



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**AUTOR: AUQUI SAYAGO RAFAEL LEONARDO**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES  
PARA LA PLANTA DE TINTURADO DE LA EMPRESA  
LUMONTEX S.A.**

**DIRECTOR: ING. SOTOMAYOR DANNY**

**CODIRECTOR: ING. ORTIZ HUGO**

**SANGOLQUÍ, AGOSTO 2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**CERTIFICADO**

DECLARACION DE RESPONSABILIDAD

Ing. Danny Sotomayor

Ing. Hugo Ortiz


**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “Automatización de los Sistemas Auxiliares para la Planta de Tinturado de la Empresa LUMONTEX S.A.”, realizado por Rafael Leonardo Auqui Sayago, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la institución, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF). Autorizan a Rafael Leonardo Auqui Sayago, entregar el mismo al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Director de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.

Sangolquí, Agosto del 2015


Sangolquí, Agosto del 2015



---

Ing. Danny Sotomayor

**DIRECTOR**



---

Ing. Hugo Ortiz

**CODIRECTOR**



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y**  
**CONTROL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

RAFAEL LEONARDO AUQUI SAYAGO

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado “Automatización de los Sistemas Auxiliares para la Planta de Tinturado de la Empresa LUMONTEX S.A.”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Agosto del 2015



---

Rafael Leonardo Auqui Sayago



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

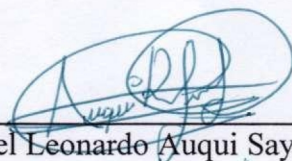
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Rafael Leonardo Auqui Sayago

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Automatización de los Sistemas Auxiliares para la Planta de Tinturado de la Empresa LUMONTEX S.A.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, Agosto del 2015



Rafael Leonardo Auqui Sayago



## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a mi familia, quienes han sido parte fundamental en mi formación personal y profesional.*

*A mis padres, Rafael y Jeaneth por todo el soporte, comprensión y ayuda durante toda mi vida.*

*A mis hermanos Christopher y David, por todas las risas, por compartir las satisfacciones de mis proyectos universitarios.*

*A mi hermana Verónica, por ser un ejemplo de hermana mayor, por sus valores y motivación constante.*

*Con este trabajo espero retribuir de alguna forma toda la confianza, dedicación y amor que depositaron en mí.*

*“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”*

*- Mohandas Gandhi*

## AGRADECIMIENTO

*Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todos mis profesores, por compartir sus conocimientos en las aulas.*

*De manera especial agradezco al Ing. Danny Sotomayor y al Ing. Hugo Ortiz, por su valiosa colaboración para el logro de este triunfo.*

*Agradezco a mis amigos Christian y David, por su amistad sincera, ayuda, y apoyo durante la carrera universitaria.*

*Por ultimo agradezco a todo el personal de LUMONTEX S.A. por el soporte brindado para la realización e implementación del presente trabajo.*



## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1    Antecedentes .....	1
1.2    Justificación e Importancia.....	2
1.3    Alcance del Proyecto .....	3
1.4    Objetivos .....	5
1.4.1    Objetivo General .....	5
1.4.2    Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II .....	6
DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES .....	6
2.1    Sistema de extracción y tratamiento de agua .....	6
2.1.1    Definición del proceso .....	7
2.1.1.1    Extracción de agua.....	7
2.1.1.2    Pretratamiento .....	8
2.1.1.3    Tratamiento .....	9
2.1.1.4    Distribución .....	12
2.2    Sistema de almacenamiento de combustible .....	12
2.2.1    Línea de llenado .....	12
2.2.2    Línea de vaciado .....	13
2.3    Sistema de generación de vapor .....	14
2.3.1    Definición del proceso .....	15
2.4    Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	17
2.4.1    Definición del proceso .....	19
2.5    Identificación de requerimientos y problemas .....	19
2.5.1    Necesidades del Sistema de generación de vapor .....	20
2.5.1.1    Monitoreo de nivel.....	20
2.5.1.2    Monitoreo de presión .....	20
2.5.1.3    Monitoreo de temperatura.....	20

2.5.2	Necesidades del Sistema de almacenamiento de combustible.....	21
2.5.2.1	Monitoreo de nivel.....	21
2.5.3	Necesidades del Sistema de extracción y tratamiento de agua .....	22
2.5.3.1	Control de las bombas de agua .....	22
2.5.3.2	Monitoreo de nivel.....	24
2.5.3.3	Monitoreo de presión .....	24
2.5.4	Necesidades del Sistema de tratamiento de aguas residuales .....	24
2.5.4.1	Control del compresor .....	24
2.5.4.2	Control de aireación.....	25
2.5.4.3	Control de dosificación de químicos .....	25
CAPÍTULO III.....		26
DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO.....		26
3.1	Diagramas PI&D de los Sistemas auxiliares .....	26
3.2	Selección de la Instrumentación.....	26
3.2.1	Temperatura .....	26
3.2.1.1	Termopares .....	26
3.2.1.2	Termistores .....	28
3.2.1.3	Detectores de temperatura resistivos .....	28
3.2.1.4	Selección del sensor de temperatura.....	29
3.2.2	Nivel.....	30
3.2.2.1	Sensores de nivel ultrasónicos .....	30
3.2.2.2	Sensores de nivel capacitivos .....	31
3.2.2.3	Interruptores de Nivel .....	33
3.2.2.4	Selección de sensores de nivel.....	35
3.2.3	Presión.....	38
3.2.3.1	Selección del transmisor de presión.....	38
3.2.4	Transmisor de Temperatura .....	39
3.2.4.1	Selección del transmisor de temperatura .....	40
3.2.5	Electroválvula .....	41



3.2.5.1	Selección de la electroválvula.....	42
3.3	Selección del controlador lógico programable .....	42
3.3.1	Definición.....	42
3.3.2	Número de entradas y salidas requeridas .....	44
3.3.3	Selección del controlador y módulos de expansión .....	46
3.3.3.1	Controlador Allen Bradley.....	46
3.3.3.2	Controlador Siemens.....	48
3.3.3.3	Selección del PLC.....	49
3.4	Diseño Electrónico .....	49
3.4.1	Esquema eléctrico de conexión de sensores de nivel al PLC .....	49
3.4.2	Conductor para los instrumentos.....	52
3.4.2.1	Conductor para los sensores de nivel.....	52
3.4.2.2	Conductor para los transmisores de nivel y presión .....	53
3.4.3	Consumo de corriente .....	55
3.5	Desarrollo del software de control y monitoreo .....	56
3.5.1	Descripción del software.....	56
3.5.1.1	Vista del portal.....	57
3.5.1.2	Vista del proyecto .....	58
3.5.1.3	Creación de un nuevo proyecto .....	59
3.5.1.4	Agregar el controlador y módulos de expansión .....	60
3.5.1.5	Agregar el PC.....	62
3.5.2	Topología de red .....	63
3.5.3	Programación .....	66
3.5.3.1	Diagramas Funcionales.....	66
3.5.3.2	Bloque de Programa.....	76
3.5.3.3	Gestión de alarmas.....	76
3.5.4	Diseño de la Interfaz Hombre Máquina .....	80
3.5.4.1	Funciones de un software HMI.....	80
3.5.4.2	Software Windows Control Center Advanced.....	81

3.5.4.3	Desarrollo de la HMI .....	81
3.5.4.4	Variables de la HMI.....	92
CAPÍTULO IV .....		95
IMPLEMENTACIÓN .....		95
4.1	Montaje de la instrumentación .....	95
4.1.1	Instalación de canaletas.....	95
4.1.2	Gabinete de control .....	97
4.1.3	Interruptores de Nivel .....	99
4.1.4	Sensores de temperatura y transmisores de presión.....	102
4.1.5	Electroválvula .....	105
4.1.6	Bombas dosificadoras .....	105
4.1.7	Baliza.....	106
4.1.8	Tableros de control.....	107
CAPÍTULO V .....		109
PRUEBAS Y RESULTADOS .....		109
5.1	Pruebas Preliminares .....	109
5.1.1	Comunicación con el PLC .....	109
5.1.2	Sensores .....	110
5.1.3	Actuadores.....	111
5.2	Puesta en Marcha.....	111
5.3	Resultados .....	114
CAPÍTULO VI.....		115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		115
6.1	Conclusiones .....	115
6.2	Recomendaciones .....	116



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Diagrama del proceso de extracción y tratamiento del agua.....	6
Figura 2-2 Extracción de agua de pozos .....	7
Figura 2-3 Cisterna de Tratamiento .....	7
Figura 2-4 Cernidor de pretratamiento.....	8
Figura 2-5 Bombas dosificadoras y tanques de químicos.....	9
Figura 2-6 Filtros de Arena 1(izq.) - 2(der.) .....	9
Figura 2-7 Cisterna de Procesos y Tanques de Remoción de Hierro.....	10
Figura 2-8 Tanques de contacto con oxígeno .....	11
Figura 2-9 Ablandador de agua.....	11
Figura 2-10 Tanques de almacenamiento de diésel .....	12
Figura 2-11 Línea de llenado para los tanques de diésel .....	13
Figura 2-12 Conexión de la línea de llenado al tanque.....	13
Figura 2-13 Válvula de bloqueo de la línea de vaciado .....	14
Figura 2-14 Diagrama del proceso de generación de vapor.....	15
Figura 2-15 Caldero de la planta de tinturado.....	15
Figura 2-16 Tanque de condensados.....	16
Figura 2-17 Distribuidor de vapor.....	16
Figura 2-18 Canal y piscinas para el tratamiento de aguas residuales.....	17
Figura 2-19 Compresor de aire para el tratamiento de aguas residuales.....	18
Figura 2-20 Diagrama del proceso de tratamiento de aguas residuales .....	18
Figura 2-21 Tanque de químico .....	20
Figura 2-22 Niveles del tanque principal de diésel.....	21
Figura 2-23 Niveles del tanque de reserva de diésel.....	21
Figura 2-24 Niveles de las cisternas.....	22
Figura 3-1 Termocupla básica.....	27
Figura 3-2 Curva de voltaje versus temperatura para las termocuplas .....	27
Figura 3-3 Detector de temperatura resistivo.....	29
Figura 3-4 Vaina de protección para el RTD .....	29
Figura 3-5 Funcionamiento del sensor ultrasónico .....	31
Figura 3-6 Funcionamiento del sensor capacitivo .....	32
Figura 3-7 Funcionamiento del sensor de nivel flotador .....	33
Figura 3-8 Funcionamiento del sensor de nivel flotador tipo magnético .....	34
Figura 3-9 Funcionamiento del sensor de nivel flotador tipo boya .....	34
Figura 3-10 Sensor de nivel tipo flotador Madison M8700.....	35
Figura 3-11 Sensor de nivel tipo flotador Madison M4300.....	36
Figura 3-12 Sensor de nivel flotador tipo boya Viyilant .....	37
Figura 3-13 Transmisor de presión WIKA S10 .....	38
Figura 3-14 Esquema de funcionamiento de un transmisor de temperatura.....	39
Figura 3-15 . Transmisor de temperatura SITRANS TH200.....	40
Figura 3-16 Partes de una electroválvula .....	41
Figura 3-17 Electroválvula SMC VXZ2240-04N-3CR1 .....	42
Figura 3-18 Componentes básicos de un PLC .....	43

Figura 3-19 Controlador Siemens S7-1200 1214C.....	49
Figura 3-20 Contactos de un relé de 8 pines .....	50
Figura 3-21 Esquema eléctrico de conexión de los sensores de nivel hacia el PLC.....	51
Figura 3-22 Esquema de conexión para la fuente de poder LOGO! Power.....	56
Figura 3-23 Vista del portal .....	57
Figura 3-24 Vista del proyecto.....	58
Figura 3-25 Creación de un nuevo proyecto en el TIA Portal .....	59
Figura 3-26 Agregar un controlador .....	60
Figura 3-27 Elección del controlador.....	60
Figura 3-28 Árbol del proyecto.....	61
Figura 3-29 Catálogo de hardware del PLC.....	61
Figura 3-30 Controlador y módulos de expansión.....	62
Figura 3-31 Selección del PC en la Vista del portal .....	62
Figura 3-32 Configuración de PC como elemento de visualización para HMI.....	63
Figura 3-33 Topología de red para la automatización .....	63
Figura 3-34 Configuración de dispositivos .....	64
Figura 3-35 Gráfico del controlador lógico programable .....	64
Figura 3-36 Propiedades de la interfaz PROFINET .....	65
Figura 3-37 Propiedades del protocolo de internet del computador .....	65
Figura 3-38 GRAFCET general para el programa.....	68
Figura 3-39 GRAFCET asociado al control de las bombas - Parte 1 .....	70
Figura 3-40 GRAFCET asociado al control de las bombas - Parte 2 .....	72
Figura 3-41 GRAFCET asociado al control de las bombas - Parte 3 .....	74
Figura 3-42 GRAFCET asociado al control del compresor y bombas dosificadoras .....	75
Figura 3-43 GRAFCET asociado al paro de emergencia.....	76
Figura 3-44 Tipos de alarmas para el sistema de monitoreo y control .....	77
Figura 3-45 Arquitectura de las pantallas para la HMI.....	82
Figura 3-46 Plantilla general para el diseño de las Imágenes de la HMI.....	83
Figura 3-47 Plantilla auxiliar para el diseño de las Imágenes de la HMI .....	84
Figura 3-48 Pantalla del proceso de generación de vapor.....	88
Figura 3-49 Pantalla del proceso de extracción y tratamiento de agua.....	89
Figura 3-50 Pantalla del Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	90
Figura 3-51 Imagen de gestión de alarmas .....	91
Figura 3-52 Imagen del visor de curvas .....	92
Figura 3-53 Sensor de nivel bajo del tanque de químico 1 .....	93
Figura 3-54 Ventana de inspección.....	93
Figura 3-55 Ventana de propiedades del tag.....	93
Figura 3-56 Cuadro de conexión de variables .....	94
Figura 3-57 Selección de variable del PLC para el sensor de nivel de la HMI .....	94
Figura 3-58 Ventana de conexión de variable.....	94
Figura 4-1 Montaje de canaletas en el área de generación de vapor.....	96
Figura 4-2 Montaje de canaleta para el área de almacenamiento de combustible ...	96
Figura 4-3 Montaje de canaleta para tendido de cable hasta los tanques de diésel .	97
Figura 4-4 Gabinete de control .....	97



Figura 4-5 Cableado del gabinete de control .....	98
Figura 4-6 Etiquetado de los terminales de los cables del PLC .....	98
Figura 4-7 Etiquetado de los terminales de los cables para los relés .....	99
Figura 4-8 Estructuras armadas para los sensores de nivel de los tanques .....	100
Figura 4-9 Instalación de la estructura armada en un tanque de químico .....	100
Figura 4-10 Instalación de los sensores de nivel en un tanque de químico .....	101
Figura 4-11 Instalación de los sensores de nivel para el tanque principal de diésel .....	101
Figura 4-12 Instalación de tubo de cobre para el cableado del sensor de nivel .....	101
Figura 4-13 Instalación del sensor de nivel para el tratamiento de aguas residuales .....	102
Figura 4-14 Montaje de los sensores de nivel para las cisternas .....	102
Figura 4-15 Instalación de una T para conectar el sensor de temperatura .....	103
Figura 4-16 Cámara de secado .....	103
Figura 4-17 Instalación del sensor de temperatura para la cámara de secado .....	104
Figura 4-18 Transmisores de presión para las líneas de distribución de aire comprimido y agua .....	104
Figura 4-19 Montaje de la electroválvula para el tratamiento de aguas residuales .....	105
Figura 4-20 Instalación de bombas dosificadoras de químicos para el tratamiento de aguas residuales .....	106
Figura 4-21 Instalación de la baliza .....	106
Figura 4-22 Montaje de nuevo conducto de cableado .....	107
Figura 4-23 Conexión del cableado hacia los tableros de control .....	107
Figura 5-1 Conexión online con el PLC .....	109
Figura 5-2 Verificación de los sensores y transmisores de temperatura .....	110
Figura 5-3 Monitoreo del proceso de generación de vapor .....	112
Figura 5-4 Monitoreo y control para el proceso de extracción y tratamiento de agua .....	112
Figura 5-5 Monitoreo y control del proceso de tratamiento de aguas residuales .....	113
Figura 5-6 Monitoreo de alarmas .....	113
Figura 5-7 Monitoreo del comportamiento de las curvas de presión y temperatura .....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Especificaciones técnicas del RTD de la planta industrial .....	30
Tabla 3-2 Especificaciones técnicas del sensor de nivel flotador Madison M8700	36
Tabla 3-3 Especificaciones técnicas del sensor de nivel flotador Madison M4300	37
Tabla 3-4 Especificaciones técnicas del sensor de nivel Viyilant.....	37
Tabla 3-5 Especificaciones técnicas del transmisor de presión WIKA S10 .....	39
Tabla 3-6 Especificaciones técnicas del transmisor SITRANS TH20.....	40
Tabla 3-7 Especificaciones técnicas de la electroválvula SMC VXZ2240.....	42
Tabla 3-8 Entradas y salidas requeridas por el PLC .....	44
Tabla 3-9 Especificaciones técnicas del controlador Allen Bradley SLC 5/05 .....	47
Tabla 3-10 Módulos de expansión para el controlador SLC 5/05 .....	47
Tabla 3-11 Costo del controlador SLC 5/05 y módulos de expansión .....	47
Tabla 3-12 Especificaciones técnicas del controlador S7-1200 1214C.....	48
Tabla 3-13 Módulos de expansión para el controlador S7-1200 1214C.....	48
Tabla 3-14 Costo del controlador S7 1200 1214C 6ES7214-1BG31-0XB0 .....	48
Tabla 3-15 Especificaciones técnicas del cable de cobre.....	52
Tabla 3-16 Distancia de los transmisores a la fuente de poder. ....	53
Tabla 3-17 Caída de tensión para la alimentación de transmisores .....	54
Tabla 3-18 Consumo de corriente del controlador y los módulos .....	55
Tabla 3-19 Variables asociadas al diagrama general .....	67
Tabla 3-20 Variables asociadas al control de las bombas - Parte 1 .....	69
Tabla 3-21 Variables asociadas al control de las bombas - Parte 2 .....	71
Tabla 3-22 Variables asociadas al control de las bombas y la electroválvula .....	73
Tabla 3-23 Variables asociadas al control del compresor y bombas dosificadoras.	75
Tabla 3-24 Alarmas de nivel .....	78
Tabla 3-25 Alarmas análogas .....	78
Tabla 3-26 Alarmas de mantenimiento .....	79
Tabla 3-27 Colores de la interfaz .....	85
Tabla 3-28 Color de estados de los actuadores y luces piloto.....	86
Tabla 3-29 Simbología de la interfaz HMI .....	87

## **RESUMEN**

El presente proyecto de grado plantea la automatización de los cuatro sistemas auxiliares involucrados en el proceso de tinturado de hilo de la empresa LUMONTEX S.A. Este trabajo buscó satisfacer de manera eficaz y eficiente las necesidades de monitoreo y control para los procesos de generación de vapor, extracción y tratamiento de agua, y tratamiento de aguas residuales. Para la consecución del objetivo de automatización del proyecto, se utilizaron herramientas de diseño asistido por computador para la elaboración de diagramas, se realizó la selección minuciosa de un controlador lógico programable (PLC), la selección de la instrumentación requerida y la selección de un software que permita cumplir a cabalidad las exigencias de monitoreo impartidas por la empresa. El proyecto consta de diseño e implementación del sistema de monitoreo y control. Se diseñó una interfaz hombre máquina (HMI), que permite a los usuarios supervisar el funcionamiento de las diferentes variables de procesos y equipos que intervienen en los procesos antes mencionados. Por otra parte se detalla la programación de las principales rutinas del PLC que hacen posible la automatización. Por último este documento presenta los resultados obtenidos del sistema implementado, las conclusiones a las que se llegaron, recomendaciones pertinentes y además se presentan todos los documentos que sirvieron de bibliografía para culminar este proyecto.

