



**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  
AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DEL EQUIPO  
PURIFICADOR DE AGUA FC-L.PIN-22 DE 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:** ANDREA NATALY ROBALINO ZAMBRANO

**TUTOR:** ING. HENRY ERNESTO VALLEJO VIZHUETE

Riobamba-Ecuador

2017

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

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DEL EQUIPO PURIFICADOR DE AGUA FC-L.PIN-22 DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH”, de responsabilidad de la señorita Andrea Nataly Robalino Zambrano, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Washington Luna E. <b>DECANO FIE</b>	-----	-----
Ing. Freddy Chávez V. <b>DIRECTOR EIE-CONTROL</b> <b>Y REDES INDUSTRIALES</b>	-----	-----
Ing. Henry Vallejo V. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE</b> <b>TITULACIÓN</b>	-----	-----
Ing. Edwin Altamirano S. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE</b> <b>TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	-----	-----

Yo, ANDREA NATALY ROBALINO ZAMBRANO, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

-----  
Andrea Nataly Robalino Zambrano

## **DEDICATORIA**

Después de superar obstáculos en mi camino, puedo bajar el telón y decir que he alcanzado esta meta, que empezó años atrás y parecía tan lejana, pero hoy es una realidad. Sin embargo, no lo hubiese logrado sin el apoyo incondicional de mi familia por eso les dedico a ellos este trabajo, principalmente a mi mami pilar de mi vida, a quien admiro y respeto mucho, a mis hermanos que me inspiran a ser mejor, quienes son únicos y admirables Susana, Marcela y Paúl. Y a todos mis amigos que han estado conmigo a largo de mi carrera, juntos hemos crecido en el cumplimiento de este objetivo.

ANDREA

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia que siempre me ha apoyado incondicionalmente. A mis maestros que han impartido sus conocimientos a largo de la carrera, permitiendo crecer como profesional y como persona. Al Ing. Henry Vallejo Director de mi trabajo de titulación por su guía y ayuda en el desarrollo de este proyecto. Y a todas y cada una de las personas que me permitieron culminar este trabajo de titulación.

ANDREA

## TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DERECHOS DE AUTOR .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1 PURIFICACIÓN DE AGUA .....	4
1.1.1 <i>Indicadores de la calidad del agua</i> .....	5
1.1.2 <i>Calidad de agua grado reactivo</i> .....	6
1.2 DESTILACIÓN DE AGUA .....	7
1.2.1 <i>Destilación por termocompresión (TVC)</i> .....	8
1.3 PURIFICADOR DE AGUA FC-L.PIN-22 .....	9
1.3.1 <i>Tanque de ebullición</i> .....	10
1.3.2 <i>Tanque de precalentamiento</i> .....	11
1.3.3 <i>Tanque de condensación</i> .....	11
1.3.4 <i>Operación de Vaporización</i> .....	12
1.4 SISTEMAS AUTOMATIZADOS .....	13
1.4.1 <i>Objetivos de la automatización</i> .....	13
1.4.2 <i>Componentes de un sistema automatizado</i> .....	14

<b>1.5 CONTROL DE PROCESOS .....</b>	<b>15</b>
<i>1.5.1 Sistema de lazo abierto .....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.2 Sistema de lazo cerrado.....</i>	<i>16</i>
<b>1.6 PLC, Programmable Logic Controller .....</b>	<b>17</b>
<i>1.6.1 Estructura de un PLC .....</i>	<i>17</i>
<b>1.7 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<i>1.7.1 Lenguajes de contactos o Ladder.....</i>	<i>19</i>
<b>1.8 COMUNICACIÓN RS-232.....</b>	<b>20</b>
<i>1.8.1 Convertidor USB a Serial.....</i>	<i>20</i>
<b>1.9 HMI, Human Machine Interface.....</b>	<b>21</b>
<b>1.10 SENSORES .....</b>	<b>21</b>
<i>1.10.1 Sensor de Temperatura .....</i>	<i>22</i>
<i>1.10.1.1 Termopar .....</i>	<i>22</i>
<i>1.10.1.2 PT-100 .....</i>	<i>22</i>
<i>1.10.2 Sensor de Nivel.....</i>	<i>23</i>
<i>1.10.2.1 Sensor de nivel capacitivo .....</i>	<i>23</i>
<i>1.10.2.2 Sensor de nivel conductivo .....</i>	<i>24</i>
<b>1.11 ACTUADORES .....</b>	<b>24</b>
<i>1.11.1 Electroválvulas .....</i>	<i>25</i>
<i>1.11.2 Resistencias calefactoras de inmersión .....</i>	<i>26</i>
<b>1.12 COMPONENTES ELÉCTRICOS DE POTENCIA .....</b>	<b>27</b>
<i>1.12.1 Contactor .....</i>	<i>27</i>
<i>1.12.2 Relé .....</i>	<i>27</i>
<i>1.12.3 Relé Térmico.....</i>	<i>28</i>
<b>1.13 ELEMENTOS DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN .....</b>	<b>28</b>
<i>1.13.1 Pulsador.....</i>	<i>28</i>
<i>1.13.2 Lámparas de señalización.....</i>	<i>29</i>
<b>1.14 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN .....</b>	<b>29</b>
<i>1.14.1 Fusibles.....</i>	<i>30</i>

1.14.2	<i>Interruptor magnetotérmico</i> .....	30
1.15	<b>CUADRO DE CONTROL</b> .....	30
1.15.1	<i>Conductores</i> .....	31
1.15.2	<i>Simbología eléctrica</i> .....	31
	<b>CAPITULO II</b> .....	32
2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	32
2.1	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PURIFICADOR DE AGUA</b> .....	33
2.2	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b> .....	33
2.3	<b>SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES</b> .....	34
2.3.1	<i>Electroválvulas</i> .....	34
2.3.1.1	<i>Instalación de electroválvulas</i> .....	36
2.3.2	<i>Resistencia de Inmersión</i> .....	36
2.3.2.1	<i>Instalación de la resistencia de inmersión</i> .....	40
2.3.3	<i>Sensor de nivel</i> .....	41
2.3.3.1	<i>Instalación del sensor de nivel</i> .....	44
2.3.4	<i>Sensor de temperatura</i> .....	44
2.3.4.1	<i>Instalación del sensor de temperatura</i> .....	46
2.3.5	<i>Relés y contactores</i> .....	47
2.3.6	<i>Fuente de 24 Vdc</i> .....	48
2.3.7	<i>PLC y HMI</i> .....	48
2.3.8	<i>Tarjeta de lectura de temperatura y entradas analógicas</i> .....	50
2.3.9	<i>Software XCPpro</i> .....	52
2.3.10	<i>Software OP20</i> .....	52
2.4	<b>DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA</b> .....	53
2.4.1	<i>Diagrama de protecciones</i> .....	54
2.4.2	<i>Diagrama de control</i> .....	56
2.4.3	<i>Diagrama de potencia</i> .....	58
2.5	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL</b> .....	59
2.5.1	<i>Conductores</i> .....	59



2.5.2	<i>Tablero de control</i> .....	60
2.5.2.1	<i>Instalación de Luces, Pulsadores, PLC y HMI</i> .....	60
2.5.2.2	<i>Instalación y cableado de los componentes</i> .....	61
2.6	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO</b> .....	62
2.6.1	<i>Tubería de entrada de agua al purificador</i> .....	62
2.6.2	<i>Tubería de salida de agua del purificador</i> .....	62
2.7	<b>PROGRAMACIÓN DEL PLC</b> .....	63
2.7.1	<i>Entradas del programa</i> .....	64
2.7.2	<i>Salidas del programa</i> .....	64
2.7.3	<i>Diagrama de flujo del purificador de agua</i> .....	64
2.7.4	<i>Programación en ladder</i> .....	66
2.8	<b>PROGRAMACIÓN DEL HMI</b> .....	69
2.8.1	<i>Diagrama de flujo del HMI</i> .....	69
2.8.2	<i>Pantallas del HMI</i> .....	70
	<b>CAPITULO III</b> .....	72
3.	<b>MARCO DE RESULTADOS</b> .....	72
3.1	<b>PROCEDIMIENTO PARA PURIFICACIÓN DE AGUA</b> .....	72
3.2	<b>RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO</b> .....	73
3.2.1	<i>Etapa de llenado</i> .....	73
3.2.2	<i>Etapa de calentamiento</i> .....	74
3.2.3	<i>Etapa de vaporización: Recuperación del condensado</i> .....	76
3.3	<b>EFICIENCIA TÉRMICA DEL PURIFICADOR DE AGUA</b> .....	77
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	79
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	80
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Clasificación del agua, según norma ASTM 1193:2001 .....	6
<b>Tabla 1-2.</b> Parámetros de selección de la electroválvula.....	35
<b>Tabla 2-2.</b> Comparación de electroválvulas para agua.....	35
<b>Tabla 3-2.</b> Parámetros para dimensionar la resistencia. ....	37
<b>Tabla 4-2.</b> Comparación de las resistencias de inmersión.....	39
<b>Tabla 5-2.</b> Parámetros de selección del sensor de nivel. ....	42
<b>Tabla 6-2.</b> Comparación de los sensores de nivel .....	42
<b>Tabla 7-2.</b> Parámetros de selección del sensor de temperatura .....	45
<b>Tabla 8-2.</b> Comparación de los sensores de temperatura .....	45
<b>Tabla 9-2.</b> Consumo potencia de los dispositivos. ....	47
<b>Tabla 10-2.</b> Entradas y Salidas del sistema .....	49
<b>Tabla 11-2.</b> Valores de breaker y fusibles.....	54
<b>Tabla 12-2.</b> Entradas del controlador. ....	57
<b>Tabla 13-2.</b> Salidas del controlador.....	57
<b>Tabla 14-2.</b> Actuadores del proceso.....	58
<b>Tabla 15-2.</b> Actuadores del proceso.....	59
<b>Tabla 16-2.</b> Elementos del cuadro de control.....	60
<b>Tabla 17-2.</b> Entradas del programa. ....	64
<b>Tabla 18-2.</b> Salidas del programa.....	64
<b>Tabla 1-3.</b> Datos de la etapa de llenado .....	73
<b>Tabla 2-3.</b> Datos de la etapa de calentamiento.....	75
<b>Tabla 3-3.</b> Datos de la etapa de vaporización.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Utilización de agua purificada en los laboratorios.....	4
<b>Figura 2-1:</b> Proceso de destilación.....	7
<b>Figura 3-1:</b> Destilador por termocompresión.....	8
<b>Figura 4-1:</b> Esquema del Purificador de agua.....	9
<b>Figura 5-1:</b> Temperatura en las etapas de calentamiento y evaporación.....	12
<b>Figura 6-1:</b> Tanque de ebullición.....	11
<b>Figura 7-1:</b> Tanque de ebullición.....	11
<b>Figura 8-1:</b> Tanque de condensación.....	12
<b>Figura 9-1:</b> Automatización y control industrial.....	13
<b>Figura 10-1:</b> Componentes de un sistema automatizado.....	14
<b>Figura 11-1:</b> Sistema de control automático.....	15
<b>Figura 12-1:</b> Sistema de lazo abierto.....	16
<b>Figura 13-1:</b> Sistema de lazo cerrado.....	16
<b>Figura 14-1:</b> Controlador lógico programable.....	17
<b>Figura 15-1:</b> Arquitectura de un PLC.....	18
<b>Figura 16-1:</b> Símbolos de los elementos básicos de programación.....	19
<b>Figura 17-1:</b> Pines del conector DB-9.....	20
<b>Figura 18-1:</b> Convertidor USB a Serial.....	20
<b>Figura 19-1:</b> Estructura modular PLC.....	21
<b>Figura 21-1:</b> Termopar.....	22
<b>Figura 22-1:</b> Aumento de temperatura del PT-100.....	23
<b>Figura 23-1:</b> Sensor capacitivo.....	23
<b>Figura 24-1:</b> Sensor conductivo.....	24
<b>Figura 25-1:</b> Electroválvula.....	25
<b>Figura 26-1:</b> Partes válvula solenoide.....	25
<b>Figura 27-1:</b> Partes de una Resistencia tipo tubular de inmersión.....	26
<b>Figura 28-1:</b> Resistencia tipo tubular de inmersión.....	26
<b>Figura 29-1:</b> Contactor.....	27
<b>Figura 30-1:</b> Relé.....	27
<b>Figura 31-1:</b> Relé térmico.....	28
<b>Figura 32-1:</b> Pulsador.....	29
<b>Figura 33-1:</b> Lámparas de señalización.....	29
<b>Figura 34-1:</b> Fusibles.....	30
<b>Figura 35-1:</b> Interruptor magnetotérmico.....	30
<b>Figura 36-1:</b> Conductor.....	31

<b>Figura 37-1:</b> Simbología eléctrica.....	31
<b>Figura 1-2.</b> Laboratorio de procesos industriales .....	33
<b>Figura 2-2.</b> Válvulas del equipo .....	34
<b>Figura 3-2.</b> Electroválvula para agua 110 Vac ½" .....	35
<b>Figura 4-2:</b> Dimensiones del cuerpo de la válvula.....	36
<b>Figura 5-2:</b> Instalación de electroválvulas .....	36
<b>Figura 6-2:</b> Capa de cerámica soldada al tanque de ebullición.....	37
<b>Figura 7-2:</b> Resistencias de inmersión de 1200W .....	37
<b>Figura 8-2:</b> Resistencia de inmersión de 3000W .....	40
<b>Figura 9-2:</b> Dimensiones de la resistencia de inmersión. ....	40
<b>Figura 10-2:</b> Instalación de la resistencia .....	41
<b>Figura 11-2:</b> Visor de nivel.....	41
<b>Figura 12-2:</b> Cortocircuito provocado por el desbordamiento de agua .....	42
<b>Figura 13-2:</b> Sensor C-AFR1/220Vac .....	43
<b>Figura 14-2:</b> Electrodo del sensor de nivel.....	43
<b>Figura 15-2:</b> Instalación del sensor de nivel .....	44
<b>Figura 16-2:</b> Termocupla del equipo .....	44
<b>Figura 17-2:</b> Acople de la termocupla .....	45
<b>Figura 18-2:</b> Termocupla c/resorte tipo PT-100, C105B .....	46
<b>Figura 19-2:</b> Sonda PT-100 recta.....	46
<b>Figura 20-2:</b> Instalación de la PT-100 .....	47
<b>Figura 21-2:</b> Contactor de 18A, relé térmico de 12 a 18A y relé de 10A. ....	47
<b>Figura 22-2:</b> Fuente de 24Vdc .....	48
<b>Figura 23-2:</b> PLC XP3-18R .....	49
<b>Figura 24-2:</b> Dimensiones PLC XP3-18R .....	50
<b>Figura 25-2:</b> Conexión puerto de programación.....	50
<b>Figura 26-2:</b> Tarjeta XC-2AD2PT-BD .....	51
<b>Figura 27-2:</b> Conexión de XC-2AD2PT-BD.....	51
<b>Figura 28-2:</b> Salida digital del PT-100 .....	51
<b>Figura 29-2:</b> Software XCPpro .....	52
<b>Figura 30-2:</b> Software OP20 .....	53
<b>Figura 31-2:</b> Diagrama eléctrico de protecciones .....	56
<b>Figura 32-2:</b> Conexión de entradas al PLC .....	56
<b>Figura 33-2:</b> Ejemplo de conexión de salidas al PLC .....	57
<b>Figura 34-2:</b> Diagrama eléctrico de Control .....	58
<b>Figura 35-2:</b> Diagrama eléctrico de Potencia.....	59
<b>Figura 36-2:</b> Gabinete metálico BEAUCOUP.....	61

<b>Figura 37-2:</b> Implementación del cuadro de control.....	61
<b>Figura 38-2:</b> Tubería de entrada.....	62
<b>Figura 39-2:</b> Humedad presente en el equipo .....	62
<b>Figura 40-2:</b> Tubería de salida .....	63
<b>Figura 41-2:</b> Tubería de descarga .....	63
<b>Figura 42-2:</b> Impresión de pantalla de programa XCPpro .....	66
<b>Figura 43-2:</b> Impresión de pantalla de programa XCPpro .....	66
<b>Figura 44-2:</b> Impresión de pantalla de programa XCPpro .....	67
<b>Figura 45-2:</b> Impresión de pantalla de programa XCPpro .....	67
<b>Figura 46-2:</b> Impresión de pantalla de programa XCPpro .....	68
<b>Figura 47-2:</b> Impresión de pantalla de programa XCPpro .....	68
<b>Figura 48-2:</b> Impresión de pantalla de programa XCPpro .....	69
<b>Figura 49-2:</b> Pantalla Inicial .....	70
<b>Figura 50-2:</b> Pantalla de Proceso Actual.....	70
<b>Figura 51-2:</b> Pantalla de Datos.....	71
<b>Figura 52-2:</b> Pantalla de Salidas .....	71

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2.</b> Etapas del diseño e implementación del purificador de agua .....	32
<b>Gráfico 2-2.</b> Descripción del sistema de purificación de agua .....	33
<b>Gráfico 3-2.</b> Descripción eléctrica del purificador de agua.....	53
<b>Gráfico 4-2.</b> Diagrama del flujo del purificador de agua .....	65
<b>Gráfico 5-2:</b> Diagrama de flujo del HMI .....	70
<b>Gráfico 1-3:</b> Comparación de la etapa de llenado .....	74
<b>Gráfico 2-3:</b> Comparación de tiempo de calentamiento .....	75
<b>Gráfico 3-3:</b> Comparación de litros y temperatura del condensado.....	77
<b>Gráfico 4-3:</b> Comparación de eficiencia térmica de la máquina.....	78

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

**ANEXO B:** DIAGRAMA ELÉCTRICO DE PROTECCIONES

**ANEXO C:** DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONTROL

**ANEXO D:** DIAGRAMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

**ANEXO E:** MANUAL DE USUARIO DEL PURIFICADOR DE AGUA

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Amperios
<b>AP</b>	Autómata Programable
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materiales
<b>AWG</b>	American Wire Gauge
<b>BD</b>	Board
<b>BSI</b>	British Standards Institution
<b>C</b>	Grados Celsius
<b>c/u</b>	Cada uno
<b>COT</b>	Carbono Orgánico Total
<b>CPU</b>	Unidad Central de Proceso
<b>CTS</b>	Clear To Send
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización).
<b>DSR</b>	Data Set Ready
<b>DTR</b>	Data Terminal Ready
<b>E1</b>	Electrodo 1
<b>E2</b>	Electrodo 2
<b>E3</b>	Electrodo 3
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
<b>EPROM</b>	Erasable Programmable Read-Only Memory
<b>et al.</b>	Y otros
<b>EV1</b>	Electroválvula 1
<b>EV2</b>	Electroválvula 2
<b>FBD</b>	Diagrama de Bloques de Funciones
<b>FC-L.PIN-22</b>	Facultad de Ciencias-Laboratorio de Procesos Industriales equipo 22.
<b>g</b>	Gramos
<b>g/mL</b>	Gramos por mililitros
<b>gG</b>	Fusible de uso general
<b>GND</b>	Ground



<b>HMI</b>	Human-Machine Interface
<b>Hz</b>	Hercios
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IL</b>	Lista de Instrucciones
<b>IP</b>	Degrees of Protection
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>J</b>	Joule
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>LD</b>	Ladder Diagram
<b>m</b>	Metros
<b>MED</b>	Destilación por Múltiple Efecto
<b>mg/L</b>	Miligramos por litros
<b>mL</b>	Mililitros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mS/cm</b>	Milisiemens por centímetro
<b>μS/cm</b>	Microsiemens por centímetro
<b>MSF</b>	Destilación Súbita por efecto Flash
<b>MΩ</b>	Megaohms
<b>MΩ/cm</b>	Megaohms por centímetro
<b>NA</b>	Normalmente Abierto
<b>NC</b>	Normalmente Cerrado
<b>NPT</b>	National Pipe Thread
<b>PC</b>	Computadora Personal
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>PID</b>	Proportional Integral Derivative
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>PT-100</b>	Sensor de temperatura de Platino de 100 ohms a 0°C
<b>PVC</b>	Policloruro de Vinilo
<b>RAM</b>	Random Access Memory

<b>RS-232</b>	Recommended Standard 232
<b>RTD</b>	Resistance Temperature Detector
<b>RTS</b>	Request To Send
<b>RXD</b>	Datos Recibidos
<b>S/cm</b>	Segundos por centímetro
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Acquisition
<b>seg</b>	Segundos
<b>SFC</b>	Sequential Function Chart
<b>ST</b>	Structured Text
<b>TVC</b>	Destilación por Compresión Térmica de Vapor
<b>TXD</b>	Datos Transmitidos
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>Vac</b>	Voltaje de corriente alterna
<b>Vdc</b>	Voltaje de corriente directa
<b>W</b>	Watts o vatios
<b>XC-2AD2PT-BD</b>	Tarjeta de 2 señales analógicas y 2 pt-100 marca xinje
<b>XP3-18R</b>	PLC de 8 salidas de relé y 10 entradas digitales marca XINJE
<b>Ω</b>	Ohm

## RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema automatizado para controlar el purificador de agua de la Facultad de Ciencias del laboratorio de procesos industriales (FC-L.PIN-22). Se estableció un esquema eléctrico, de control, de potencia y un sistema mecánico, para la instalación de los componentes necesarios para la automatización. La evolución del proceso se controló a través del programa desarrollado en un Controlador Lógico Programable (PLC) XINJE XP3-18R, que activa una electroválvula para llenar el equipo hasta un nivel óptimo determinado por un sensor de nivel ubicado en la caldera, con el fin de mejorar la seguridad durante su funcionamiento. La resistencia calefactora de inmersión fue comandada mediante la lectura de temperatura de un sensor PT-100. Se usó una electroválvula para el desfogue, la misma que se activa conjuntamente con la electroválvula de llenado, para generar un flujo regenerativo en el tanque de condensación, permitiendo recuperar vapor más efectivamente. La interfaz hombre-máquina (HMI) monitoreó las etapas del proceso en pantalla. Mediante la automatización se permitió mejorar tiempos de llenado, reduciendo la carga inicial de agua, de 37 litros a 27 litros, permitiendo lograr tiempos de 5,5 a 3,3 minutos, un 40% menos en la etapa de llenado y de 70 a 40 minutos en la etapa de calentamiento, reponiendo agua al equipo cuando esté en un límite bajo, esto reduce un 42,86% el calentamiento. La recuperación de vapor condensado es de 5 litros cada 30 minutos, con una temperatura promedio de 25 ° C, lo que mejora la eficiencia térmica del equipo de 67% a 82,56%. Se concluyó que el sistema implementado minimiza el tiempo invertido en el control de las diferentes etapas del purificador de agua, garantizando la seguridad del personal. Se recomienda el uso del equipo basándose en el manual de usuario, para garantizar el correcto funcionamiento.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTROL AUTOMÁTICO>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)>, <SENSOR DE TEMPERATURA>, <SENSOR DE NIVEL>, <DESTILACIÓN DE AGUA>, <DESTILACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR (TVC)>

## ABSTRACT

It was designed and implemented an automated system to control the water purifier of the Faculty of Sciences of the laboratory of industrial processes (FC-L.PIN-22). In order to carry out this process; an electrical scheme; of control, of power, and a mechanical system was established for the installation of the components necessary for automation. The process evaluation was controlled by means of the program developed in a Programmable Logic Controller, (PLC) XINJE XP3-18R, which activates an electro-valve to fill the equipment up to an optimum level determined by a level sensor located in the boiler in order to enhance safety during its operation. The heating resistance of immersion was led by temperature measurement of a PT-100 sensor. It was used an electro-valve for the vent. This electro-valve activates in conjunction with the filler electro-valve to generate a generative flow in the condensation tank, which makes possible to recover steam more effectively. The human-machine interface (HMI) monitored on screen the stages of the process. Automation made possible to improve filling times by reducing the initial water load from 37 liters to 27 liters; enabling to get times from 5.5 to 3.3 minutes, 40% less in the filling stage and from 70 to 40 minutes in the heating stage, replenishing water to the equipment when it is at a low level. This; reduces heating by 42,86%. The recovery of condensed steam is 5 liters every 30 minutes, with an average temperature of 25°C, which improves the thermal efficiency of the equipment from 67% to 82,56%. It was concluded that the implemented system minimizes the time invested to control the different stages of the water purifier, granting the personnel safety. It is recommended to use the equipment in accordance to the user manual, to ensure its correct operation.

