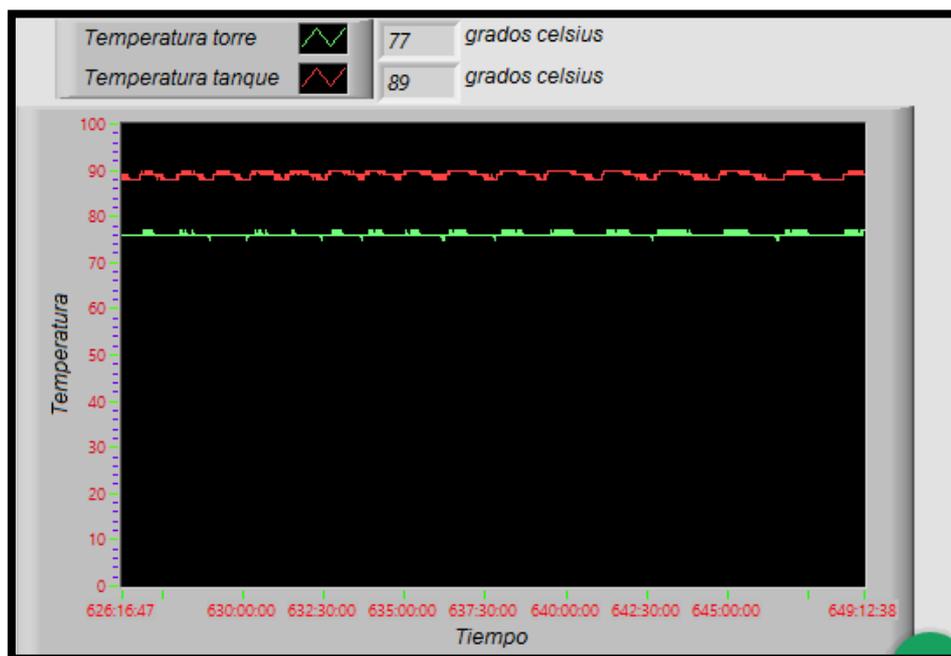


Figura 9-3: Curvas de estabilización de temperatura en la columna de destilación
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

En la figura 9-3 se puede apreciar que la temperatura es lo más estable posible con tan solo un grado de diferencia, de igual forma el calentamiento de la columna se realiza lo más rápido posible y una vez caliente empieza a estabilizarse. Adicional a esto se observó que en la última etapa, la curva roja correspondiente al sensor del tanque disminuye notablemente y no hay salida de

producto, lo que indica que queda poco o nada de alcohol al interior de la columna y el proceso debe terminar, véase la figura 12-3 .

Tabla 2-3: Pruebas con diferentes temperaturas

Temperatura	Grado alcohólico
85°C-86°C	47GL
78°C -79°C	55 GL
77°C-78°C	70 GL
76°C-77°C	85 GL
75°C-76°C	76 GL
74°C-75°C	69 GL

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

La tabla 2-3 resume los resultados obtenidos con cada temperatura siendo la mejor el rango de 76°C a 77°C al llegar a los 85 GL.



Figura 10-3: Alcohol a 85GL con regulación de 77°C

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

3.3 Evaluación del equipo después de la automatización

Hasta el momento el equipo ha sido optimizado para calentar la torre lo más rápido posible y mantener estable la temperatura en 77 grados obteniendo en la salida un producto con la máxima concentración alcohólica. El objetivo principal de las pruebas realizadas es la obtención de

producto con mayor riqueza alcohólica en el menor tiempo posible y con menor consumo de recursos.

3.3.1 Operación del equipo

Para evaluar el equipo una vez ya automatizado se realizó la destilación con una entrada idéntica a la usada antes de la automatización es decir 40 litros de alcohol a 50 GL para determinar los recursos requeridos en el proceso y la calidad de alcohol obtenido y así comparar ambos resultados.

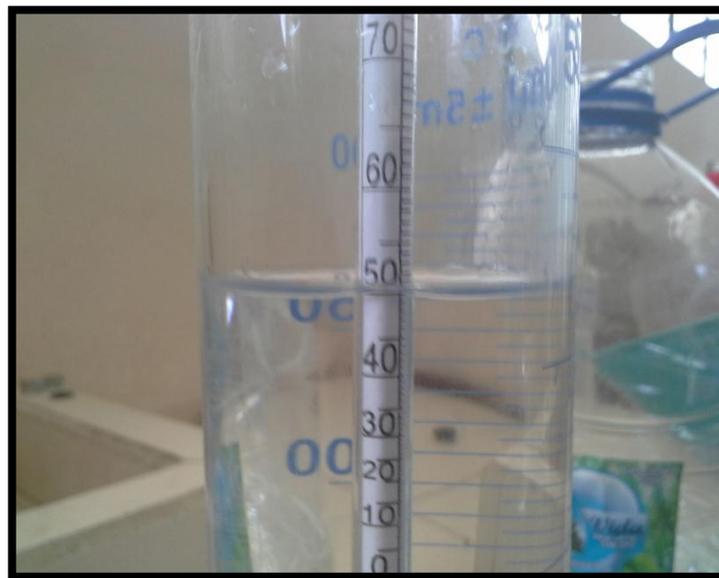


Figura 11-3: Alcohol a 50GL usado como materia prima
Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

3.3.1.1 Recursos de operación

La funcionalidad del equipo es la misma pero los tiempos de operación disminuyeron considerablemente así como el consumo de recursos, para mayor detalle se realiza el análisis tanto del consumo de vapor en unidades de tiempo y la cantidad de agua usada.

- Vapor

De la misma forma que en el análisis del consumo de vapor al operar de forma manual se considera que el caldero es un equipo ideal y se toma el tiempo como unidad de medida para el consumo de vapor.

En esta ocasión el proceso se llevó a cabo en un solo día, de 8 am a 22 pm resultando 14 horas, una hora fue destinada para el calentamiento de la torre y 13 horas para mantener estable la temperatura como se observa en la figura 12-3, cuando la temperatura del caldero disminuye el proceso se detiene automáticamente puesto que no hay salida de producto final.



Figura 12-3: Prueba final de destilación
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

- *Agua*

La etapa de condensación ha sido mejorada incorporando un condensador de heladera que usa aceite para enfriar una tubería de cobre que está en contacto con el agua y por intercambio de temperatura enfría el agua almacenada en un recipiente con capacidad máxima de 60 litros.



Figura 13-3: Recipiente del condensador
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

El agua empieza a ser bombeada hacia los condensadores cuando el proceso lo requiera es decir una vez que la columna de destilación este caliente.

3.3.1.2 *Calidad de producto terminado*

En esta prueba se obtuvo un total de 9.5 litros de producto final con una concentración de 85 GL, es importante mencionar que los problemas de operación manual se eliminaron con el control automático.

Las pruebas fueron realizadas con alcohol a 50GL por ser el más usado para las prácticas de laboratorio con el equipo destilador, además el control está centrado en mejorar la calidad del producto final.

Tabla 3-3: Resultados de proceso posterior a la automatización

Volumen de materia prima	40 litros
Grado alcohólico inicial	50 GL
Tiempo de calentamiento	1 hora
Tiempo de estabilización	13 horas
Volumen de producto final	9.5 litros
Grado alcohólico final	85 GL
Consumo de agua	60 litros

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

3.4 **Comparación de los resultados previo y posterior a la automatización**

En este apartado se realiza la comparación de los resultados previo y posterior a la automatización para indicar las mejoras obtenidas mediante valores cuantitativos.