### **PALABRAS CLAVE:**

**AUTOMATIZACIÓN**

**HMI**

**PLC**

**TINTURADO**

**SISTEMA**

## **ABSTRACT**

The present degree project proposes the automation of the four auxiliary systems involved in the process of yarn dyeing of the LUMONTEX S.A Company. This work aimed to satisfy the needs of monitoring and controlling of process variables which are related with the extraction and treatment of water , wastewater treatment and steam generation in a effectively and efficient way. To achieve the goal of automation of the project, it was necessary to use computer-aided design tools for diagramming, the careful selection of a programmable logic controller (PLC) was performed, the selection of the required instrumentation and software selection allowing comply fully with the monitoring requirements issued by the company. The project consists of designing and implementing the monitoring and control system. It was designed a Human Machine Interface (HMI), which allows users to monitor the operation of the various process variables and equipment involved in the above processes. Moreover the programming of the main routines which make possible the automation are detailed. Finally this document presents the results of the implemented system, the conclusions that were reached, relevant recommendations and also all the documents that served as references to finish this project.

### **KEY WORDS:**

**AUTOMATION**

**PLC**

**HMI**

**DYED**

**SYSTEM**



## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos que tratan de aplicar sistemas mecánicos, electrónicos y de bases computacionales para operar y controlar la producción (Mopin, 2006).

El campo del control y automatización industrial, es un campo implantado con frecuencia en grandes instalaciones como las cadenas de fabricación de automóviles, las vías férreas o las centrales térmicas y eléctricas, sin embargo en el área de la pequeña y mediana empresa está aún poco desarrollada. Las soluciones para el control y automatización de pequeñas y medianas instalaciones industriales son poco flexibles y específicas para cada instalación. (Ordax, 2005)

En el Ecuador muy pocas son las empresas que disponen de automatización en los procesos, debido a diversos factores tales como desconocimiento o temor a la inversión. A razón de las actuales exigencias de calidad, eficiencia y competitividad, la pequeña y mediana empresa está optando por sistemas automáticos que les permitan alcanzar sus objetivos para sobrevivir en el mercado.

LUMONTEX S.A. es una sociedad anónima que realiza su actividad en el ámbito de textiles y confecciones. El complejo industrial actualmente ha centrado sus actividades al proceso de tinturado de hilo, para esto dispone de cuatro sistemas auxiliares: Sistema de generación de vapor, Sistema de extracción y tratamiento de agua, Sistema de almacenamiento de combustible y Sistema de tratamiento de aguas residuales.

La planta de tinturado de hilo de la empresa carece de un sistema de monitoreo y alarmas para sus sistemas auxiliares, la recolección de datos de los parámetros inmersos en el proceso de tinturado se realizan mediante recorridos periódicos por parte de operarios, quienes recolectan la información de sensores análogos, tanques y equipos, para monitorear parámetros como temperatura, presión y nivel.

En el sector de la automatización, el complejo industrial tiene controles automáticos y manuales para la extracción y tratamiento de agua sin embargo no dispone de controles para el tratamiento de aguas residuales

Como principales ventajas de la implantación de sistemas de control y automatización se encuentran la reducción de costes, calidad, seguridad, así como el aumento y control de la producción, y sobre todo la reducción de los costes de diseño, implantación y mantenimiento. (González, 2004).

## **1.2 Justificación e Importancia**

Hoy en día las industrias están creciendo y por lo tanto tienen cada vez nuevas necesidades. Los métodos tradicionales con los que cuenta actualmente LUMONTEX S.A. para monitorear y controlar los sistemas auxiliares involucrados en el proceso de tinturado de hilo no permiten optimizar los recursos que dispone.

Los sistemas de generación de vapor, y extracción y tratamiento de agua involucran los procesos más críticos dentro del tinturado de hilo porque estos sistemas proporcionan el suministro de agua y vapor utilizados por el autoclave para la correcta fijación del color en el hilo.

Actualmente el control automático para el sistema de extracción y tratamiento de agua presenta inconvenientes debido al funcionamiento anormal del interruptor de nivel que se emplea para el control de las bombas de extracción de agua de pozos. Como consecuencia del problema en mención las dos bombas de extracción presentan anomalías en los horarios de encendido, generando el rápido deterioro de los equipos al encenderse cuando no es necesario y un exceso en el consumo de energía de la planta industrial.

Por otra parte no existe un sistema que controle la dosificación de químicos y aire comprimido para el tratamiento de aguas residuales, lo que representa un inconveniente en el cumplimiento de la responsabilidad medio ambiental de la empresa.

Con el monitoreo y medición de las variables involucradas en cada sistema auxiliar se logra determinar funcionamientos anormales o fuera de rangos de operación, permitiendo realizar pedidos de químicos y combustible, planificar y realizar mantenimientos preventivos y correctivos evitando daños en los equipos y posibles paros de producción que se ven traducidos en ahorro para la empresa.

### **1.3 Alcance del Proyecto**

El presente proyecto abarca la automatización de los sistemas auxiliares para la planta de tinturado de hilo de la empresa LUMONTEX S.A.

En el Sistema de generación de vapor se realiza el monitoreo de:

- Nivel medio y bajo en un tanque de agua con químicos corrosivos, mediante un interruptor de nivel.
- Temperatura en el distribuidor de vapor, mediante un sensor de temperatura que opera en rangos de 0 a 200 °C.
- Presión en el distribuidor de vapor empleando un transmisor de presión que opera en rangos de 0 a 145 PSI.
- Temperatura en la cámara de secado de hilo tinturado, usando un sensor de temperatura que opera en rangos de 0 a 100 °C.

En el Sistema de almacenamiento de combustible se realiza el monitoreo de:

- Nivel medio y bajo en el tanque principal de abastecimiento mediante dos interruptores horizontales de nivel para diésel.
- Nivel medio y bajo en el tanque de reserva empleando dos interruptores horizontales de nivel para diésel.

En el Sistema de Extracción y Tratamiento de Agua:

- Monitoreo de nivel medio y bajo en dos tanques de agua con químicos corrosivos usando interruptores de nivel.
- Monitoreo de presión en la línea de distribución de agua de la planta mediante un transmisor de presión que opera en un rango de 0 a 145 PSI.
- Control automático de dos bombas usadas para extracción de agua de pozos, las cuales operan a 230 VAC, 7 A.
- Control automático y manual de dos bombas usadas para tratamiento de agua, las cuales operan a 230 VAC, 7 A.
- Control automático y manual de dos bombas usadas para suministrar agua de procesos, las cuales operan a 230 VAC, 16 A.
- Monitoreo de nivel bajo y alto en dos cisternas de almacenamiento de agua mediante interruptores de nivel flotantes a 120 VAC.

En el Sistema de tratamiento de aguas residuales:

- Monitoreo de nivel medio y bajo en tres tanques de agua con químicos corrosivos, mediante interruptores de nivel.
- Monitoreo de presión en la línea de distribución de aire de la planta usando un transmisor de presión que funciona en un rango de 0 a 145 PSI.
- Control automático y manual de una electroválvula para aire comprimido que opera en un rango de 0 a 145 PSI.
- Control automático de un compresor.
- Control automático de tres bombas dosificadoras de químicos, las cuales operan a 110 VAC, 1 A.

Para la puesta en marcha del presente trabajo se realizó el montaje del controlador lógico programable Siemens S7-1200 1214C, el montaje de la instrumentación y la reutilización de 3 tableros de control para los modos de operación manual y automático de las bombas de agua y compresor.

Conjuntamente se desarrolla una Interfaz Hombre-Máquina diseñada mediante el programa TIA Portal para monitorear todos los parámetros anteriormente señalados,



generar alertas de alarma, observar curvas de comportamiento de las señales análogas y archivar los valores de esas curvas en un documento de Microsoft Excel.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Automatizar los sistemas auxiliares para la planta de tinturado de hilo de la empresa LUMONTEX S.A.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Definir el tipo de sistema de control a implementar en el Sistema de extracción y tratamiento de agua para reemplazar el sistema de control existente.
- Determinar la instrumentación y el controlador lógico programable óptimos para la consecución de la automatización.
- Desarrollar una interfaz hombre-máquina para realizar el control y monitoreo de los sistemas auxiliares.
- Validar el funcionamiento global del sistema implementado en base a pruebas de campo para de esta manera satisfacer las necesidades y requerimientos de LUMONTEX S.A.

## CAPÍTULO II

### 2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES

#### 2.1 Sistema de extracción y tratamiento de agua

Su función es extraer, tratar, almacenar y distribuir el agua subterránea proveniente de pozos profundos. El agua procesada se destina a las tareas de enfriamiento de equipos de proceso, generación de vapor, tinturado de hilo y servicios de limpieza.

La Figura 2-1 indica el diagrama del procesamiento del agua desde su etapa inicial, en donde se toma el agua cruda, hasta la etapa final, en donde se distribuye el agua hacia la planta textil.

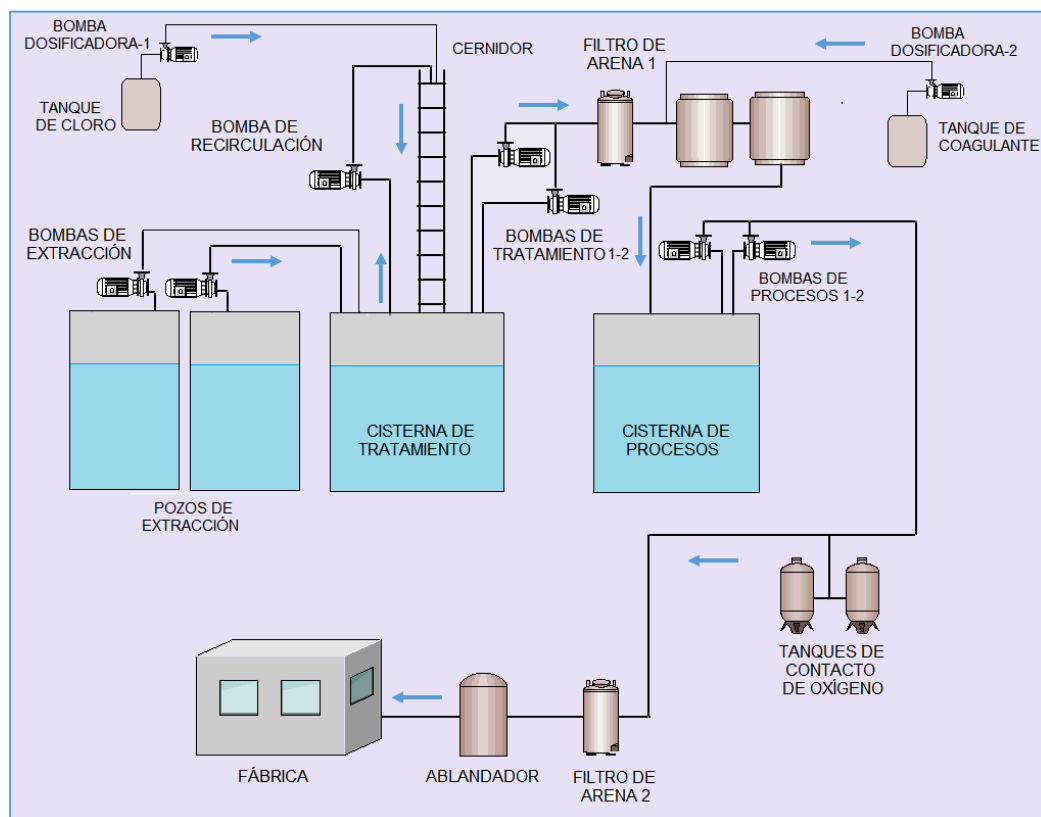


Figura 2-1 Diagrama del proceso de extracción y tratamiento del agua

## 2.1.1 Definición del proceso

### 2.1.1.1 Extracción de agua

Consiste en la extracción de agua cruda mediante dos bombas denominadas Bombas de Extracción 1-2, las cuales se encuentran sumergidas en pozos subterráneos localizados en la parte trasera de la planta textil. En la figura 2-2 se puede observar la perforación por donde ingresan dos mangueras, las cuales se conectan a cada bomba sumergida para conducir el agua hacia la superficie.



Figura 2-2 Extracción de agua de pozos

El agua extraída es almacenada en la Cisterna de Tratamiento para que posteriormente sea procesada hasta obtener una calidad industrial. La cisterna tiene una capacidad de 2795 galones, y el sistema de extracción garantiza que siempre se cuente con al menos 2174 galones. En la figura 2-3 se muestra la Cisterna de Tratamiento.



Figura 2-3 Cisterna de Tratamiento

### 2.1.1.2 Pretratamiento

Consiste en la filtración y cloración del agua. La filtración se realiza haciendo recircular el agua de la Cisterna de Tratamiento a través de un cernidor industrial de 10 niveles, el propósito es separar sólidos (impurezas) que pueden estar presentes en el agua. Para la recirculación del agua se utiliza una bomba denominada Bomba de Recirculación.

A continuación en la figura 2-4 se presenta una fotografía del cernidor industrial, en la cual se pueden apreciar los distintos niveles de filtración mencionados en el párrafo anterior.



Figura 2-4 Cernidor de pretratamiento

La cloración es el procedimiento de desinfección del agua empleando cloro, el que entra en contacto con el agua que recircula a través del cernidor mediante una bomba dosificadora. El fin de emplear cloro es eliminar malos olores o bacterias presentes en el agua.

La figura 2-5 permite visualizar los tanques contenedores de químicos, en donde, de derecha a izquierda se encuentran el tanque de cloro y el tanque de coagulante, con sus respectivas bombas dosificadoras.



Figura 2-5 Bombas dosificadoras y tanques de químicos

### 2.1.1.3 Tratamiento

Es el tercer procedimiento del procesamiento del agua que consiste en tres etapas: filtración, sedimentación y ablandamiento del agua.

Para el proceso de filtración se toma el agua almacenada en la Cisterna de Tratamiento usando las Bombas de Tratamiento 1-2 y se bombea el agua a través del Filtro de Arena 1, que es un recipiente a presión en donde el agua pasa a través de una capa de arena que retiene impurezas que pudieron haber quedado del pretratamiento. La Figura 2-6 presenta un registro fotográfico de los filtros de arena.



Figura 2-6 Filtros de Arena 1(izq.) - 2(der.)

Posterior al filtrado se prosigue con la sedimentación, que es una operación física que aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el



agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. (Rodríguez, 2015)

La sedimentación se realiza en dos tanques plásticos conocidos como Tanques de Remoción de Hierro cuya función es concentrar el hierro en su base, para su posterior eliminación mediante la purga por parte de los operarios.

Para ayudar al proceso en mención, la segunda bomba dosificadora inyecta coagulante en la entrada de agua del primer tanque sedimentador. El coagulante desestabiliza los coloides (partículas en suspensión), lo que hace que las partículas tiendan a unirse permitiendo la formación de flóculos. Estos flóculos se juntan y forman aglomerados de mayor tamaño capaces de sedimentar.

En la parte superior derecha de la Figura 2-7 se observan los dos Tanques de Remoción de Hierro, mientras que en la parte inferior se visualiza la Cisterna de Procesos.

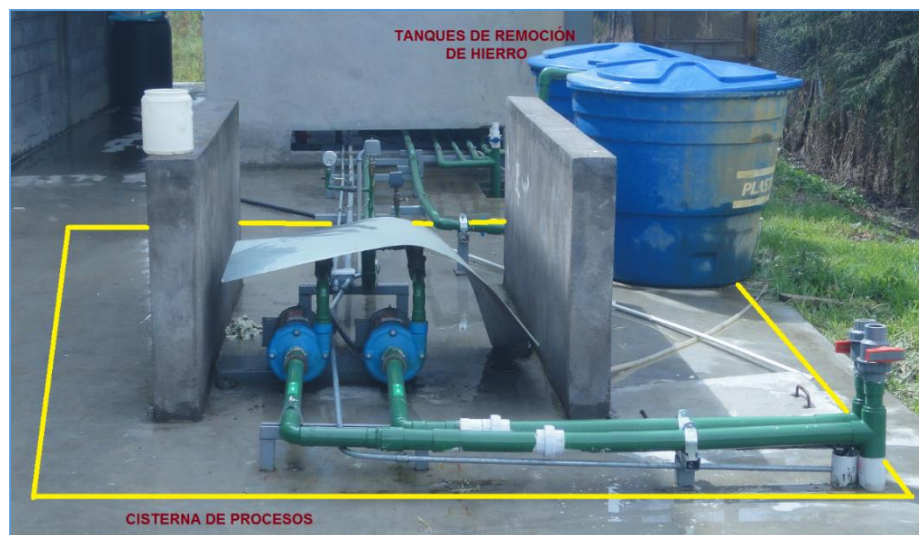


Figura 2-7 Cisterna de Procesos y Tanques de Remoción de Hierro

Luego de la sedimentación el agua es almacenada en la Cisterna de Procesos, que tiene una capacidad de 5500 galones.

A continuación las Bombas de Procesos 1-2 conducen el agua almacenada a través de los Tanques de Contacto con Oxígeno (Figura 2-8) con el fin de que el agua

se mezcle con aire y se oxigene para luego someterla nuevamente a un proceso de filtración, mediante un segundo filtro de arena.