**KEY WORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMATIC CONTROL>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>, <TEMPERATURE SENSOR>, < LEVEL SENSOR>, <WATER DISTILLATION>, <DISTILLATION BY STEAM COMPRESSION (TVC)>

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

La industria vinculada a la ingeniería química, se ha automatizado, debido a los grandes beneficios que esto conlleva; en cuanto a la mejora, control y supervisión de procesos industriales; que requieren de sistemas óptimos, para controlar las variables físicas involucradas; estas pueden ser: nivel, presión, flujo, temperatura, entre otros.

El laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH está orientado al refuerzo de conocimientos de los estudiantes mediante la práctica y el manejo de equipos desarrollados en distintas áreas de operaciones unitarias enfocadas a la industria. En él se encuentra un purificador de agua por destilación mediante termo compresión que permite entender el proceso de obtención de agua destilada.

En la industria petrolera se usa la destilación fraccionada para adquirir los diferentes derivados del petróleo y en la industria alimentaria para destilar gran variedad de bebidas alcohólicas entre otras aplicaciones.

Son muchos los equipos diseñados y construidos para la destilación de varias sustancias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo entre ellos “Diseño| y Construcción de un Equipo de Destilación para la Purificación del Aceite usado Procedente de Vehículos” realizadas por Viviana Vanessa Medina Carrillo y Myriam Anabel Sánchez Salinas y “Diseño de un Sistema de Destilación para la Purificación del Thinner de los Residuos de Pintura Automotriz en Multiservicios San Andrés” elaborada por Diego Fabián Robalino Carrasco, entre otros en los que se controlan manualmente válvulas y se monitorea de manera constante el equipo durante su operación.

Existe un modelo automatizado desarrollado en el Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército “Diseño e Implementación del Sistema de Monitoreo, Supervisión y Control Automático del Proceso de Destilación de agua en el Área de Inyectables de LIFE C.A” de Alan Daniel Cuenca Sánchez y Milton Stalin León Encalada, que utiliza software tanto para el desarrollo del control del PLC, de la pantalla táctil (HMI) y para la aplicación del almacenamiento continuo de los datos obtenidos del proceso de destilación de agua.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se podrá mejorar el uso del purificador de agua por destilación a nivel de manejo, seguridad y seguir el proceso a través de un sistema automatizado comandado por un autómata programable (PLC) y un ambiente amigable (HMI) que pueda ser usado como herramienta didáctica para los estudiantes?

¿Cómo se ha venido realizando actualmente el proceso de destilación?

¿Cuáles son los factores que inciden en el funcionamiento y rendimiento de Purificador de Agua por Destilación?

¿Se puede aplicar un sistema automatizado para optimizar el desempeño del equipo?

¿Cómo se puede mejorar las aplicaciones didácticas del equipo purificador de agua para mejor comprensión del proceso de purificación en los estudiantes de la Facultad de Ciencias?

¿Se podrá obtener un equipo que mejore el manejo y la seguridad de este proceso de obtención de agua destilada?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

En el proceso de purificación de agua por destilación, como primer paso se ingresa agua al equipo, llenando la cámara de condensación, de precalentamiento y de ebullición respectivamente, se realiza un control de las válvulas para llegar y mantener el nivel adecuado de trabajo, seguidamente se suministra calor mediante una resistencia calefactora. Si el nivel de agua mínimo de trabajo de la caldera desciende, este se debe recuperar.

El punto de ebullición del agua es de 90°C, se alcanza en un período de calentamiento de una hora aproximadamente, la evaporación se realiza a partir de este punto, obteniendo agua destilada, se efectúa un ciclo de regeneración de agua en el condensador cada cierto tiempo, para garantizar el enfriamiento del agua, manteniendo la temperatura de salida del condensado de 25 a 30 °C.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

Por lo tanto, se diseña e implementa un sistema automatizado que permite poner operativo el equipo purificador de agua, además de minimizar el recurso humano durante el funcionamiento de la máquina, contribuyendo a la eliminación de errores y al aumento en la seguridad.

Este sistema mantiene bajo parámetros establecidos el nivel de agua de operación del proceso, siendo la variable fundamental para el control del purificador, ya que, un nivel alto reduce la

eficiencia, mientras que un nivel bajo dañaría los componentes del equipo, por lo tanto el nivel de agua no debe ser muy alto ni muy bajo. La temperatura es monitoreada constantemente.

Para controlar la evolución del proceso se usa un PLC XINJE, el mismo que trabaja en base a la información recibida por los sensores, que es procesada mediante el programa interno desarrollado, comandando este sobre los actuadores (resistencia calefactora y electroválvulas).

Se realiza un óptimo control del nivel de agua en el interior de la caldera usando un sensor conductivo, y la medición de la temperatura por medio de una PT100, la cual da a conocer el valor de la variable, se usa una electroválvula de llenado que controla la entrada de agua fría en el equipo y una electroválvula de desfogue para regenerar el tanque de condensación. Además utiliza una resistencia calefactora para el calentamiento.

La interfaz HMI permite supervisar y monitorear la variable de nivel y temperatura, determinando así que el proceso en las diferentes etapas de producción, manteniendo en los parámetros adecuados, además los estudiantes se relacionan con un entorno industrial.

Se instala un nuevo sistema hidráulico mediante tuberías y válvulas para descargar completamente el agua después de cada práctica, contribuyendo a preservar las partes del equipo y por ende la calidad del agua destilada.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema automatizado para el control del Equipo Purificador de Agua FC-L.PIN-22 de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

### **Objetivos específicos**

- Identificar todo el proceso del Purificador de Agua por destilación.
- Analizar las variables del proceso que son susceptibles a ser controladas.
- Establecer el modelo del sistema automatizado en base a las características y parámetros del purificador de agua.
- Implementar el sistema automatizado del Purificador de Agua.
- Realizar pruebas de funcionamiento y corrección de errores en el sistema automatizado del purificador de agua.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 PURIFICACIÓN DE AGUA

El agua purificada se obtiene a partir de agua potable, de origen mineral con gases y sales disueltos, cumple con atributos de calidad como: no contener sustancias extrañas biológicas, orgánicas, inorgánicas o radiactivas.

El agua potable se somete algún proceso de purificación para tratarla obteniendo diversas calidades con diferentes métodos, estos pueden ser por filtración, ultrafiltración, destilación, osmosis inversa, adsorción con carbón activado, des ionización, de acuerdo a la aplicación que se le dará. (Valdivia Medina, Pedro Valdés, & Laurel Gómez, 2010)



**Figura 1-1:** Utilización de agua purificada en los laboratorios

Fuente: AGUA-PURA, <http://agua-pura.com.mx/>

El agua purificada se usa en los laboratorios de química y farmacéutica como: materia prima, insumo y reactivo químico para las prácticas; como se observa en la figura 1-1, además se usa para la limpieza, esterilización de laboratorios, materiales y equipos, por lo que, en estas instalaciones se cuenta por lo general, con equipos que realicen este proceso.



### 1.1.1 Indicadores de la calidad del agua

Comúnmente la calidad del agua se define a partir de las características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas del agua. Las características organolépticas se realizan en forma cualitativa, se describen a partir de la percepción de los sentidos, ofreciendo una primera apreciación de la calidad del agua.

- **pH** (*pondus Hydrogenium*, peso del hidrógeno). Es una de las características para determinar la calidad del agua, que indica la acidez o alcalinidad del líquido, midiendo en una escala logarítmica del 0 al 14, las concentraciones de iones hidrógeno. El 7 representa una solución neutra. El agua con pH menor que 7 se considera ácida y corrosiva, pudiendo estar presente iones metálicos disueltos como: hierro, magnesio, cobre. Un pH arriba del 7 es una solución básica o alcalina, que representa problemas de incrustaciones por dureza.
- **Conductividad eléctrica.** Indicador de iones disueltos en el agua, se define como la capacidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica, se relaciona con la concentración de sólidos disueltos y sales. La unidad de medición utilizada es el Siemens/cm (S/cm), microSiemens/cm ( $\mu$ S/cm), miliSiemens/cm (mS/cm).
- **Resistividad.** La resistividad es la medida recíproca de la conductividad, representa la pureza iónica, la unidad para la resistividad es el Ohm ( $\Omega$ ), pero se emplea el MegaOhm/cm ( $M\Omega/cm$ ), acotado a  $M\Omega$ .
- **Carbón orgánico total (COT).** El COT se usa para medir los contaminantes orgánicos (basados en el carbono) presentes en el agua. La contaminación orgánica puede proceder de compuestos como: el azúcar, la sacarosa, el alcohol, el petróleo el cemento PVC. Al no ser iónicos, los contaminantes orgánicos no se detectan en las mediciones de conductividad. Se mide en miligramos/litros (mg/L).
- **Cloruros.** Son una de las sales presentes en el agua. Un alto contenido provoca corrosión. Tiene incidencia en el sabor, dependiendo de la composición química del agua, el cloruro de sodio genera un sabor salado. Su medida se realiza en miligramos/litro (mg/L).
- **Sílice.** Es un elemento químico de grupo del carbono presente en la mayoría de las aguas. Constituyente común de rocas ígneas, cuarzo y la arena. Existe normalmente como óxido. Se presenta en forma insoluble, soluble y coloidal. Contribuye a provocar algo de alcalinidad en el agua. Su medida se realiza en miligramos/litro (mg/L).

- **Sodio.** Metal alcalino que se desprende de rocas y suelos, se encuentra principalmente como sal marina. En el agua se presenta como una disolución incolora, que consiste en hidróxido de sodio e hidrógeno gas. Su medida se realiza en miligramos/litro (mg/L).

### 1.1.2 Calidad de agua grado reactivo

Existen organismos internacionales que establecen los criterios de calidad o pureza del agua para diferentes aplicaciones, por lo tanto, el agua tiene buena calidad si está asociada a un uso definido, entre los cuales hay: *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *British Standards Institution (BSI)* e *International Organization for Standardization (ISO)*.

Estas normativas se enuncian bajo parámetros físicos-químicos. A continuación se describe en la tabla 1-1, los estándares de calidad en agua grado reactivo, es decir, agua que se usa en los laboratorios, bajo la norma ASTM 1193:2011 que clasifica los tipos de agua que van desde el tipo I hasta el tipo IV; siendo el tipo I, el mayor nivel de pureza, usado para procedimientos que requieren un alto grado de exactitud. (Valdivia, et al., 2010)

**Tabla 1-1.** Clasificación del agua, según norma ASTM 1193:2001

Parámetros Físicoquímicos	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV
Conductividad eléctrica valor máximo a 25°C μS/cm	0,056	1,0	0,25	5,0
Resistividad mínima a 25°C MΩ	18	1,0	4,0	0,2
pH a 25°C	-	-	-	5,0 a 8,0
Carbono Orgánico Total (COT) valor máximo mg/L	50	50	200	NL
Sodio valor máximo μg/L	1	5	10	50
Cloruros valor máximo mg/L	1	5	10	50
Sílice Total valor máximo μg/L	3	3	500	NL

Fuente: Valdivia, Pedro, & Laurel, 2010

**Nota:** El pH neutro se representa con el símbolo (-), y NL simboliza que no se limita su valor.

## 1.2 DESTILACIÓN DE AGUA

La destilación se usa para purificar agua desde hace muchos, es un método muy difundido debido a que logra eliminar sustancias disueltas, minerales, sólidos ionizados, orgánicos, bacterias y pirógenos en el agua; separando de una mezcla líquida sus elementos menos volátiles por medio de la diferencia entre sus puntos de ebullición, ya que es una propiedad intensiva, es decir, no varía en función de la masa o el volumen, aunque sí en función de la presión.



**Figura 2-1:** Proceso de destilación

Fuente: <http://www.bibliotechnia.com.mx/portal/visor/web/visor.php>

Esta técnica consiste en vaporizar los líquidos, en alambiques u otros vasos como se observa en la figura 2-1, aplicando energía térmica al agua en fase líquida, generando vapor de agua, el cual pasa por un condensador que permite recuperar moléculas de agua libre de otras sustancias o elementos, obteniendo agua con un mayor grado de pureza. (Ramírez de la Torre, 2010)

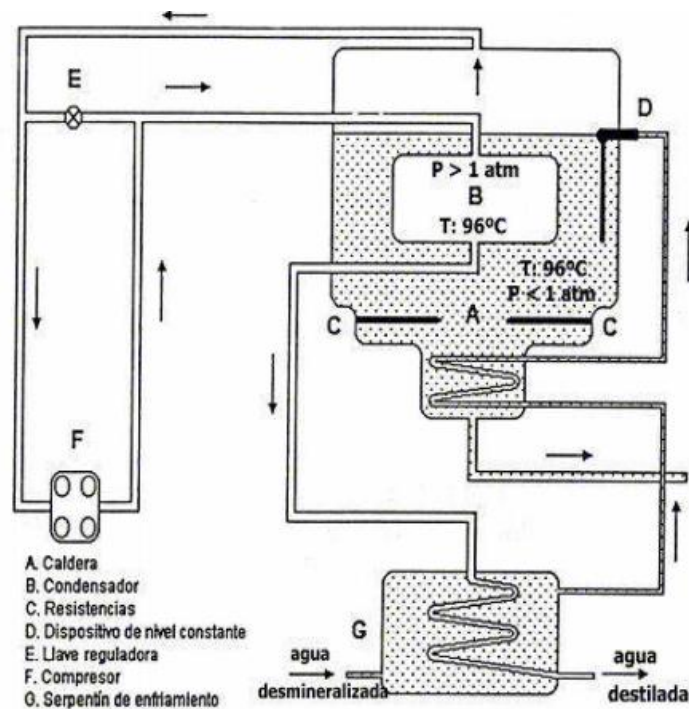
Los tipos de destiladores usados para la obtención de agua purificada son:

- Destilación súbita por efecto flash (MSF)
- Destilación por Múltiple Efecto (MED)
- Destilación por Compresión Térmica de Vapor (TVC)

### 1.2.1 Destilación por termocompresión (TVC)

La compresión térmica de vapor (TVC, *Thermal Vapor Compression*) permite obtener vapor de agua sobrecalentado, este sobrecalentamiento se realiza, por la utilización de un compresor que aumenta la temperatura del vapor generado en la caldera, es decir, la acción de compresión mecánica aumenta la presión del vapor producido.

Su funcionamiento consiste en calentar agua en la caldera mediante resistencias hasta alcanzar su punto de ebullición con una presión menor a la presión atmosférica, este vapor producido es conducido por tubería hasta el compresor, donde la presión es mayor a la presión atmosférica. El vapor se conduce a un condensador dentro de la caldera, liberando calor hacia ella, aumentando la temperatura. Finalmente se enfría por un serpentín, precalentando el agua de alimentación, como se observa en la figura 3-1.



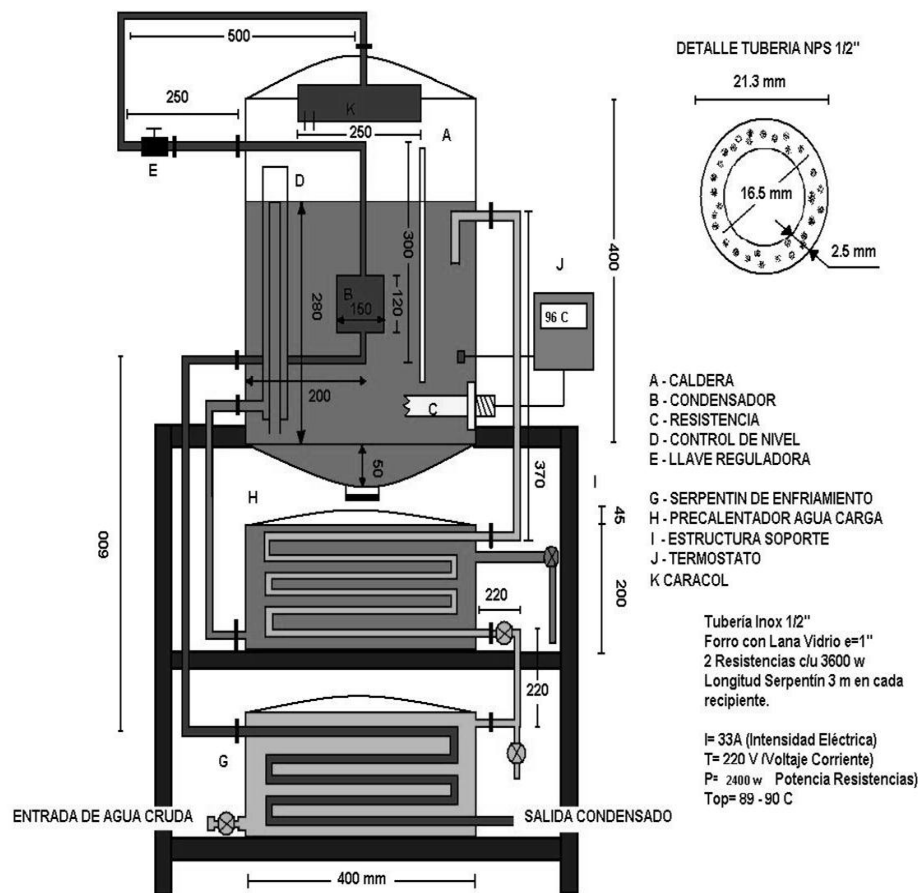
**Figura 3-1:** Destilador por termocompresión

**Fuente:** AGUILAR ÁNGELA, <http://fluinamics.com/es/documentacion/tablas/07.agua-usos-farmaceuticos.pdf>

El destilador por termocompresión purifica el agua a través de etapas de vaporización, precalentamiento y enfriamiento para luego ser recolectada. Esto da como resultado la obtención de agua libre de otras sustancias o elementos que se encuentren mezclados o diluidos además de que garantiza la muerte de microorganismos en estado vegetativo.

### 1.3 PURIFICADOR DE AGUA FC-L.PIN-22

El equipo purificador de agua FC-L.PIN-22 del Laboratorio de Procesos industriales, realiza su operación mediante destilación por termocompresión. Consta de tres cámaras que son de: ebullición, precalentamiento y condensación, están construidas con acero inoxidable de planchas de 1,5mm elegido por su resistencia a la corrosión y la oxidación. Se interconecta por un sistema de tuberías con dimensión de ½ pulgada. A continuación se describe el esquema del purificador, de acuerdo a la figura 4-1 (Checa Montenegro & Moina Veloz, 2010)



**Figura 4-1:** Esquema del Purificador de agua.

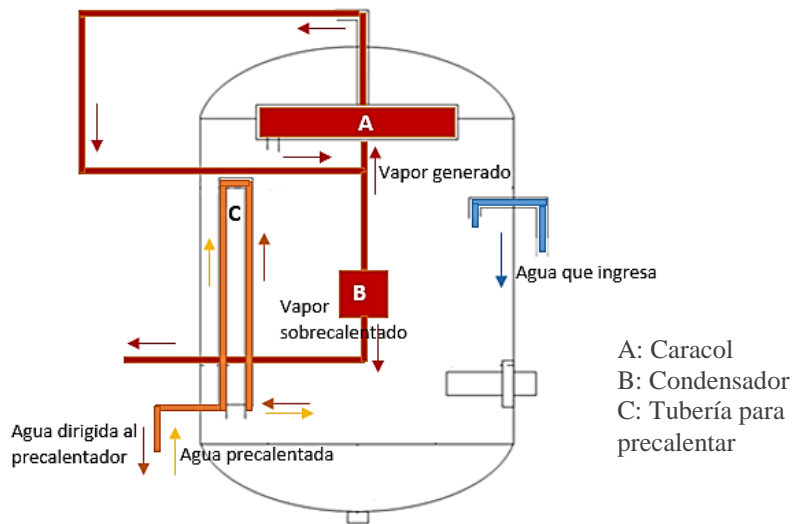
Fuente: Checa Montenegro & Moina Veloz, 2010

- **Caldera.** Es el tanque de ebullición o vaporización (A), se alimenta con agua potable que pasa por las cámaras de condensación (G) y precalentamiento (H). Una vez alcanzado el nivel óptimo entra en marcha el control de temperatura, por medio de una Termocupla conectada al termostato (J), se activan las resistencias eléctricas (C) de inmersión alcanzando 88°C. Esta cámara cuenta con una acometida hidráulica que permite reponer el agua que se evapora y destila.