Para ambas pruebas se usó la misma cantidad de materia prima con la diferencia del cambio de operación, como se observa en la tabla 4-3 los tiempos de operación cambian considerablemente reduciendo el consumo de vapor proveniente de la caldera, además se obtiene mayor cantidad de producto final con más concentración alcohólica.

En cuanto al consumo de agua, en ambos casos se usa motobombas de agua con la diferencia que antes el agua circulaba una sola vez por los condensadores e iba a un desagüe desperdiando el

líquido vital y ahora se usa un sistema de enfriamiento con recirculación de agua reduciendo el consumo de agua para realizar el mismo trabajo.

Tabla 4-3: Comparación de resultados

PRUEBAS	Antes de automatizar	Después de automatizar
Volumen de materia prima	40 litros	40 litros
Grado alcohólico inicial	50 GL	50 GL
Tiempo de calentamiento	8 horas	1 hora
Tiempo de estabilización	28 horas	13 horas
Volumen de producto final	6 litros	9.5 litros
Grado alcohólico final	82 GL	85 GL
Consumo de agua	2.52 a 10.08 m ³	60 litros

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

3.4.1 Comparación de consumo de recursos

3.4.1.1 Consumo de vapor

Para cuantificar el consumo de vapor se usa la magnitud de tiempo y debido al proceso se analiza en dos etapas:

- Calentamiento

Se toma las 8 horas que duró el proceso de calentamiento en la primera prueba como el 100% y se compara con el tiempo que tardó en la segunda prueba para obtener el porcentaje de reducción

$$\text{Consumo de vapor actual}(\%) = \frac{\text{consumo}V_f}{\text{consumo}V_o} * 100\%$$

Donde:

- ✓ Consumo V_o = consumo de vapor antes de automatización
- ✓ Consumo V_f = consumo de vapor después de automatización

$$\text{Consumo de vapor actual}(\%) = \frac{1}{8} * 100\% = 12.5\%$$

$$\text{Optimización}(\%) = \text{consumo de vapor anterior} - \text{consumo de vapor actual}$$

$$\text{Optimización}(\%) = 100\% - 12.5\% = 87.5\%$$

Como resultado se reduce el consumo de vapor en un 87.5% para calentar la torre de destilación

- *Estabilización*

De igual manera se toma las 28 horas que se duró el proceso de calentamiento en la primera prueba como el 100% y se compara con el tiempo que tardó en la segunda prueba para obtener el porcentaje que se redujo el consumo de vapor para la estabilización.

$$\text{Consumo de vapor actual}(\%) = \frac{\text{consumo}V_f}{\text{consumo}V_o} * 100\%$$

$$\text{Consumo de vapor actual}(\%) = \frac{13}{28} * 100\% = 46.43\%$$

$$\text{Optimización}(\%) = \text{consumo de vapor anterior} - \text{consumo de vapor actual}$$

$$\text{Optimización}(\%) = 100\% - 46.43\% = 53.57\%$$

Como resultado se reduce el consumo de vapor en un 87.5% para estabilización de temperatura en la columna de destilación.

3.4.1.2 *Consumo de agua*

Anteriormente se regulaba el caudal del grifo hacia los condensadores y esto resultaba en un consumo variante entre un rango de 2.52 a 10.08 metros cúbicos, por métodos de cálculo se toma el volumen más pequeño pues es el que más se ocupaba en el proceso.

$$\text{Consumo de agua actual}(\%) = \frac{\text{consumo}A_f}{\text{consumo}A_o} * 100\%$$

Donde:

- ✓ Consumo A_o = consumo de agua antes de automatización
- ✓ Consumo A_f = consumo de agua después de automatización

$$\text{Consumo de agua actual}(\%) = \frac{60}{2520} * 100\% = 2.4\%$$

$$\text{Optimización}(\%) = \text{consumo de agua anterior} - \text{consumo de agua actual}$$

$$\text{Optimización}(\%) = 100\% - 2.4\% = 97.6\%$$

3.4.2 *Comparación de calidad de producto*

Dos de las variables importantes en la producción son la cantidad y calidad de producto terminado, lo que lleva a la siguiente comparación.

3.4.2.1 Volumen de producto final

Según los datos de la tabla 4-3 se observa que en la segunda prueba hay un aumento de 3.5 litros.

Para indicar el incremento de producción se realiza el cálculo del rendimiento volumétrico antes y después de la modernización del equipo.

$$RV = \frac{Vs}{Ve} * 100\%$$

Donde:

- ✓ RV= Rendimiento volumétrico
- ✓ Vs= Volumen de salida
- ✓ Ve= volumen de entrada

El rendimiento inicial en la primera prueba es:

$$RV_o = \frac{6}{40} * 100\% = 15\%$$

Y el rendimiento en la segunda prueba es:

$$RV_f = \frac{9.5}{40} * 100\% = 23.75\%$$

La diferencia de ambos valores da como resultado el incremento porcentual del rendimiento volumétrico.

$$\text{Incremento} = RV_f - RV_o$$

$$\text{Incremento} = 23.75\% - 15\% = 8.75\%$$

El rendimiento de volumen es bajo, esto se debe a que mientras más alto sea la concentración alcohólica menor es el volumen del producto terminado pues hay un equilibrio entre la materia de entrada con la materia de salida llamado balance de masa.

3.4.2.2 Concentración alcohólica

De igual forma que se determinó el incremento de volumen se usa el rendimiento de concentración alcohólica para hallar un valor numérico que indique el aumento de la riqueza de alcohol destilado.

$$RGL = \frac{GLs}{GLE} * 100\%$$

Donde:

- ✓ RGL= rendimiento de riqueza alcohólica
- ✓ GL s= riqueza alcohólica de salida
- ✓ GL e= riqueza alcohólica de entrada

El rendimiento inicial en la primera prueba es:

$$RGL_o = \frac{82}{50} * 100\% = 164\%$$

Y el rendimiento en la segunda prueba es:

$$Rendimeinto = \frac{85}{50} * 100\% = 170\%$$

Al hacer la diferencia entre ambos valores se obtiene el incremento porcentual del rendimiento de riqueza alcohólica, cumpliendo así la maximización de la calidad del producto.

$$Incremento = RGL_f - RGL_o$$

$$Incremento = 170\% - 164\% = 6\%$$

Como se puede apreciar en este apartado los porcentajes de rendimiento de concentración alcohólico son muy altos pues el grado alcohólico incrementa considerablemente a comparación de la entrada, comprobando que el equipo funciona correctamente.

3.4.3 Resumen de comparación de resultados

La tabla 5.3 muestra el resumen de los cálculos realizados:

Tabla 5-3: Resumen de comparación

PRUEBA	Antes de automatizar	Después de automatizar
Consumo de vapor en calentamiento	100%	12.5%
Consumo de vapor para mantener en 77°C	100%	46.43%
Consumo de agua	100%	2.4%
Rendimiento volumétrico (RV)	15%	23.75%
Rendimiento de grado alcohólico(RGL)	164%	170%

Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016

Fácilmente se puede apreciar que los valores de consumo disminuyen y los valores de rendimiento que indican la cantidad y calidad del producto terminado aumentan, logrando el objetivo principal que fue la repotenciación del equipo destilador ubicado en el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias de la ESPOCH.