Figura 2-8 Tanques de contacto con oxígeno

El tratamiento de agua concluye con el procesamiento de la dureza del agua. La dureza se define como la concentración de compuestos minerales que hay en determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales, produciendo poca espuma e incrustaciones calcáreas. (FACSA, 2015)

Para tratar la dureza, el agua es conducida hacia el Ablandador, cuya función es eliminar los iones de calcio y magnesio. El principio de funcionamiento de este equipo se basa en un proceso llamado “intercambio iónico”, que consiste en la sustitución de estos iones por sodio. La Figura 2-9 muestra el ablandador de agua.



Figura 2-9 Ablandador de agua

#### 2.1.1.4 Distribución

Una vez finalizado el proceso de ablandado, el agua es conducida hacia las instalaciones de la planta textil mediante la línea de distribución de agua, que está formada por un tubo plástico de 2" de diámetro que ingresa a la fábrica, el cual tiene derivaciones y la rodea en forma rectangular para disponer del servicio de agua en todas las áreas de trabajo.

### 2.2 Sistema de almacenamiento de combustible

Cumple las funciones de almacenamiento y suministro de diésel para el caldero de la planta, cuenta con dos tanques cilíndricos horizontales. El primer tanque, denominado Tanque Principal, tiene una capacidad de 2000 galones de diésel, mientras que el segundo tanque, llamado Tanque de Reserva tiene una capacidad de 500 galones.

En la Figura 2-10 se muestra un registro fotográfico de los tanques de almacenamiento de diésel, en dónde, a la izquierda se encuentra el Tanque Principal y a la derecha el Tanque de Reserva.



Figura 2-10 Tanques de almacenamiento de diésel

#### 2.2.1 Línea de llenado

Consiste en una tubería de cobre de 2" de diámetro, la cual inicia en el Sistema de vapor y se extiende hasta el área de almacenamiento de combustible, su función es conducir el diésel desde el tanquero hasta los dos contenedores.

A continuación las figuras 2-11 y 2-12, permiten observar la extensión de la línea de llenado hasta llegar a los tanques de diésel.



Figura 2-11 Línea de llenado para los tanques de diésel



Figura 2-12 Conexión de la línea de llenado al tanque

La línea de llenado posee válvulas de bloqueo con el propósito de evitar el ingreso simultáneo de diésel a los dos contenedores y por cuestiones de mantenimientos o posible relocalización.

### **2.2.2 Línea de vaciado**

Está formada por una tubería de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro que inicia en la parte inferior de los tanques y se prolonga hasta la bomba de succión del caldero. La línea de vaciado cuenta con válvulas de bloqueo en caso de que se necesite reubicar los tanques, dicha válvula puede ser apreciada en la Figura 2-13.



Figura 2-13 Válvula de bloqueo de la línea de vaciado

### 2.3 Sistema de generación de vapor

Es el encargado de generar y distribuir vapor para su uso en los procesos de tinturado y secado de hilo de la planta industrial. El vapor resulta de calentar agua hasta su punto de ebullición, es un conductor muy eficiente de energía de calefacción, es versátil, seguro y completamente estéril.

El propósito de generar vapor es que su energía térmica se transforme en trabajo mecánico para una máquina térmica o que sirva para calefacción para procesos.

En el proceso de generación de vapor de la planta intervienen los siguientes equipos:

- Caldero: genera el vapor para los diferentes procesos.
- Distribuidor de vapor: distribuye el vapor hasta los procesos de tinturado y secado.
- Tanque de condensados: Reutiliza el condensado producido. El condensado se refiere al líquido formado cuando el vapor se convierte nuevamente en agua.

La Figura 2-14 indica un diagrama del proceso de generación de vapor, el cual permite identificar el flujo de vapor, agua y condensado a través de los diferentes equipos.

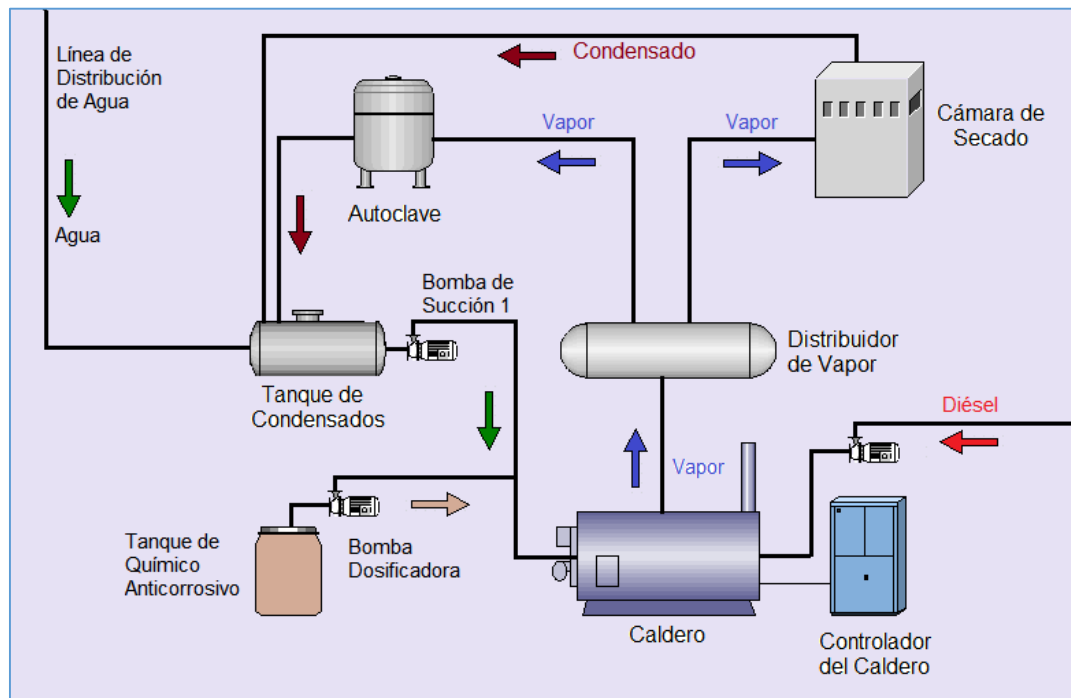


Figura 2-14 Diagrama del proceso de generación de vapor

### 2.3.1 Definición del proceso

El vapor es generado por el caldero, que es un cuerpo cerrado que genera vapor a presiones superiores a la atmosférica. Para funcionar necesita un suministro constante de agua y de diésel, los que son regulados por un controlador, el mismo que se encarga de encender o apagar las bombas destinadas a ese fin. La Figura 2-15 muestra una fotografía lateral del caldero y de su controlador.



Figura 2-15 Caldero de la planta de tinturado



El suministro de agua para el caldero proviene del Tanque de condensados, el cual recibe agua tratada de la línea de distribución de la planta. Se llama tanque de condensados porque además de recibir el agua tratada, el depósito también recolecta los condensados que resultan de las línea de retorno del autoclave y de la cámara de secado. En la Figura 2-16 se presenta un registro fotográfico del Tanque de condensados.



Figura 2-16 Tanque de condensados

El agua de alimentación para la caldera se mezcla con químico inhibidor de incrustaciones mediante una bomba dosificadora previo a su ingreso a la caldera. El propósito es disminuir la formación de depósitos de calcio y magnesio

Internamente, una vez que el caldero lleva el agua a su punto de ebullición se produce el vapor y éste es transportado hasta el Distribuidor de vapor (Figura 2-17), que es un depósito a presión que contiene dos líneas de suministro que se dirigen hacia la cámara de secado de hilo y hacia el autoclave.



Figura 2-17 Distribuidor de vapor

## 2.4 Sistema de tratamiento de aguas residuales

Se encarga de la depuración de los efluentes líquidos del proceso de tinturado de la planta industrial. El sistema está formado por un canal que alberga una trampa de sólidos, un depósito para cloro y un depósito para químicos coagulantes, además conduce las aguas residuales hacia piscinas de sedimentación para luego de su tratamiento enviarlas hacia el alcantarillado.

La Figura 2-18 indica en la parte superior el canal para el tratamiento de aguas residuales, mientras que en la parte inferior se visualizan las piscinas de sedimentación.



Figura 2-18 Canal y piscinas para el tratamiento de aguas residuales

Pese a que el sistema cuenta con todos los equipos para el tratamiento de agua, éste no está implementado en su totalidad pues no se han instalado las bombas dosificadoras, y carece de control para la dosificación de químicos y aireación del agua.

Para la aireación la empresa dispone de un compresor y una instalación de tubo de cobre que llega hasta la primera piscina de sedimentación, la que se encuentra inoperativa por la falta de un dispositivo que regule la salida de aire comprimido. El compresor de aire puede ser observado en la Figura 2-19.



Figura 2-19 Compresor de aire para el tratamiento de aguas residuales

En la Figura 2-20 se puede observar el diagrama general que representa el proceso que la empresa necesita implementar, para el tratamiento de aguas residuales provenientes del tinturado de hilo.

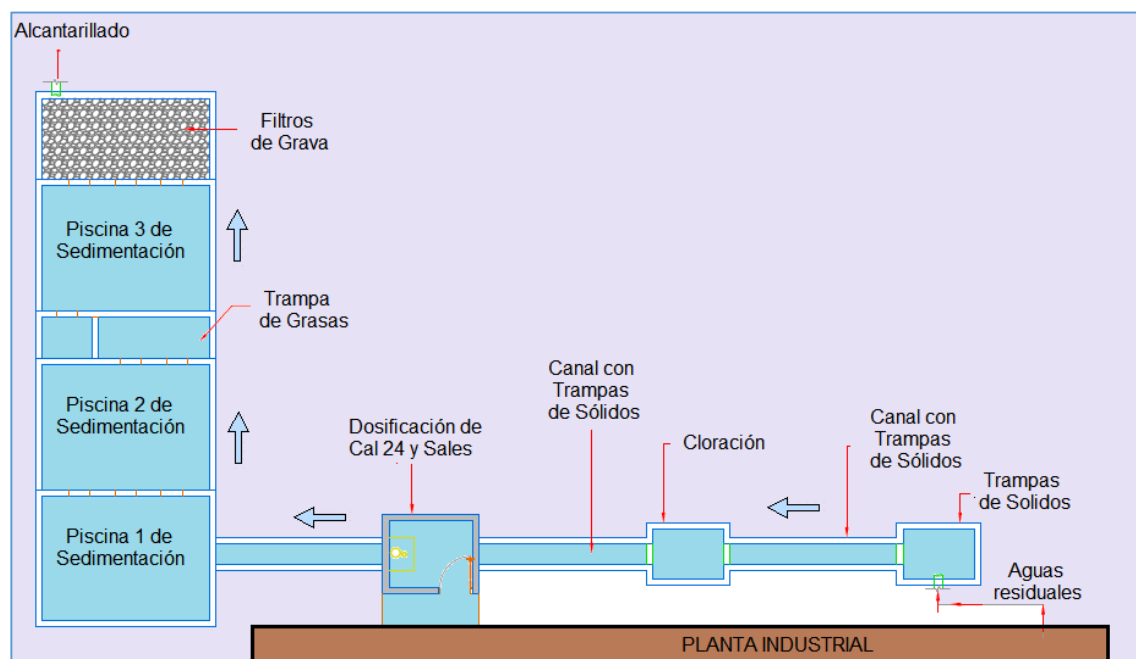


Figura 2-20 Diagrama del proceso de tratamiento de aguas residuales

### **2.4.1 Definición del proceso**

Las aguas residuales que salen de la planta industrial, en una primera instancia pasan a través de una trampa de sólidos, que consiste en dos compartimentos separados por una rejilla, cuyo fin es permitir el paso de líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el compartimiento superior.

Una vez que el agua pasa por la trampa de sólidos se procede a la dosificación de cloro en el depósito construido para tal fin.

Las sustancias presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro, disminuyendo de esa forma los malos olores y el color del agua, a su vez el cloro actúa como desinfectante para eliminar contaminantes biológicos o agentes patógenos que pueden estar presentes.

Luego de la cloración se añaden dos químicos coagulantes (cal y sales de hierro) con el propósito de ayudar a la sedimentación de los sólidos en suspensión.

Seguidamente se realiza el proceso de aireación en la primera piscina, el fin es des-emulsionar las grasas para conseguir una mejor flotación de estas.

A medida que el agua avanza a través de las piscinas de sedimentación 1 y 2, ésta se dirige hacia la trampa de grasa, la que se encarga de eliminar aceites, grasas, espumas y demás flotantes aprovechando los resultados de la aireación.

Cuando el agua atraviesa la trampa de grasa se realiza un proceso final de filtrado, mediante un filtro de grava, el que se encarga de remover los sólidos suspendidos que no son removidos por la sedimentación. El filtro de grava es precisamente un lecho de grava y arena que retiene las partículas suspendidas.

### **2.5 Identificación de requerimientos y problemas**

Se precisa identificar las necesidades de monitoreo y control así como posibles problemas presentes en cada uno de los procesos de los sistemas involucrados en el tinturado de hilo de la empresa LUMONTEX S.A.

## 2.5.1 Necesidades del Sistema de generación de vapor

### 2.5.1.1 Monitoreo de nivel

Se necesita monitorear el nivel de líquido en cuatro tanques de agua con químicos a fin de que la empresa pueda tomar acciones de rellenado o pedidos de químicos con antelación.

La empresa requiere monitorear nivel medio y bajo en los tanques, para lo cual define que el nivel medio se sitúe a 50 cm desde la base de los tanques y que el nivel medio se fije a 20 cm. La Figura 2-21 indica uno de los cuatro tanques de químicos, en el cual se identifican los dos niveles de monitoreo deseados.



Figura 2-21 Tanque de químico

### 2.5.1.2 Monitoreo de presión

Se necesita una medición constante de la presión del distribuidor de vapor para generar una alarma en el caso de sobrepresiones. Es indispensable que se almacenen los datos medidos en un archivo de Excel con el propósito de que los operarios puedan realizar análisis de esos datos.

### 2.5.1.3 Monitoreo de temperatura

Se requiere medir en forma continua la temperatura del distribuidor de vapor y de la cámara de secado. Los datos medidos deben ser almacenados para su posterior interpretación por personal de la planta industrial.

## 2.5.2 Necesidades del Sistema de almacenamiento de combustible

### 2.5.2.1 Monitoreo de nivel

Se necesita monitorear nivel de diésel en sus dos tanques contenedores, de acuerdo a los requerimientos de la empresa se establecen dos niveles para cada tanque, nivel bajo y nivel alto. De esta manera la planta textil podrá gestionar el pedido de combustible de manera oportuna.

En el caso del tanque principal de almacenamiento el nivel bajo debe encontrarse a 120 cm. desde la parte superior del contenedor, y el nivel alto a 20 cm. Para el tanque de reserva es necesario situar el nivel bajo a 90 cm, y el nivel alto a 20 cm.

La Figura 2-22 y la Figura 2-23 indican el Tanque Principal y el Tanque de Reserva de diésel respectivamente, en los cuales se identifican los dos niveles de monitoreo deseados.



Figura 2-22 Niveles del tanque principal de diésel

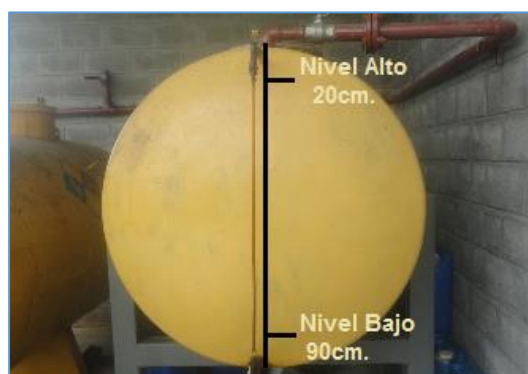


Figura 2-23 Niveles del tanque de reserva de diésel



### 2.5.3 Necesidades del Sistema de extracción y tratamiento de agua

Se requiere controlar seis bombas de agua, monitorear el nivel en dos tanques de agua con químicos y monitorear la presión de agua en la línea de distribución de la planta. También se necesita contar las horas de funcionamiento de las seis bombas existentes con propósitos de mantenimiento.

De manera adicional LUMONTEX S.A. establece que se debe generar una señal de alarma cada 3000 horas de uso de las bombas de procesos y tratamiento.

#### 2.5.3.1 Control de las bombas de agua

Se deben implementar controles de funcionamiento manual y automático para las bombas de tratamiento y para las bombas de extracción de agua. Las bombas de extracción de agua precisan únicamente de modo automático.

##### Modo manual

La operación en modo manual de todas las bombas debe estar regida por un selector que permita determinar encendido y apagado para cada bomba.

##### Modo automático

Para la operación en modo automático de las dos bombas de tratamiento y las dos bombas de extracción de agua, se precisa basar su funcionamiento de acuerdo al nivel de agua existente en la Cisterna de tratamiento y en la Cisterna de procesos. Los niveles de agua de las cisternas indican en la Figura 2-24.

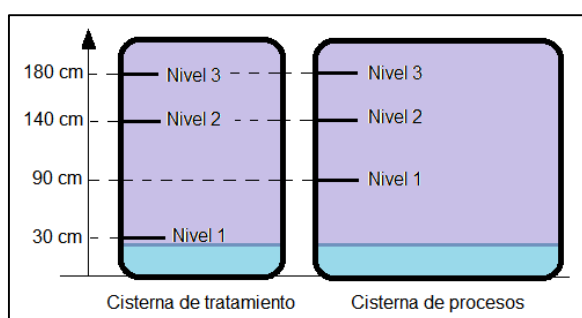


Figura 2-24 Niveles de las cisternas



Las bombas de extracción de agua de pozos deben funcionar bajo las siguientes consideraciones:

- Las dos bombas no pueden operar juntas, su funcionamiento será alternado por lapsos de una semana.
- Las bombas se encenderán hasta que el agua llegue al nivel 3 de la cisterna de tratamiento.
- Una vez que el agua alcanza el nivel 3, la bomba debe apagarse.
- A medida que el agua descienda y se situé en el nivel 2 las bombas deben encenderse nuevamente.
- Si el agua llega al nivel 1 debe existir una alarma que indique que el contenido de agua en la cisterna es bajo.

Se necesita que las bombas de tratamiento rijan su comportamiento según las siguientes indicaciones:

- Las dos bombas no pueden operar juntas, su funcionamiento será alternado por lapsos de una semana.
- Las bombas deben encenderse hasta que el agua llegue al nivel 3 de la cisterna de procesos.
- Una vez que el agua llegue al nivel 3 la bomba debe apagarse.
- A medida que el agua descienda y se situé en el nivel 2 las bombas deben encenderse nuevamente
- Si el agua de la cisterna de tratamiento alcanza el nivel 1 las bombas no deben encenderse.

En el caso de las bombas de procesos:

- Las bombas requieren encenderse por pérdida de presión en la línea de distribución de aire comprimido. El rango de presión para el funcionamiento de las bombas de procesos es de 40 a 65 PSI.
- Las bombas no deben encenderse si el agua alcanza el nivel 1 en la cisterna de procesos.