- **Condensador.** Es la cámara inferior en el equipo, permite al vapor perder energía térmica, mediante convección forzada, circulando fluidos en este caso agua a baja temperatura alrededor del conducto, a través del cual fluye el vapor, enfriando y volviendo a la fase líquida. El condensado es descargado a un recolector de agua purificada.
- **Resistencias.** Son dispositivos que generan calor cuando a través de los mismos circula una corriente eléctrica, estos en conjunto alcanza 2400W que permiten calentar el agua por conducción directa en el tanque de ebullición. Se encuentran aisladas por una capa de cerámica y protegidas del ambiente externo por una coraza metálica.
- **Controlador de nivel.** Permite mantener el nivel de operación del equipo. En este caso es una mirilla conectada al sistema por válvulas que requieren una correcta calibración, caso contrario dará una falsa medida de nivel de agua.
- **Llave reguladora.** Es una válvula manual que permite controlar el paso de vapor de la cámara de ebullición a la cámara de condensación.
- **Depósito de agua destilada.** Es un recipiente donde se recolecta el agua destilada, la que debe ser almacenada en recipientes especiales fabricados principalmente en materiales plásticos, para evitar contaminación iónica. Se utilizan para el efecto recipientes de polietileno, polipropileno o politetrafluoroetileno.

### ***1.3.1 Tanque de ebullición***

Este tanque consta de un caracol interno (A), como muestra la figura 5-1, que dirige el vapor generado a un condensador (B), lo que sobrecalienta el vapor, entregando calor latente de condensación al agua en el tanque. Tiene un sistema de tuberías (C) para precalentar el agua, durante el proceso de vaporización, obteniendo dos etapas de calentamiento y manteniendo el nivel en la caldera sin desbordamientos, usando una llave de purga.



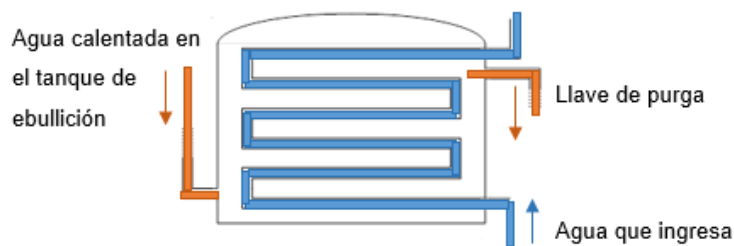
**Figura 5-1:** Tanque de ebullición.

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Fuente: Checa Montenegro & Moina Veloz, 2010

### 1.3.2 *Tanque de precalentamiento*

El tanque de precalentamiento, figura 6-1, recicla el calor proveniente de la vaporización, permitiendo un ahorro de energía al funcionamiento del equipo, esto se da lugar dentro del tanque a través de un serpentín interno de ½” conectado al tanque de ebullición



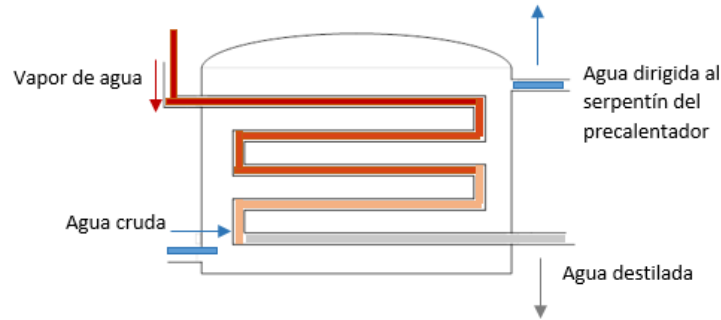
**Figura 6-1:** Tanque de ebullición.

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Fuente: Checa Montenegro & Moina Veloz, 2010

### 1.3.3 *Tanque de condensación*

Esta cámara de condensación, figura 7-1, permite enfriar el vapor por medio de un intercambiador de calor por convección forzada, usando agua. Para ello está construido con un serpentín interno de ½” por donde circula el vapor que será recolectado como agua destilada. La acometida hidráulica del ingreso de agua cruda, se encuentra en el tanque de enfriamiento, por lo que, los otros niveles se inundan, a través, de la presión de salida del tanque.



**Figura 7-1:** Tanque de condensación.

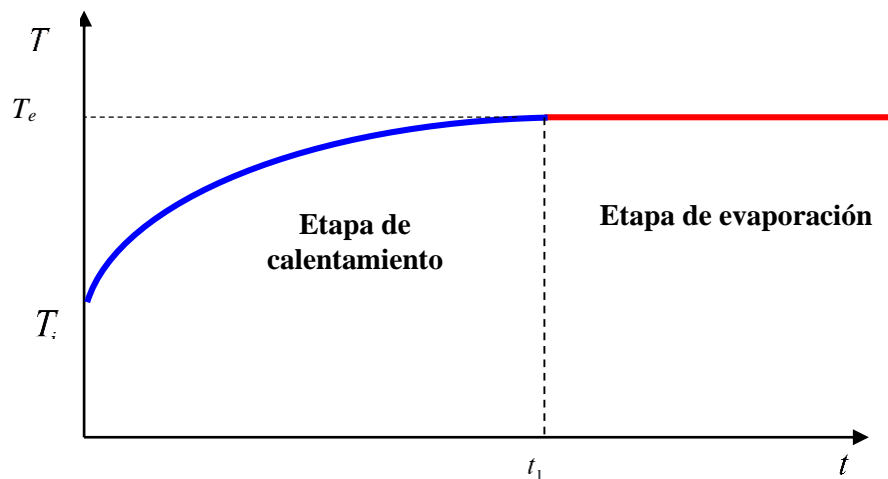
Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Fuente: Checa Montenegro & Moina Veloz, 2010

### 1.3.4 Operación de Vaporización

Se carga el tanque de vaporización con el agua que se desea destilar, después se inicia la etapa de calentamiento, en toda esta etapa la temperatura del líquido varía, por lo que el proceso se realiza en régimen transitorio. Una vez que se llega a la temperatura de ebullición el agua empieza a evaporarse, manteniéndose constante la temperatura, dando lugar a la etapa de evaporización.

A continuación se muestra en la figura 8-1 la temperatura, en las etapas de calentamiento y evaporación, desde la temperatura inicial  $T_i$  hasta la Temperatura de ebullición  $T_e$ , siendo  $t_1$  el tiempo de calentamiento y  $t-t_1$  será el tiempo de evaporación, o el tiempo que se demore en evaporar una cantidad de agua (Checa Montenegro & Moina Veloz, 2010)



**Figura 8-1:** Temperatura en las etapas de calentamiento y evaporación.

Fuente: Checa Montenegro & Moina Veloz, 2010



## 1.4 SISTEMAS AUTOMATIZADOS

La automatización se basa en sistemas capaces de recibir información, procesar, realizar acciones de control y monitorear el proceso sobre el cual actúan; comprende el uso de programas o elementos computarizados y electromecánicos. Esto con el propósito de reducir el mínimo de riesgo de daño en el proceso, mejorando la efectividad y optimizando la intervención humana con mano de obra calificada.

Córdoba Nieto (2006) define al concepto de automatización a partir del griego *autos* que significa “por sí mismo” y *maimai* que significa “lanzar” que corresponde a la necesidad de minimizar el recurso humano en los procesos de gobierno directo en la producción, ahorrar esfuerzo laboral.



**Figura 9-1:** Automatización y control industrial

Fuente: ELECTRICIDAD NUÑEZ, <http://www.elnunez.com/serviciosauto.php>

Está presente en diferentes áreas de producción como en la industria alimentaria, farmacéutica, química, gráfica, petrolera, figura 9-1, automotriz, plásticos, metalurgia, telecomunicaciones y en todas aquellas que requieran un desempeño más eficiente.

### 1.4.1 *Objetivos de la automatización*

Se definen los objetivos en base a Medina García, J., s.f.

- Aumentar la seguridad en los procesos, ya sean estos altamente peligrosos o no, mejorando las condiciones de trabajo de los operarios.
- Eliminar costes de producción y garantizar la calidad del proceso, aumentando así la productividad de una empresa.

- Reducir la supervisión constante de los operarios, con lo que se evitan errores a lo largo de la ejecución de los procesos y que por ende conlleva a cumplir los tiempos establecidos.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Realizar tareas que son repetitivas y complejas, imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Integrar la gestión y producción.

#### 1.4.2 Componentes de un sistema automatizado

Los sistemas automatizados buscan que los equipos o procesos actúen de una manera independiente basándose en la utilización de elementos especializados y softwares que permiten el control del sistema.

Los principales componentes de un sistema automatizado, figura 10-1, son la parte operativa y la parte de mando que logran el cometido de la automatización, pero también se agregan etapas de supervisión útiles para los operadores y para la toma de decisiones dentro de una empresa.



**Figura 10-1:** Componentes de un sistema automatizado

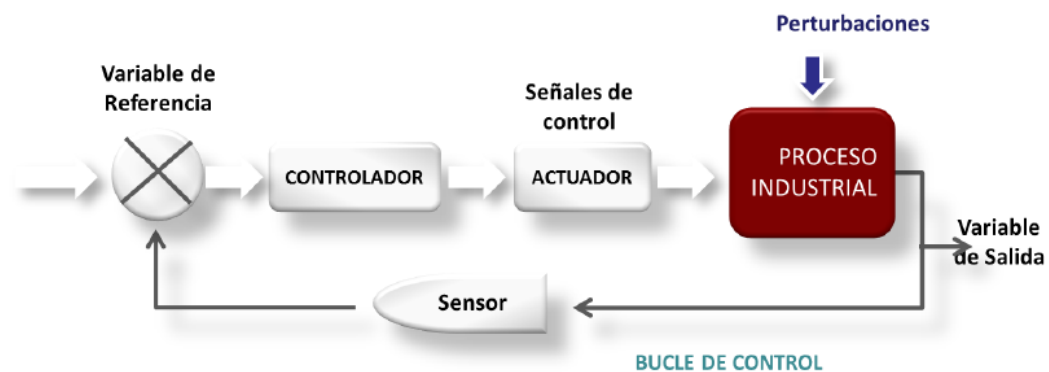
Realizado por: Andrea Robalino, 2017

- **Parte operativa.** La parte operativa abarca la instrumentación industrial, que actúa sobre la máquina, sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables que intervienen en un proceso con el fin de optimizar recursos. Comprenden componentes de medición: sensores, transductores o transmisores, elementos finales de control o accionadores que permiten que el equipo realice las operaciones deseadas, como: motores de corriente alterna o continua, cilindros, bombas, electroválvulas, entre otros.

- **Parte de mando.** La parte de mando del sistema comanda a la parte operativa, es decir es el controlador del sistema que toma las decisiones en base a las mediciones de los sensores y que permite el accionamiento de los elementos finales de control o actuadores. Esta parte del sistema usa las tecnologías programables que pueden ser: autómatas programables PLC o microcontroladores, los cuales, a través del uso de relés y contactores permiten el accionamiento de diferentes tipos de cargas del sistema
- **Parte de supervisión.** La parte de supervisión del sistema puede darse mediante: paneles de mando, paquetes SCADA, HMI, supervisión móvil, supervisión web, entre otros. Se utiliza para monitorear, controlar, gestionar alarmas del sistema, además algunos, permiten la extracción de datos útiles para la toma de decisiones dentro de los procesos y el área de gestión de la empresa.

## 1.5 CONTROL DE PROCESOS

Smith & Corripio (1997, p. 17), establece que el control de procesos consiste en mantener dentro de un valor deseado a las variables del proceso estas pueden ser temperatura, niveles, presiones, flujos, entre otros. Mediante un conjunto de elementos interrelacionados, se puede emprender acciones correctivas cuando se presentan perturbaciones que pueden afectar a la seguridad, calidad del producto y los índices de producción.



**Figura 11-1:** Sistema de control automático.

Fuente: SCADALAB, <http://www.infoplc.net/>

Un sistema de control, figura 11-1, ajusta sus operaciones basándose en las siguientes etapas: medición de variables, evaluación de la información, es decir, comparar la variable medida con la variable de referencia y por último el control o regulación, es el resultado de la medición y evaluación.

### 1.5.1 Sistema de lazo abierto

Cuando se trata de un sistema de lazo abierto la entrada se establece en base a la experiencia con el proceso, para obtener la salida deseada, la acción de control es independiente de la salida, figura 12-1.



**Figura 12-1:** Sistema de lazo abierto

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 1.5.2 Sistema de lazo cerrado

En los sistemas de lazo cerrado la entrada del sistema es realimentada por la salida, con lo que se detectan perturbaciones y se pueden tomar acciones de control, figura 13-1.



**Figura 13-1:** Sistema de lazo cerrado

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

## 1.6 PLC, Programmable Logic Controller

El Controlador Lógico Programable (PLC) o autómata programable (AP), figura 14-1, es un dispositivo electrónico, que se usa en ambientes industriales para realizar acciones de maniobra, control y señalización permitiendo controlar procesos en tiempo real.



**Figura 14-1:** Controlador lógico programable.

**Fuente:** SCHNEIDER ELECTRIC, <http://www.schneider-electric.com.ar/es/product-category/3900-pac--plc-y-otros-controladores/>

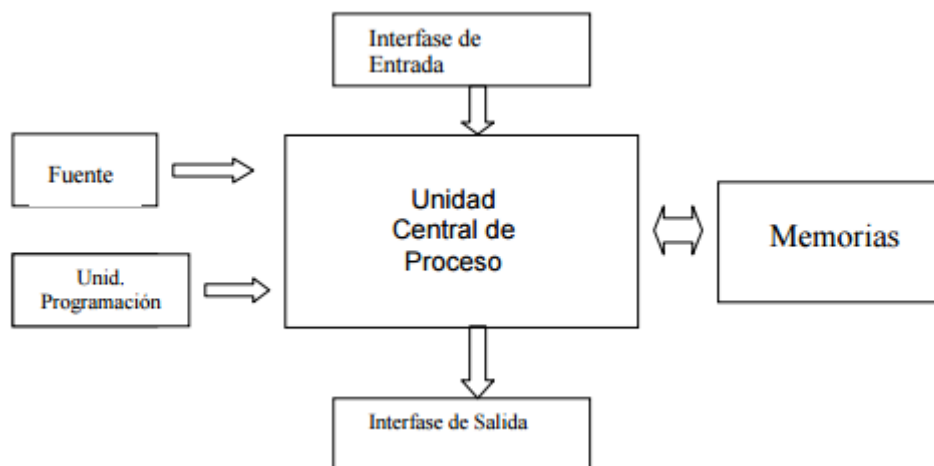
Los autómatas programables utilizan memoria programable para el almacenamiento de instrucciones orientadas al usuario, se pueden realizar funciones lógicas, secuencia, temporización, recuento y funciones aritméticas para controlar mediante entradas y salidas los procesos (Mateos, 2004)

### 1.6.1 Estructura de un PLC

La arquitectura de un PLC, figura 15-1, consta de: CPU, memoria, dispositivos de programación y comunicación, fuente de alimentación e interfaces de entradas y salidas.

- **CPU.** Es la unidad central de proceso, permite la ejecución de una lista de instrucciones denominada programas, que son cargados en la memoria y en base a las entradas realiza cálculos y toma decisiones sobre las salidas. Los programas que se ejecutan en un CPU son de autoconfiguración cuando el sistema arranca y del usuario, diseñado para una aplicación específica.

- **Memorias.** La memoria es donde el PLC guarda el programa y los datos a ser ejecutados. Existe la memoria programable que es donde se almacena el programa escrito por el usuario y son de tipo RAM batería o EPROM/EEPROM. Cuenta con la memoria de datos que también es denominada tabla de registros, que se utiliza para grabar datos necesarios para la ejecución del programa y almacenar datos durante su ejecución.
- **Dispositivos de programación y comunicación.** Los dispositivos de programación y comunicación permiten al PLC comunicarse con el usuario para programar desde un ordenador personal y con otros dispositivos como pueden ser: redes de control, pantallas, otros PLCs.
- **Fuente de alimentación.** La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de todo el circuito del sistema. La alimentación común suele ser de 24Vcc, de 110Vac o 220Vac que se distribuye a través de un bus interno desde la CPU hasta los módulos de entrada y salida.
- **Interfaz de entrada y salida.** En las entradas y salidas es donde los sensores y los actuadores son conectados al PLC estas pueden ser señales analógicas o digitales, mediante los cuales se monitorea y controla el proceso. Por lo general, los dispositivos de entrada, de salida y el microprocesador trabajan a diferentes niveles de tensiones y de corriente, por lo tanto, las señales que entran y salen del PLC deben ser acondicionadas mediante interfaces o módulos para que pueden ser interpretadas por el microprocesador.



**Figura 15-1:** Arquitectura de un PLC.

Fuente: ELEMENTOS Y EQUIPOS

ELÉCTRICOS [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/CAP%209%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf)

## 1.7 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN


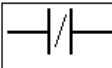
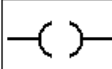


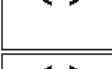
El programa de usuario de un PLC, puede ser escrito en diferentes lenguajes de programación. Los softwares actuales permiten convertir programas de un lenguaje a otro, por lo que el programador escoge el que más le convenga. Los controladores programables se estandarizan bajo la norma IEC 1131 de la Comisión Electrotécnica Internacional. El IEC 1131-3 define cinco lenguajes de programación:

- Diagrama Escalera (LD)
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD)
- Lista de Instrucciones (IL)
- Texto Estructurado (ST)
- *Sequential Function Chart* (SFC).

A continuación se describe el lenguaje ladder, que es uno de los más difundidos a nivel mundial.

### 1.7.1 Lenguajes de contactos o Ladder

Es un lenguaje gráfico, se basa en representar las líneas de alimentación, cableados, arreglos de contactos, bobinas de relés, por medio de símbolos que se encuentran normalizados, como se muestran en la figura 16-1.

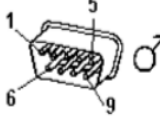
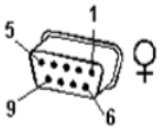
Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

**Figura 16-1:** Símbolos de los elementos básicos de programación

Fuente: bibdigital.epn.edu.ec

## 1.8 COMUNICACIÓN RS-232

El protocolo RS-232, es un modo de comunicación serial. Se usa para conectar un ordenador a un modem, la comunicación se realiza con el puerto serial en forma asíncrona. Utiliza velocidades bajas de comunicación, se puede usar en comunicación simplex, half duplex o full dúplex.

#	Pin	E/S	Función	Conector DB 9
1			Tierra de Chasis	
2	RXD	E	Recibir Datos	
3	TXD	S	Transmitir Datos	
4	DTR	S	Terminal de Datos Listo	
5	SG		Tierra de señal	
6	DSR	E	Equipo de Datos Listo	
7	RTS	S	Solicitud de Envío	
8	CTS	E	Libre para Envío	
9	RI	S	Timbre Telefónico	

**Figura 17-1:** Pines del conector DB-9

Fuente: COMUNICACIÓN SERIAL,

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/morales\\_h\\_oe/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/morales_h_oe/capitulo3.pdf)

Este protocolo consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, o un conector de 9 pines DB-9, cada pin puede ser de entrada o de salida, teniendo una función específica, figura 17-1. Las señales TXD, DTR, RTS son de salida, RXD, DSR, CTS son de entrada, la tierra de referencia es SG.

### 1.8.1 Convertidor USB a Serial

Los ordenadores portátiles, en la actualidad ya no cuentan con puertos RS-232. El uso del puerto serial se realiza mediante un cable, figura 18-1, que transforma el dispositivo de conexión USB al conector serial DB9. Mediante un driver de la interfaz se crea un puerto virtual COM en la PC.



**Figura 18-1:** Convertidor USB a Serial

Fuente: STARTECH, <https://www.startech.com>



## 1.9 HMI, *Human Machine Interface*

El HMI es una interfaz de usuario, es decir, permite la interacción del operador con la máquina, mediante una representación gráfica del proceso que está siendo controlado. En la actualidad la mayoría de procesos de industriales cuentan con un HMI, para dar seguimiento a cada una de sus etapas, controlando, monitoreando y gestionando alarmas. Los HMI pueden ser sistemas de software desarrollado en una PC o sistemas *standalone* como; pantallas táctiles o dispositivos móviles, figura 19-1.

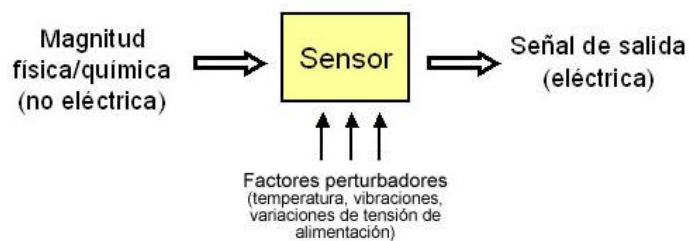


**Figura 19-1:** Estructura modular PLC.

Fuente: SCADALAB, <http://www.infopl.net/>

## 1.10 SENSORES

Un sensor es conocido como un elemento primario dentro de un sistema de control, se encarga de la medición de magnitudes físicas estas pueden ser: intensidad lumínica, presión, temperatura, fuerza, humedad, entre otras y las convierte en señales eléctricas analógicas o digitales que pueden ser interpretadas por dispositivos de control, como se muestra en la figura 20-1.



**Figura 20-1:** Esquema funcionamiento de un sensor.

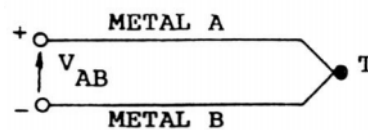
Fuente: <http://html.rincondelvago.com/sensores-en-el-automovil.html>

### 1.10.1 Sensor de Temperatura

Son dispositivos que permiten la evaluación de la temperatura. En muchos procesos industriales, la temperatura es fundamental, por lo que es necesario medirla con precisión. Una medición imprecisa puede traer consecuencias; por ejemplo: un sobrecalentamiento de unos pocos grados puede acortar la vida útil de un equipo. Existen diferentes tipos de sensores de temperatura entre los cuales se destacan las termopares; termocuplas tipo J y K junto con las RTD; PT100 usadas comúnmente a nivel industrial por ser económicas y fáciles de reemplazar.

#### 1.10.1.1 Termopar

Las termocuplas o termopares son sensores de temperatura eléctricos, formados por dos metales, unidos en un extremo denominado punto caliente (T), como se observa en la figura 21-1. Registra el aumento de la temperatura en el orden de los milivoltios al ser excitado el sensor por temperatura (ARIAN Control&Instrumentación, s.f.)