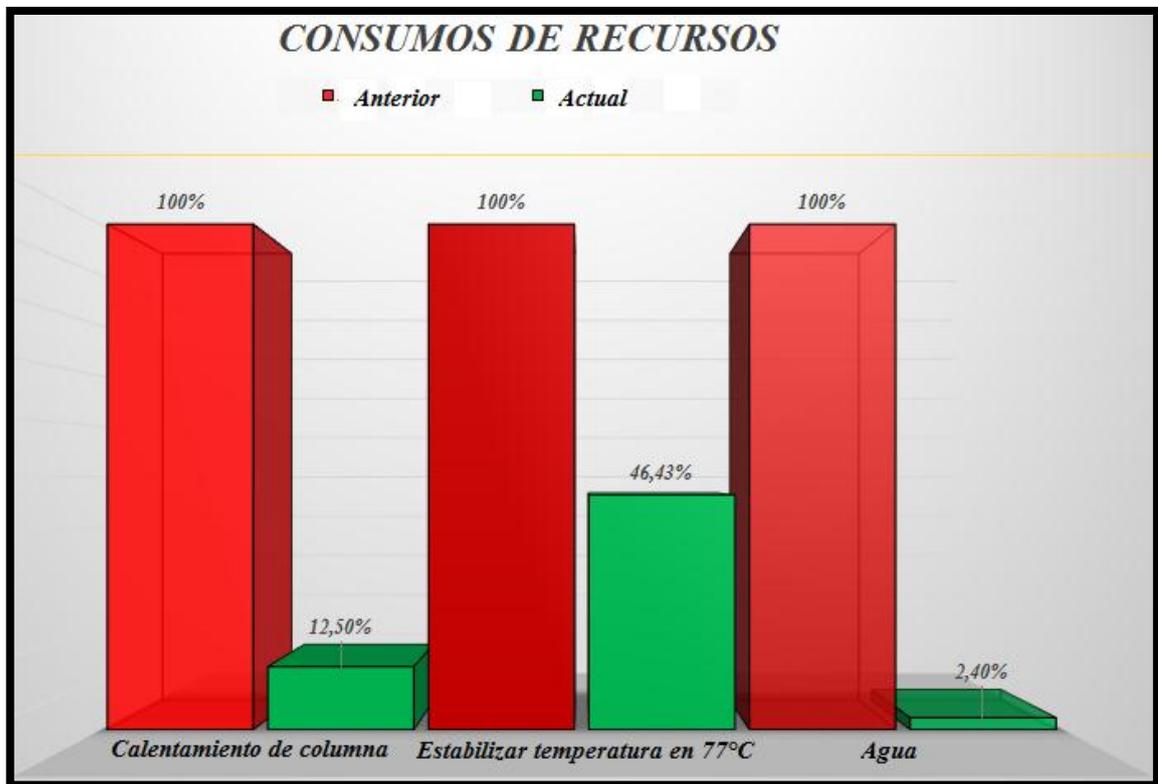


Figura 14-3: Diagrama de barras del consumo de recursos anterior y actual
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

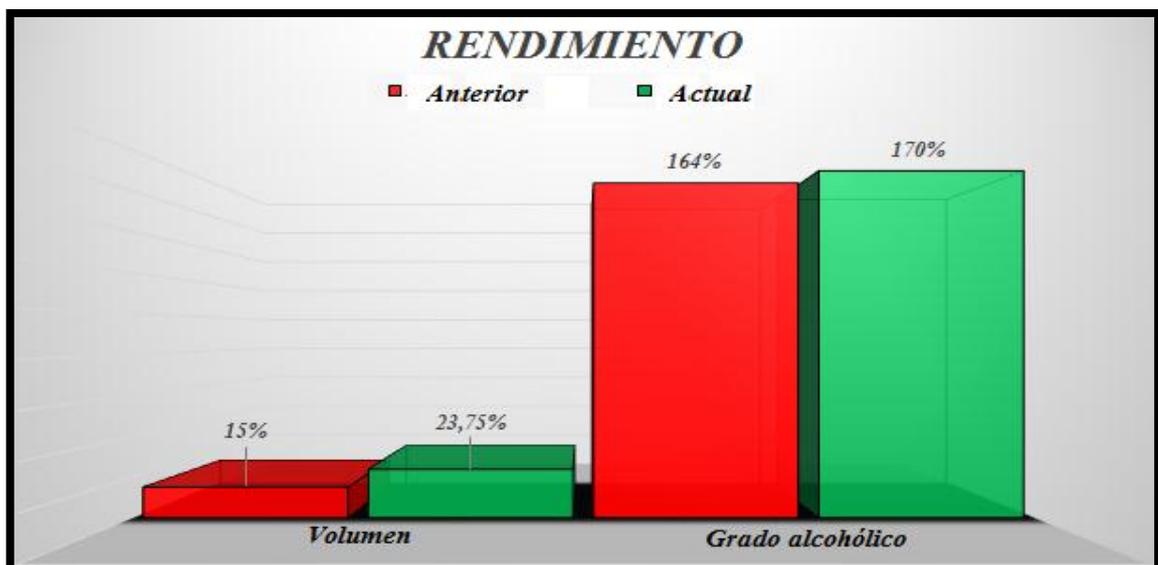


Figura 15-3: Diagrama de barras del rendimiento anterior y actual del destilador.
 Realizado por: Guangasi C., Noboa D., 2016.

CONCLUSIONES

- Se hizo pruebas de funcionamiento y operación comprobando que los elementos están bien dimensionados para evitar fallos haciendo de este un equipo robusto al ambiente de operación.
- Al investigar las propiedades físicas y químicas del alcohol para el desarrollo del proceso de destilación se analizó su punto de ebullición correspondiente a 78.5°C pero mediante las pruebas realizadas se identificó que la temperatura más óptima en la cual la concentración alcohólica llega a su nivel más elevado es 77°C .
- Se adaptó un sistema de enfriamiento para la etapa de condensación eliminando así el consumo constante de agua requerida para el proceso haciendo que ésta recircule hacia un contenedor donde nuevamente es enfriada antes de regresar hacia los condensadores del equipo destilador.
- El software de interfaz humano maquina (HMI) establece comunicación con el tablero de control mediante la red de wifi del laboratorio de procesos industriales, esta comunicación hace uso de modbus TCP de tal manera que puede leer y escribir en las direcciones de las variables que están dentro del proceso de destilación.
- Al mantener estable la temperatura de la columna en 77°C , la calidad del producto terminado tienen un aumento de un 3°GL en su concentración alcohólica y la cantidad del mismo aumenta 3,5 litros comprobando que al implementar el sistema automático hay un incremento de la productividad del equipo destilador.
- El proceso finaliza cuando la temperatura de la base desciende, aunque de la cima permanezca estable en 77°C , esto se debe a que disminuye el etanol en el interior de la torre y el vapor producido es menor.