### **2.5.3.2 Monitoreo de nivel**

Es fundamental monitorear el nivel de líquido en dos tanques de agua con químicos, la empresa plantea que se monitoreen nivel bajo y nivel medio para cada tanque. El nivel bajo debe situarse a 20 cm desde la base de los tanques y el nivel medio a 50 cm.

### **2.5.3.3 Monitoreo de presión**

Es necesario una medición constante de la presión en la Línea de distribución de agua para generar alarmas en el caso de que la presión sea insuficiente o exista sobrepresión.

### **2.5.4 Necesidades del Sistema de tratamiento de aguas residuales**

El sistema requiere monitorear la presión en la Línea de distribución de aire comprimido y controlar el funcionamiento del compresor para que exista un suministro constante. También es fundamental contar las horas de funcionamiento del compresor con fines de mantenimiento, la empresa establece que se debe generar una señal de alarma cada 3000 horas de uso del compresor.

#### **2.5.4.1 Control del compresor**

##### **Modo manual**

Para el funcionamiento en modo manual se necesita de un selector de dos posiciones (ON/OFF), el cual una vez activado debe encender el compresor. El compresor no debe encenderse si la presión en la Línea de distribución es superior a 100 PSI.

##### **Modo automático**

Requiere el funcionamiento del compresor de la siguiente manera:

- Si la presión en la línea de distribución de aire es menor o igual a 70 PSI, el generador debe encenderse.

- Si la presión en la línea de distribución es igual a 120 PSI, el generador debe apagarse.
- A medida que la presión en la línea de distribución disminuya y alcance el valor de 70 PSI, el compresor debe encenderse nuevamente.
- Si la presión en la línea de distribución es menor a 70 PSI debe existir una alarma.

#### **2.5.4.2 Control de aireación**

Existe la necesidad de controlar el flujo de aire comprimido hacia la piscina de sedimentación 1, para esto se precisa montar una electroválvula en la línea de aire que conecta con las piscinas en mención.

#### **Modo Manual**

Para la operación de la electroválvula en modo manual se requiere de un pulsador. Si el pulsador es presionado, la electroválvula debe activarse y permitir el paso de aire durante 5 segundos, luego de ese tiempo la electroválvula tiene que desactivarse.

#### **Modo automático**

La electroválvula debe completar ciclos de encendido (dos segundos) y apagado (1 minuto) durante los días hábiles de trabajo, desde la 1 hasta las 6 p.m.

#### **2.5.4.3 Control de dosificación de químicos**

Se necesita poner en funcionamiento las tres bombas dosificadores, las cuales deben inyectar los químicos coagulantes y cloro cada vez que exista flujo de aguas residuales por el canal de tratamiento.

Estas bombas precisan únicamente un modo de funcionamiento automático y deben encenderse las tres a la vez.

## **CAPÍTULO III**

### **3 DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO**

#### **3.1 Diagramas PI&D de los Sistemas auxiliares**

Los diagramas P&ID se encuentran en el Anexo 1 de este documento.

#### **3.2 Selección de la Instrumentación**

Al estar definidas las necesidades de monitoreo y control de los sistemas auxiliares de LUMONTEX S.A., es importante seleccionar la instrumentación necesaria para medir o controlar las variables identificadas y los actuadores.

Las hojas de datos con las especificaciones técnicas de los instrumentos seleccionados se encuentran en el Anexo 2.

##### **3.2.1 Temperatura**

Para monitorear temperatura existen varios instrumentos de campo que se pueden emplear, entre los dispositivos de medición eléctricos los más importantes son: termistores, termopares y detectores de temperatura resistivos (RTD's).

###### **3.2.1.1 Termopares**

También se los conoce como termocuplas y son los dispositivos más comunes para medir temperatura en procesos industriales.

Consisten en un par de conductores metálicos distintos unidos entre sí formando dos puntos de unión, la primera llamada unión caliente, que está sometida a temperaturas altas y otra unión, denominada unión fría, la cual está sometida a temperaturas bajas. A continuación la Figura 3-1 indica la composición básica de una termocupla.

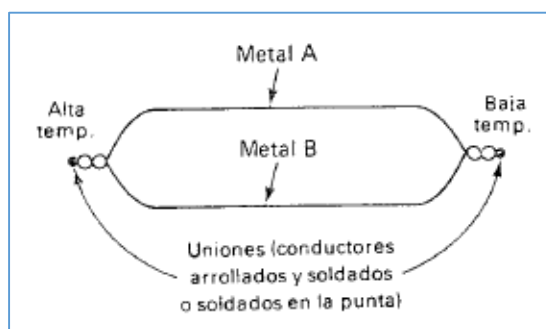


Figura 3-1 Termocupla básica

Fuente: (Maloney, 1983)

Cuando se mide la temperatura, lo que sucede es que se produce un pequeño voltaje en cada unión de los metales, debido a un efecto denominado Seebeck. Entre mayor sea la temperatura de la unión, mayor será el voltaje producido por dicha unión. La diferencia de voltaje entre las uniones se denomina voltaje neto, y para medir esta variación se debe abrir en algún punto de los metales y colocar el instrumento de medida. Existen varios tipos de termocuplas según las aleaciones metálicas que usen, entre las más comunes están la tipo J y la tipo K. (Maloney, 1983)

La medida de voltaje puede convertirse en una medida de temperatura, la Figura 3-2 indica esa relación.

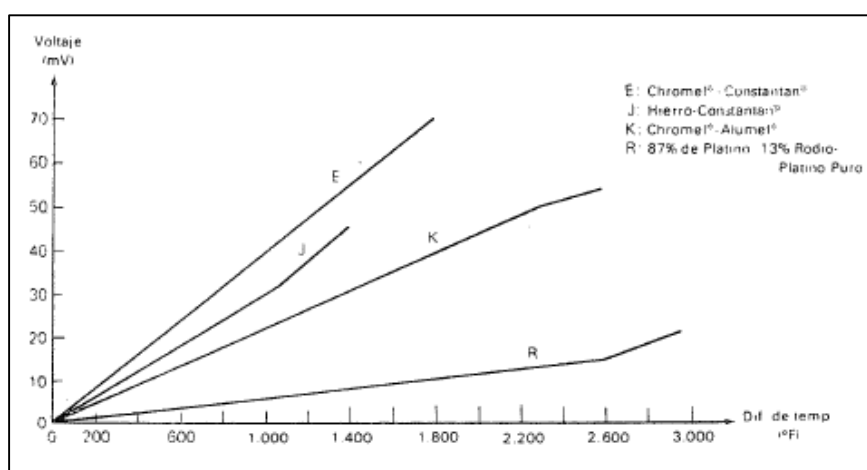


Figura 3-2 Curva de voltaje versus temperatura para las termocuplas

Fuente: (Maloney, 1983)

Entre las ventajas de usar termocuplas se tiene:

- Bajo costo en relación a otros sensores de temperatura como los RTD's.
- Amplio rango de medición, hasta 1250°C con una termocupla tipo K.

### **3.2.1.2 Termistores**

Un termistor es un sensor resistivo de temperatura que está formado por óxidos metálicos. Su funcionamiento se fundamenta en el cambio de la resistencia de acuerdo a un cambio en la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, la resistencia se vuelve más pequeña. (Maloney, 1983)

Los termistores carecen de estabilidad en el tiempo, lo que se vuelve una gran desventaja para este tipo de sensores.

### **3.2.1.3 Detectores de temperatura resistivos**

Los RTD's son sensores de temperatura que utilizan cambios predecibles en la resistencia eléctrica sobre la base de un aumento o disminución de la temperatura, a medida aumenta la temperatura, aumenta la resistencia del sensor.

Necesitan una fuente de alimentación para su operación puesto que el elemento que recibe la señal del RTD lee la temperatura como un cambio de voltaje. (WATLOW, 2015)

Entre las ventajas que presentan los RTD se tiene:

- Alta precisión, tienen un margen de error de hasta  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ .
- Puede ser extendido fácilmente hasta 30 metros con un conductor de cobre común.

Las desventajas que presenta el RTD son:

- Costo superior a los termopares y termistores.
- Requieren de elementos de protección para ser usadas en lugares donde existe mucha vibración.

### 3.2.1.4 Selección del sensor de temperatura

LUMONTEX S.A. dispone dos RTD's, que no se implementaron en la construcción de la cámara de secado para hilo tinturado, uno de los sensores se puede observar a continuación en la Figura 3-3.



Figura 3-3 Detector de temperatura resistivo

EL primer RTD cuenta una vaina roscada que le proporciona una conexión a presión en el punto de instalación, también le concede protección al sensor y lo hace adecuado para uso en ambientes donde existe vibración.

La Figura 3-4 indica una fotografía de la vaina de protección roscada de uno de los RTD disponibles en la planta industrial.



Figura 3-4 Vaina de protección para el RTD

Las especificaciones de los dos detectores de temperatura resistivos son las que se indican a continuación en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1

Especificaciones técnicas de los RTD's de la planta industrial

Ítem	Característica	Valor
1	Base de resistencia	100 $\Omega$ a 0 °C.
2	Rango de temperatura	-200 a 650 °C.
3	Dimensión punta de prueba	15,24 cm.
4	Número de hilos de conexión	3

El distribuidor de vapor del Sistema de Generación de Vapor opera en temperaturas de 0 a 180 °C y necesita un sensor con una punta de prueba superior a 8cm. A su vez la cámara de secado opera en temperaturas de hasta 80° y necesita un sensor con una punta de prueba de al menos 4 cm, por lo tanto las especificaciones técnicas de los RTD's disponibles satisfacen estos requisitos.

### 3.2.2 Nivel

Los sensores de nivel permiten conocer la altura de un líquido con relación a una base de referencia y una superficie limitada, estos sensores se pueden clasificar en varias categorías, una de ellas es para determinar si el nivel debe ser medido en un punto de ajuste dado o si debe ser medido en forma continua.

Dentro de los instrumentos más utilizados para medir nivel se tienen: sensores ultrasónicos, sensores de nivel capacitivos e interruptores de nivel.

#### 3.2.2.1 Sensores de nivel ultrasónicos

Un sensor ultrasónico funciona emitiendo y recibiendo ondas de sonido de alta frecuencia, estas ondas generalmente tienen un valor de 20 kHz.

La onda de sonido emitida se refleja en la superficie del líquido y el mismo sensor vuelve a detectarla. El tiempo de retorno de la señal es una medida de la altura de la sección vacía del contenedor; si a esta distancia se le resta la altura total del contenedor, se obtiene el nivel de líquido. El tiempo de retorno se convierte en una señal de salida analógica. La Figura 3-5 muestra el funcionamiento de este sensor.



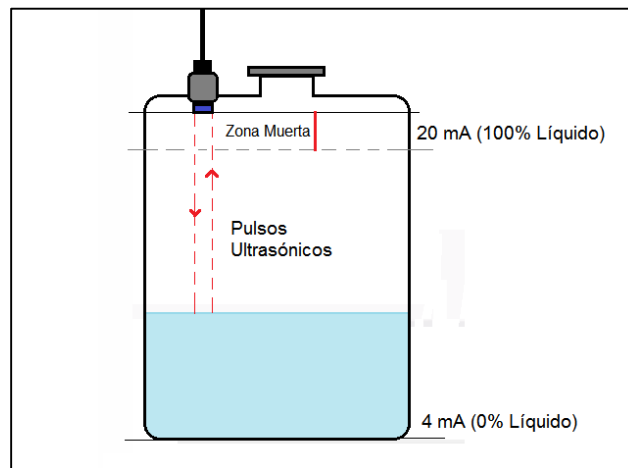


Figura 3-5 Funcionamiento del sensor ultrasónico

Las ventajas de estos sensores son:

- No necesitan estar en contacto con el líquido
- Amplios márgenes de detección, siendo común encontrar sensores de ultrasonido con rangos de trabajo de hasta 6 metros
- Salida analógica de voltaje o corriente
- Medición de nivel continua

Las principales desventajas de este tipo de instrumentos de medida es que no son diseñados para trabajar a altas temperaturas y su elevado costo en el mercado.

### 3.2.2.2 Sensores de nivel capacitivos

En esencia, un sensor capacitivo es un condensador, en el que se pueden variar los parámetros que definen su capacitancia, uno de estos parámetros es la permisividad del dieléctrico.

Los sensores de nivel capacitivos están formados por una placa metálica llamada electrodo o por una probeta de capacitancia.

La probeta de capacitancia se utiliza en líquidos no conductores, consiste de una cubierta exterior con una varilla metálica en el centro, éste conjunto actúa como un condensador y el líquido en el contenedor como un dieléctrico. El cambio progresivo

del valor de la capacitancia del sensor es generado por el aumento o disminución del nivel de líquido en el contenedor, dicho cambio dispara un circuito electrónico que puede ser un interruptor de nivel, o un transmisor de nivel. (Enríquez, 2000)

La Figura 3-6 presenta el modo de funcionamiento de un sensor capacitivo.

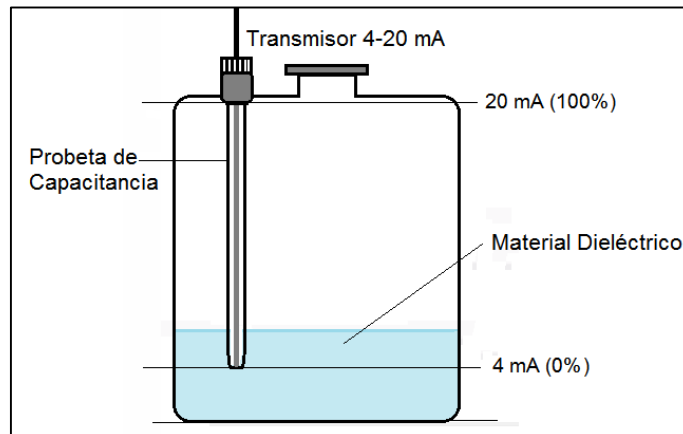


Figura 3-6 Funcionamiento del sensor capacitivo

En líquidos conductores se emplea el electrodo, entonces el condensador se forma por el electrodo y las paredes del contenedor. Al igual que con la probeta, el líquido es el material dieléctrico y de éste depende la capacitancia.

Las ventajas de este tipo de sensor son las siguientes:

- Adecuado para medir agua salada, agua dulce, ácidos y líquidos basados en productos químicos.
- Salida analógica de voltaje o corriente.
- Medición de nivel continua o con punto de ajuste dado.

Las desventajas de los sensores capacitivos son:

- Necesitan estar en contacto con los líquidos
- Dimensión de probeta limitada a 2m., para rangos superiores se deben realizar pedidos a fabricantes
- Costo elevado

### 3.2.2.3 Interruptores de Nivel

A los interruptores de nivel se los denomina también sensor de punto de contacto, el más común es el sensor de nivel tipo flotador, éste sensor usa un flotador y un brazo para activar un switch límite cuando el nivel de líquido es lo suficientemente alto. A medida que el nivel de líquido disminuye el brazo regresa a su posición inicial y el switch abre los contactos. La figura 3-7 muestra la forma en que funciona un sensor de este tipo.

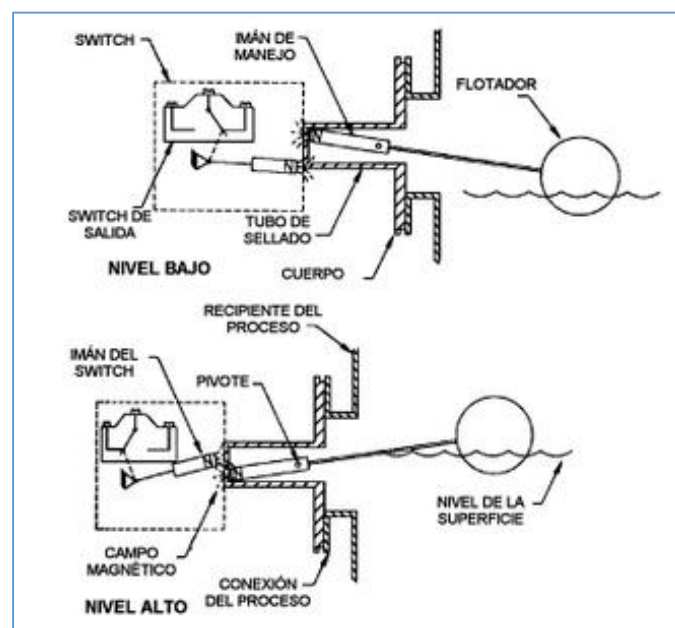


Figura 3-7 Funcionamiento del sensor de nivel flotador

Fuente: (Enríquez, 2000)

Otro tipo de sensor flotador utiliza un switch que se activa magnéticamente, el switch tiene una varilla con un imán en su extremo y está conectada al flotador, a medida que el líquido aumenta el flotador se mueve hacia el interior del cuerpo del sensor, donde se encuentra un imán móvil. Cuando el imán del flotador está en posición correcta atrae al imán del cuerpo del sensor, como consecuencia el switch cierra los contactos. Por el contrario cuando el nivel de líquido desciende, también lo hace el flotador y el imán no ejerce atracción en el switch. (Enríquez, 2000)

En la Figura 3-8 se aprecia el modo de funcionamiento de esta clase de sensor.

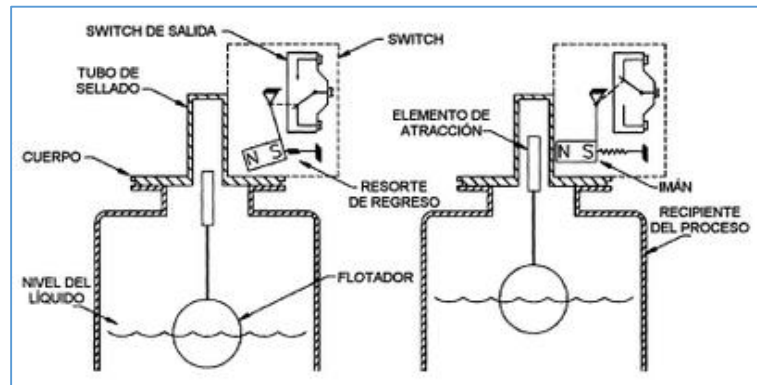


Figura 3-8 Funcionamiento del sensor de nivel flotador tipo magnético

Fuente: (Enríquez, 2000)

Una tercera variante de los sensores de nivel tipo flotador (Figura 3-9), son los sensores de nivel tipo boya. Estos interruptores no se utilizan en líquidos corrosivos, ni combustibles, están destinados a utilizarse en tanques de agua, aceites pocos densos y aguas servidas. Su funcionamiento es mecánico, posee un microswitch y la regulación de nivel se obtiene desplazando el contrapeso a través del cable y fijándolo al mismo con una traba provista para tal fin. (Viyilant, 2015)

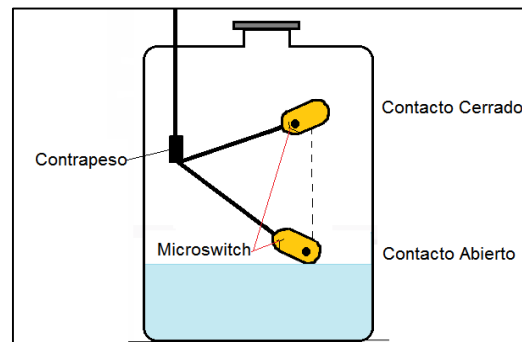


Figura 3-9 Funcionamiento del sensor de nivel flotador tipo boya

Entre las ventajas de los interruptores de nivel se tiene:

- Operan en condiciones de temperatura y presión alto, existen en el mercado interruptores de nivel que soportan condiciones de hasta 200 °C. y 300 PSI.
- Costo muy inferior a los sensores de nivel ultrasónico y sensores de nivel capacitivos.