**Figura 21-1:** Termopar

Fuente: [ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Tecnologia/BK-ANGEL/Presentaciones/10\\_Sensores.pdf](ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Tecnologia/BK-ANGEL/Presentaciones/10_Sensores.pdf)

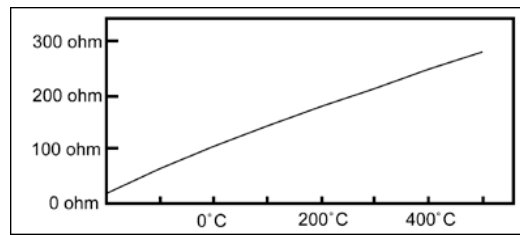
Las termocuplas se designan mediante el uso de letras, hay siete tipos B, R, S, J, K, T y E. Las más comunes son la tipo J y la K. Su uso está muy difundido en la industria ya que son relativamente económicos y operan en un gran rango de temperatura, son intercambiables y tienen conectores estándar. Su desventaja más relevante es su precisión, que es muy pequeña en comparación con los RTD.

#### 1.10.1.2 PT-100

Una PT-100 es un sensor de temperatura eléctrico del tipo RTD (*Resistance Temperature Detector*), Detector de Temperatura Resistivo, es decir, basa su medida en la resistencia eléctrica de un metal o un semiconductor. En el caso de la PT-100 es un alambre de platino con una resistencia eléctrica de 100 Ohm a 0°C la cual aumenta conforme aumenta la temperatura.

La medida de temperatura del sensor se puede establecer mediante tablas; el incremento de la resistencia no es lineal pero sí creciente y característico del platino, de tal forma encontramos una

relación entre la resistencia y la temperatura, como se ilustra en la figura 22-1 (ARIAN Control&Instrumentación, s.f.)



**Figura 22-1:** Aumento de temperatura del PT-100.

**Fuente:** NOTA TÉCNICA 4, <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

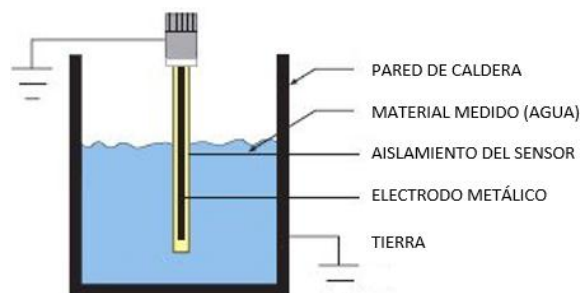
Las PT-100 se consideran como los más estables y precisas de todos los RTD. Se construyen en arrollamientos de hilo conductor bobinado entre capas de aislante y protegidos con un revestimiento de vidrio o cerámicas, se comercializan encapsulados en vainas.

### 1.10.2 Sensor de Nivel

Es un dispositivo que mide la altura del material dentro de un tanque u otro recipiente. Los sensores de nivel basan su medición en principios de capacitancia, conductividad y resistencia. La medición de agua en tanques utiliza los tipos de nivel de punto, que marcan una altura determinada y los de nivel continuo que realizan el seguimiento del nivel en todo el sistema.

#### 1.10.2.1 Sensor de nivel capacitivo

Estos sensores eléctricos consisten en una sonda capacitiva insertada en el proceso, permiten controlar el nivel basándose en la modificación de la capacidad de un condensador cuando va variando el medio dieléctrico entre sus placas; la sonda y el recipiente equivalen a las dos placas de un capacitor y el líquido al medio dieléctrico, como se muestra en figura 23-1.



**Figura 23-1:** Sensor capacitivo

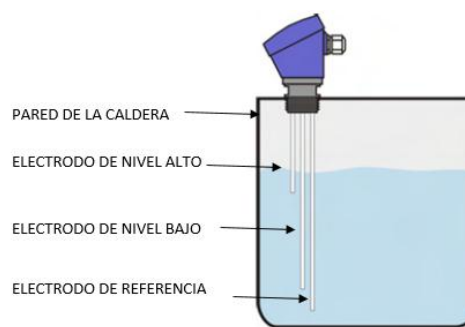
**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

**Fuente:** <http://medicioni2007.blogspot.com/>

Los cambios del nivel de líquido se registran a la salida como una señal analógica, la capacidad aumenta proporcionalmente con el nivel del tanque. La sonda consiste en un núcleo conductivo revestido por un material aislante, se construye a diferentes longitudes.

#### 1.10.2.2 Sensor de nivel conductivo

Estos sensores basan su funcionamiento en la conductividad, se usan para medir líquidos conductores de electricidad como son la mayoría de soluciones acuosas con sales, ácidos y álcalis. Consta de uno, dos o más electrodos que pueden marcar: un solo punto de referencia, un punto de nivel bajo o uno de nivel alto, como se observa en la figura 24-1.



**Figura 24-1:** Sensor conductivo

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

**Fuente:** [http://www.disibeint.com/web2010/suport/documents/doctec\\_002-c.pdf](http://www.disibeint.com/web2010/suport/documents/doctec_002-c.pdf)

Los electrodos insertados en el proceso actúan como un interruptor sencillo, indicando una baja resistencia a tierra si está en el agua, o una alta resistencia fuera del agua, además dispone de un electrodo de masa o de referencia que permite formar un circuito, es decir, al entrar en contacto con el líquido un electrodo de nivel alto o de nivel bajo cierra el circuito conjuntamente con el electrodo de masa, enviando esta señal a un relé eléctrico o electrónico que se abre o se cierra según sea la configuración. Este sensor está limitado físicamente por la longitud de los electrodos.

## 1.11 ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos que permiten operar un equipo, es decir, provocan un efecto sobre un sistema automatizado, mediante la orden de un controlador, a través de accionamientos hidráulicos, neumáticos o eléctricos que son transformados en señales capaces de suministrar fuerza, movimiento, una acción de llenado, de calentamiento, entre otras.

### 1.11.1 Electroválvulas

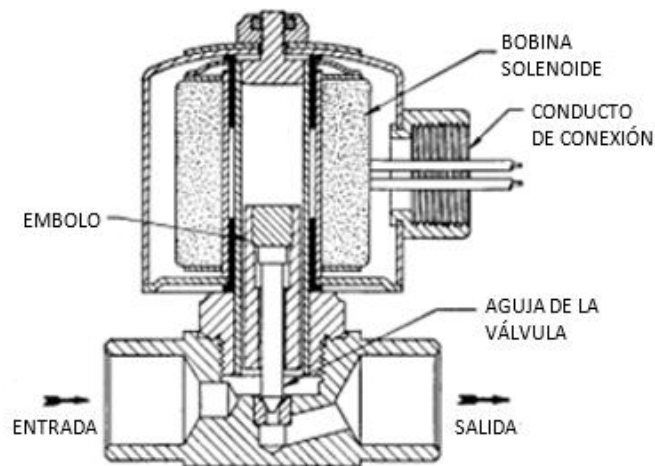
Las electroválvulas, figura 25-1, también conocidas como válvulas solenoides, son dispositivos compuestos de una parte mecánica y una parte eléctrica, se usan para controlar el paso de fluidos o gases; en lugares remotos, o en equipos que actúan automáticamente.



**Figura 25-1:** Electroválvula

Fuente: ROUND.STAR, <http://www.solenoidvalve.es/3-3-steam-solenoid-valve.html>

Al pasar corriente eléctrica a través de la bobina solenoide, se genera un campo electromagnético, que funciona como un electroimán, que atrae a un embolo móvil fabricado de metal ferroso, que permite el cierre o apertura de la válvula. La figura 26-1 muestra las partes de una electroválvula.



**Figura 26-1:** Partes válvula solenoide

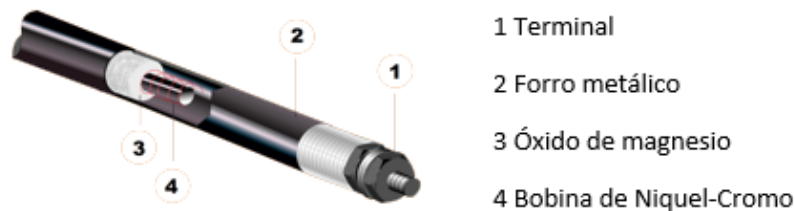
Fuente: <http://es.slideshare.net/ziklope/vlvulas-solenoides>

Las electroválvulas se pueden encontrar de 2, 3 o más vías, normalmente abiertas, NA o normalmente cerradas, NC. En las electroválvulas NC, cuando se activa la bobina, se permite la circulación del fluido. Cuando son NA, se produce su operación al contrario. Las electroválvulas, se construyen en latón, acero inoxidable y plástico y todas se consideran para aplicaciones de uso general, pero se deben considerar los requerimientos del proceso.

### 1.11.2 Resistencias calefactoras de inmersión

Las resistencias de calentamiento generan energía calorífica eléctricamente. Cuando circula corriente eléctrica por un conductor, se desprende calor por encontrar resistencia, este calor se cede por diversas formas de transferencia de calor.

Las resistencias calefactoras de inmersión se usan para calentar fluidos, que pueden ser agua, aceites, líquidos viscosos, entre otros, al entrar en contacto con ellos, por lo tanto, la transferencia de calor se realiza por convección. De esta forma el calor se produce en la parte interna del líquido con lo que se logra obtener una mayor eficiencia energética.



**Figura 27-1:** Partes de una Resistencia tipo tubular de inmersión.

Fuente: <http://www.kintel.com.mx/resistencias-tipo-tubular/>

En la figura 27-1 podemos observar la parte interna de una resistencia, las cuales se fabrican con un alambre de aleación de níquel y cromo aislado por óxido de magnesio a tubos o forros metálicos de materiales que se seleccionan de acuerdo al ambiente corrosivo al que va a ser expuesto, estos pueden ser: cobre, cuarzo, titanio, acero inoxidable, entre otros.



**Figura 28-1:** Resistencia tipo tubular de inmersión.

Fuente: <http://jcdresistencias.galeon.com/resist4.htm>

De acuerdo a su potencia estas resistencias de inmersión pueden tener uno o más elementos doblados en U o en espiral y debe permanecer sumergidas durante su funcionamiento, como se muestra en la figura 28-1.

## 1.12 COMPONENTES ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Estos dispositivos son interruptores automáticos comandados por tensión que permiten activar o desactivar los equipos de potencia del sistema; como por ejemplo: motores eléctricos, cargas de alumbrado, calentadores, entre otros.

### 1.12.1 Contactor

Es un instrumento que permite maniobrar cargas de grandes potencias conectadas en sus contactos principales, por medio de la activación y desactivación de una bobina. En diagramas eléctricos se representan generalmente con la letra K con la simbología mostrada en la figura 29-1.

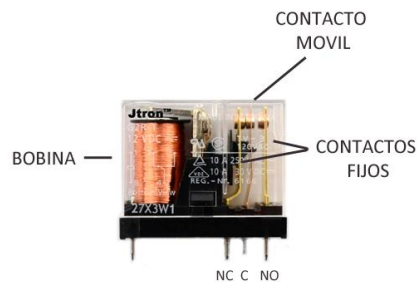


**Figura 29-1:** Contactor

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.htm>

### 1.12.2 Relé

El relé es un dispositivo electromecánico, que se activa al excitar la bobina con baja tensión provocando inducción magnética, que abre y cierra los contactos del relé debido a la aparición de una fuerza de atracción, en estos contactos, en donde se alimenta la carga. En la figura 30-1, se muestra las partes de un relé.

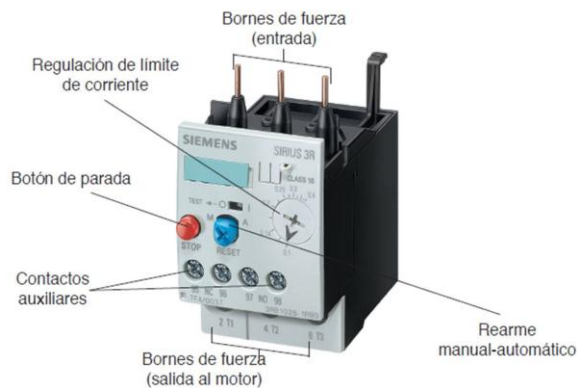


**Figura 30-1:** Relé

Fuente: <http://www.luisllamas.es/2016/07/arduino-salida-rele/>

### 1.12.3 Relé Térmico

Es un aparato diseñado para la protección de la carga, que se encuentre conectada en los bornes de fuerza de salida, contra: sobrecargas, fallo en alguna fase y diferencia de carga entre fases. Este instrumento permite la regulación de corriente, mediante una perilla, un botón parada para resetear la conexión, como se observa en la figura 31-1.



**Figura 31-1:** Relé térmico

Fuente: <https://automatismoindustrial.com/29-2/>

Si se produce una sobre intensidad, poseen bobinas calefactoras que accionan una lámina bimetálica, constituida por dos metales de diferente coeficiente de dilatación, que se deforma desplazando una placa de fibra, permitiendo la conmutación de los contactos. El relé térmico actúa en el circuito de mando, con dos contactos auxiliares y en el circuito de potencia, a través de sus tres contactos principales.

## 1.13 ELEMENTOS DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN

Los elementos de maniobra son dispositivos que nos permiten abrir o cerrar el circuito cuando lo necesitamos. Los elementos de señalización, muestran el estado normal o anormal del funcionamiento de un equipo.

### 1.13.1 Pulsador

Son aparatos de maniobra con cierto poder de corte, figura 32-1. Este dispositivo requiere que el usuario permanezca presionando para que los contactos se unan y se produzca el flujo de corriente, el dispositivo retoma su posición de reposo una vez que cesa la fuerza aplicada. En los



circuitos de control eléctrico son usados más a menudo como elementos de mando, que como elementos de maniobras.



**Figura 32-1:** Pulsador

Fuente: <https://adajusa.es/pulsadores-electricos-o22mm-plastico/>

### 1.13.2 Lámparas de señalización

Son dispositivos que emiten señales visuales perceptibles por el operador o usuario. Las lámparas de señalización son usadas como indicadores de que se han realizado ciertas acciones, se acompañan de elementos visuales que usan símbolos indicativos de las operaciones que se están realizando como: etiquetas o marcas.



**Figura 33-1:** Lámparas de señalización

Fuente: <http://electrocer.com/47-pilotos-y-senalizacion->

Las lámparas o pilotos de señalización se emplean en diferentes colores, como se muestra en la figura 33-1. Las de color rojo indican por lo general; parada del equipo o desconexión, paro de un ciclo o paro en caso de emergencia. Las de color verde indican marcha, aviso que la máquina está encendida.

## 1.14 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Son dispositivos que interrumpen la alimentación del circuito cuando se presenta una irregularidad en su funcionamiento, particularmente sobrecargas y cortocircuitos. Protege equipos, líneas y además el personal que opera dichos elementos.

### 1.14.1 Fusibles

Se instalan en la línea de alimentación, su función es la protección contra cortocircuitos en tiempos muy pequeños. Se encuentran formados por un filamento conductor el cual se encuentra calibrado para un máximo amperaje determinado, figura 34-1, cuando el valor de la intensidad eléctrica sobrepasa el máximo, el calor producido funde el filamento lo que interrumpe el paso de la corriente en el circuito.

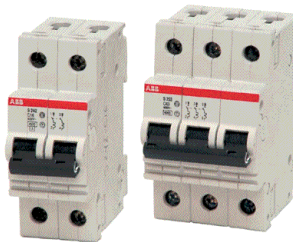


**Figura 34-1:** Fusibles

Fuente: <http://es.aliexpress.com/popular/ceramic-fuses.html>

### 1.14.2 Interruptor magnetotérmico

Son aparatos usados para la protección de los circuitos eléctricos, contra cortocircuitos y sobrecargas, figura 35-1. Cuando desconectan el circuito debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearman de nuevo y siguen funcionando. Está formado por un elemento térmico; lamina bimetálica, y uno magnético; una bobina.



**Figura 35-1:** Interruptor magnetotérmico

Fuente: <https://sstt.wikispaces.com/El+magnetot%C3%A9rmico>

## 1.15 CUADRO DE CONTROL

Los cuadros de maniobra y control tienen por función agrupar los distintos dispositivos eléctricos y electrónicos, interconectados eléctricamente a través de conductores, necesarios para realizar el mando de un equipo o proceso. Se fabrican en diferentes dimensiones; metálicos o de poliéster, tienen en su interior una placa extraíble donde se realiza la instalación.

### 1.15.1 Conductores

Un conductor eléctrico es un elemento que permite el paso del flujo de corriente o de cargas eléctricas en movimiento. Existen múltiples tipos de conductores en el mercado, figura 36-1.



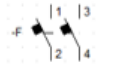

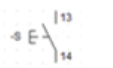

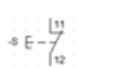

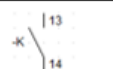

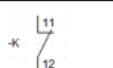

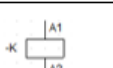

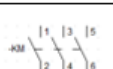



**Figura 36-1:** Conductor

Fuente: <http://www.sumalux.com.ar/calidad.html>

### 1.15.2 Simbología eléctrica

Cuando se diseñan automatismos, se realizan esquemas de conexión, generalmente de: potencia o fuerza y el de circuito de maniobra. Estos esquemas utilizan símbolos normalizados, para que puedan ser interpretados por cualquier técnico. A continuación en la figura 37-1 se recoge algunos símbolos de elementos de una automatización.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	FUSIBLE		CONDUCTOR
	AUTOMÁTICO		FUENTE DE ALIMENTACIÓN
	PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO		TERMINAL
	PULSADOR NORMALMENTE CERRADO		UNIÓN PUNTO DE CONEXIÓN
	CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO		RESISTENCIA
	CONTACTO NORMALMENTE CERRADO		PILOTO DE SEÑALIZACIÓN
	ELEMENTO DE MANDO (BOBINA)		ELECTROVÁLVULA (BOBINA)
	CONTACTOS PRINCIPALES DE CONTACTOR TRIFÁSICO		RELÉ TÉRMICO

**Figura 37-1:** Simbología eléctrica

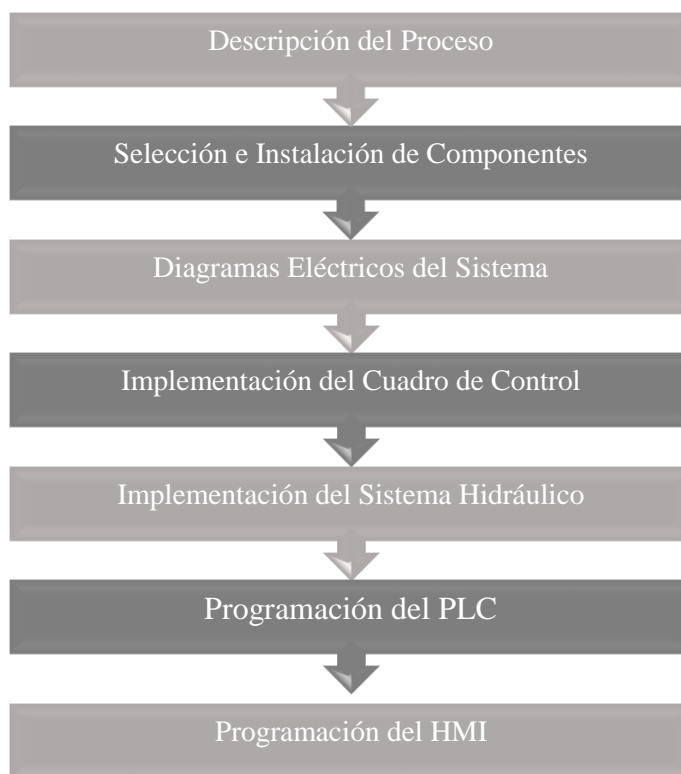
Realizado por: Robalino, 2017

Fuente: <https://electronicabooks.wikispaces.com/file/view/simbologia+electronica+y+automatizacion.pdf>

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

El capítulo expone el diseño y la implementación de los diagramas eléctricos, la programación del PLC y del HMI, así como también la selección e instalación de cada uno de los elementos que forman parte del sistema automatizado. Aplica una metodología experimental, a partir del uso de métodos mixtos, para obtener resultados cuantitativos y cualitativos. A continuación en el gráfico 1-2, muestra las etapas, para alcanzar estos objetivos.



**Gráfico 1-2.** Etapas del diseño e implementación del purificador de agua

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Utiliza la técnica de experimentación y observación, para registrar información de prácticas en el laboratorio; la técnica de análisis de contenido, para elaborar informes, cuadros y gráficos; y la técnica de estudio de casos para comparar dispositivos.

## 2.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PURIFICADOR DE AGUA

El diseño y la implementación del sistema automatizado para el control del equipo purificador de agua FC-L.PIN-22 se realizó en la ciudad de Riobamba en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la panamericana sur Km 1 1/2 en la Facultad de Ciencias, en la Escuela de Ingeniería Química, en el Laboratorio de Procesos Industriales, figura 1-2.



**Figura 1-2.** Laboratorio de procesos industriales

Fuente: Andrea Robalino, 2017

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El sistema consiste en someter al proceso de destilación por termocompresión, agua potable de la red de abastecimiento del laboratorio, para obtener agua purificada o destilada, como se observa en el gráfico 2-2.



**Gráfico 2-2.** Descripción del sistema de purificación de agua

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

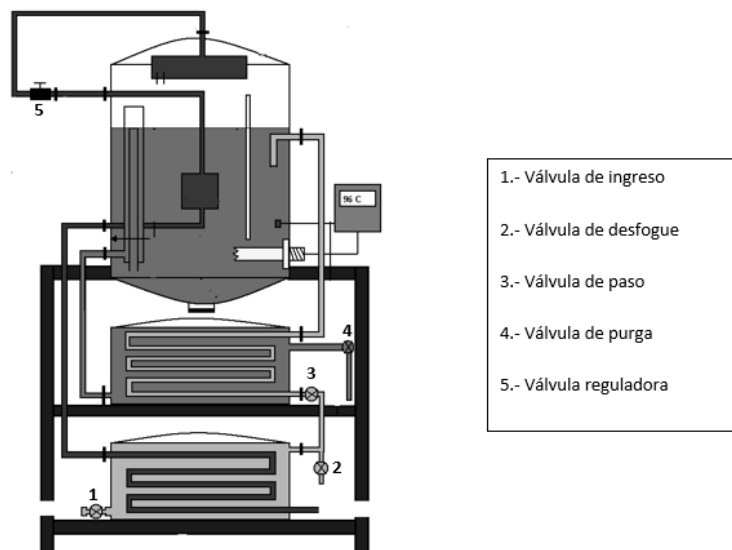
Este proceso empieza su funcionamiento con el llenado, se inunda primero el tanque de condensación luego el de precalentamiento y finalmente el de ebullición hasta un nivel máximo de operación, se establece un nivel mínimo por encima de las resistencias de inmersión. Se calienta el agua, estableciendo la operación de vaporización; calentamiento y evaporación, lo que da lugar a la destilación del agua. El agua residual de la operación de destilación debe ser descargada del equipo.