RECOMENDACIONES

- Para una mejor utilización del equipo se recomienda hacer uso del manual de usuario en donde se especifica las partes del equipo, las características de elementos de control, partes del software HMI y su forma de operación.
- Hacer uso de las planillas técnicas en caso de realizar el mantenimiento del equipo destilador o del equipo de pasteurización pues ambos están conectados y su funcionalidad es dependiente.
- Antes de arrancar el proceso de destilación es recomendable entrar en *modo limpieza* con el cual permite asear la torre de destilación evitando cualquier contaminación del producto final, para mayor información revisar el manual de usuario

BIBLIOGRAFÍA

- **CHUQUÍN VASCO, Daniel Antonio.** Diseño y simulación de una columna de destilación binaria de etanol - agua para la Empresa Hetween [En línea] (TESIS) ESPOCH, Ciencias, Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2013. pp. 2-57. [Consulta: 2015-05-25].
Disponible en : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2528/1/96T00210.pdf>
- **ELECTRÓNICA ANALÓGICA II, Automatización Industrial** [pdf]. Redes de Comunicación Industrial. [Consulta: 2015-07-25].
Disponible en: <http://linux0.unsl.edu.ar/~rvilla/c3m10/tema13.pdf>
- **GARCIA MORENO, Emilio.** *Automatización de Procesos Industriales*. México DF-México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A de C.V, 2001, p 10-29.
- **GUADAYOL JOSEP, MEDINA JOSE .** “*La automatización en la ingeniería química*” [Web]. 1ª.ed., Barcelona-España, Edicions UPC, 2010
[Consultado:2015-05-23]
Disponible <https://books.google.es/books?id=sp15HGxHQfQC&pg=PA9&dq=automatizacion+procesos+industriales&hl=es&sa=X&ei=KhtgVbTZBOzIsATL5oPoCg&ved=0CEAQ6AEwAg>
- **GUERRERO, Vicente, YUSTE, Ramón L. & MARTÍNEZ, Luis.** *Comunicaciones Industriales*. Barcelona-España: MARCOMBO, S.A., 2009, p 330-380.
- **HERNÁNDEZ GAVIÑO, Ricardo.** *Introducción a los Sistemas de Control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB*. México: Pearson Educación de México S.A. de C.V, 2010, p 1-18.
- **MEDINA CARRILLO, Viviana Vanessa, & SÁNCHEZ SALINAS, Myriam Anabel,** Diseño y construcción de un equipo de destilación para la purificación del aceite usado procedente de vehículos [En línea] (TESIS) ESPOCH, Ciencias, Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2012. pp. 1-145. [Consulta: 2015-05-20].
Disponible en : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2509/1/96T00190.pdf>
- **PANIMBOZA CAPUZ, Luis Aladino & ESPINOZA BELTRAN, Paul Stalin.** Automatización de una inyectora de plástico mediante un plc y sistema de interfaz humano (hmi) [En línea] (TESIS) ESPOCH, Informática y Electrónica, Ingeniería Electrónica en

Control y Redes Industriales, Riobamba-Ecuador. 2014. pp. 87-104. [Consulta: 2015-07-12].
Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3591/1/108T0103.pdf>

- **REPOSITORIO DIGITAL EPN** [pdf]. Interfaces Comunicación Industrial.
[Consulta: 2015-05-23].
Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/3/PARTE%203.pdf>
- **TREYBAL, Robert E.** *Operaciones de Transferencia de Masa*. 2^{da} ed. México DF-México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A de C.V, 1988, p 378-510.

ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE USUARIO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO

MANUAL DE USUARIO

DESTILADOR DE ALCOHOL



El presente documento es esencial para el manejo del sistema automático de la torre de destilación ubicada en el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH.

Editores: Christian Guangasi, Daniel Noboa

Edición 02/2016

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ESTRUCTURA DE ESTILADORA	1
2.1	<i>Partes de la estructura</i>	1
3.	SISTEMA SCADA	2
3.1	<i>Partes del sistema SCADA</i>	2
4.	TABLERO ELÉCTRICO	3
4.1	<i>Partes del tablero eléctrico</i>	3
5.	FUNCIONAMIENTO	4
6.	MODOS DE DESTILACIÓN	5
6.1	<i>Modo eficiente</i>	5
6.1.1	<i>Forma manual</i>	6
6.1.2	<i>Forma automática</i>	6
6.2	<i>Modo limitado</i>	7
7.	INSTALACIÓN DE SISTEMA SCADA	8

1. INTRODUCCIÓN

Este documento indica el funcionamiento y utilización de la destiladora instalada en el laboratorio de procesos industriales.

La presente maquina está diseñada de tal manera para que el alcohol etílico se separe en forma de vapor al llegar a su temperatura de ebullición (78.73°C) por lo que en primera instancia su temperatura es controlada por sensores adecuados (PT-100), así como también el control de entrada de producto y descarga de producto terminado.

2. ESTRUCTURA DE DESTILADORA



Fig 1. Maquina destiladora

2.1 Partes de la estructura

1. Contenedor entrada de alimentación
2. Tanque
3. Torre
4. Condensador 1
5. Condensador 2
6. Contenedor muestra
7. Contenedor de producto de salida

3. SISTEMA SCADA (SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS)

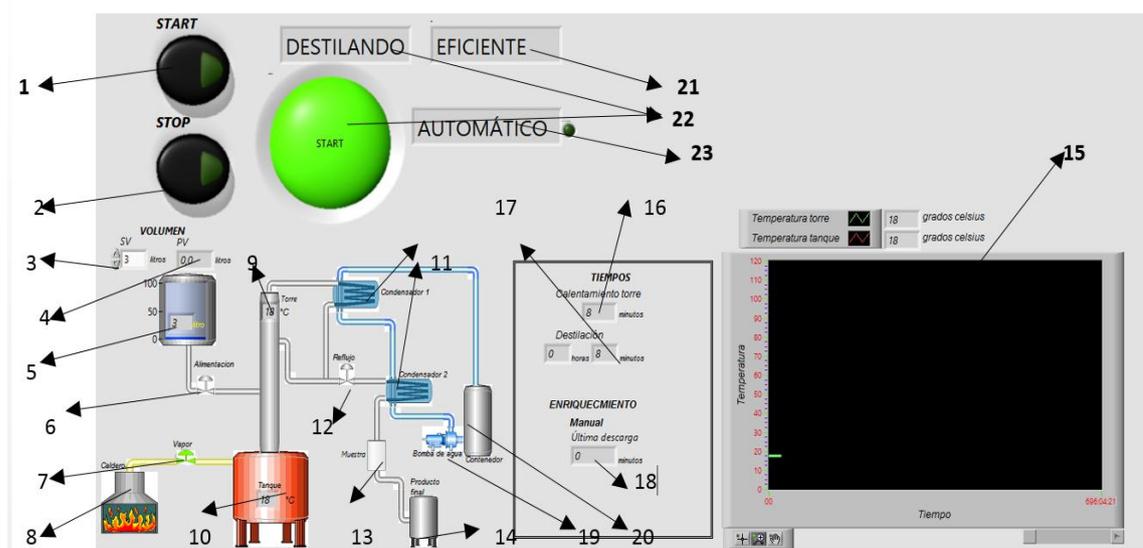


Fig.2 Sistema SCADA

3.1 Partes del sistema SCADA

24. Pulso de inicio
25. Pulso de paro
26. Ingresar volumen
27. Volumen ingresado
28. Volumen presente en el tanque
29. Válvula de alimentación
30. Válvula de vapor
31. Caldero
32. Temperatura de la torre
33. Temperatura del tanque
34. Condensadores
35. Válvula de reflujo
36. Contenedor de muestra
37. Contenedor del producto final
38. Grafica de temperaturas
39. Tiempo de calentamiento de la torre
40. Tiempo total del proceso
41. Tiempo que permanece cerrada la válvula de reflujo en forma manual
42. Bomba de agua hacia condensadores
43. Contenedor de agua para etapa de condensación
44. Indicador de modo de destilación

- 45. Indicador inicio paro
- 46. Indicador forma de destilación manual o automático