La principal desventaja de los interruptores de nivel es que miden el nivel en un único punto de ajuste dado.

#### **3.2.2.4 Selección de sensores de nivel**

Se eligió usar interruptores de nivel tipo flotador para todos los contenedores y cisternas. La selección de este tipo de sensores de nivel se fundamenta principalmente en el presupuesto asignado por la empresa para el proyecto, los interruptores de nivel son la opción más económica y se ajustan perfectamente a las necesidades de monitoreo y control.

#### **Consideraciones del tipo de líquido**

Los interruptores de nivel tipo flotador deben ser apropiados para sumergirse en tres tipos de composiciones líquidas:

- Agua con químicos corrosivos, presente en el canal de tratamiento de aguas residuales, en cuatro tanques ubicados en el Sistema de generación de vapor y dos tanques colocados en el Sistema de extracción de tratamiento de agua.
- Agua con impurezas, localizada en las dos cisternas del Sistema de extracción y tratamiento de agua.
- Diésel, existente en los dos tanques del sistema de almacenamiento de combustible.

#### **Sensores para los tanques de agua con químicos corrosivos**

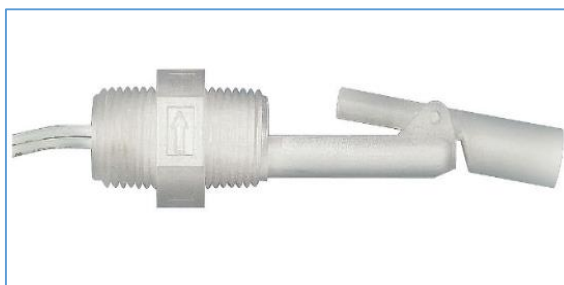


Figura 3-10 Sensor de nivel tipo flotador Madison M8700

Fuente: (Madison, 2015)

Para el caso particular de los contenedores con químicos corrosivos se seleccionó el interruptor de nivel Madison M8700, las especificaciones técnicas de este sensor se presentan en la Tabla 3-2.

Este interruptor de nivel es de montaje lateral, tiene un vástago y un flotador de polipropileno. El polipropileno ofrece gran resistencia química, es ideal para ser usado con fluidos ácidos utilizados en galvanoplastia y procesos químicos. (Madison, 2015)

Tabla 3-2

Especificaciones técnicas del sensor de nivel flotador Madison M8700

Ítem	Especificación	Valor
1	Material	Polipropileno
2	Temperatura máxima	105 °C
3	Presión máxima	100 PSIG
4	Tipo de conexión	½" NPT roscada
5	Capacidad Eléctrica del Switch	30 W., 240 V. Máx. AC/DC

### **Sensores para los tanques de diésel**

El sensor de nivel selecto es el Madison M4300, mostrado en la Figura 3-11 y cuyas especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 3-3. Este interruptor de nivel es de montaje vertical, posee un vástago de latón y un flotador de Buna N. Buna N es típicamente adecuado para uso con hidrocarburos, ácidos diluidos y bases de petróleo, tales como aceites lubricantes, gasolina y diésel. (Madison, 2015)



Figura 3-11 Sensor de nivel tipo flotador Madison M4300

Fuente: (Madison, 2015)

Tabla 3-3

Especificaciones técnicas del sensor de nivel flotador Madison M4300

Ítem	Especificación	Valor
1	Material del vástago	Latón
2	Material del flotador	Buna-N
3	Temperatura máxima [°C]	105
4	Presión máxima [PSIG]	150
5	Tipo de conexión	¼" NPT roscada
6	Capacidad Eléctrica del Switch	60 W., 240 V. Máx. AC/DC

### **Sensores para las cisternas**

Para las cisternas del Sistema de extracción y tratamiento de agua, se escogió el sensor de nivel tipo boya Viyilant, el cual puede observarse en la Figura 3-12, mientras que sus especificaciones técnicas están contenidas en la Tabla 3-4. El cuerpo de estos sensores es de polipropileno y es ideal para utilizarse en tanques de agua ya que no contiene mercurio. (Viyilant, 2015)



Figura 3-12 Sensor de nivel flotador tipo boya Viyilant

Fuente: (Viyilant, 2015)

Tabla 3-4

Especificaciones técnicas del sensor de nivel Viyilant

Ítem	Especificación	Valor
1	Material	Polipropileno
2	Temperatura máxima	60° C

Continúa 

3	Tipo de conexión	Suspendido/Posee 3 cables, 1 Común, 1 NA y 1 NC
4	Capacidad Eléctrica del Switch	120/240 VAC

### 3.2.3 Presión

Uno de los instrumentos electrónicos más utilizados para medir la presión de agua o aire en una tubería es el transmisor de presión.

El transmisor de presión convierte una presión aplicada en una señal eléctrica, la señal más común utilizada en aplicaciones industriales es un circuito de corriente de 4-20 mA., otras señales utilizadas incluyen 1-5 V o 0-10 V. Esta señal se envía a las computadoras, medidores digitales de panel u otros dispositivos de controladores lógicos programables (PLC) que interpretan la señal para mostrar, registrar, o cambiar la presión en el sistema que se está monitoreando. (Disetec, 2015)

La salida de estos dispositivos es lineal, lo que significa que la salida es directamente proporcional a la presión aplicada.

#### 3.2.3.1 Selección del transmisor de presión

Las características de la línea de distribución de aire comprimido, línea de distribución de agua y del distribuidor de vapor, descritas en el Capítulo 2, señalan que se necesita trabajar con presiones de hasta 120 PSI, el instrumento idóneo que satisface esas necesidades es el transmisor de presión WIKA S10 mostrado en la Figura 3-13 y cuyas especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 3-5.



Figura 3-13 Transmisor de presión WIKA S10

Fuente: (WIKKA, 2015)



Tabla 3-5

Especificaciones técnicas del transmisor de presión WIKA S10

Ítem	Especificación	Valor
1	Señal Analógica	4-20 mA.
2	Rango de Presión	0-145 PSI.
3	Corriente del sensor	20 mA.
4	Tipo de conexión	1/2" NPT roscada
5	Alimentación	10-30 VDC
6	Desviación [%]	<0.25

### 3.2.4 Transmisor de Temperatura

Un transmisor de temperatura convierte la señal de medición generada por un emisor de resistencia o por un termopar a una señal analógica de corriente.

El principio de funcionamiento de este transmisor se presenta en la Figura 3-14, el cual consiste en transformar la señal medida a una señal digital a través de un convertidor análogo-digital. A continuación se evalúa esa señal en un microcontrolador y se transmite a un segundo microcontrolador en dónde se calculan los valores de salida analógicos, mediante un convertidor digital-análogo, estos valores de salida analógicos son una señal de corriente entre 4 y 20 mA. (Siemens, 2015).

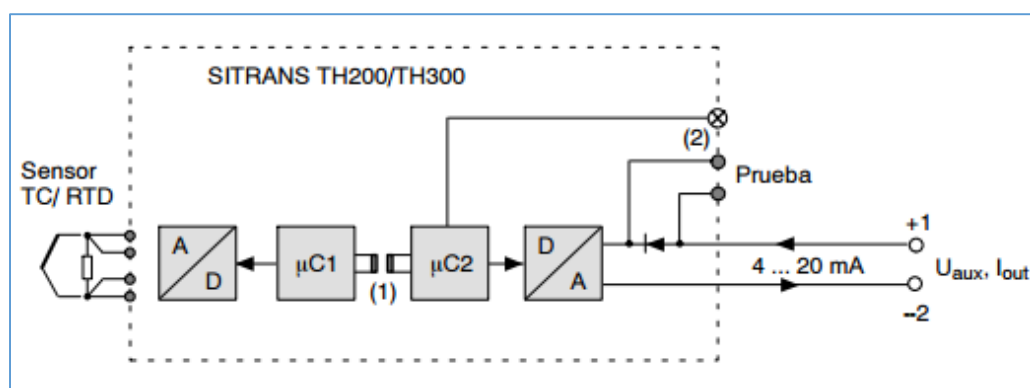


Figura 3-14 Esquema de funcionamiento de un transmisor de temperatura

Fuente: (Siemens, 2015)

### 3.2.4.1 Selección del transmisor de temperatura

El transmisor de temperatura escogido para el RTD disponible en la empresa es el SITRANS TH200.

Éste transmisor es compatible con la conexión de 3 hilos que presenta el RTD; la parametrización del SITRANS TH200, que consiste en establecer el rango de temperatura y la señal equivalente de 4-20 mA., se realiza por medio de un módem de parametrización y del software de manejo SIPROM T.

La Figura 3-15 muestra el transmisor SITRANS TH200, mientras que sus especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 3-6.



Figura 3-15 . Transmisor de temperatura SITRANS TH200

Fuente: (Siemens, 2015)

Tabla 3-6

Especificaciones técnicas del transmisor SITRANS TH200

Ítem	Especificación	Valor
1	Señal Analógica	4-20 mA.
2	Rango de temperatura configurado	0-200 °C
3	Corriente del sensor	22 mA. máx.
4	Alimentación	10-30 VDC
5	Conexión	RTD 3 hilos

### 3.2.5 Electroválvula

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos, la corriente aplicada fluye a través de una bobina solenoide lo que hace posible abrir o cerrar la válvula, controlando de esta forma el flujo de fluidos o gases. Al circular corriente por el solenoide se genera un campo magnético que atrae a un núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, de esa forma permite o impide el flujo a través de su conducto. (Distritec, 2015)

En la Figura 3-16 se pueden apreciar las partes que conforman una electroválvula.

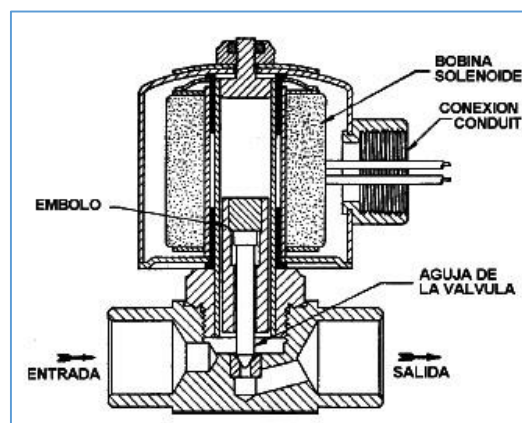


Figura 3-16 Partes de una electroválvula

Fuente: (Anónimo, 2015)

Cuando la válvula está cerrada:

- La presión interna empuja el émbolo hacia abajo, sobre el orificio.
- La diferencia entre la presión alta de entrada y la presión baja de salida, mantiene el émbolo sobre el orificio.

Cuando la válvula está abierta:

- La atracción magnética sostiene arriba al émbolo.
- El flujo interno que pasa a través del orificio ayuda a mantener abierto el émbolo.

### 3.2.5.1 Selección de la electroválvula

Debido al rango de presión existente en la Línea de distribución de aire (70-120 PSI), se optó por elegir la electroválvula de accionamiento directo SMC VXZ2240-04N-3CR1. En la Figura 3-17 se puede observar la electroválvula seleccionada y sus especificaciones técnicas en la tabla 3-7.



Figura 3-17 Electroválvula SMC VXZ2240-04N-3CR1

Fuente: (SMC, 2015)

Tabla 3-7

Especificaciones técnicas de la electroválvula SMC

Ítem	Especificación	Valor
1	Voltaje Nominal	110 VAC
2	Máxima Presión	145 PSI
3	Tipo de conexión	1/2" NPT roscada
4	Estado	Normalmente cerrada NC.
5	Peso	760 g.

## 3.3 Selección del controlador lógico programable

### 3.3.1 Definición

Un controlador lógico programable (PLC) es una forma especial de controlador basado en microprocesador que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones tales como la lógica, la secuenciación,

temporización, conteo y aritmética, para controlar a través de entradas/salidas digitales o análogas, máquinas y procesos. (Bolton, 2006)

Normalmente un PLC tiene los siguientes componentes funcionales básicos: unidad de procesamiento, memoria, fuente de alimentación, interfaz de entradas y salidas, interfaz de comunicación y dispositivo de programación. La Figura 3-18 muestra la relación que existe entre los componentes básicos de un PLC.

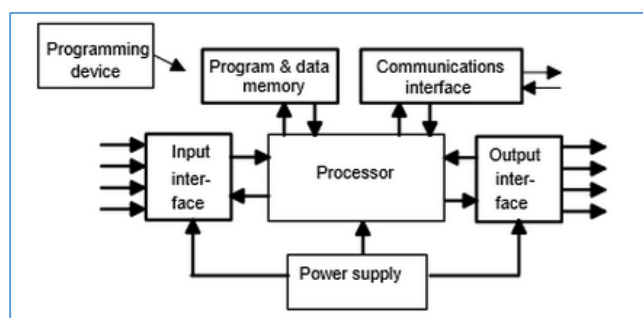


Figura 3-18 Componentes básicos de un PLC

Fuente: (Bolton, 2006)

- Unidad central de procesamiento: contiene el microprocesador, interpreta las señales de entrada y lleva a cabo las acciones de control, de acuerdo con el programa almacenado en su memoria, comunicando las decisiones como señales de acción a las salidas.
- Fuente de alimentación: Es necesaria para convertir la corriente alterna de la red a corriente continua de baja tensión, necesaria para el procesador y los módulos de entrada y salida.
- Dispositivo de programación: Se utiliza para ingresar el programa requerido en la memoria del procesador. El programa se desarrolla en la unidad, luego es transferido a la unidad de memoria del PLC.
- Unidad de memoria: es dónde el programa se almacena con fin de ser utilizado para las acciones de control ejercidas por el microprocesador mediante las salidas de acuerdo al procesamiento de las entradas.
- Interfaz de entradas y salidas: Son equipos con entradas o salidas, análogas o digitales, que intercambian señales con el PLC, cada dispositivo de entrada es

usado para conocer una condición particular de su entorno, por ejemplo temperatura, presión, posición, entre otras. Los dispositivos de salida son aquellos que responden a señales del PLC, cambiando o modificando su entorno.

### 3.3.2 Número de entradas y salidas requeridas

Es imprescindible establecer el número de entradas y salidas que debe tener el PLC para llevar a cabo la automatización de los sistemas auxiliares de la planta de tinturado.

A continuación en la Tabla 3-8 detalla las entradas que se requieren para la lectura de señales emitidas por los transmisores y sensores, así como también las salidas necesarias para controlar los diferentes equipos.

Tabla 3-8

Entradas y salidas requeridas por el PLC

Ítem	Instrumento	Cant.	Tipo	Detalle
1	Transmisor	1	Entrada Análoga	Transmisor de temperatura para el distribuidor de vapor.
2	Transmisor	1	Entrada Análoga	Transmisor de temperatura para la cámara de secado
3	Transmisor	1	Entrada Análoga	Transmisor de presión para el distribuidor de vapor.
4	Transmisor	1	Entrada Análoga	Transmisor de presión para la línea de distribución de agua de la planta.
5	Transmisor	1	Entrada Análoga	Transmisor de presión para la línea de distribución de aire comprimido de la planta.
6	Sensor de Nivel	2	Entrada Digital	Sensores de nivel tipo flotador para el tanque de químico del Sistema de Vapor
7	Sensor de Nivel	1	Entrada Digital	Sensores de nivel tipo flotador para el canal de tratamiento.
8	Sensor de Nivel	6	Entrada Digital	Sensores de nivel tipo flotador para los tres tanques de químicos del Sistema de tratamiento de aguas residuales

Continúa 

9	Sensor de Nivel	4	Entrada Digital	Sensores de nivel tipo flotador para los dos tanques de diésel.
10	Sensor de Nivel	4	Entrada Digital	Sensores de nivel tipo flotador para dos tanques de agua con químicos del Sistema de extracción y tratamiento de agua
11	Sensor de Nivel	4	Entrada Digital	Sensores de nivel tipo boya para las dos cisternas.
12	Selector	1	Entrada Digital	Selector de dos posiciones para selección de modo de funcionamiento de las dos bombas de proceso.
13	Selector	1	Entrada Digital	Selector de dos posiciones para selección de modo de funcionamiento de las dos bombas de tratamiento.
14	Selector	1	Entrada Digital	Selector de dos posiciones para activar el funcionamiento automático de las bombas de extracción de agua
15	Selector	2	Entrada Digital	Selector para activar funcionamiento de las dos bombas de procesos.
16	Selector	2	Entrada Digital	Selector para activar funcionamiento de las dos bombas de tratamiento.
17	Selector	1	Entrada Digital	Selector para activar funcionamiento del compresor de aire.
18	Pulsador	1	Entrada Digital	Pulsador con enclavamiento destinado a paro de emergencia de los Sistemas auxiliares
19	Bomba de Agua	2	Salida tipo Relé	Control de las dos bombas de procesamiento.
20	Bomba de Agua	2	Salida tipo Relé	Control de las dos bombas de tratamiento.
21	Bomba de Agua	2	Salida tipo Relé	Control de las dos bombas de extracción de agua de pozos.
22	Bombas dosificadoras	1	Salida tipo Relé	Control de las tres bombas dosificadoras de químicos.
23	Electroválvula	1	Salida tipo Relé	Salida para activar el funcionamiento de la electroválvula.
24	Compresor de aire	1	Salida tipo Relé	Salida para activar el funcionamiento del compresor de aire.
25	Baliza	1	Salida tipo Relé	Salida para activar el funcionamiento de la baliza indicadora de alarmas.

En base a la tabla anterior, se concluye que el controlador lógico programable deberá contar con el siguiente número de entradas y salidas.