## 2.3 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES

Una vez analizado el proceso, se seleccionan los componentes del equipo para implementar el sistema automatizado. Se estudia las opciones más aceptables y óptimas, considerando sus características y costos. A continuación se describen estos componentes y su proceso de selección.

### 2.3.1 *Electroválvulas*

En la figura 2-2, se observa las válvulas del equipo. La válvula de ingreso y de desfogue es reemplazada por electroválvulas, para controlar la alimentación y desfogue de agua.



**Figura 2-2.** Válvulas del equipo

**Fuente:** Checa L., Moina H., 2010.

Para seleccionar las electroválvulas se considera los parámetros, descritos en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2.** Parámetros de selección de la electroválvula.

Parámetros	Indicadores
Fluido	Agua
Presión	2 a 3 Bares
Temperatura del Agua	17°C – 90°C
Diámetro del Orificio	½"

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

En la tabla 2-2, se compara dos tipos de electroválvulas para agua, que cumplen con los parámetros anteriores y pueden ser implementadas en el equipo de destilación. La principal diferencia entre ambas es el material con el que están construidas.

**Tabla 2-2.** Comparación de electroválvulas para agua.

Características	Electroválvula De Bronce	Electroválvula De Plástico
Alimentación	110 VAC	110 VAC
Temperatura Máxima	150°C	95°C
Orificio	½"	½"
Precio	63,00	15,00

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Se seleccionó la electroválvula de cuerpo de plástico, figura 3-2, que cumple con los parámetros expuesto. Es de marca ORIGEN, su modo de operación es normalmente cerrado, lo que impide el paso del líquido cuando esta desactivada la bobina, es de 2 vías de ½", una vía es roscada para acoplar a las tuberías del equipo y la otra vía es para conectarse a una manguera. Por último son más económicas.

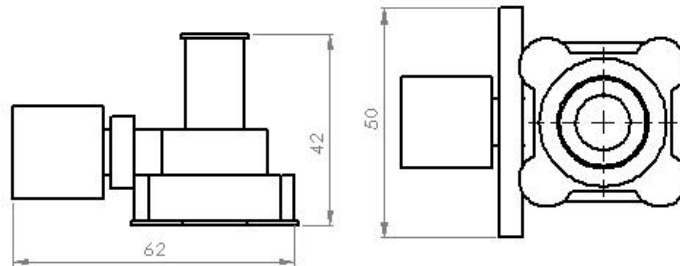


**Figura 3-2.** Electroválvula para agua 110 Vac ½"

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Características:

- Alimentación 110Vac 60Hz
- Potencia de consumo 10W
- Dimensiones 70mm x 62mm cuerpo y solenoide, figura 4-2.



**Figura 4-2:** Dimensiones del cuerpo de la válvula

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

#### 2.3.1.1 Instalación de electroválvulas

Las electroválvulas se unen al equipo por medio de uniones de ½", ubicados en la tubería del equipo, como se muestra en la figura 5-2.



**Figura 5-2:** Instalación de electroválvulas

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

#### 2.3.2 Resistencia de Inmersión

El equipo calienta el agua por medio de 2 resistencias de inmersión de 1200W de potencia cada una, que sumadas dan 2400W. Están acopladas por una capa de cerámica soldada al tanque de ebullición, como se observa en la figura 6-2.





**Figura 6-2:** Capa de cerámica soldada al tanque de ebullición

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Estas resistencias no funcionan, figura 7-2, la instalación al tanque está en mal estado y no permite el reemplazo del dispositivo de una manera fácil. Por lo tanto, se selecciona otra, usando los principios de transferencia de calor y las condiciones de trabajo del equipo.



**Figura 7-2:** Resistencias de inmersión de 1200W

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

En la tabla 3-2, se describe los parámetros, para realizar el cálculo de la potencia para la resistencia de inmersión. Y a continuación se realiza el cálculo.

**Tabla 3-2.** Parámetros para dimensionar la resistencia.

Parámetros	Indicador
Volumen de trabajo	35 litros
Tiempo de calentamiento	3600 seg
Temperatura inicial	17°C
Temperatura final	88°C

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### **Ecuación 1-2: Ecuación de la densidad del agua**

$$\rho = m * v$$

#### **Donde:**

$\rho$  : Densidad del agua

$m$ : Masa del agua

$v$ : Volumen del agua

De la ecuación 1-2, despeja la masa del agua, obteniendo:

### **Ecuación 2-2: Ecuación de la masa del agua**

$$m = \rho * v$$

#### **Cálculo**

$\rho$ : 0,99865 g/mL; a 17°C

$v$ : 35 L = 35000mL

$$m = \rho * v$$

$$m = 0,99865g/mL * 35000 mL$$

$$m = 34952,75g$$

### **Ecuación 3-2: Ecuación de la energía calorífica**

$$Q = mc\Delta T$$

#### **Donde:**

$Q$  : Energía calorífica

$m$ : Masa del agua

$c$ : Calor específico del agua

$\Delta T$ : Variación de temperatura

#### **Cálculo**

$m$ : 34952,75g

$c$ : 4,186J/g°C

$\Delta T$ : 17 a 88°C

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 34952,75g * 4,186J/g\text{ }^{\circ}C * (88^{\circ}C - 17^{\circ}C)$$

$$Q = 10388167,0165J$$

#### **Ecuación 4-2: Ecuación de la potencia**

$$P = Q/t$$

**Donde:**

**P:** Potencia

**Q:** Energía calorífica

**t:** Tiempo

Finalmente la potencia necesaria para calentar el líquido en una hora que equivale a 3600 segundos, se calcula por medio de la ecuación 4-2.

#### **Cálculo**

$$Q: 10388167,0165J$$

$$t: 3600 \text{ seg}$$

$$P = Q/t$$

$$P = 10388167,0165 J/3600s$$

$$P = 2885,60 W$$

Como no existen resistencias en este valor se considera dos opciones presentes en el mercado, descritas en la tabla 4-2.

**Tabla 4-2.** Comparación de las resistencias de inmersión

<b>Características</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>
Potencia	1500W	3000W
Acople	Por Pernos	Por Pernos
Tipo	Tubular	Tubular
Precio	19,00 c/u	27,00

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

En la primera opción con lleva usar dos resistencias de inmersión, el precio es mayor y su instalación utiliza más espacio en el tanque. Así que, se escogió la segunda opción con una sola resistencia, figura 8-2, que permite acoplar este dispositivo por medio de una brida y pernos, quedando herméticamente sellado el tanque y permitiendo su fácil reemplazo en caso de daños.

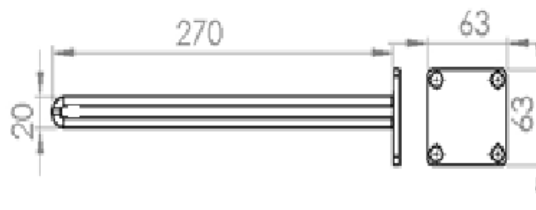


**Figura 8-2:** Resistencia de inmersión de 3000W

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

Características:

- Resistencia de inmersión tipo tubular
- Potencia 3000W
- Alimentación 220Vac 60Hz
- Acople por medio brida y pernos
- Dimensiones 270mm, figura 9-2

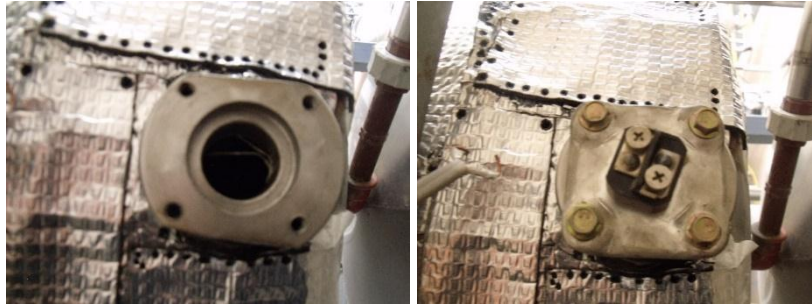


**Figura 9-2:** Dimensiones de la resistencia de inmersión.

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

#### 2.3.2.1 Instalación de la resistencia de inmersión

La resistencia de inmersión esta acoplada por medio de una brida cuadrada de 1" ¼ soldada en la parte posterior del tanque de ebullición, figura 10-2 izquierda, la cual se ajusta con pernos a la brida de la resistencia, conjuntamente con un empaque que permite el sello hermético del tanque, figura 2-9 derecha. De esta manera, la alimentación de la resistencia queda completamente aislada de la humedad y en caso de daños se puede reemplazar fácilmente el dispositivo.



**Figura 10-2:** Instalación de la resistencia

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.3.3 *Sensor de nivel*

El equipo posee un visor de nivel en la cámara de ebullición, figura 11-2. Tiene dos válvulas que al estar completamente abiertas o completamente cerradas, no permiten el paso de líquido al tubo. Para poder visualizar el nivel de agua la válvula inferior debe estar abierta en un punto intermedio.



**Figura 11-2:** Visor de nivel

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Cuando un operador manipula estas válvulas incorrectamente, el visor muestra un nivel erróneo, lo que puede provocar desbordamiento, produciendo daños en el equipo y en el operador. En la figura 12-2, se muestra el instante de un cortocircuito ocasionado por este problema.



**Figura 12-2:** Cortocircuito provocado por el desbordamiento de agua

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

En la tabla 5-2 se muestra los requerimientos para seleccionar el sensor de nivel, que permita conocer cuando se alcanza el nivel óptimo de operación, enviando una señal al controlador.

**Tabla 5-2.** Parámetros de selección del sensor de nivel.

Parámetros	Indicadores
Temperatura Máxima.	95°C
Ambiente	Corrosivo
Partes	Fijas

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Se considera dos sensores de nivel, en la tabla 6-2, usados en calderas y que cumplen con los parámetros antes descritos, donde su principal diferencia se basa en su principio de medición del líquido.

**Tabla 6-2.** Comparación de los sensores de nivel

Características	Sensor De Nivel Capacitivo	Sensor De Nivel Conductivo
Tipo	Sonda	Electrodos
Rango	350 Mm	Ajustable
Temperatura	-30°C ~ 125°C	-30°C ~ 125°C
Precio	35,00	30,00

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Se escoge al sensor conductivo por su fácil adquisición en el mercado. Consiste en la utilización de electrodos que permiten ser adaptados a medida, estableciendo un nivel bajo y alto, funciona como interruptor que se activa o desactiva por medio del agua y un electrodo de masa.

Este sensor de marca CAMSCO, figura 13-2, cuenta con tres partes que son: porta electodos que permite el acople del dispositivo al tanque; electodos que son varillas de acero inoxidable cortadas a la medida y de un contactor de 8 pines que es ubicado en el cuadro de control.

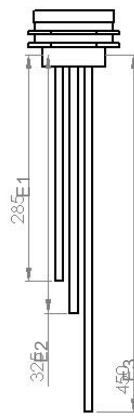


**Figura 13-2:** Sensor C-AFR1/220Vac

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Características:

- Modelo C-AFR1/220Vac
- Detector de nivel electrónico de 5A, 220Vac
- Porta electodos de plástico roscado
- Electodos de acero inoxidable tipo varilla
- Dimensiones de electodos ajustables: nivel alto 285mm (E1), nivel bajo 325mm (E2), electrodo de referencia 450mm (E3), figura 14-2.

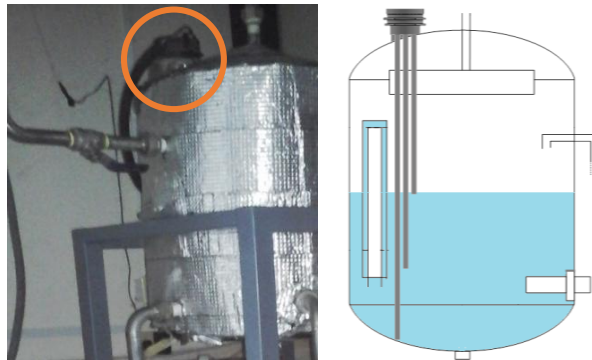


**Figura 14-2:** Electodos del sensor de nivel

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.3.3.1 Instalación del sensor de nivel

El porta electrodos se instala por un acople de rosca de 2" soldado en el tanque de ebullición, de esta manera los electrodos entran en línea recta, figura 15-2. El dispositivo se remueve fácilmente, en caso de cambios. La señal del sensor se envía por medio de tres cables, conectados a los electrodos E1, E2 y E3, conectados en los bornes del relé de nivel, ubicado en el cuadro de control. El contacto normalmente abierto se conecta en la entrada del PLC entre los bornes 6 y 8.



**Figura 15-2:** Instalación del sensor de nivel

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.3.4 Sensor de temperatura

El equipo tenía una Termocupla, figura 16-2, ubicada en la parte posterior del tanque de ebullición, monitoreaba la temperatura por medio de un controlador automático de temperatura, que activaba la resistencia de inmersión a través de un contactor.

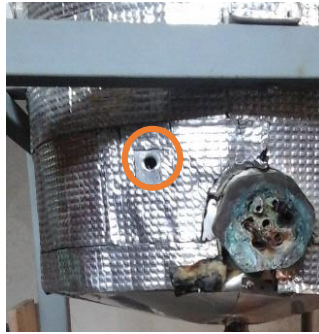


**Figura 16-2:** Termocupla del equipo

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

La Termocupla se encontraba en mal estado al momento de las pruebas en el laboratorio, además no disponía de un modo de acople fijo y seguro al equipo, como se observa en la figura 17-2.





**Figura 17-2:** Acople de la termocupla

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

En la tabla 7-2 se describe los parámetros para la selección del sensor de temperatura, que permita monitorear y controlar la temperatura, a través del controlador.

**Tabla 7-2.** Parámetros de selección del sensor de temperatura

Parámetros	Indicadores
Rango	16°C ~ 100°C
Ambiente	Corrosivo
Acople	Rosca ½", Npt

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

En la tabla 8-2, se considera los dispositivos existentes en el mercado que cumplen con los parámetros antes expuesto.

**Tabla 8-2.** Comparación de los sensores de temperatura

Características	Termocupla Tipo K	Termocupla Tipo J	Pt-100
Rango	0°-450°C	0°C-600°C	0°C-300°C
Protección	Ip 65	Ip 65	Ip 65
Precio	22,98	20,05	57,45

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

El sensor de temperatura que se escogió fue una PT-100 modelo C105B, figura 18-2, la cual a pesar de ser más costosa cumple con los requerimientos del proceso, además ofrece más confiabilidad en la caldera donde la medición de temperatura debe ser muy precisa, puesto que las termocuplas miden diferencias de potencial y no temperatura absoluta.

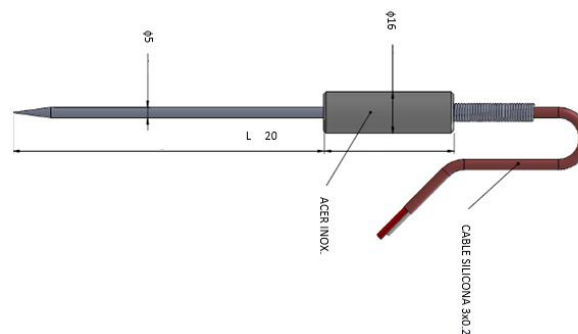


**Figura 18-2:** Termocupla c/resorte tipo PT-100, C105B

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

Características:

- Rango de temperatura de 0°C a 300°C
- Rango de trabajo saturado de 325°C
- RTD de tres hilos
- Punta de medición fija
- Material de bulbo de acero inoxidable
- Acople al sistema por medio de rosca ½" NPT
- Dimensiones Ø5mm/200mm, cable 2mt, figura 19-2

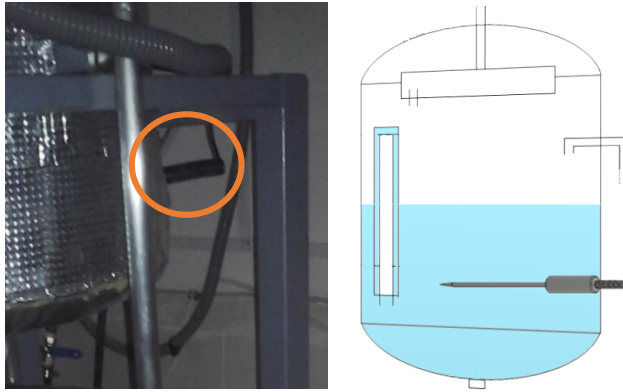


**Figura 19-2:** Sonda PT-100 recta

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

#### 2.3.4.1 Instalación del sensor de temperatura

El sensor de temperatura se instaló por medio de un acople roscado de ½" NPT, figura 20-2, para permitir el sello hermético al tanque de ebullición y su fácil remoción en caso de daños. La PT-100 tiene un cable de 2 metros que llega al cuadro de control que se conecta en el canal 2 de la tarjeta de extensión XP-2AD2PT-BD insertada en el PLC. Como la PT-100 es de tres hilos dos terminales se conectan en un mismo borne. Para saber cuáles unir se debe medir la resistencia entre los terminales y dar como resultado 0 ohm.



**Figura 20-2:** Instalación de la PT-100

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.3.5 Relés y contactores

El accionamiento automático de cada uno de los componentes se realiza por medio de relés y contactor, activados mediante salidas del controlador. En la tabla 9-2 se describe el consumo de los dispositivos.

**Tabla 9-2.** Consumo potencia de los dispositivos.

Dispositivo	Consumo
Electroválvula 1	100 W, 110 Vac
Electroválvula 2	100 W, 110 Vac
Resistencia De Inmersión	3000 W, 220 Vac
Indicadores luminosos	110 Vac

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Para activar cargas pequeñas, se escogió tres relés de 110Vac 5A. La activación de la resistencia de inmersión se realiza por medio de un contactor trifásico de 220Vac 18A y un relé térmico de 220Vac, que regula de 12 a 18A, para proteger la resistencia de sobrecarga, figura 21-2.



**Figura 21-2:** Contactor de 18A, relé térmico de 12 a 18A y relé de 10A.

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Características de los relés:

- Relays encapsulados de 8 pines planos
- Marca CAMSCO, serie MY
- Voltaje de 110 Vac, Cargas resistivas 5A e inductivas 3A
- Contactos conmutados: 2 NA y 2 NC
- Base para relay MY, 8 pines planos

Características del contactor:

- Contactor de fuerza 18A, 5HP, 220VAC
- Marca Metasol, modelo G MC-18b LS
- Contactos: 1 NA y 1 NC

Características del relé térmico:

- Relé térmico diferencial GTK-22 LS
- Regulación de 12 a 18 A
- Contactos: 1 NA y 1 NC

### 2.3.6 Fuente de 24 Vdc

Se seleccionó una fuente LP1025D-24S marca MiWi, figura 22-2, para la alimentación del PLC, es de bajo costo y su tamaño permite ahorrar espacio en el cuadro de control.

Características.

- Fuente de 24Vdc, 1.0A



**Figura 22-2:** Fuente de 24Vdc

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.3.7 PLC y HMI

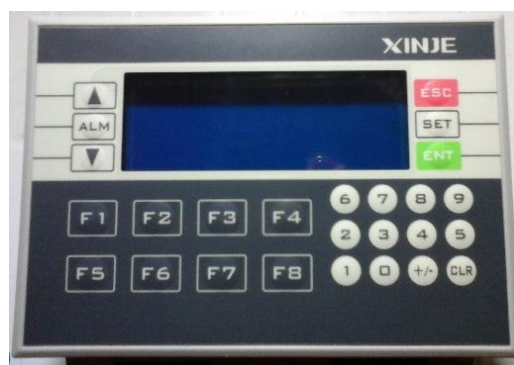
El controlador permite activar las salidas, medir los valores de nivel y temperatura del equipo. Para seleccionar el PLC se establece las entradas y salidas del sistema, descritas en la tabla 10-2.

**Tabla 10-2.** Entradas y Salidas del sistema

Entradas	Salidas
Pulsador NA	Inicio/ Paro
Pulsador NC	Llenado
Sensor de nivel	Desfogue
Sensor de temperatura	Calentamiento

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Se escogió el PLC XINJE XP3-18R, figura 23-2, que es un controlador lógico programable de la compañía *Xinje Electronic*, pertenece a la serie de PLC y HMI integrados, consta de 10 entradas digitales con aislamiento de acoplamiento óptico con fuente interna de 24 Vdc para alimentarlas y 8 salidas digitales de relé con dos niveles de conexión de tensión.



**Figura 23-2:** PLC XP3-18R

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Su selección se basa en que el proceso no es muy extenso y no requiere de un gran número de entradas y salidas, al tener integrada una pantalla monocromática permite al operador interactuar con el proceso, a través de 26 teclas de función y visualizar datos de la operación. Aunque este tipo de pantallas ya no son muy utilizadas son útiles en procesos pequeños y su costo es bajo.

Características:

Eléctricas.

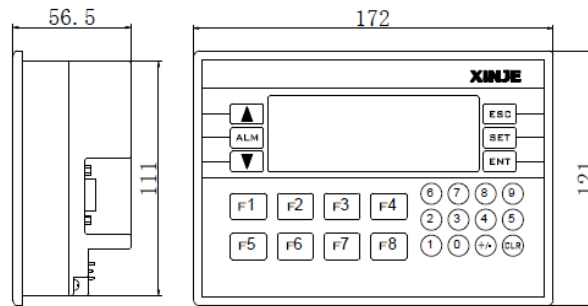
- Tensión de alimentación 24Vdc
- Potencia de consumo menos de 10W

Ambiente.

- Temperatura de operación de 0°C a 50°C
- Protección IP20
- Modo de enfriamiento: aire natural

Estructura.

- Diseño compacto, dimensiones 172 x 121 x 56,5 mm, figura 24-2



**Figura 24-2:** Dimensiones PLC XP3-18R

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

HMI.

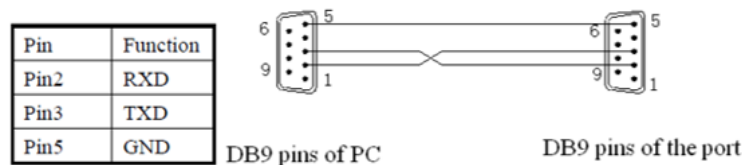
- Área del LCD: 192 \* 64 píxeles, fondo color azul.
- Dimensiones de pantalla 3,7 pulgadas,
- Vida útil por encima 20000 horas a 25°C por 24 horas de operación
- Cuenta con 26 teclas de función

PLC.