4. **TABLERO ELÉCTRICO**



Fig. 3 Tablero eléctrico

4.1 Partes del tablero eléctrico

- 1. Pulsador de inicio
- 2. Pulsador de paro
- 3. Pulsador hongo de emergencia
- 4. Selector manual automático
- 5. Pulsador de encendido de electroválvula de reflujo
- 6. Pulsador de apagado de electroválvula de reflujo
- 7. Pulsador de modo limpieza, destilación eficiente/limitado
- 8. Luz piloto de inicio
- 9. Luz piloto de paro
- 10. Luz piloto de electroválvula de vapor
- 11. Luz piloto de electroválvula de alimentación
- 12. Luz piloto de electroválvula de reflujo
- 13. Luz piloto de condensador
- 14. Luz piloto de modo limpieza, destilación eficiente/limitado

5. FUNCIONAMIENTO

1. Antes de empezar el proceso debemos limpiar la torre de destilación con agua destilada colocando está en el tanque de alimentación y entramos en modo limpieza, el modo limpieza se activa siempre y cuando el tablero este detenido, la temperatura del tanque sea inferior a los 40 grados Celsius y se presione el pulsador de limpieza. Una vez terminado de limpiar la torre se vuelve a presionar el pulsador de limpieza para comenzar con la destilación.

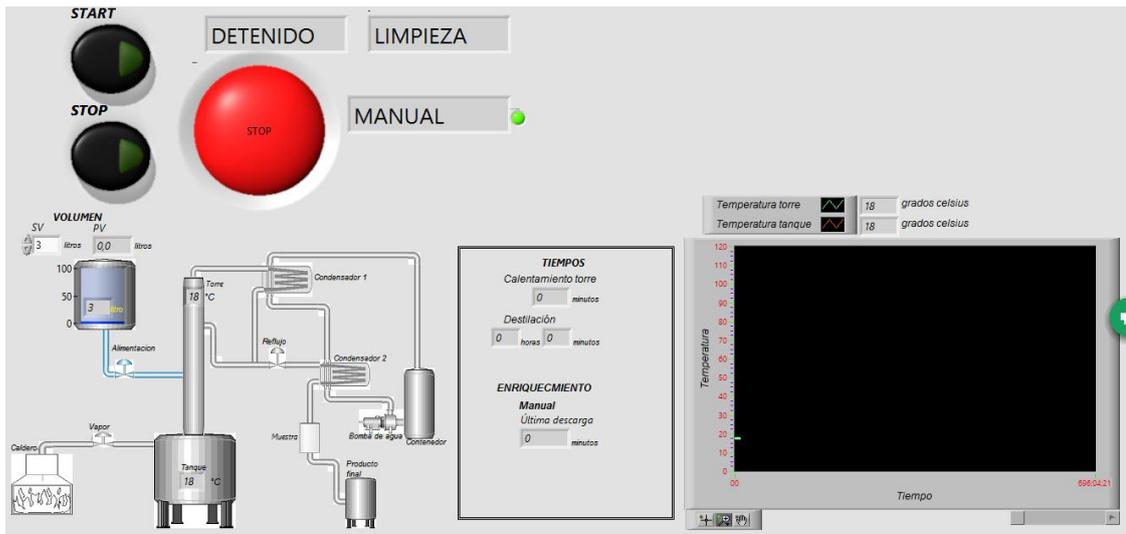


Fig.4 Modo limpieza

2. Para poder empezar con el arranque del equipo de destilación primeramente se debe encender el caldero hasta que se regule a la presión necesaria (50 psi).
3. Se coloca el producto de alimentación directamente en el tanque para una destilación más rápida. Luego se debe encender el tablero de la pasteurizadora y colocamos el selector en modo destilación configurando la temperatura en el controlador y con ello abrimos la llave de paso hacia los condensadores de la destiladora.



Fig. 5 controlador temperatura y tablero de pasteurizadora

4. Una vez listo el caldero damos el pulso de inicio y empieza a regularse la temperatura del tanque, esta temperatura se traslada hasta la cima de la hasta regularse a los 77 grados centígrados.
5. Al llegar a la temperatura de ebullición en la torre, en caso de destilación de forma manual es recomendable esperar al menos 30 minutos para que se estabilice en un mayor grado alcohólico a comparación de la entrada y el flujo sea constante, al transcurrir este tiempo podemos abrir la válvula de reflujo para comenzar a la obtención de alcohol en la salida.
6. Al obtener un flujo constante de alcohol se puede pasar a destilación de forma automática para que el controlador continúe con la destilación hasta terminar con el proceso. El proceso terminara automáticamente cuando el flujo de salida deje de ser constante lo cual empieza cuando la temperatura en el tanque desciende a los 88 grados Celsius, para ello el tablero debe estar configurado de forma “destilación automática”, la razón es debido que a temperaturas inferiores a los 88 grados Celsius en el tanque se obtiene poco o nada de alcohol en la salida. En caso de querer seguir con la destilación puede configurar destilación en forma manual y encender la válvula de reflujo hasta obtener la máxima cantidad de alcohol para la que la torre ha sido diseñada.
7. Una vez que en la destilación no se obtenga nada en la salida podemos modificar la configuración a “modo limitado” para obtener producto a menor grado alcohólico que a “modo eficiente” pero a mayor grado a comparación de la entrada.

6. MODOS DE DESTILACIÓN

Primeramente hay que destacar que el máximo grado alcohólico que se obtiene a la salida depende exclusivamente lo que se ingrese en el tanque pues tiene un límite, mientras más cantidad y grado alcohólico se ingrese mayor será el grado alcohólico en la salida en menos tiempo.

6.1 Modo eficiente

Para entrar en este modo la torre debe estar destilando y la Luz piloto de “modo limpieza, destilación eficiente/limitado” debe estar apagada.

En este modo la temperatura a la que la torre se mantiene es de 77 grados Celsius que es la temperatura más eficiente por estar cercana a la temperatura de ebullición del etanol (78.37 °C), obteniendo de esta manera una salida del máximo grado alcohólico dependiendo esta de la cantidad y grado alcohólico que se haya ingresado al tanque.

Dentro de este modo se puede controlar de dos formas (manual y automático) que únicamente ayuda al control de la electroválvula de reflujo que es para descargar el producto final.