- Entradas digitales: 30
- Entradas análogas: 5
- Salidas digitales: 10

LUMONTEX S.A solicitó que se tome en consideración un adicional de 8 salidas digitales y dos entradas análogas para futuros proyectos de automatización, por lo tanto el número de salidas digitales requeridas por el PLC es de:

- Entradas digitales: 30
- Entradas análogas: 7
- Salidas digitales: 18

### **3.3.3 Selección del controlador y módulos de expansión**

En el mercado actual existe diversidad de marcas y modelos de controladores lógicos programables. Cada modelo presenta semejanzas, ventajas y desventajas frente a modelos de la competencia.

Elegir el PLC idóneo para la automatización de un sistema es una parte fundamental, se debe seleccionar un autómatas que cumpla con los requerimientos mínimos de entradas y salidas, además de las prestaciones y funcionalidades necesarias para el proyecto.

Por cuestiones de fiabilidad y de servicio técnico disponible en el país, se ha optado por analizar dos marcas comerciales de controladores lógicos programables, éstas son Siemens y Allen Bradley.

#### **3.3.3.1 Controlador Allen Bradley**

La opción de la marca comercial Allen Bradley es el modelo de controlador SLC 5/05, las características relevantes de este equipo pueden ser observadas a continuación en la Tabla 3-9.



Tabla 3-9

## Especificaciones técnicas del controlador Allen Bradley SLC 5/05

Ítem	Especificación	Valor
1	Memoria de programa	64 Kb.
2	Tiempo de ejecución de bit	0,37 $\mu$ s.
3	Alimentación	85-240 VAC
4	Entradas y salidas	4096 máx./modular
5	Comunicación	10 Base-T Ethernet/ RS 232 (Incorporadas)
6	Instrucciones de programación	107

En cuanto a los módulos de entradas/salidas, Allen Bradley provee una extensa gama de productos, dentro de los cuales existen tres que proporcionan el número de entradas/salidas deseados para solventar los requerimientos. Las características de dichos módulos se detallan en la Tabla 3-10, a su vez, la Tabla 3-11 indica el costo que implica adquirir este controlador con los respectivos módulos de expansión.

Tabla 3-10

## Módulos de expansión para el controlador SLC 5/05

Ítem	Módulo	Característica
1	1746-IB32	32 entradas digitales, 24 VDC
2	1746-OB16	16 salidas digitales, 24 VDC
3	1746-NI8	8 entradas análogas, -20 a 20 mA.

Tabla 3-11

## Costo del controlador SLC 5/05 y módulos de expansión

Ítem	Equipo	Costo
1	Controlador 1747-1553	2269,99
2	Módulo de entradas digitales 1746-IB32	340,21
3	Módulo de salidas digitales 1746-OB16	328,35
4	Módulo de entradas análogas 1746-NI8	577,00
Total		3515,55

### 3.3.3.2 Controlador Siemens

Por otra parte Siemens provee el controlador S7-1200 1214C, las especificaciones relevantes de este modelo pueden ser vistas a continuación en la Tabla 3-12.

Tabla 3-12

Especificaciones técnicas del controlador S7-1200 1214C

Ítem	Especificación	Valor
1	Memoria de programa	75 Kb.
2	Entradas y salidas	14 DI 24VDC, 10 DO Relé, 2AI 0-10 VDC (integradas) Máx. 256 (8 módulos de expansión)
3	Comunicación	Ethernet (integrada)
4	Alimentación	85-264 VAC
5	Fuente de poder interna	24 VDC, 400 mA.
6	Tiempo de ejecución de bit	0,085 $\mu$ s.

Los módulos necesarios para suplir los requerimientos de entradas/salidas, y el costo que implica adquirirlos se detallan en las tablas 3-13 y 3-14 respectivamente.

Tabla 3-13

Módulos de expansión para el controlador S7-1200 1214C

Ítem	Módulo	Característica
1	SM 1223	16 entradas digitales, 24 VDC 16 salidas relé
2	SM 1231	8 entradas análogas, 0-20 mA.

Tabla 3-14

Costo del controlador S7 1200 1214C 6ES7214-1BG31-0XB0

Ítem	Equipo	Precio
1	Controlador S7-1200 1214C	468,00
2	Módulo de entradas/salidas digitales SM 1223	308,60
3	Módulo de entradas análogas SM 1231	432,99
Total		1209,59

### 3.3.3.3 Selección del PLC

Habiendo analizado las características de los dos controladores lógicos programables y teniendo presente el costo que implica para LUMONTEX S.A adquirir una de las dos opciones, se selecciona el controlador S7-1200 1214C de Siemens.



Figura 3-19 Controlador Siemens S7-1200 1214C

Fuente: (Siemens, 2015)

Este controlador posee cualidades superiores en rendimiento a las del controlador Allen Bradley, su limitación frente al otro controlador son el número de entradas y salidas (256), las cuales no son relevantes para el proyecto pues se necesitan 39 entradas/salidas en total.

La hoja de datos del controlador se encuentra adjunta en este documento como Anexo3.

## 3.4 Diseño Electrónico

### 3.4.1 Esquema eléctrico de conexión de sensores de nivel al PLC

Los sensores de nivel tipo flotador envían una señal de 120 VAC. Considerando que las entradas digitales del controlador lógico programable Siemens S7-1200 1214C son entradas a 24 VDC, surge la necesidad de emplear relés electromecánicos para que actúen en forma de interruptores de 24 VDC controlados por las señales eléctricas de los sensores de nivel.

El relé electromecánico basa su funcionamiento en una bobina y en un electroimán, cuando la bobina se energiza se crea un campo electromagnético que provoca que los contactos del relé hagan conexión. La Figura 3-20 muestra la distribución de contactos de un relé de ocho pines.

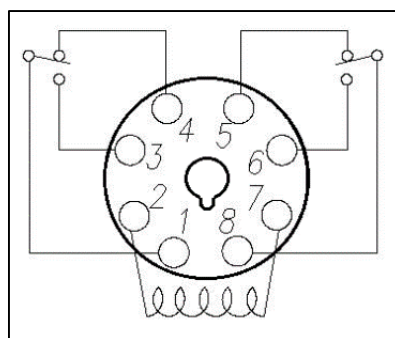


Figura 3-20 Contactos de un relé de 8 pines

Los pines 2 y 7 se refieren a la bobina, los pines 1 y 3 así como 8 y 6 señalan contactos normalmente abiertos (NA), finalmente los pines 1 y 4, 5 y 8, indican contactos normalmente cerrados (NC).

En este caso particular la bobina de los relés será accionada por los sensores de nivel, y se usará el contacto normalmente abierto para conectar la alimentación de la fuente de 24 VDC.

Teniendo presente que los sensores de nivel que se ubiquen en la parte inferior de los tanques de químicos, tanques de diésel y cisternas permanecerán más tiempo activados que los sensores que se ubiquen en la parte superior, se decide que los sensores de la parte inferior se montarán en sentido inverso y en el caso de los sensores de las cisternas, se utilizará el contacto normalmente cerrado.

El propósito de montar los sensores para medición de nivel bajo en forma inversa, es que no se produzca conmutación innecesaria en los relés asociados para disminuir el consumo de corriente que implican las entradas digitales hacia el PLC y reducir la temperatura en el tablero del PLC debido al calor que producen los relés cuando están energizados.

La Figura 3-21 indica el esquema de conexión eléctrico para comunicar las señales emitidas por los sensores de nivel hasta las entradas del PLC, en donde:

- Los números 11 y 12, hacen referencia a los contactos normalmente cerrados de los relés
- Los números 13 y 14 están relacionados con los contactos normalmente abiertos
- A1 y A2 simbolizan la bobina de los relés
- Finalmente IO.X representan las entradas digitales del PLC.

Cada sensor de nivel está representado por un nombre, por ejemplo SV\_T1\_NB denota al sensor de nivel bajo del tanque 1 del Sistema de generación de vapor.

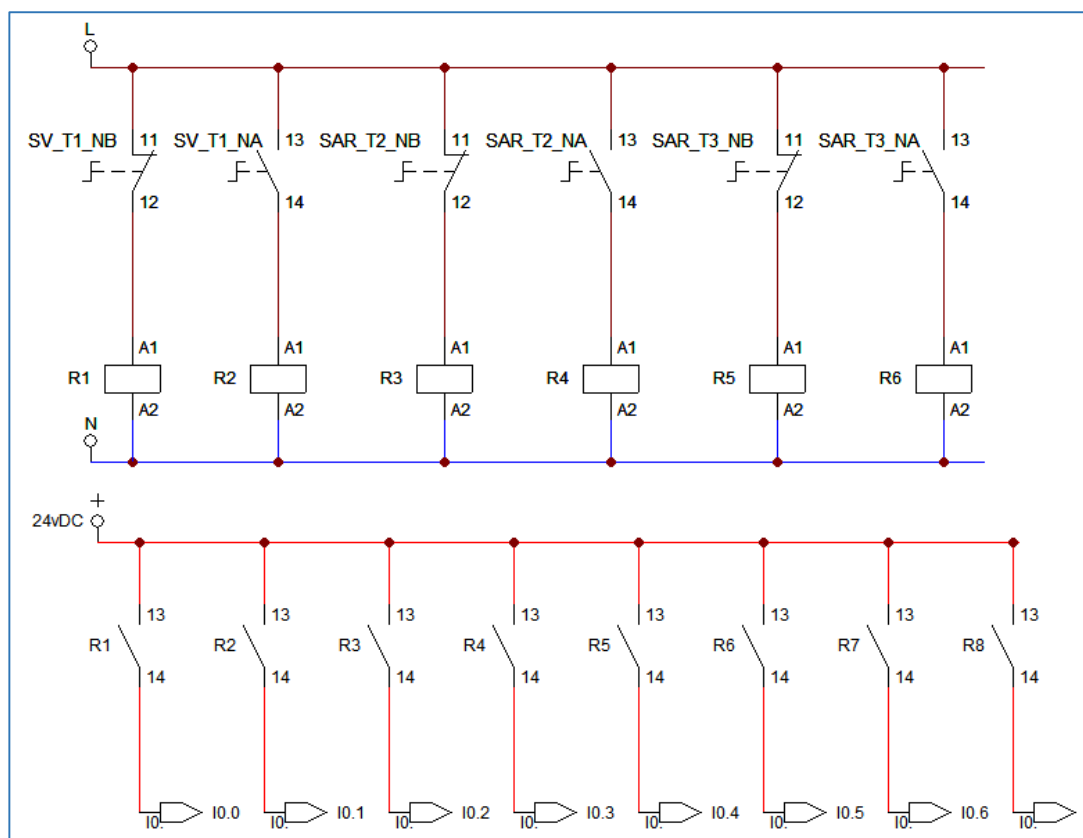


Figura 3-21 Esquema eléctrico de conexión de los sensores de nivel hacia el PLC.

El esquema eléctrico de conexión de los sensores de nivel hacia el PLC se encuentra contenido en este documento como Anexo 4.

### 3.4.2 Conductor para los instrumentos

Un conductor es un alambre o conjunto de alambres no aislados entre sí, destinados a conducir corriente eléctrica. (INEN, 2015)

Teniendo identificadas las especificaciones técnicas de la instrumentación seleccionada en el apartado 3.3, es necesario definir un conductor eléctrico adecuado para transportar las señales de monitoreo y control de los instrumentos.

Un aspecto importante para definir un conductor es tener presente la corriente que circulará por el conductor y la pérdida de voltaje debido a la resistencia que presenta el conductor debido a la distancia en que es extendido.

#### 3.4.2.1 Conductor para los sensores de nivel

Los sensores de nivel no están asociados a una carga que demande un consumo considerable de corriente, únicamente están relacionados con la corriente que circula por la bobina del relé, por lo tanto se ha determinado utilizar cable flexible 18AWG, basándose en las especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 3-15.

Las características de flexibilidad de este tipo de cable le permite soportar movimientos o vibraciones, son fácilmente maniobrables durante su instalación y operación, además conservan sus propiedades eléctricas de tal forma que la conducción de energía eléctrica se realiza de forma segura y confiable (Centelsa, 2015).

Tabla 3-15

Especificaciones técnicas del cable de cobre.

Conductor		Esesor	Resistencia 20°C	Diámetro exterior	Corriente	Voltaje
Calibre	Diámetro	Aislamiento				
AWG	mm	mm	Ohm/Km	mm	A	VAC
22	0,84	0,24	51,25	1,27	2	600
18	1,21	0,76	21,4	2,81	6	600
16	1,54	0,76	13,5	3,14	8	600

### 3.4.2.2 Conductor para los transmisores de nivel y presión

Como se observó en el apartado 3.3, tanto los transmisores de temperatura y los transmisores de presión, necesitan una fuente de alimentación de 10 a 30 VDC para su correcto funcionamiento.

Se precisa determinar la pérdida de voltaje que se produce por efecto de la distancia y la resistencia del conductor para garantizar que se está suministrando al menos la tensión mínima de operación de los equipos. La ecuación (1) permite determinar la caída de tensión en circuitos de corriente continua.

$$CT = \frac{2L * Rl * I}{1000} \quad (1)$$

Donde:

- CT = Caída de tensión, [V]
- L = largo del conductor, [m.]
- Rl = Resistencia del conductor, [ $\Omega$ /km]
- I = Corriente que circulará por el conductor

La distancia a la que estarán ubicados los transmisores respecto de la fuente de alimentación representa el largo del conductor L y se detalla en la Tabla 3-16.

Tabla 3-16

Distancia de los transmisores a la fuente de poder.

Ítem	Transmisor	Distancia [m]	Detalle
1	Temperatura	50	Transmisor de temperatura para RTD del distribuidor de vapor
2	Temperatura	25	Transmisor de temperatura para RTD de la cámara de secado
3	Presión 1	50	Transmisor de presión para el distribuidor de vapor
4	Presión 2	7	Transmisor de presión para la línea de distribución de aire comprimido.
5	Presión 3	6	Transmisor de presión para la línea de distribución de agua.

Aplicando la ecuación (1) para el caso del transmisor de temperatura del distribuidor de vapor y seleccionando un conductor apantallado de calibre 22 AWG se tiene:

- $L=50$  m.
- $Rl= 51,25 \Omega/\text{km}$
- $I= 0.022$  A

Reemplazando L y Rl en (1):

$$CT = \frac{2(50) * 51,25 * (0,022)}{1000}$$

$$CT = 0,11 \text{ V}$$

La Tabla 3-17 contiene los valores de caída de tensión correspondientes los diversos transmisores.

Tabla 3-17

Caída de tensión para la alimentación de transmisores

Ítem	Transmisor	Caída de tensión [V]	Detalle
1	Temperatura	0,11	Transmisor de temperatura para RTD del distribuidor de vapor
2	Temperatura	0,05	Transmisor de temperatura para RTD de la cámara de secado
3	Presión 1	0,11	Transmisor de presión para el distribuidor de vapor
4	Presión 2	0,015	Transmisor de presión para la línea de distribución de aire comprimido.
5	Presión 3	0,013	Transmisor de presión para la línea de distribución de agua.

Como se evidencia en la tabla anterior, la caída de tensión en los conductores no es representativa, por lo tanto se puede emplear el conductor 22 AWG sin inconvenientes para alimentar los transmisores de presión y temperatura.



### 3.4.3 Consumo de corriente

Es importante calcular el consumo de corriente total del PLC, módulos de expansión y transmisores a fin de determinar si la corriente proporcionada por la fuente de poder interna del PLC es suficiente para el funcionamiento correcto del sistema o a su vez se requiere de una fuente de poder externa.

La Tabla 3-18 permite observar el consumo total de corriente del autómatas programable en condiciones extremas de funcionamiento, es decir cuando están activadas todas las entradas digitales, análogas y salidas tipo relé necesarias para que funcione la automatización de los sistemas auxiliares. Los valores de consumo de corriente de cada elemento se obtuvieron de las especificaciones técnicas de cada equipo que constan en el Anexo 2.

Tabla 3-18

Consumo de corriente del controlador y los módulos

Ítem	Elemento	Corriente [mA.]	Cantidad	Total consumo [mA.]
1	CPU del controlador	100	1	100
2	Entradas digitales	4	30	120
3	Salidas digitales tipo relé	11	10	110
4	Entradas análogas	45	4	180
5	Transmisor de temperatura	22	2	44
6	Transmisor de presión	20	3	60
Total				614

La fuente de poder interna del PLC proporciona únicamente 400 [mA.] y como el consumo de corriente es superior, es necesario adquirir una fuente de alimentación de 24 VDC adicional, que al menos suministre 214 [mA.].

La empresa tiene a disposición una fuente de poder LOGO! Power de 24 VDC que suministra 2,5 [A.]. Se propone utilizar esta fuente como complemento para cubrir las necesidades de corriente.

La figura 3-22 permite ver un esquema de conexionado para la fuente de poder complementaria la cual energizará a los transmisores de presión y temperatura, así como a los módulos de expansión, por otro lado la fuente de poder interna del PLC suministrará corriente únicamente a las entradas y salidas integradas.

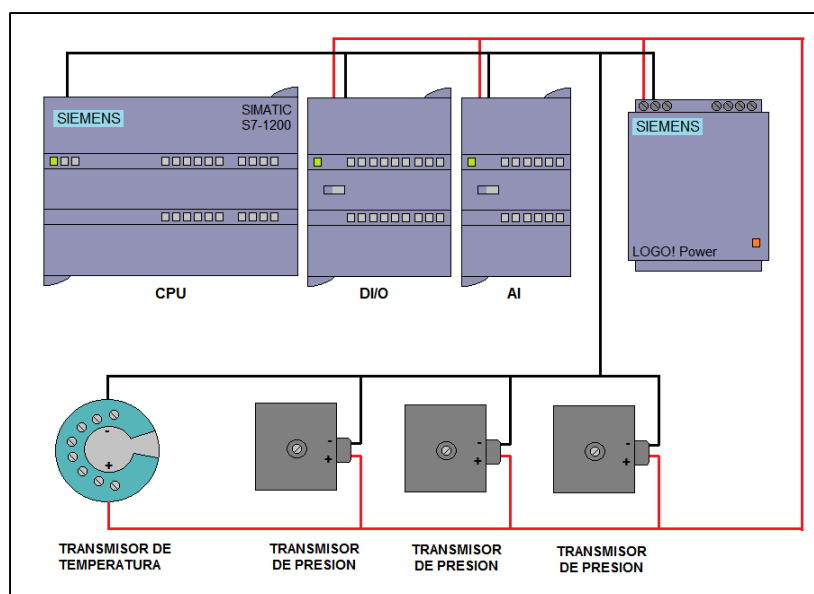


Figura 3-22 Esquema de conexión para la fuente de poder LOGO! Power

Al utilizar la fuente extra el consumo de corriente de la fuente interna del PLC será de 266 [mA.], mientras que el consumo de corriente de la fuente de poder LOGO! Power será de 348 [mA], solventando de esta manera el suministro de corriente para el sistema de monitoreo y control.