- Lenguaje de programación estructurado y en lenguaje *Ladder*
- Dispone de 10 entradas y 8 salidas digitales
- Permite módulo de extensión analógica BD

Puerto

- Puerto de descarga RS-232, figura 25-2
- Puerto de descarga Multi - funcional: descarga el programa del PLC y HMI con el mismo cable.



**Figura 25-2:** Conexión puerto de programación

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

### 2.3.8 Tarjeta de lectura de temperatura y entradas analógicas

El módulo de extensión analógica XC-2AD2PT-BD, figura 26-2, se utiliza para el acondicionamiento de la entrada analógica enviada por el PT-100 ubicado en el tanque de ebullición, de esta manera la señal es linealizada por el PLC.

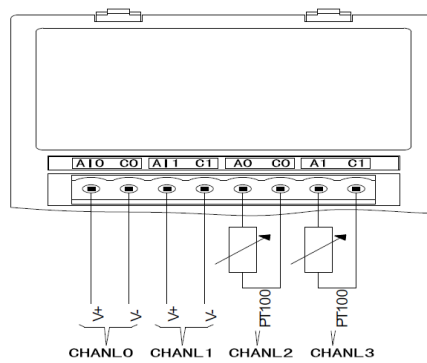


**Figura 26-2:** Tarjeta XC-2AD2PT-BD

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### Características Generales

- 2 canales de entradas analógicas, con voltaje de entrada DC de 0~5V y 0~10V
- 2 canales de medición de temperatura PT-100 de dos hilos, figura 27-2

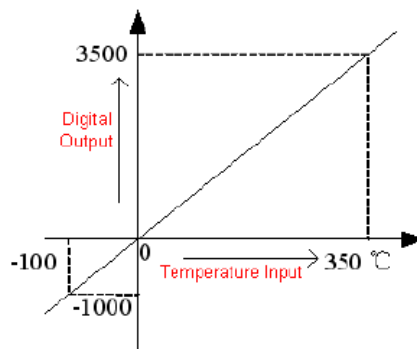


**Figura 27-2:** Conexión de XC-2AD2PT-BD.

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

### Entrada de temperatura (PT-100)

- Rango de temperatura de -100°C hasta 350°C.
- Rango de salida digital de -1000 ~ 3500, figura 28-2
- Valor de salida PID 0~K4095



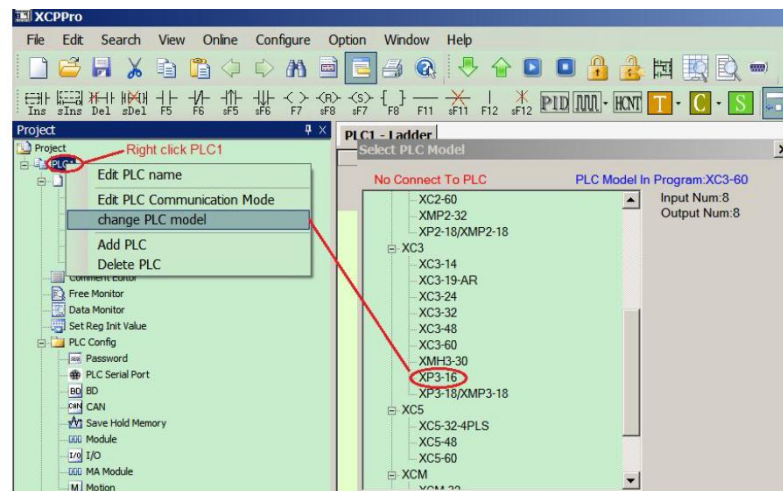
**Figura 28-2:** Salida digital del PT-100

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

### 2.3.9 Software XCPpro

XCPpro versión 3.3j es el software sobre el cual se realiza la programación del PLC XINJE XP3-18R, puede programar en dos modos: programa en lenguaje ladder (LD) o lenguaje de texto estructurado (ST), figura 29-2.

Es un software de acceso público, puede ser descargado desde la página de XINJE, lo que presenta una ventaja para realizar modificaciones en el programa de usuario. Es compatible con las plataformas de Windows.



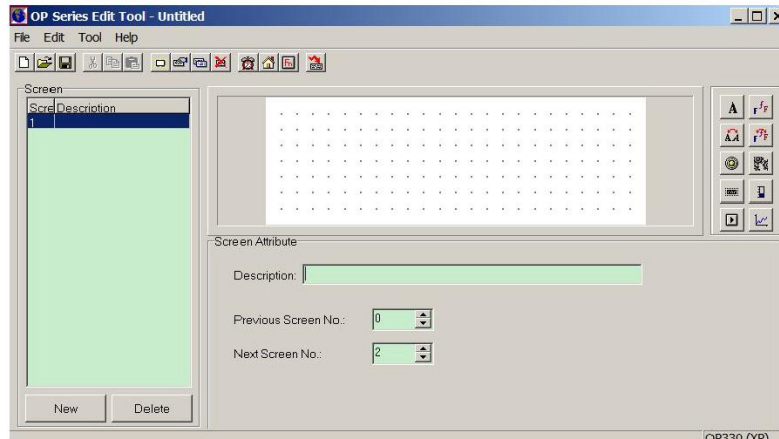
**Figura 29-2:** Software XCPpro

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

### 2.3.10 Software OP20

La programación del HMI es realizada a través del software OP20 versión 6.5. Este software es fácil de entender y programar, pues ofrece herramientas gráficas, figura 30-2, la lectura y manipulación de las entradas y salidas se realiza directamente del PLC. Los proyectos de OP se realizan por múltiples pantallas, desplazándose entre ellas por botones. Al igual que el XCPpro se puede descargar fácilmente de la página de XINJE y es compatible con la plataforma de Windows.





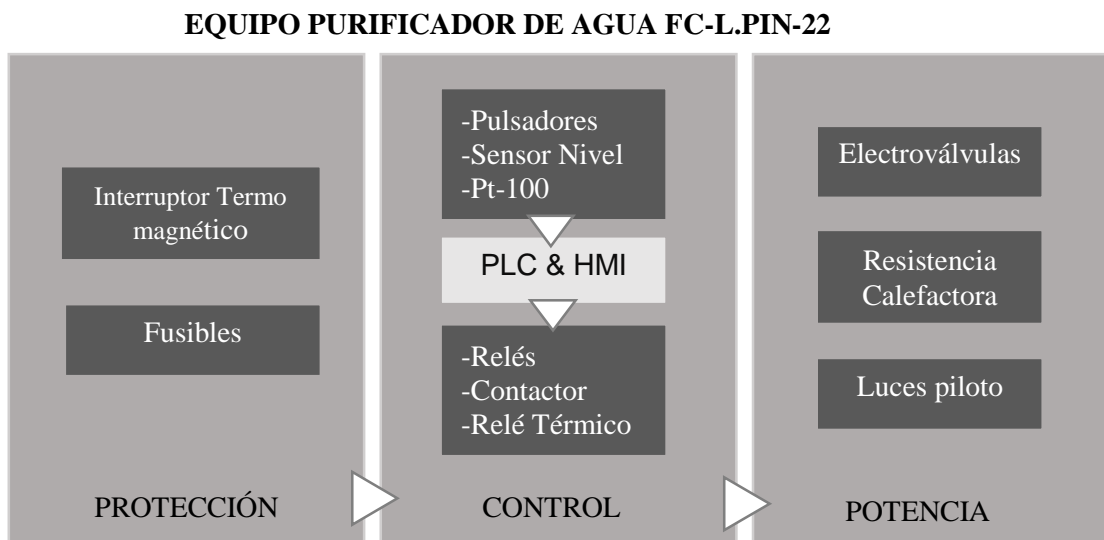
**Figura 30-2:** Software OP20

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

## 2.4 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA

Una vez estudiadas las características de los componentes del sistema, se establece los diagramas eléctricos que son de: protección, control y potencia, realizados en el software CADE SIMU 1.0.

A continuación en el gráfico 3-2 se observa las etapas con sus componentes, que forman parte de la estructura eléctrica de la máquina.



**Gráfico 3-2.** Descripción eléctrica del purificador de agua

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.4.1 Diagrama de protecciones

El sistema se alimenta con 220Vac que se dividen a todo el proceso; trabaja con diferentes niveles de tensión: 24Vdc, 110Vac y 220Vac. En la tabla 11-2, se describe los valores del breaker y los fusibles, que protegen contra sobrecarga la alimentación de las salidas, líneas de control y el PLC.

**Tabla 11-2.** Valores de breaker y fusibles.

Dispositivo	Amperaje	Fusible
Fuerza	13,64 A	25 A
COM	16 A	16 A
Salidas	2,72 A	5 A
Control	0,091 A	1 A
PLC	0,091 A	1 A

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

El cálculo de la corriente de protección, para usar fusibles se realiza a continuación mediante la siguiente ecuación.

#### Ecuación 5-2: Ecuación para corriente de protección para fusibles

$$I_f = k \times I_n$$

Donde

$I_f$ : Corriente de protección

$k$ : Constante de protección,  $k=1,8$

$I_n$ : Corriente nominal

- PLC

**Cálculos**

$P= 10W$

$V= 110Vac$

$$I_n = P/V$$

$$I_n = 10/110$$

$$I_n = 0,091 A$$

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1.8 \times 0,091$$

$$I_f = 0,1638 A$$

- Resistencia de Inmersión

**Cálculos**

$$P= 3000W$$

$$V= 220Vac$$

$$I_n = P/V$$

$$I_n = 3000/220$$

$$I_n = 13,64 A$$

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1.8 \times 13,64$$

$$I_f = 24,55 A$$

- Salidas

**Cálculos**

$$P= 300W$$

$$V= 110Vac$$

$$I_n = P/V$$

$$I_n = 300/110$$

$$I_n = 2,72 A$$

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1.8 \times 2,72$$

$$I_f = 4,90 A$$

- Control

**Cálculos**

$$P= 10W$$

$$V= 110Vac$$

$$I_n = P/V$$

$$I_n = 10/110$$

$$I_n = 0,091 A$$

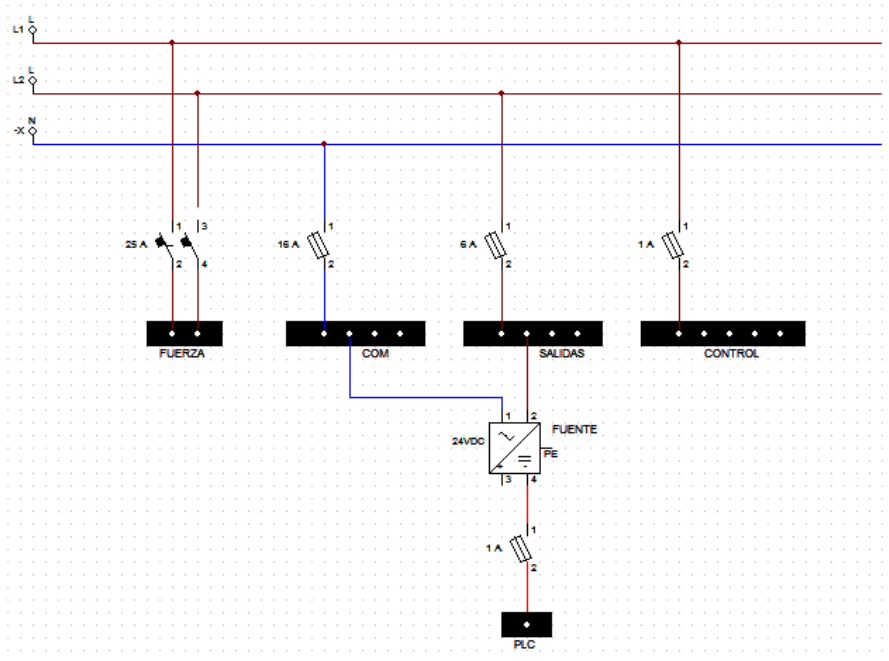
$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1.8 \times 0,091$$

$$I_f = 0,1638 A$$

El breaker de 25A es termomagnético, elegido porque posee tres sistemas de desconexión de forma manual, térmico y magnético, es de dos polos para la fase 1 y la fase 2, curva de desconexión tipo C, montaje Riel DIN; mientras que los fusibles son cilíndricos de cerámica tipo gG que es para protección contra sobrecargas cuenta con una base de montaje Riel DIN.

En la figura 31-2, se observa el diagrama eléctrico de protecciones, que muestra la conexión del breaker y los fusibles, asignados a la protección del circuito eléctrico del equipo.



**Figura 31-2:** Diagrama eléctrico de protecciones

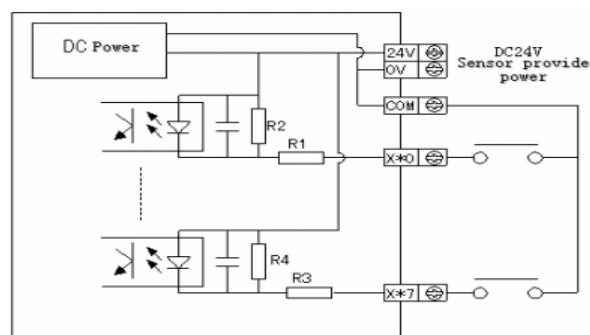
Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.4.2 Diagrama de control

El diagrama de control considera las conexiones de entradas y salidas al controlador.

- Entradas del PLC

En la figura 32-2 se observa la conexión de entradas al PLC, que se alimentan a 24Vdc, de acuerdo al manual de usuario, el sensor PT-100 se conecta a la tarjeta de extensión analógica.



**Figura 32-2:** Conexión de entradas al PLC

Fuente: www.xinje.com

En la tabla 12-2 se muestra las entradas y los dispositivos que realizan las mediciones y mandos del proceso.

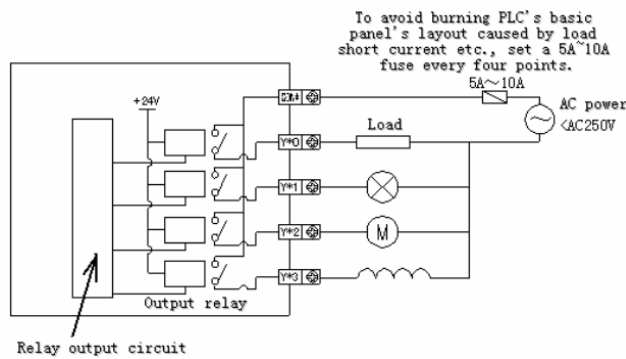
**Tabla 12-2.** Entradas del controlador.

Entradas	Dispositivo
Sensor de Nivel	Rele C-Afr1
Sensor de Temperatura	Pt-100 C-105b
Pulsador Na	Pulsador Verde
Pulsador Nc	Pulsador Rojo

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

- Salidas del PLC

En la figura 33-2 se observa la conexión de salidas por relé al PLC de acuerdo al manual de usuario, poseen dos comunes, es decir, pueden alimentarse con dos niveles de tensión diferentes, en este caso 110 Vac y 220 Vac.



**Figura 33-2:** Ejemplo de conexión de salidas al PLC

Fuente: www.xinje.com

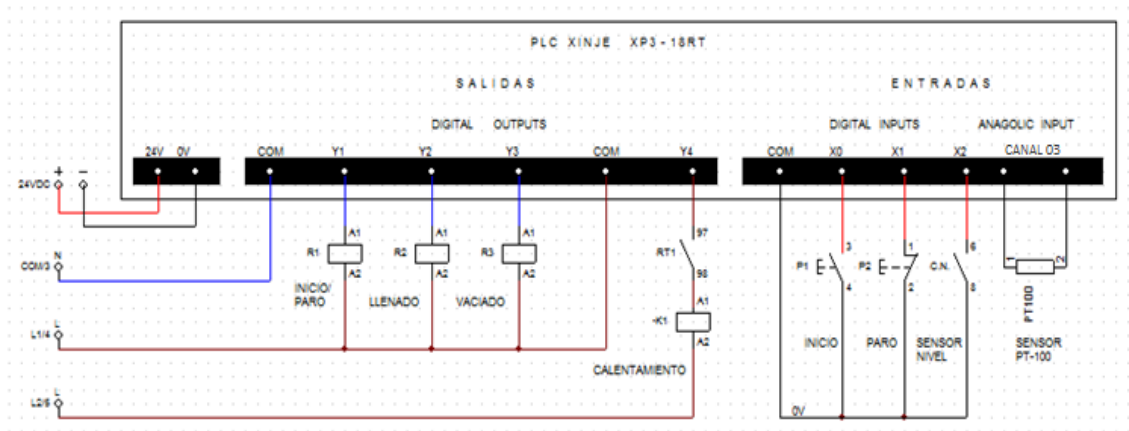
En la tabla 13-2 se describe los dispositivos de accionamiento de las salidas del proceso.

**Tabla 13-2.** Salidas del controlador.

Salidas	Dispositivo	Accionamiento
Inicio/Paro	Relé 1 (R1)	Bobina 110Vac
Llenado	Relé 2 (R2)	Bobina 110Vac
Descarga	Relé 3 (R3)	Bobina 110Vac
Calentamiento	Relé Térmico 1 (RT1)	Contacto NA
	Contactador 1 (K1)	Bobina 220Vac

Realizado por: Robalino, 2017

Se considera las especificaciones y las variables del proceso en el diagrama eléctrico de control del PLC, figura 34-2.



**Figura 34-2:** Diagrama eléctrico de Control

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.4.3 Diagrama de potencia

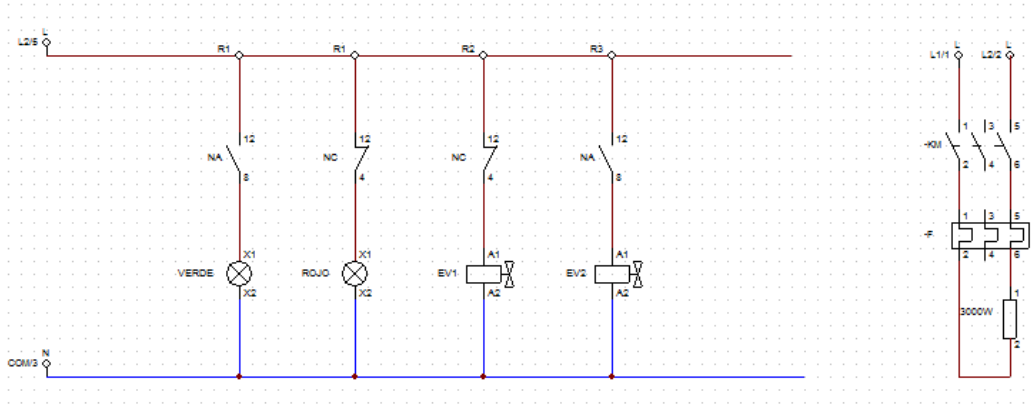
Este diagrama representa el circuito de alimentación de los accionadores del sistema, a continuación en la tabla 14-2, se describe los actuadores y los contactos principales.

**Tabla 14-2.** Actuadores del proceso.

Dispositivo	Voltaje	Contacto
Indicador Verde	110Vac	Contacto NA
Indicador Rojo	110Vac	Contacto NC
Electroválvula 1 (Ev1)	110Vac	Contacto NC
Electroválvula 2 (Ev2)	110Vac	Contacto NA
Resistencia De Inmersión	220Vac	Contacto NC

Realizado por: Robalino, 2017

De acuerdo a la alimentación de estos estos elementos se realiza el diagrama de potencia del sistema que se describe a continuación en la figura 35-2.



**Figura 35-2:** Diagrama eléctrico de Potencia

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

## 2.5 IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

De acuerdo a los componentes de protección, mando y potencia, se realiza el montaje eléctrico. A continuación se describe los conductores usados y la implementación del cuadro de control.

### 2.5.1 Conductores

En la tabla 15-2 se describe los conductores utilizados en los dispositivos y líneas del proceso.

**Tabla 15-2.** Actuadores del proceso.

Equipo	Corriente	Calibre AWG
Fuente	1A	16 AWG
PLC	0,091A	16 AWG
Electroválvulas	0,9A	14 AWG
Resistencia de inmersión	13,64A	10 AWG
Luces	45 mA	16 AWG
Líneas de control	0,091A	16 AWG

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.5.2 Tablero de control

El tablero de control se seleccionó de acuerdo al tamaño de los componentes eléctricos, descritos en la tabla 16-2 y que cumpla con los requerimientos para este tipo de instalaciones.

**Tabla 16-2.** Elementos del cuadro de control

<b>Elementos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Dimensiones</b>
Breaker	1	80 x 35 x 60 mm
Portafusibles	4	101 x 28 mm
Fuente	1	90 x 40 mm
Contactador	1	-
Relé Térmico	1	-
Relé De Nivel	1	-
Relés	3	-
Borneras Riel Din	16	2,5 mm
PLC & HMI	1	172 x 121 x 56,5 mm
Luz Piloto Led	2	22 mm
Pulsadores	2	22 mm
Canaleta Gris Ranurada	1	25 x 25 mm
Riel Din	1 m	35 mm

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

#### Características

- Gabinete metálico BEAUCOUP
- Dimensiones: Largo 400 mm, Ancho 300 mm, Profundidad 200 mm
- Protección Grado IP 55
- Cumple norma NT-INEN 2568 (1-0314)

#### 2.5.2.1 Instalación de Luces, Pulsadores, PLC y HMI

Los pulsadores, luces piloto, PLC y HMI se instalaron en la puerta del gabinete, como se muestra en la figura 36-2.



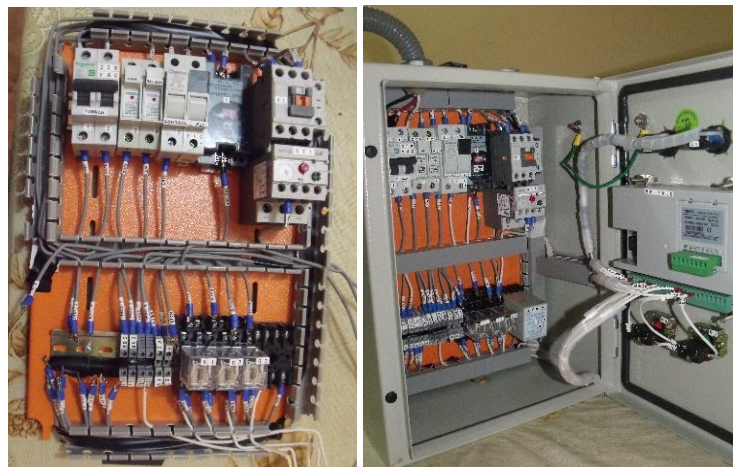


**Figura 36-2:** Gabinete metálico BEAUCOUP

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.5.2.2 *Instalación y cableado de los componentes*

El tablero de control, tiene una parte removible donde se ubicó las canaletas, el riel DIN, los componentes eléctricos y se realizó el cableado con los conductores, como se muestra en la figura 37-2.