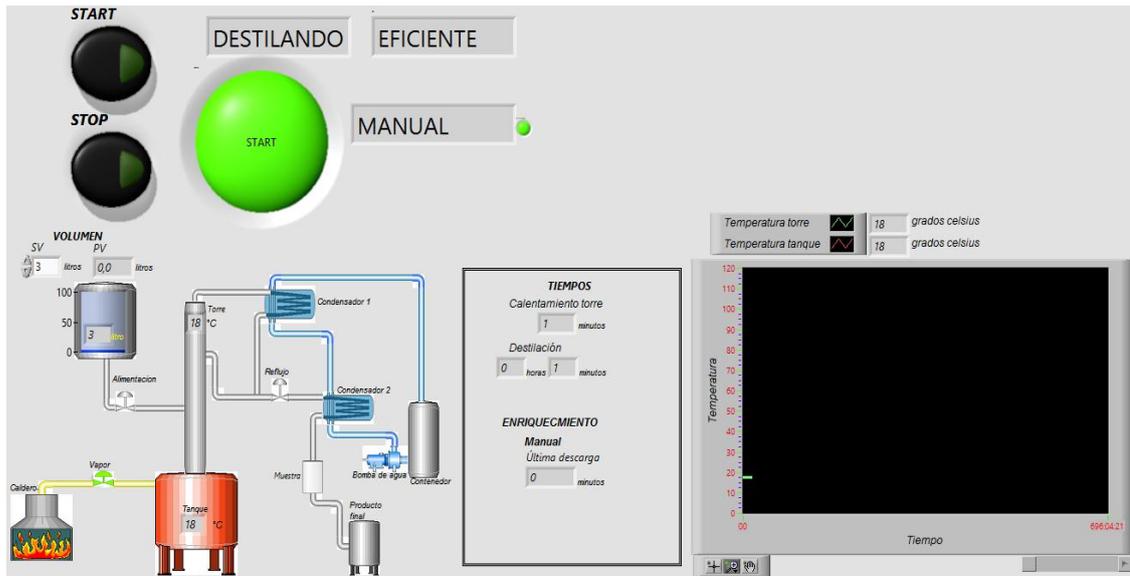


Fig.6 Modo eficiente

6.1.1 Forma manual

En esta forma se recomienda que se active cada cierto tiempo, por ejemplo permanece cerrada 5 minutos y luego la activa con el pulsador de “on reflujo” hasta que empiece a burbujear en la salida y volvemos a cerrarla este tiempo puede ser observado en la parte del sistema SCADA como ultima descarga.

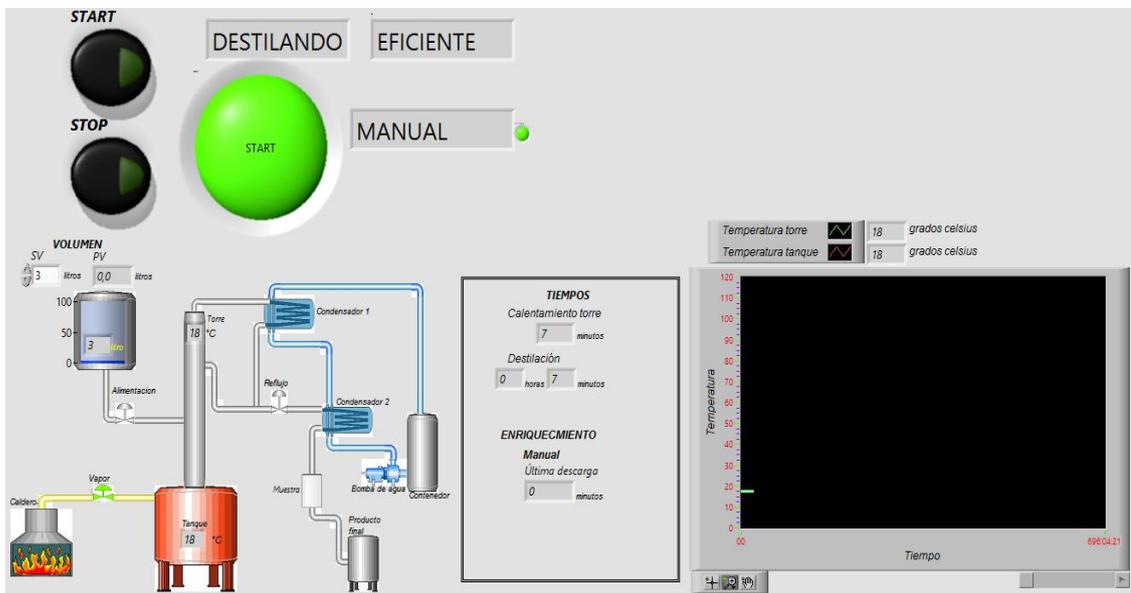


Fig.7 Forma manual

6.1.2 Forma automática

Una vez que el flujo de salida sea constante se puede colocar el selector de forma automática con ello la válvula de reflujo se regula por si sola hasta que termine el proceso

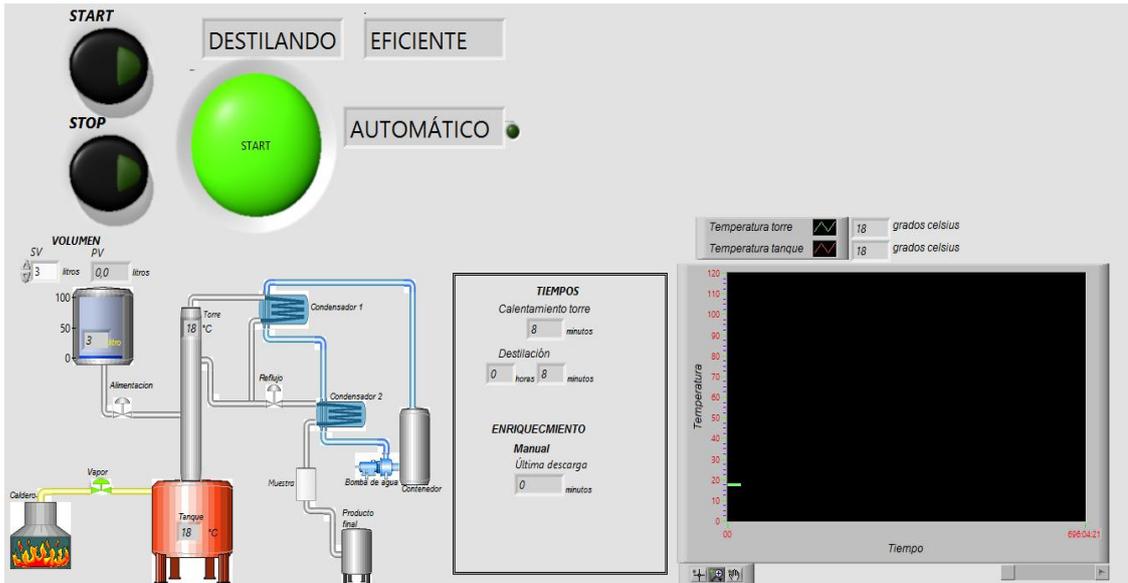


Fig.8 Forma automático

Nota: cuando la temperatura del tanque descienda a los 88 grados el proceso se detiene únicamente cuando el selector está en automático, en forma manual el usuario determinara cuando se termina el proceso.

6.2 Modo limitado

En este modo la temperatura de regulación de la torre aumenta a 87 grados, aclarando que este modo es exclusivamente para obtener producto a menor grado alcohólico que en el modo eficiente. Para configurar el tablero en modo limitado debe estar destilando y la luz piloto de “modo limpieza, destilación eficiente/limitado” debe estar encendida.