### 3.5 Desarrollo del software de control y monitoreo

#### 3.5.1 Descripción del software

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) es una aplicación de software que integra diferentes productos SIMATIC, entre los que se tiene los componentes de programación (STEP 7) y visualización (WinCC).

Los componentes del TIA Portal no son programas independientes, sino editores de un sistema que accede a una base de datos común por lo tanto todos los archivos se guardan en un mismo archivo de proyecto.

Al crear proyectos, el TIA Portal ofrece dos vistas diferentes:

- Vista del Portal: Admite un acceso rápido a todos los editores, como la programación de controladores, la visualización y la configuración de conexión de red.
- Vista del Proyecto: Permite un trabajo orientado a objetos.

### 3.5.1.1 Vista del portal

La Vista del portal organiza las herramientas de acuerdo con la tarea que se va a realizar, facilita la navegación por las tareas y datos del proyecto.

La Figura 3-23 indica una captura de pantalla de la Vista del Portal.

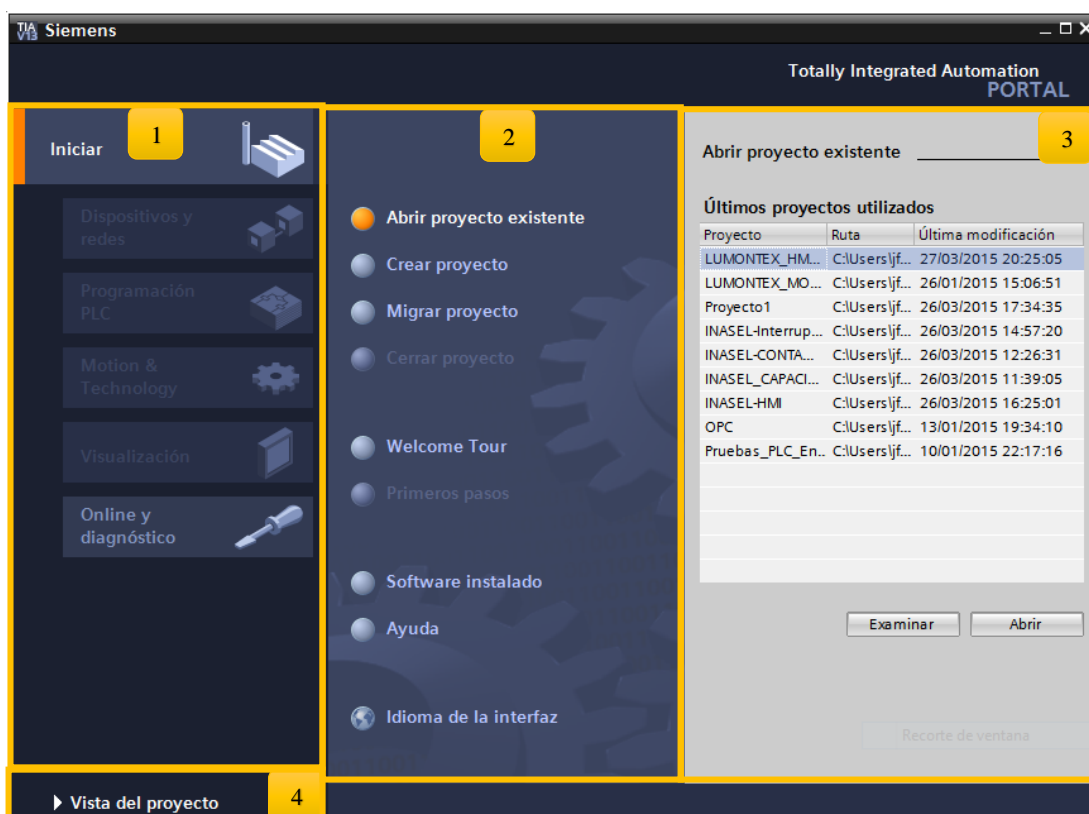


Figura 3-23 Vista del portal

Estructura de la vista del portal:

- 1 Portales: Proveen funciones básicas para los distintos campos de tareas.

- 2 Acciones, tareas del portal seleccionado: Son acciones realizables en el portal elegido.
- 3 Ventana de selección de la acción elegida: El contenido de esta ventana se adapta a la selección actual.
- 4 Cambio a vista del proyecto: Es un enlace para cambiar a vista del proyecto.

### 3.5.1.2 Vista del proyecto

Permite observar en forma estructurada todos los componentes del proyecto, además contiene diferentes editores que ayudan a crear o modificar dichos componentes. La Figura 3-24 presenta una captura de pantalla en donde se puede apreciar la Vista del proyecto con los respectivos componentes que la conforman

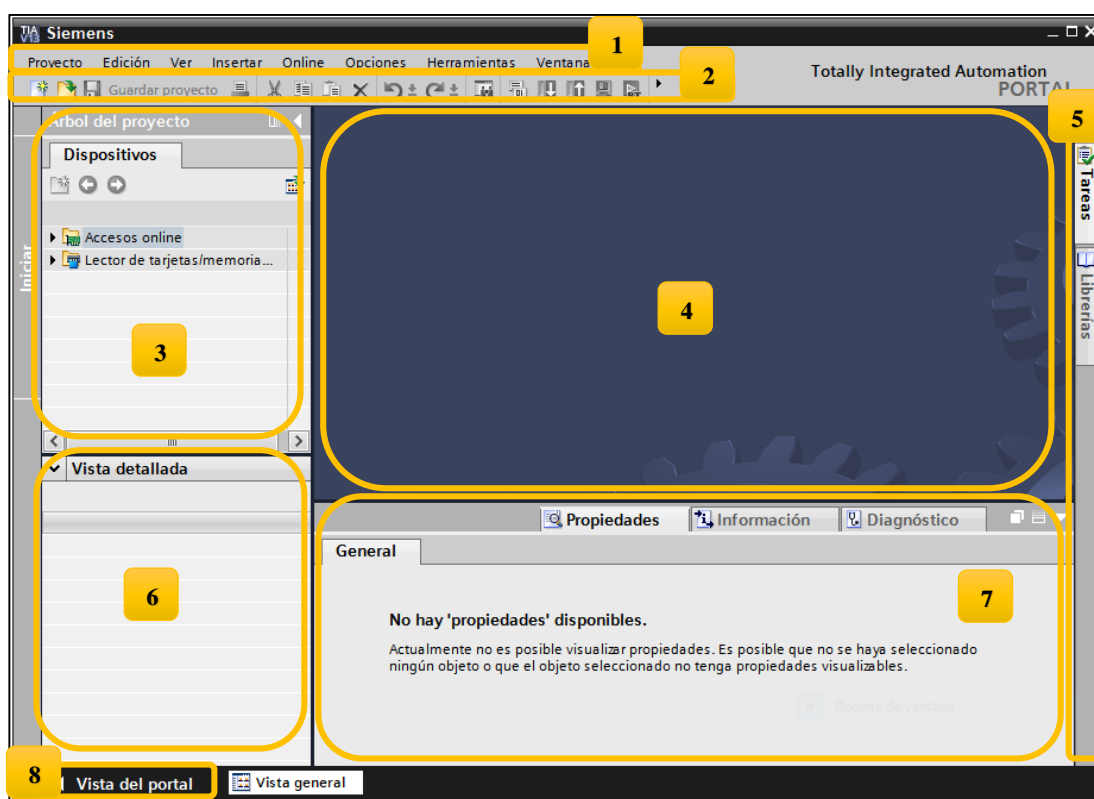


Figura 3-24 Vista del proyecto

Estructura de la vista del proyecto:

- 1 Barra de menú: Contiene todos los comandos para trabajar con el software.

- 2 Barra de herramientas: Provee botones de acceso directo a los comandos de uso común.
- 3 Árbol de proyecto: Permite acceder a todos los datos y realizar acciones de agregar, editar, consultar o modificar los componentes.
- 4 Área de trabajo: Consiste en la zona de visualización de los objetos que se abren para editarlos.
- 5 Task Cards: Dependen del objeto seleccionado, permiten elegir objetos de una librería o del catálogo de hardware, buscar y reemplazar objetos en el proyecto y arrastrar objetos predefinidos hasta el área de trabajo.
- 6 Vista detallada: Permite visualizar determinados contenidos del objeto seleccionado.
- 7 Ventana de inspección: Admite observar información adicional del objeto seleccionado o sobre las acciones realizadas.
- 8 Cambio a vista de portal: Es un enlace para cambiar a la vista del portal.

### 3.5.1.3 Creación de un nuevo proyecto

Para crear un nuevo proyecto usando el TIA Portal es necesario seguir los pasos que se detallan a continuación:


- Abrir el acceso directo del TIA Portal .
- En el área de Acciones, hacer clic en “Crear proyecto”.
- En la ventana de selección, asignar un nombre y establecer una ruta para el almacenamiento del proyecto.
- Por último, hacer clic en crear de la ventana de selección como se observa en la Figura 3-25.



Figura 3-25 Creación de un nuevo proyecto en el TIA Portal

### 3.5.1.4 Agregar el controlador y módulos de expansión

Una vez creado el proyecto, se procede a seleccionar el controlador lógico programable que se va a utilizar y los módulos de expansión para entradas y salidas.

#### Controlador

En este caso el controlador que se debe agregar es el S7-1200 1214C AC/DC/Rly, para ello se requiere realizar los pasos que se indican a continuación:

- En la Vista del portal, seleccionar el portal “Dispositivos y redes”.
- En el área de acciones, hacer clic en “Agregar dispositivo”.
- En la ventana de selección, elegir “Controladores” como se indica en la Figura 3-26.

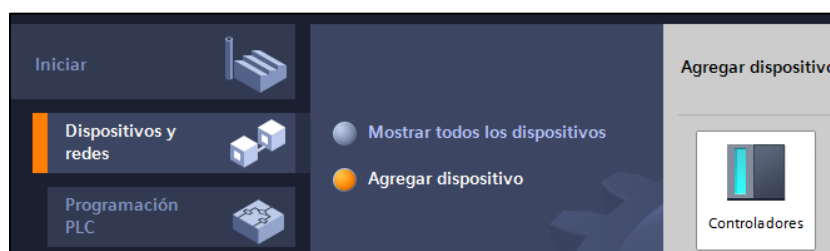


Figura 3-26 Agregar un controlador

- En la ventana de selección, escoger el controlador SIMATIC S7-1200 1214C AC/DC/Rly. La elección del controlador se visualiza en la Figura 3-27.

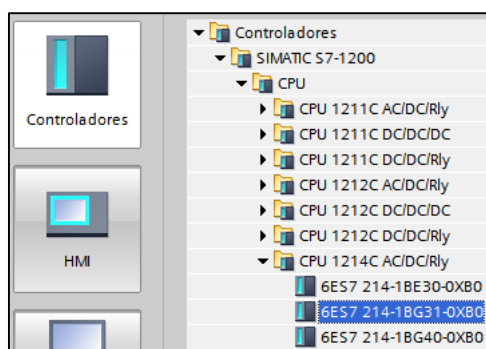


Figura 3-27 Elección del controlador

- Para concluir, hacer clic en “Agregar”.

Al finalizar las instrucciones anteriores se podrá visualizar al controlador en el árbol de proyecto.

### **Módulos de expansión**

Para agregar los módulos de expansión de entradas y salidas digitales y entradas análogas, se deben seguir los pasos que se detallan a continuación:

- Ubicarse en la Vista de proyecto
- En el Árbol de proyecto, seleccionar el controlador que se agregó como se indica en la Figura 3-28.

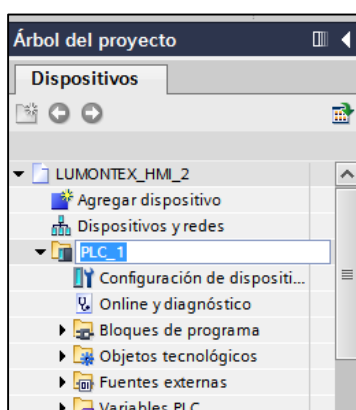


Figura 3-28 Árbol del proyecto

- Abrir “Configuración de dispositivos”
- Seleccionar “Catálogo de Hardware” del área de taskcards, como se ilustra en la Figura 3-29.

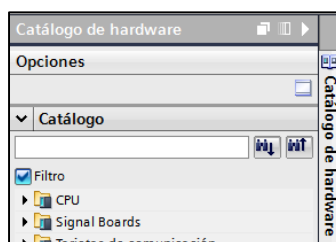


Figura 3-29 Catálogo de hardware del PLC

- Por último, ubicar y arrastrar los módulos de expansión correspondientes hacia el Área de trabajo como lo indica la Figura 3-30.

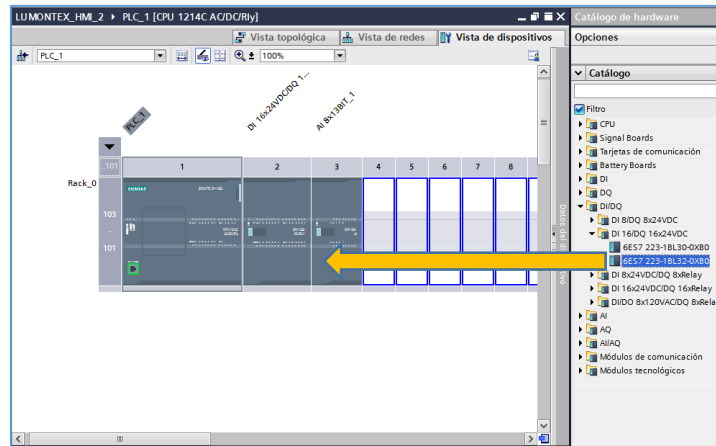


Figura 3-30 Controlador y módulos de expansión

### 3.5.1.5 Agregar el PC

Es preciso configurar un medio para observar la interfaz hombre máquina (HMI), el dispositivo elegido es el computador existente en las oficinas de la planta textil.

Los pasos necesarios a seguir para agregar el dispositivo son los siguientes:

- En la Vista del portal, seleccionar el portal “Dispositivos y redes”.
- En el área de acciones, hacer clic en “Agregar dispositivo”.
- En la ventana de selección, elegir “Sistemas PC” (ver Figura 3-31).

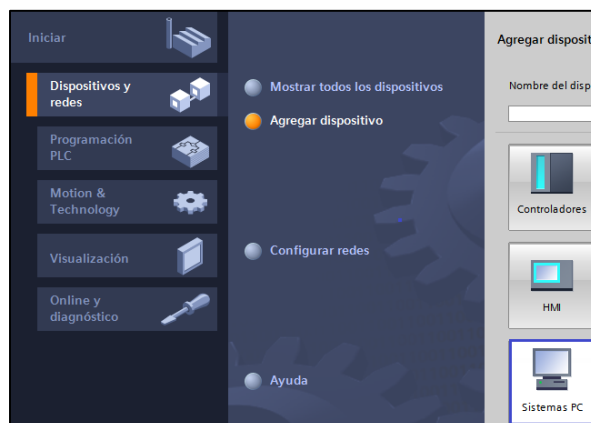


Figura 3-31 Selección del PC en la Vista del portal



- En la ventana de selección, abrir la pestaña “SIMATIC HMI Application”.
- Elegir “WinCC RT Advanced” como se indica en la Figura 3-32.

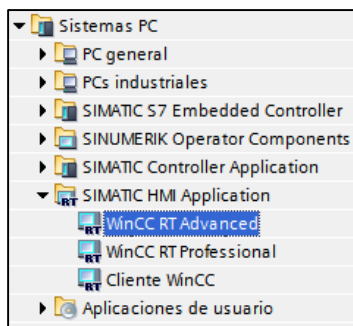


Figura 3-32 Configuración de PC como elemento de visualización para HMI

- Finalmente hacer clic en “Agregar”.

### 3.5.2 Topología de red

Para mantener la comunicación entre el PLC y el computador, se utiliza un enrutador, el que se encarga de enviar y recibir los paquetes de datos entre los dos equipos, desarrollando de esta manera una red de topología tipo estrella, como puede ser observado en la Figura 3-33.

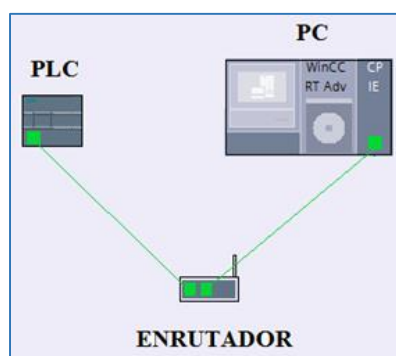


Figura 3-33 Topología de red para la automatización

El enlace entre los dispositivos utiliza el estándar Ethernet sobre par trenzado no apantallado (UTP).

La comunicación con el PLC permite al ordenador cumplir dos funciones primordiales, la primera es actuar de programador para el PLC; es decir que puede

realizar tareas de carga/descarga del programa, y la segunda función es servir como componente de visualización para la HMI.

### Configuración

Para la configuración de la comunicación se procede de la siguiente manera:

- En el árbol de proyecto, abrir el enlace “Configuración de dispositivos”, como se observa en la Figura 3-34.

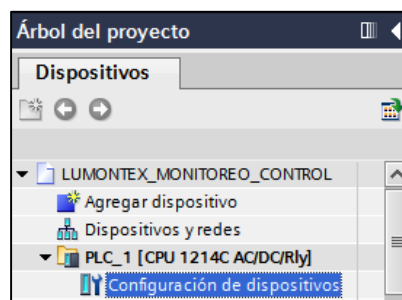


Figura 3-34 Configuración de dispositivos

- Ubicarse sobre el gráfico del controlador, como indica la Figura 3-35.

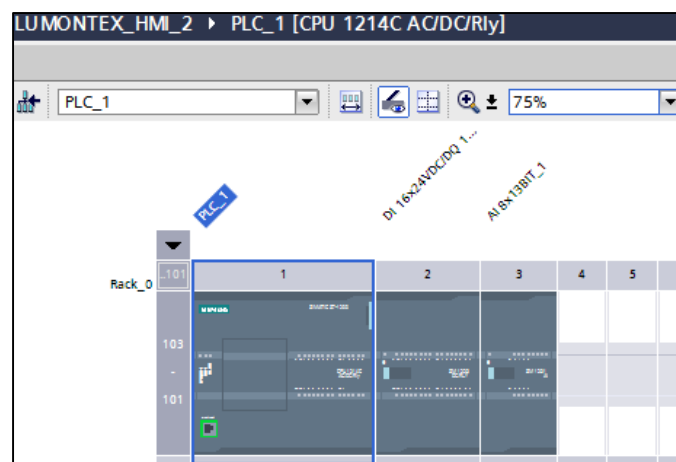


Figura 3-35 Gráfico del controlador lógico programable

- Realizar clic derecho y seleccionar propiedades.
- Ubicar “Interfaz PROFINET” y elegir “Direcciones Ethernet”, este proceso se ilustra en la Figura 3-36.