**Figura 37-2:** Implementación del cuadro de control

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

El cuadro de control tiene tres entradas de cables en la parte superior de diámetro de  $\frac{3}{4}$ ": una derivada de los sensores, los cables de la resistencia, y el otro de la alimentación general del equipo. También hay una entrada de  $\frac{3}{4}$ " en la parte inferior para los cables de las electroválvulas.

## 2.6 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO

En la implementación del sistema hidráulico, se muestra la instalación de tuberías y llaves de paso, para entrada y salida de agua.

### 2.6.1 *Tubería de entrada de agua al purificador*

En la figura 38-2 se muestra la tubería y la llave de entrada para el paso de agua al purificador.



**Figura 38-2:** Tubería de entrada

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.6.2 *Tubería de salida de agua del purificador*

Se detectó, que al abrir las válvulas de purga y desfogue, el agua residual del proceso no se evacua totalmente, debido a que los tanques tienen base cóncava, deteriorando el equipo, figura 39-2.



**Figura 39-2:** Humedad presente en el equipo

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Para solucionar el problema se implementó un sistema de tuberías y llaves en la parte inferior de cada tanque, figura 40-2. Consta de tres llaves, tres tuberías independientes, unidas a un tubo de 100cm, que se desemboca en la parte de atrás del equipo, figura 41-2.



**Figura 40-2:** Tubería de salida

Realizado por: Andrea Robalino, 2017



**Figura 41-2:** Tubería de descarga

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

## 2.7 PROGRAMACIÓN DEL PLC

El programa se realizó en la herramienta de programación XCPPro versión 3.3j, en lenguaje ladder. La evolución del proceso se realiza por medio de las etapas de llenado, calentamiento, vaporización y descarga.

### 2.7.1 Entradas del programa

En la tabla 17-2 se identifican las entradas, el tipo de señal y su asignación dentro del programa.

**Tabla 17-2.** Entradas del programa.

<b>Entrada</b>	<b>Señal</b>	<b>Designación</b>
Pulsador de Inicio	Digital	X0
Pulsador de Paro	Digital	X1
Sensor de Nivel	Digital	X2
PT-100	Analógica	ID1003

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.7.2 Salidas del programa

En la tabla 18-2 se identifican las salidas, el tipo de señal y su asignación dentro del programa.

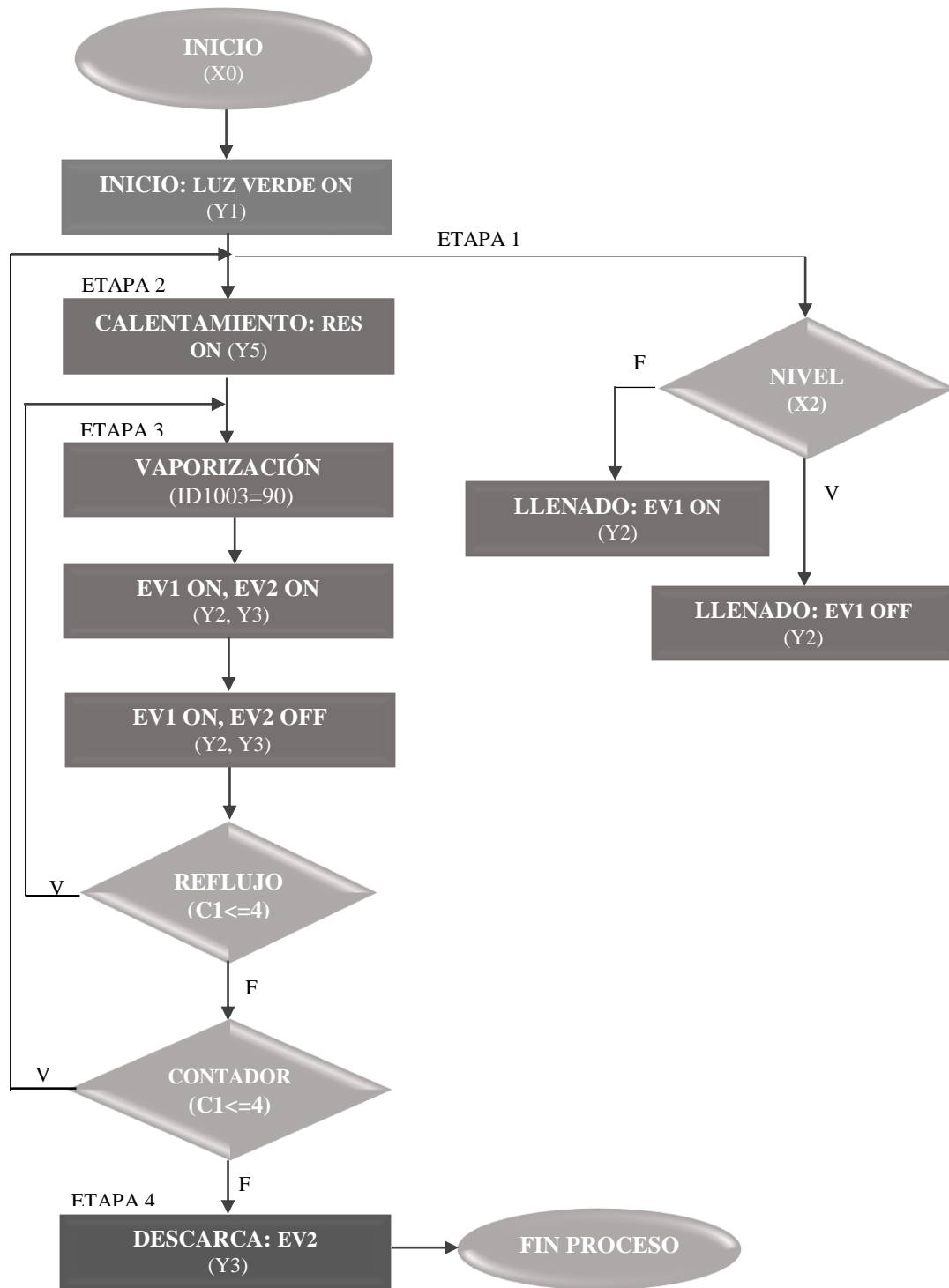
**Tabla 18-2.** Salidas del programa.

<b>Salida</b>	<b>Señal</b>	<b>Designación</b>
Inicio/ Paro	Digital	Y1
Electroválvula 1	Digital	Y2
Electroválvula 2	Digital	Y3
Resistencia de inmersión	Digital	Y5

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.7.3 Diagrama de flujo del purificador de agua

En el gráfico 4-2 se observa, que el purificador de agua es una máquina secuencial, que se lleva a cabo en diferentes etapas. Durante la vaporización, se activa un flujo regenerativo del sistema de enfriamiento cada cierto tiempo. El nivel en la caldera se controla por medio del sensor de nivel.

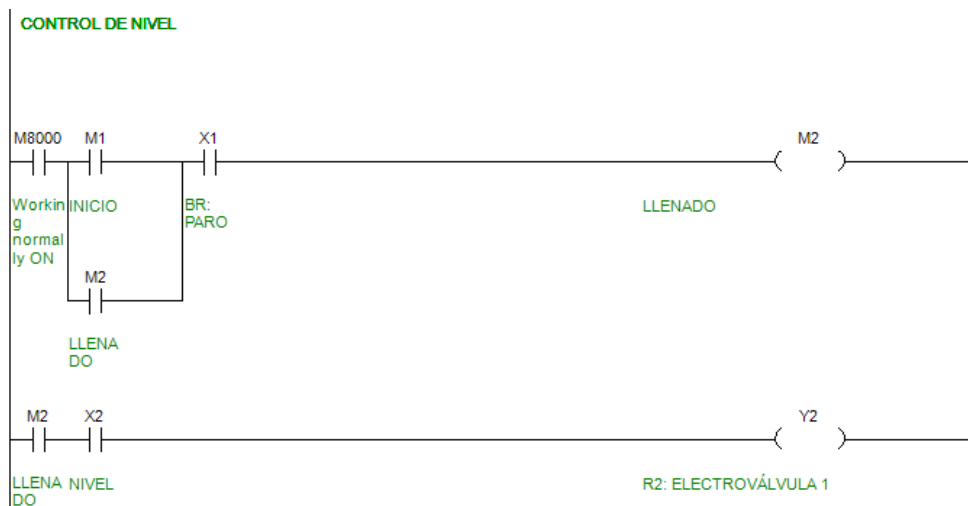


**Gráfico 4-2.** Diagrama del flujo del purificador de agua

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.7.4 Programación en ladder

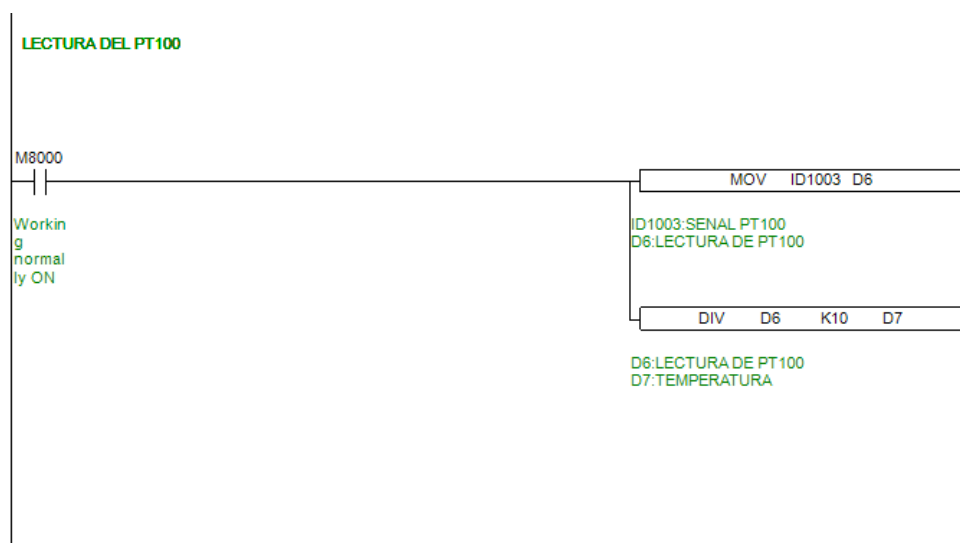
Al presionar el botón de inicio, X0, del cuadro de control, se empieza con la ejecución del programa. El control de nivel, se realiza por la utilización de la entrada X2 del sensor de nivel, que activa o desactiva la electroválvula 1, como se muestra en figura 42-2, dando lugar a la etapa 1 de llenado.



**Figura 42-2:** Impresión de pantalla de programa XCPpro

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

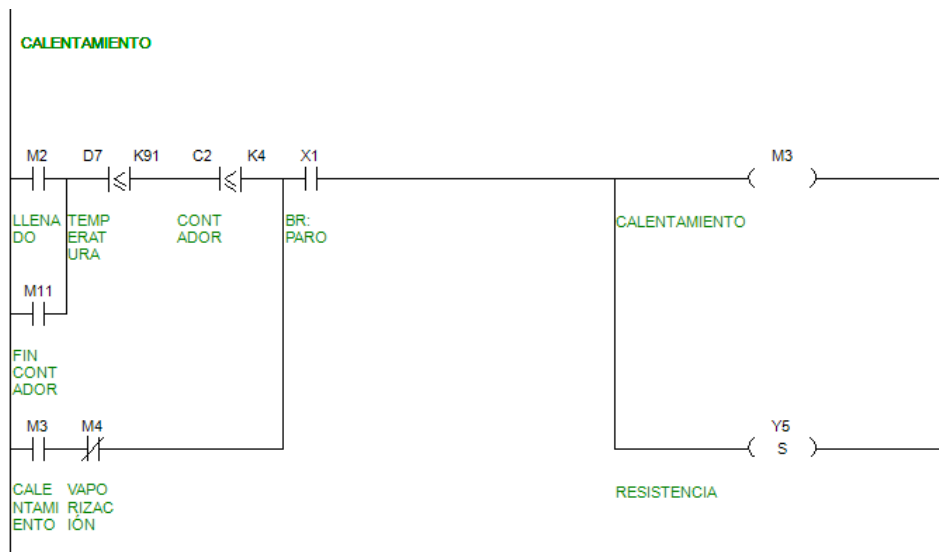
La lectura de la temperatura se realiza constantemente, desde el registro ID1003 de la tarjeta de expansión, y es almacenado en el registro de datos D7, utilizando la memoria especial M8000 del programa, como se muestra en la figura 43-2.



**Figura 43-2:** Impresión de pantalla de programa XCPpro

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

La etapa 2 de calentamiento, se lleva a cabo mientras la temperatura este por debajo o sea igual a los 91°C, aquí se activa la resistencia de inmersión, como se observa en la figura 44-2.



**Figura 44-2:** Impresión de pantalla de programa XCPpro

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

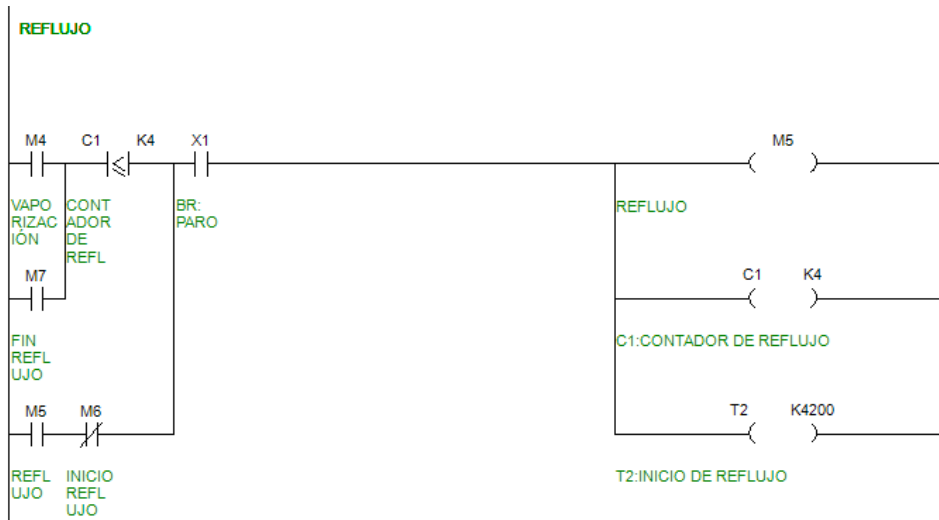
La etapa 3 de vaporización, se establece si la temperatura es mayor o igual a los 90°C, figura 45-2.



**Figura 45-2:** Impresión de pantalla de programa XCPpro

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

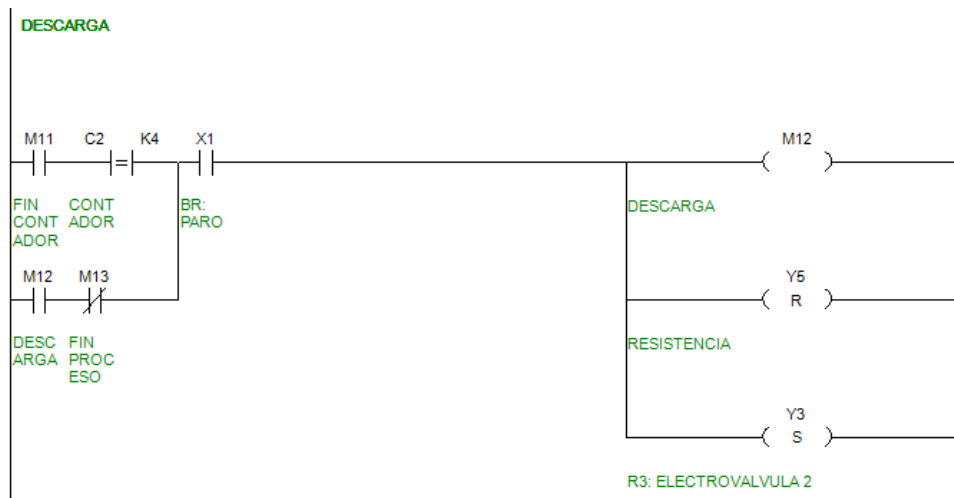
Durante la etapa de vaporización se realiza un ciclo regenerativo del agua fría, en el sistema de enfriamiento, por medio de las electroválvulas 1 y 2, utilizando el contador C1 y el temporizador T2, como se observa en la figura 46-2



**Figura 46-2:** Impresión de pantalla de programa XCPpro

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

La etapa 4 de descarga del equipo se realiza por medio de la electroválvula 2 y del contador C2 cuando alcanza el valor de 4, como se muestra en la figura 47-2.

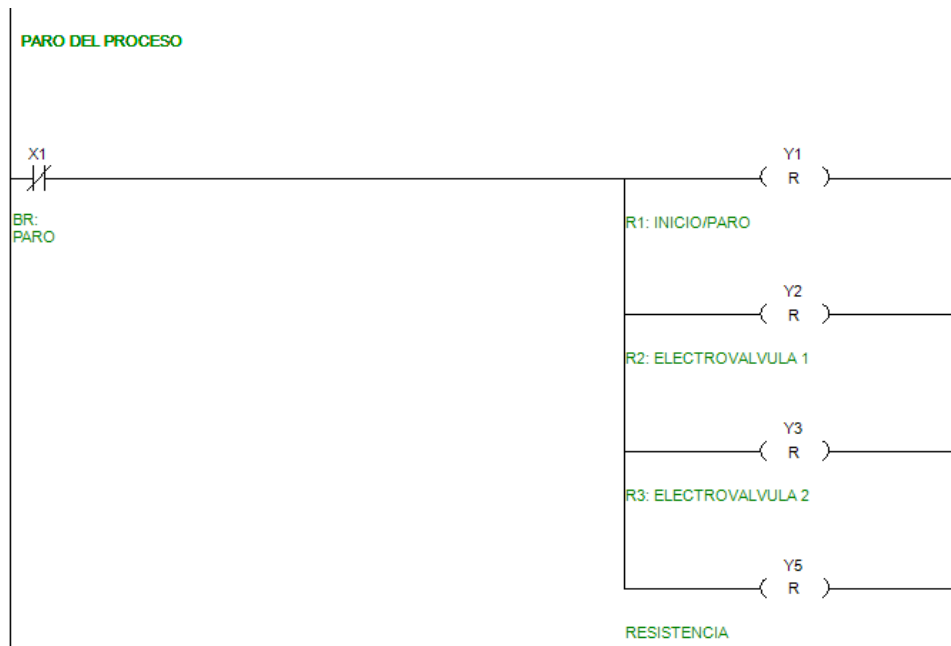


**Figura 47-2:** Impresión de pantalla de programa XCPpro

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

El paro del proceso desactiva todas las salidas del PLC, como se muestra en la figura 48-2.





**Figura 48-2:** Impresión de pantalla de programa XCPpro

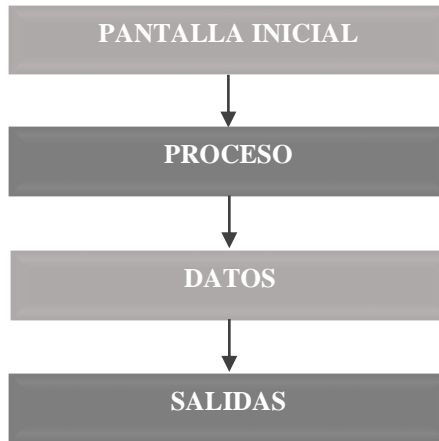
Realizado por: Andrea Robalino, 2017

## 2.8 PROGRAMACIÓN DEL HMI

El HMI se desarrolló en la herramienta de programación OP20 versión 8.0q, por medio de pantallas, que permiten al usuario visualizar e interactuar con el proceso.

### 2.8.1 Diagrama de flujo del HMI

El diagrama de flujo del gráfico 5-2, muestra una navegación secuencial a través de las pantallas de: inicio; monitoreo del proceso; visualización de datos; estado de salidas, activado y desactivado.

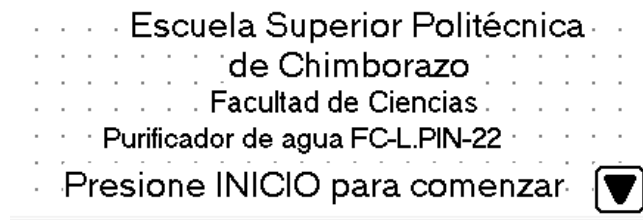


**Gráfico 5-2:** Diagrama de flujo del HMI

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 2.8.2 Pantallas del HMI

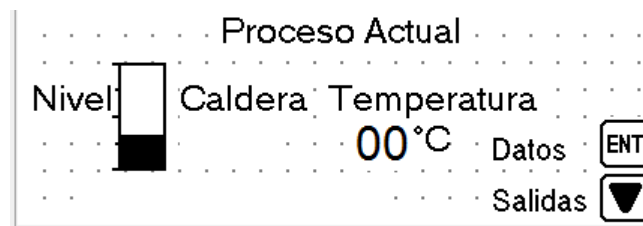
En la primera pantalla se muestra una caratula, que indica al usuario que debe presionar el botón de inicio para empezar con el proceso, figura 49-2.



**Figura 49-2:** Pantalla Inicial



Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Al presionar el botón "Down" se salta a la pantalla de Proceso Actual, figura 50-2, donde se visualiza; nivel del equipo, etapa del proceso, nivel y temperatura del tanque de ebullición. Utilizando los botones: "Down" y "Enter", se desplaza a los Datos y Salidas del proceso.



**Figura 50-2:** Pantalla de Proceso Actual


Realizado por: Andrea Robalino, 2017

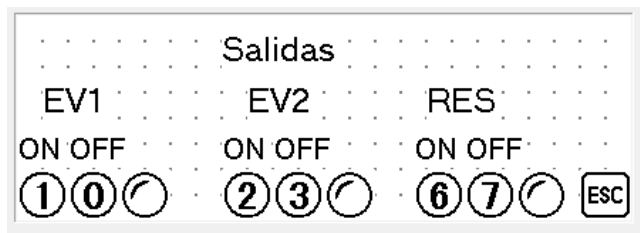
En la figura 51-2, se observa los datos necesarios para que estudiantes realicen las prácticas en el laboratorio. Presionando el botón  “Escape”, se retorna a la pantalla de Proceso Actual, y el botón  “Down” salta a otra pantalla con datos adicionales.