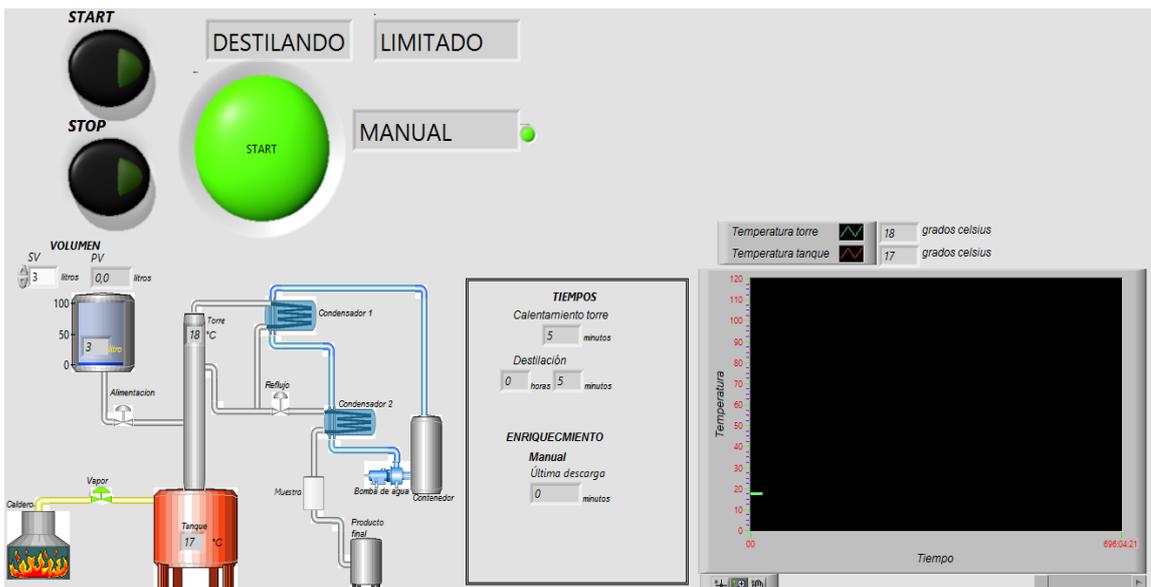


Fig.9 Modo limitado

Nota: para obtener una destilación rápida y a un mayor grado alcohólico se debe destilar en modo eficiente, el modo limitado es recomendable para destilar a menor grado alcohólico y es mejor usarlo en la última etapa de destilación es decir, cuando la salida de alcohol en el modo eficiente es poco o nada. Por esta razón se debe destilar primero en modo eficiente hasta que no se obtenga producto en la salida y una vez se llegue a este punto pasarlo a modo limitado.

7. INSTALACIÓN DE SISTEMA SCADA

Antes que nada hay que considerar que para poder instalar el sistema SCADA debemos establecer la comunicación Ethernet entre PC y PLC (Controlador Lógico Programable) de la destiladora por lo que la PC en la que se vaya a instalar debe estar conectada a la red del laboratorio de procesos industriales.

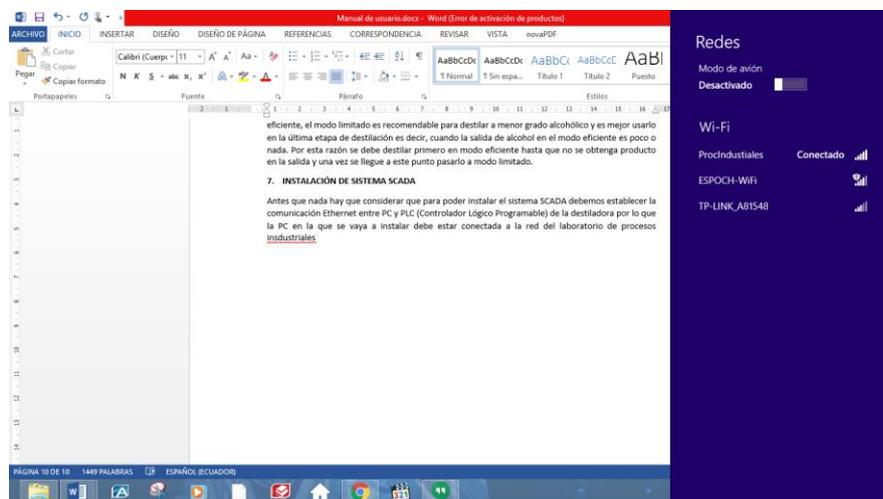


Fig.10 Conexión a la red Proindustriales

Una vez conectado a la red debemos instalar 2012OPC.exe ubicado en la carpeta instalador al terminar de instalar abrimos el NI OPC SERVER CONFIGURATION y buscamos el archivo Tesis.opf ubicado en la carpeta V2012 el cual contiene todas las direcciones del PLC para tener comunicación.

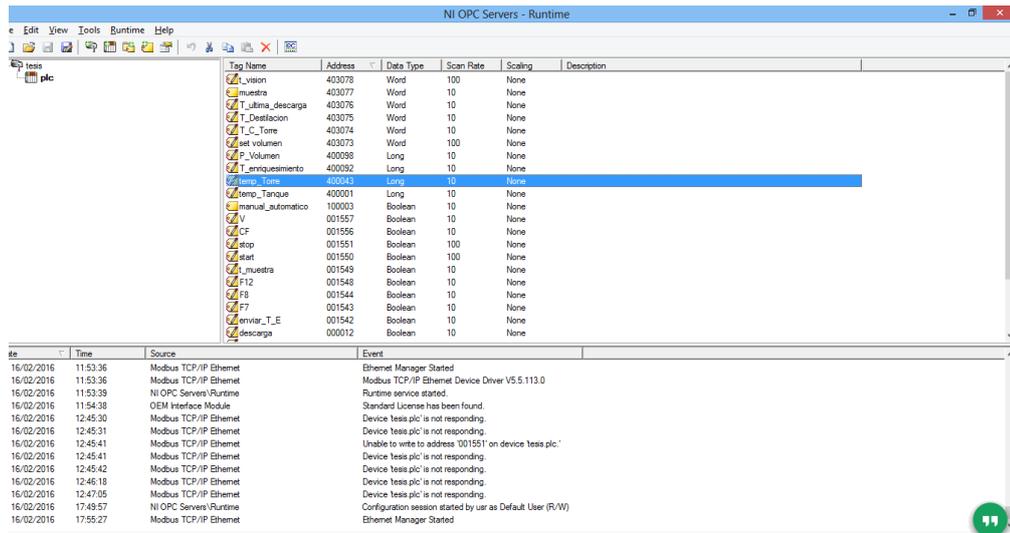


Fig.11 NI OPC SERVER CONFIGURATION con direcciones Modbus del PLC

Luego debemos instalar el 2015LV-WinEng.exe y seleccionamos únicamente NI Labview 2015 y Measurement & Automation Explorer como se muestra en la figura 12.