**Figura 51-2:** Pantalla de Datos

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

En la figura 52-2, la pantalla muestra el estado de las salidas, permite forzar su activación y desactivación, usando los botones. Se presiona el botón  “Escape”, para retornar.



**Figura 52-2:** Pantalla de Salidas

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron a partir de técnicas e instrumentos antes mencionados, en forma manual con el uso de un cronometro y registro de sensores, se trabajó con el equipo bajo los regimientos, con y sin la implementación del sistema automatizado. Para el análisis de datos se usó estadística descriptiva, técnicas lógicas de análisis y síntesis.

#### 3.1 PROCEDIMIENTO PARA PURIFICACIÓN DE AGUA

- Revisar que las válvulas de descarga de agua estén cerradas.
- Conectar el equipo a 220Vac
- Abrir la válvula de alimentación de agua cruda.
- Presione el botón de inicio. (LUZ VERDE ENCENDIDA)
- El agua se llena hasta un nivel óptimo de operación, la pantalla del proceso, alertara cuando deberá cerrar la llave de paso.
- El agua se calienta hasta alcanzar los 90°C.
- Ubicar un recipiente esterilizado para acopio de agua destilada, en la salida del condensado.
- Se produce 5 litros cada 30 minutos por lo que es necesario, cambiar el recipiente de acopio de agua destilada en este tiempo.
- La pantalla alerta en caso de abrir o cerrar una válvula, durante la etapa de vaporización.
- El proceso continúa durante 2 horas aproximadamente o hasta que el operador presione el botón de paro (LUZ ROJA ENCENDIDA).
- Cerrar la válvula de alimentación de agua cruda.
- Desconectar el equipo, abrir las válvulas de descarga.

NOTA: Al generarse una ALARMA en la pantalla presiones el botón "ENT" para regresar a la pantalla original y luego el botón "DOWN" para ir a la pantalla del proceso.

## 3.2 RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO

Se verificó el aporte del sistema automatizado a la máquina, se realizó pruebas siguiendo el procedimiento del manual actual y anterior, se tomó en cuenta los resultados obtenidos por los testistas, debido a que el equipo no funcionaba y fue puesto en operación por medio de este trabajo.

### 3.2.1 Etapa de llenado

El equipo purificador de agua funcionaba en forma manual, bajo requerimientos de operación como son: el nivel de agua que se cargaba a la máquina. Se debía controlar periódicamente el nivel de agua para alimentarlo o apagarlo.

Estos requerimientos de nivel de agua del equipo se pueden ajustar entre los 27,1 litros y los 37 litros, controlando un punto mínimo y máximo de agua dentro del equipo, para reponer periódicamente. A continuación en la tabla 1-3 se describe los datos obtenidos con y sin automatización en la etapa de llenado

**Tabla 1-3.** Datos de la etapa de llenado

Parámetros	Sin Automatización	Con Automatización
Nivel de Operación	37,1 Litros	27,1 Litros
Nivel mínimo	22,1 Litros	22,1 Litros
Tiempo de Llenado	5,5 Minutos	3,3 Minutos

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Se usó la ecuación 1-3 para comparar los tiempos de llenado y obtener un porcentaje de reducción.

**Ecuación 1-3:** Ecuación de porcentaje de reducción.

$$\text{Porcentaje de reducción} = \frac{\text{valor anterior} - \text{valor actual}}{\text{valor anterior}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = \frac{5,5 - 3,3}{5,5} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = 40\%$$

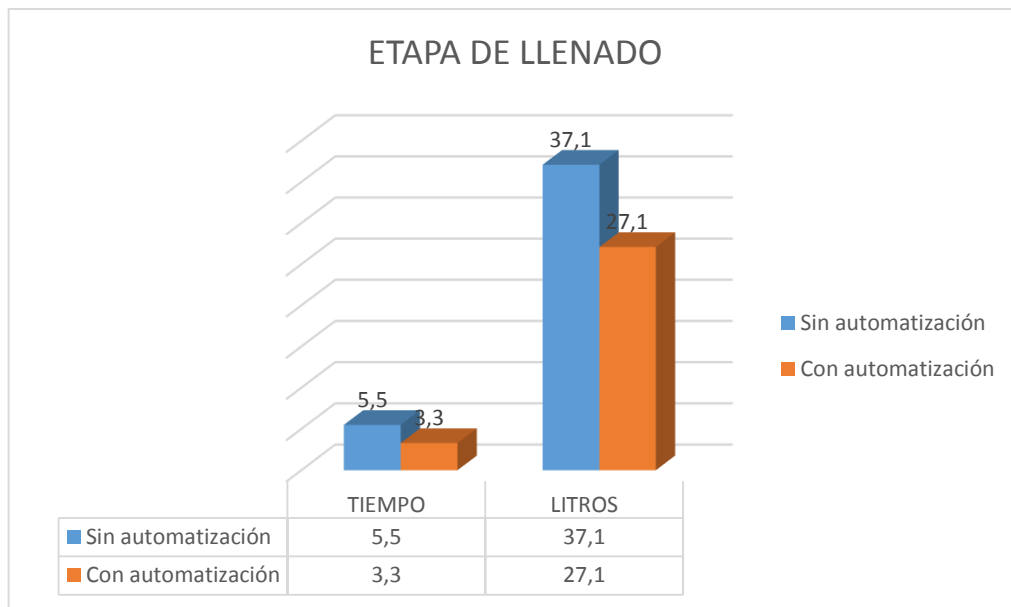
Se usó la ecuación 1-3 para comparar la carga inicial de agua en el tanque de ebullición.

$$\text{Porcentaje de reducción} = \frac{\text{valor anterior} - \text{valor actual}}{\text{valor anterior}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = \frac{37,1 - 27,1}{37,1} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = 26,95\%$$

En el gráfico 1-3 se muestra la comparación del tiempo de llenado del equipo, y la capacidad de agua del tanque de ebullición, sin y con automatización.



**Gráfico 1-3:** Comparación de la etapa de llenado

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 3.2.2 *Etapa de calentamiento*

La temperatura varía en la etapa de calentamiento hasta alcanzar un valor donde se estabiliza. Al disminuir el nivel de agua, se reduce el tiempo de calentamiento. En la tabla 2-3 se describe los datos obtenidos con y sin automatización.

**Tabla 2-3.** Datos de la etapa de calentamiento

Parámetros	Sin Automatización	Con Automatización
Nivel de Operación	37,1 Litros	27,1 Litros
Temperatura inicial	17 °C	17 °C
Temperatura final	90 °C	90 °C
Tiempo de calentamiento	70 Minutos	40 Minutos

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

**Fuente:** Andrea Robalino, 2017

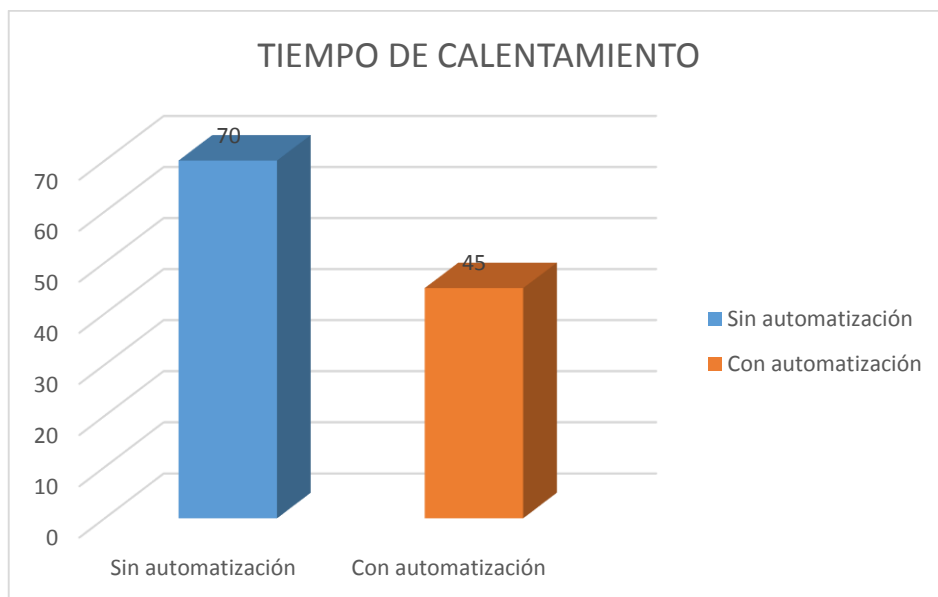
Se usó la ecuación 1-3 para comparar los tiempos de calentamiento y obtener un porcentaje de reducción.

$$\text{Porcentaje de reducción} = \frac{\text{valor anterior} - \text{valor actual}}{\text{valor anterior}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = \frac{70 - 40}{70} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = 42,86\%$$

En el gráfico 2-3 se muestra la comparación de tiempo de calentamiento del equipo, sin y con automatización.



**Gráfico 2-3:** Comparación de tiempo de calentamiento

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

### 3.2.3 Etapa de vaporización: Recuperación del condensado

El manual anterior, es decir, sin automatización indicaba que se cerraba la llave de paso entre el pre calentador y el condensador y se colocaba la válvula de desfogue en media abierta. Con el sistema automatizado, se implementó el ciclo regenerativo del agua en el tanque de ebullición, mediante la apertura automática de la electroválvula de alimentación y el desfogue cada cierto tiempo.

En la tabla 3-3 se muestra los datos obtenidos con y sin automatización, considerando el valor teórico proporcionado por Checa y Moína, 2010.

**Tabla 3-3.** Datos de la etapa de vaporización

Parámetros	Sin Automatización	Con Automatización	Teórico
Recuperación	2 Litros	5 Litros	5 Litros
Tiempo	30 Minutos	30 Minutos	30 Minutos
Temperatura	50 °C	25 °C	19 °C

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

Además se compara la cantidad de condensado recuperado, mediante la ecuación 2-3 se obtuvo el porcentaje de aumento.

**Ecuación 2-3:** Ecuación de porcentaje de aumento.

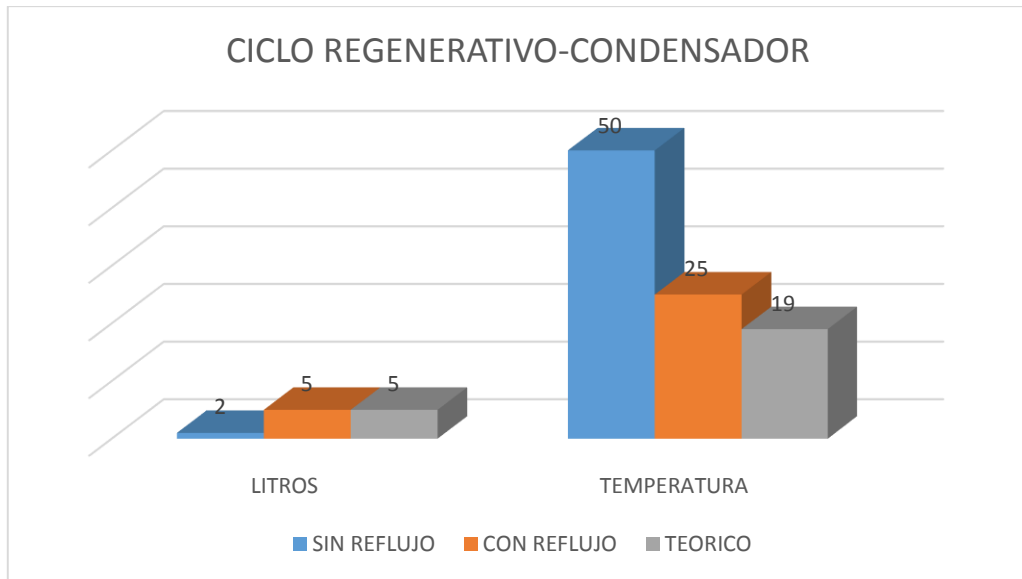
$$\text{Porcentaje de aumento} = \frac{\text{valor actual} - \text{valor anterior}}{\text{valor actual}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de aumento} = \frac{5 - 2}{5} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de reducción} = 60\%$$

En el gráfico 3-3 se muestra la comparación de litros y temperatura del condensado, sin y con automatización, y el valor teórico.





**Gráfico 3-3:** Comparación de litros y temperatura del condensado

Realizado por: Andrea Robalino, 2017

### 3.3 EFICIENCIA TÉRMICA DEL PURIFICADOR DE AGUA

Para calcular la eficiencia térmica de la máquina, se debe realizar el balance de masa y energía en el tanque de ebullición. Se usó la siguiente fórmula:

**Ecuación 3-3:** Ecuación para hallar la eficiencia térmica

$$\eta = Q/Q_R$$

**Donde:**

$\eta$ : Eficiencia

**Q:** Calor aprovechado en el evaporador

**Q<sub>R</sub>:** Calor suministrado por la resistencia

Sin la automatización, se obtuvo los datos de la fuente Checa y Moina (2010).

$$\eta = \frac{Q}{Q_R} * 100$$

$$\eta = \frac{5781,58}{8640} * 100$$

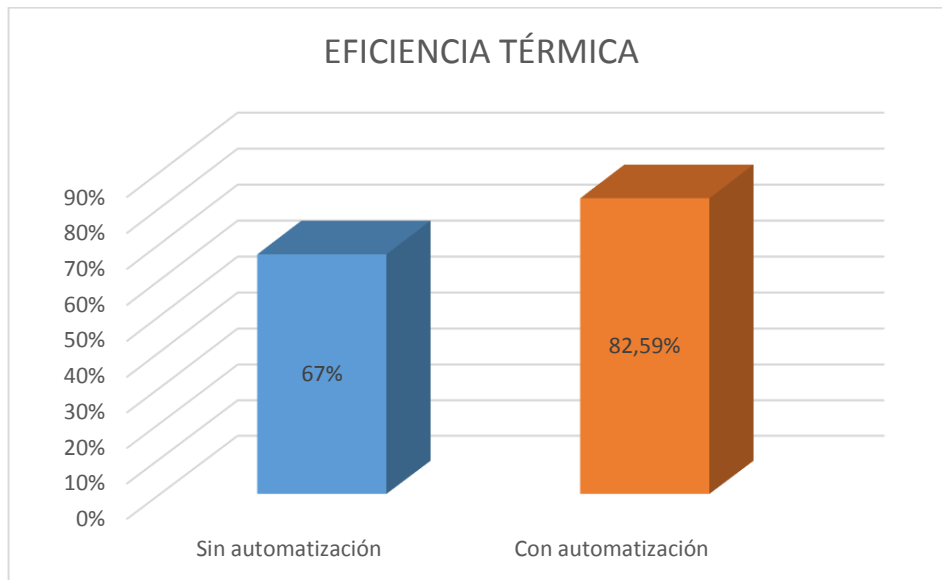
$$\eta = 67\%$$

Con la automatización se obtuvo los datos por medio del HMI después de cada práctica.

$$\eta = \frac{Q}{Q_R} * 100$$

$$\eta = \frac{8920,02}{10800} * 100$$

$$\eta = 82,59\%$$



**Gráfico 4-3:** Comparación de eficiencia térmica de la máquina

**Realizado por:** Andrea Robalino, 2017

Como se observa en el gráfico 4-3, la eficiencia térmica es mayor con la automatización de la máquina esto debido, al aumento de la eficiencia del evaporador, que se deriva de la reducción de agua en el llenado y de la disminución de la temperatura del condensado. El calor suministrado por la resistencia aumenta y disminuye los tiempos de calentamiento.

## CONCLUSIONES

- El sistema automatizado implementado responde de forma satisfactoria al objetivo principal planteado en este trabajo, minimiza el tiempo invertido en el control de las diferentes etapas del purificador de agua.
- El purificador de agua utiliza la destilación por termocompresión que posee características en la operación de vaporización, donde las pruebas realizadas por el sistema automatizado permiten establecer condiciones óptimas de tiempo, nivel y temperatura.
- La comparación de resultados entre el funcionamiento de la máquina sin automatización presenta un tiempo promedio de 5,5 minutos de llenado, mientras que con el sistema automatizado el promedio es de 3,3 minutos, resultando una reducción de tiempo de 2,2 minutos que equivale a un 40%.
- Reduce el consumo de agua en el tanque de ebullición, de 37,1 litros a 27,1 litros en la carga inicial, obteniendo un porcentaje de reducción de 26,95%.
- Alcanza una temperatura de 17°C a 90°C en la etapa de calentamiento en un tiempo de 70 minutos, es decir aproximadamente 1°C/min sin automatización y un tiempo de 40 minutos a 2°C/min con automatización, resultando un 42,86% menos en tiempo de calentamiento.
- La recuperación del condensado se realiza en forma rápida y efectiva, obteniendo 2 litro a una temperatura de 50°C cada 30 minutos sin automatización, mientras que se obtuvo 5 litros a una temperatura de 25°C en 30 minutos con automatización, lo que se mejora en 50% la eficiencia térmica de la etapa y 60% en la cantidad de agua condensada.
- La eficiencia térmica del purificador es (82,59% - 67%) aumentada en un 15,59% debido a que mejora el aprovechamiento de calor en el evaporador y en la resistencia calefactora.
- Con la implementación del sistema eléctrico, electrónico e hidráulico se puso operativo el purificador de agua, logrando optimizar el uso de los equipos existentes en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
- La implementación de la interfaz HMI permite el monitoreo constante de la temperatura y nivel de agua, permitiendo a los operadores manipular de forma oportuna e inmediata los parámetros en las diferentes etapas de producción o cuando el caso lo requiera.
- El sistema automatizado del purificador de agua permite una mejor relación entre los estudiantes y el ambiente industrial de una manera moderna y tecnológica.

## RECOMENDACIONES

- Al automatizar un proceso, se debe investigar los parámetros que intervienen en cada una de las etapas, el funcionamiento de los dispositivos y elementos a ser utilizados.
- Al diseñar e implementar los sistemas eléctricos de protección, control y potencia, se debe considerar los voltajes de funcionamiento y formas de conexión de cada uno de los dispositivos que intervienen en el sistema.
- No abrir el tablero de control mientras el purificador de agua está funcionando, para evitar posibles daños o fallas en la máquina.
- No manipular las partes eléctricas del equipo sin el uso de los diagramas eléctricos y sin desconectarlo previamente del fluido eléctrico.
- Antes de utilizar el purificador de agua, leer el manual de instrucciones donde se detalla el procedimiento de encendido, funcionamiento y apagado de la máquina.
- Se recomienda realizar el uso constante del equipo, descargar el agua residual completamente después de cada práctica para evitar incrustaciones, corrosiones en el tanque y los dispositivos, generados por la humedad.
- Realizar el mantenimiento del tanque de ebullición cada 6 meses con el uso de desincrustante, ácido, desoxidante y limpiador.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ARIAN Control & Instrumentación.** *Cuando y en que aplicaciones usar una Termocupla J, Termocupla K o Pt-100.* [En línea]. Nota Técnica 1, Rev. a. [Consulta: 20 noviembre 2015]. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-001.pdf>
2. **ARIAN Control & Instrumentación.** *¿Qué son y cómo funcionan las termocuplas?* [En línea]. Nota Técnica 2, Rev. b. [Consulta: 20 noviembre 2015]. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
3. **ARIAN Control & Instrumentación.** *PT-100, su operación y cuidados en su instalación.* [En línea]. Nota Técnica 4, Rev. a. [Consulta: 20 noviembre 2015]. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
4. **CHECA MONTENEGRO, Leonardo David, & MOINA VELOZ, Hernán Vinicio.** *Diseño y construcción de un purificador de agua mediante destilación por termocompresión para la Facultad de Ciencias.* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2010. pp. 7-45.
5. **CÓRDOBA NIETO, E.** “Manufactura y Automatización”. *Ingeniería e Investigación.* [En línea], 2006, (Colombia) 26 (3), pp. 120-128. [Consulta: 7 diciembre 2016], ISSN 0120-5609. Disponible en: <http://www.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=64326315>
6. **DISIBEINT ELECTRONIC SL.** *Condiciones de instalación de los sensores de nivel conductivos.* [En línea]. España: doctec\_002-c, Rev.00 – 26 abril, 2012. [Consulta: 17 noviembre 2015]. Disponible en: [http://www.disibeint.com/web2010/suport/documents/doctec\\_002-c.pdf](http://www.disibeint.com/web2010/suport/documents/doctec_002-c.pdf)
7. **MATEOS, Felipe.** *Autómatas Programables: VISION GENERAL.* [En línea]. Universidad de Oviedo, Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. España. 2004. [Consulta: 7 diciembre 2015]. Disponible en: <http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/PLC-Gral-2.pdf>

8. **MEDINA GARCÍA, Jonathan.** *Introducción a la automatización.* [En línea], s.a., Publicado 20 mayo 2016 [Consulta: 11 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.infopl.net/documentacion/5-automatas/2480-introduccion-automatizacion>
9. **RAMÍREZ DE LA TORRE, Nuria.** *Destilación Teoría y Tipos.* [En línea]. España. 2010. [Consulta: 25 noviembre 2015]. Disponible en: [http://www.alambiques.com/tecnicas\\_destilacion.htm](http://www.alambiques.com/tecnicas_destilacion.htm)
10. **SMITH, Carlos A., & CORRIPIO, Armando B.** *Control Automático de Procesos; Teoría y Práctica.* México D.F.: Limusa, 1997, pp. 17-26.
11. **SPIRAX SARCO.** *Control de nivel de agua y alarmas para calderas de vapor.* [En línea], España: Salvador Aguirre de Cárcer, 2004. [Consulta: 25 noviembre 2015]. Disponible en: <http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Documents/SB/P402-101.pdf>
12. **SÁNCHEZ CUENCA, Alan Daniel, & ENCALADA LEÓN, Milton Stalin.** *Diseño e implementación del sistema de monitoreo, supervisión y control automático del proceso de destilación de agua en el área de inyectables de LIFE C.A.* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería en Electrónica Automatización y Control. Sangolquí, Ecuador. 2012. [Consulta: 19 noviembre 2015]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5670>
13. **VALDIVIA MEDINA, Rodes Yanet, PEDRO VALDÉS, Sandra, LAUREL GÓMEZ, Maylin.** “Agua para uso en laboratorios”. *Boletín Científico Técnico INIMET.* [En línea], 2010, (Cuba), (1), pp. 3-10. [Consulta: 8 noviembre 2016], ISSN 0138-8576. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223017807002>
14. **VELÁSQUEZ C., José.** “Cómo justificar proyectos de automatización”. *Industrial Data.* [En línea], 2004, (Perú), 7 (1), pp. 7-11. [Consulta: 6 diciembre 2016], ISSN 1560-9146. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81670102>