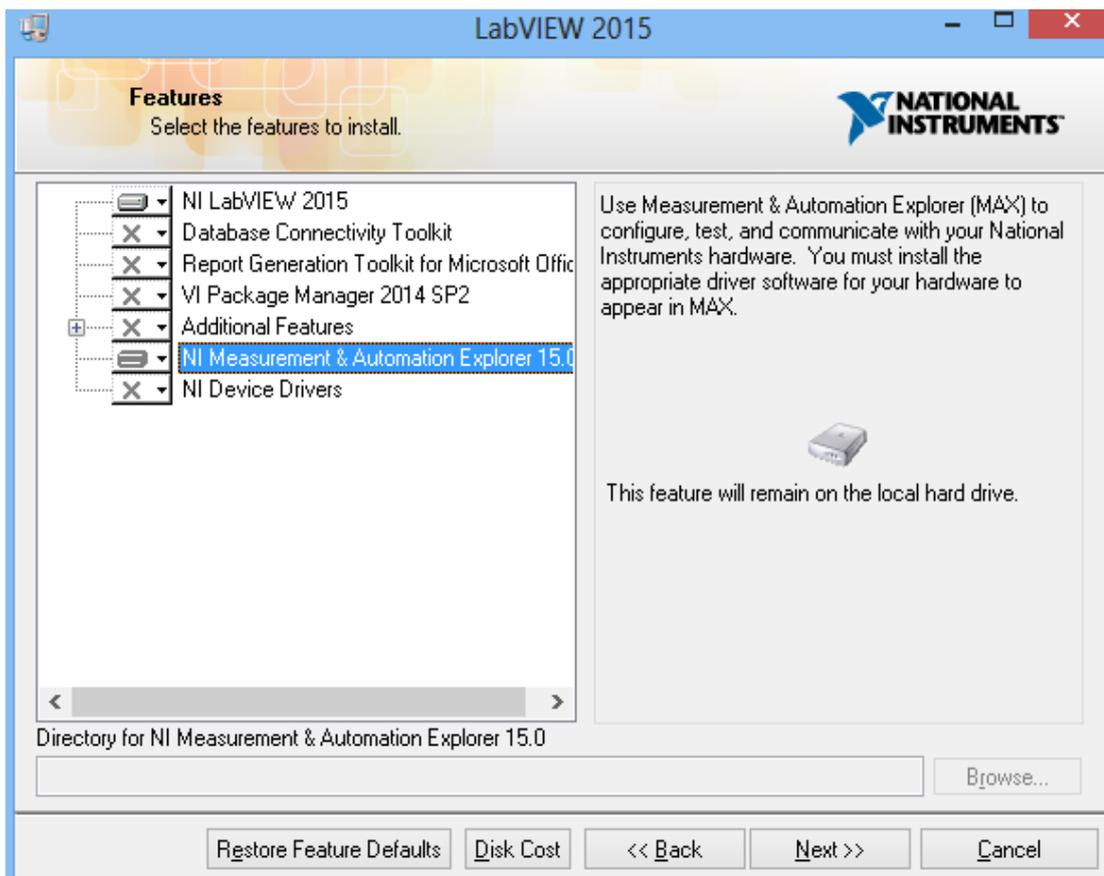


Fig.12 Instalación de NI labview 2015

Después de haber instalado labview 2015 procesemos a instalar 2015DSC.exe para que tanto el programa “destiladora” y el opc server puedan enlazarse. Y finalmente instalamos el programa “destiladora” (sistema SCADA) ubicado en la dirección ...\\instalador\builds\destilacion\destilacion\Volume

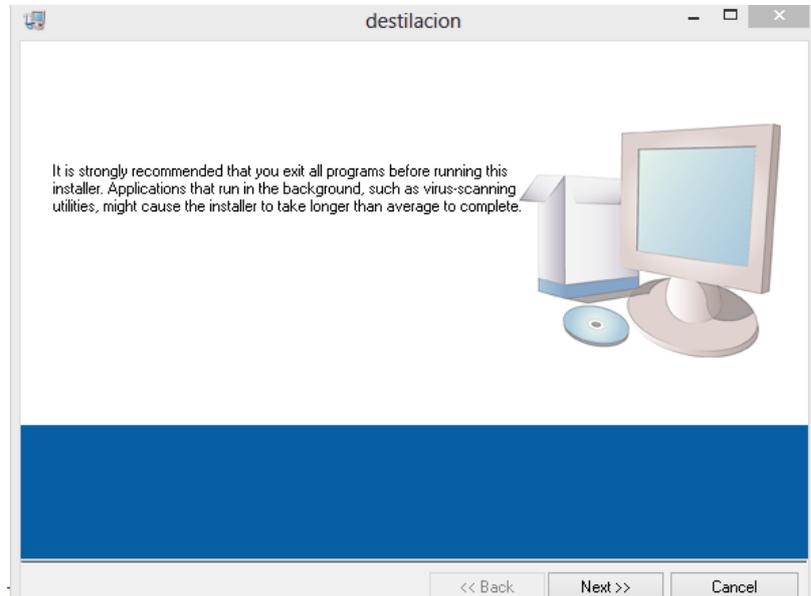


Fig.13 instalación sistema SCADA

Terminado esto reiniciamos la PC y ya tendremos el sistema SCADA para monitorear el proceso de destilación.

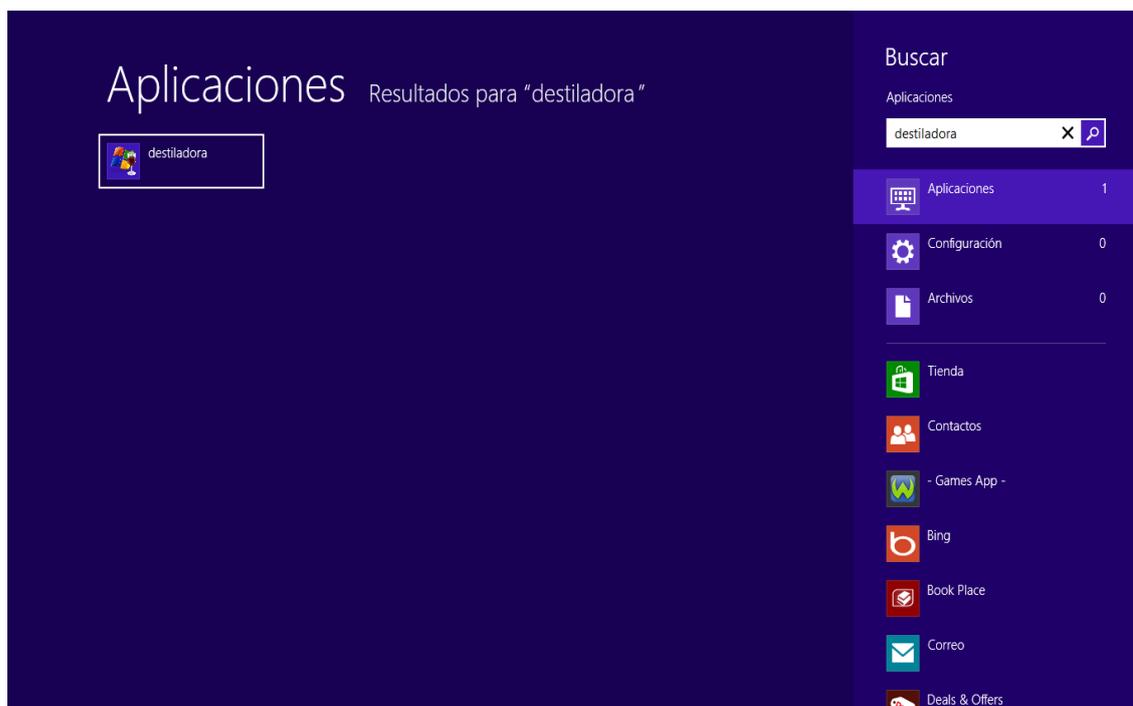


Fig. 14 programa destiladora en aplicaciones del equipo.

ANEXO B. DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

Parámetros	Cantidad	Unidades
Flujo de alimentación (F)	400	mL/h
Flujo del destilado (D)	162,71	mL/h
Flujo del residuo (W)	237,28	mL/h
Fracción alimentación (XF)	0,5	
Fracción destilado (XD)	0,85	
Fracción residuo (XW)	0,26	
Diámetro de la columna (\emptyset)	0,11	m
Longitud de la columna (z)	1,42	m
Distancia entre platos	0,15	m
Número de platos	7	
Plato de alimentación	3	
Temperatura promedio de la columna (T)	133,9	C
Fluidez (φ)	8,45	cP
Viscosidad (μ)	0,12	cP
Densidad del aceite parafínico residual (ρ)	0,849	g/mL
Zona de Agotamiento		
Área (A)	0,0099	m ²
Flujo del gas (G)	4557,67	Kg/hm ²
Caudal de Vapor (V)	45,17	Kg/h
Zona de Rectificación		
Área (A)	0,010	m ²
Flujo del gas (G)	2973,59	Kg/hm ²
Caudal de Vapor (V)	31,33	Kg/h

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

ANEXO C. DISEÑO DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN