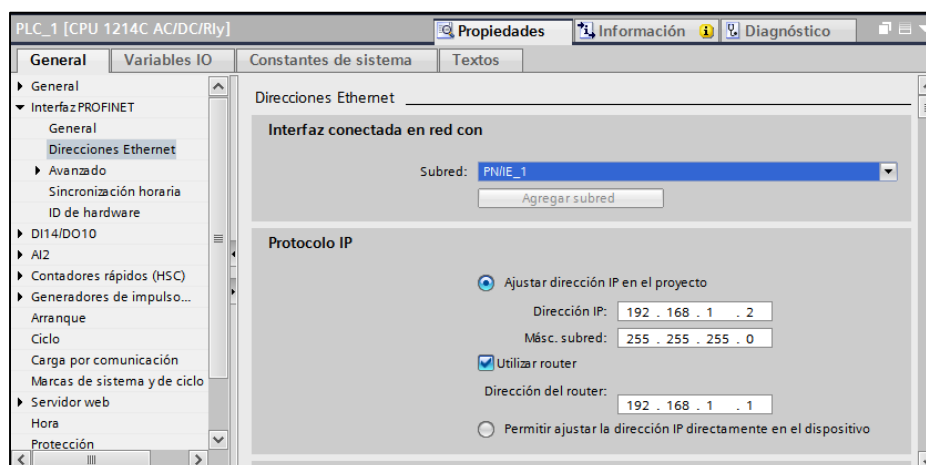


Figura 3-36 Propiedades de la interfaz PROFINET

- Seleccionar la subred y especificar: la dirección IP del controlador, la máscara de subred y la dirección de la puerta de enlace del router.
- Es imprescindible activar las casillas de verificación “Utilizar router” y “Ajustar dirección IP en el proyecto”.

Conjuntamente se requiere configurar la red inalámbrica para el computador, para éste fin se utiliza el Centro de redes y recursos compartidos, en dónde se puede asignar la dirección IP, máscara de subred y dirección de la puerta de enlace al ordenador, como se indica en la Figura 3-37.

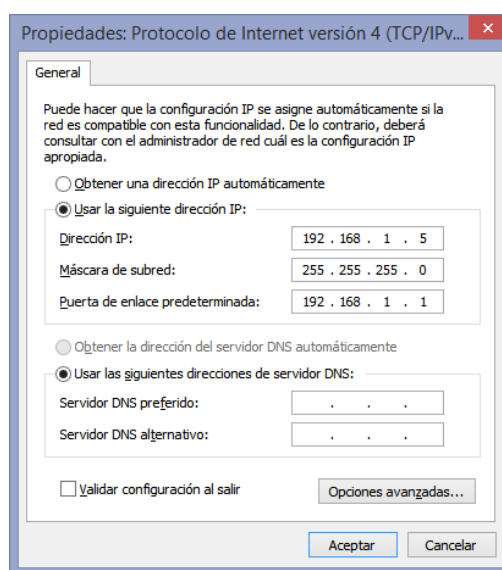


Figura 3-37 Propiedades del protocolo de internet del computador

Las puertas de enlace y máscara de subred del ordenador deben coincidir con las asignadas en el PLC y el enrutador, tal y como se indica en la figura anterior.

### **3.5.3 Programación**

La programación del controlador se ha desarrollado a partir de la elaboración de diagramas funcionales de control etapa-transición (GRAFCET), los que describen en forma gráfica cada proceso necesario para la automatización de los sistemas auxiliares de la planta textil.

Los diagramas funcionales pueden emplearse para describir los tres niveles de un automatismo:

- GRAFCET de nivel 1: Realiza una descripción funcional de manera global, la que permite comprender rápidamente la función del automatismo.
- GRAFCET de nivel 2: Realiza una descripción a nivel tecnológico y operativo. Describe las tareas que han de realizar los elementos escogidos.
- GRAFCET de nivel 3: Define la evolución del automatismo y la activación de las salidas en función de la evolución de las entradas. (Universidad de Valencia, 2015)

El GRAFCET está formado por una sucesión de etapas y transiciones conectadas entre sí por arcos orientados. Cada etapa puede tener asociada una o varias acciones a realizar sobre un proceso, en donde una transición representa la condición por la que el sistema evoluciona de la etapa que la precede a la etapa que la sucede. (Universidad Politécnica de Madrid - UPM, 2015)

#### **3.5.3.1 Diagramas Funcionales**

Se han creado GRAFCET de nivel tipo 1 y 2. Para facilitar el entendimiento de los diagramas funcionales de nivel tipo 2 es necesario elaborar una tabla en donde se detallan las variables que se usan con su respectiva descripción, dichas tablas pueden encontrarse a lo largo del desarrollo de este apartado.

### **Diagrama funcional general**

Es un GRAFCET de nivel 1, asociado al control y monitoreo de los sistemas auxiliares, en donde cada etapa está representada por un número. Las variables asociadas a este diagrama funcional son presentadas en la Tabla 3-19.

El GRAFCET general contiene un total de 8 etapas, cada una representa a los siguientes procesos:

- Etapa 0: Es la etapa inicial, la cual habilita las etapas de la 1 a la 6.
- Etapa 1: Etapa de espera que habilita el control de las bombas de extracción y tratamiento de agua desde la interfaz HMI o desde los tableros.
- Etapa 2: Etapa de espera que habilita el control de la electroválvula.
- Etapa 3: Etapa de espera que habilita el control del compresor.
- Etapa 4: Etapa de espera que habilita el control de las bombas dosificadoras.
- Etapa 5: Etapa que habilita la gestión de alarmas
- Etapa 6: Etapa que habilita el escalamiento de las señales análogas y determinación de la hora del sistema.

Tabla 3-19

VARIABLES ASOCIADAS AL DIAGRAMA GENERAL

Ítem	Variable PLC	Tipo	Dirección	Declaración	Descripción
0	Ini_CG	Bool	%M80.6	Marca	Habilita el Sistema de control y monitoreo
1	Ini_CB	Bool	%M80.7	Marca	Habilita el control de las bombas de agua
2	Ini_CEV	Bool	%M81.0	Marca	Habilita el control de la electroválvula
3	Ini_CCO	Bool	%M81.1	Marca	Habilita el control del compresor
4	Ini_CBD	Bool	%M81.2	Marca	Habilita el control de las bombas dosificadoras
5	ControlHMII	Bool	%M28.4	Marca	Habilita el control de las bombas de extracción desde la HMI

A continuación la Figura 3-38 indica el diagrama funcional de control de etapa-transición general para el programa.

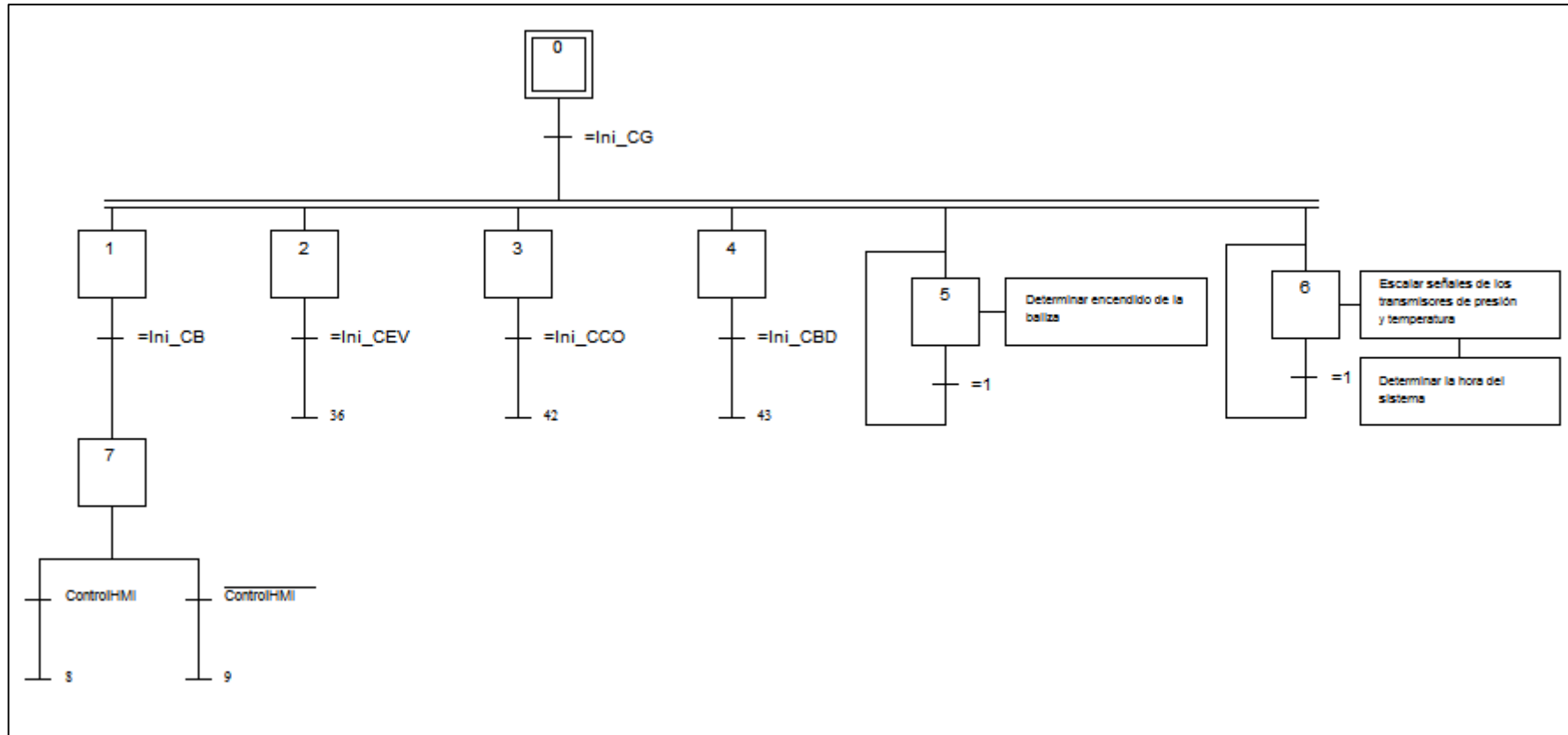


Figura 3-38 GRAFCET general para el programa

### **Diagramas funcionales para el control de los actuadores**

La Tabla 3-20 muestra las variables asociadas al control de las bombas de extracción, bombas de tratamiento y bombas de proceso desde la HMI y desde los tableros.

Tabla 3-20

#### Variables asociadas al control de las bombas - Parte 1

Ítem	Variable PLC	Tipo	Dirección	Declaración	Descripción
1	STA_Modo_BSE	Bool	%I13.6	Entrada	Selector para activar el modo de operación Auto. del compresor
2	STA_Modo_BST	Bool	%I13.3	Entrada	Selector de modo de operación (Manual/Auto.) para las bombas de tratamiento
3	STA_Modo_BSP	Bool	%I13.0	Entrada	Selector de modo de operación (Manual/Auto.) para las bombas de procesos
4	STA_BP1	Bool	%I13.1	Entrada	Selector para activar la bomba de procesos 1
5	STA_BP2	Bool	%I13.2	Entrada	Selector para activar la bomba de procesos 2
6	STA_BT1	Bool	%I13.4	Entrada	Selector para activar la bomba de tratamiento 1
7	STA_BT2	Bool	%I13.5	Entrada	Selector para activar la bomba de tratamiento 2
8	HMI_Modo_BSP	Bool	%M93.3	Marca	HMI - Selector de modo de operación (Manual/Auto.) para las bombas de procesos
9	HMI_Modo_BSE	Bool	%M93.4	Marca	HMI - Selector de modo de operación (Auto.) para las bombas de extracción
10	HMI_Modo_BST	Bool	%M93.7	Marca	HMI - Selector de modo de operación (Manual/Auto.) para las bombas de tratamiento
11	Op_SI	Bool	%M28.2	Marca	Variable auxiliar que se activa en semanas impares
12	Op_SP	Bool	%M28.3	Marca	Variable auxiliar que se activa en semanas pares
13	STA_CT_NA	Bool	%I12.5	Entrada	Sensor de nivel alto de la cisterna de tratamiento
14	RTM0	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento de la bomba de extracción 1
15	RTM1	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento de la bomba de extracción 2
16	O_STA_BE1	Bool	%Q0.5	Salida	Señal de control para activar la bomba de extracción 1
17	O_STA_BE2	Bool	%Q0.6	Salida	Señal de control para activar la bomba de extracción 2

A continuación en la Figura 3-39 se presenta el GRAFCET asociado a las variables descritas en la tabla anterior.

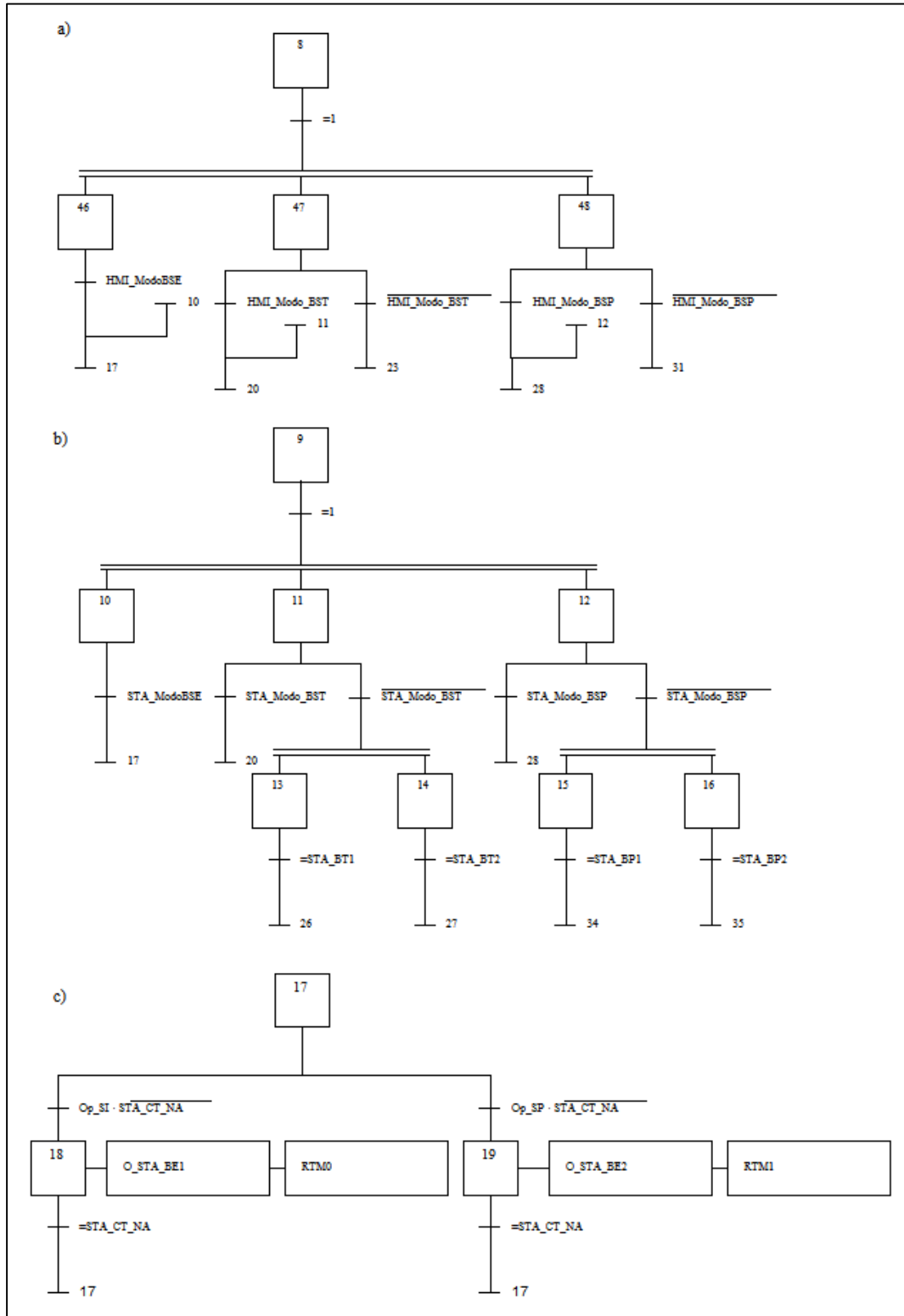


Figura 3-39 GRAFCET asociado al control de las bombas - Parte 1



La Tabla 3-21 es una continuación de las variables asociadas al control de las bombas de extracción, bombas de tratamiento y bombas de proceso desde la HMI y desde los tableros.

Tabla 3-21

## Variables asociadas al control de las bombas - Parte 2

Ítem	Variable PLC	Tipo	Dirección	Declaración	Descripción
1	STA_CT_NB	Bool	%I12.4	Entrada	Sensor de nivel bajo de la cisterna de tratamiento
2	STA_CP_NA	Bool	%I12.7	Entrada	Sensor de nivel alto de la cisterna de procesos
3	RTM2	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento de la bomba de tratamiento 1
4	RTM3	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento de la bomba de tratamiento 2
5	O_STA_BT1	Bool	%Q0.2	Salida	Señal de control para activar la bomba de tratamiento 1
6	O_STA_BT2	Bool	%Q0.3	Salida	Señal de control para activar la bomba de tratamiento 2
7	Op_SI	Bool	%M28.2	Marca	Variable auxiliar que se activa en semanas impares
8	Op_SP	Bool	%M28.3	Marca	Variable auxiliar que se activa en semanas pares
9	HMI_BT1	Bool	%M95.0	Marca	HMI - Selector para activar la bomba de tratamiento 1
10	HMI_BT2	Bool	%M95.1	Marca	HMI - Selector para activar la bomba de tratamiento 2
11	STA_CT_NB	Bool	%I12.4	Entrada	Sensor de nivel bajo de la cisterna de tratamiento
12	STA_CP_NB	Bool	%I12.6	Entrada	Sensor de nivel bajo de la cisterna de procesos
13	STA_CP_NA	Bool	%I12.7	Entrada	Sensor de nivel alto de la cisterna de procesos
14	AuxBP	Bool	%M28.0	Marca	Variable auxiliar para controlar encendido de las bombas de procesos
15	RTM4	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento de la bomba de procesos 1
16	RTM5	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento de la bomba de procesos 2
17	O_STA_BP1	Bool	%Q0.0	Salida	Señal de control para activar la bomba de procesos 1
18	O_STA_BP2	Bool	%Q0.1	Salida	Señal de control para activar la bomba de procesos 2

En la Figura 3-40 se presenta el GRAFCET asociado a las variables detalladas en la tabla anterior.

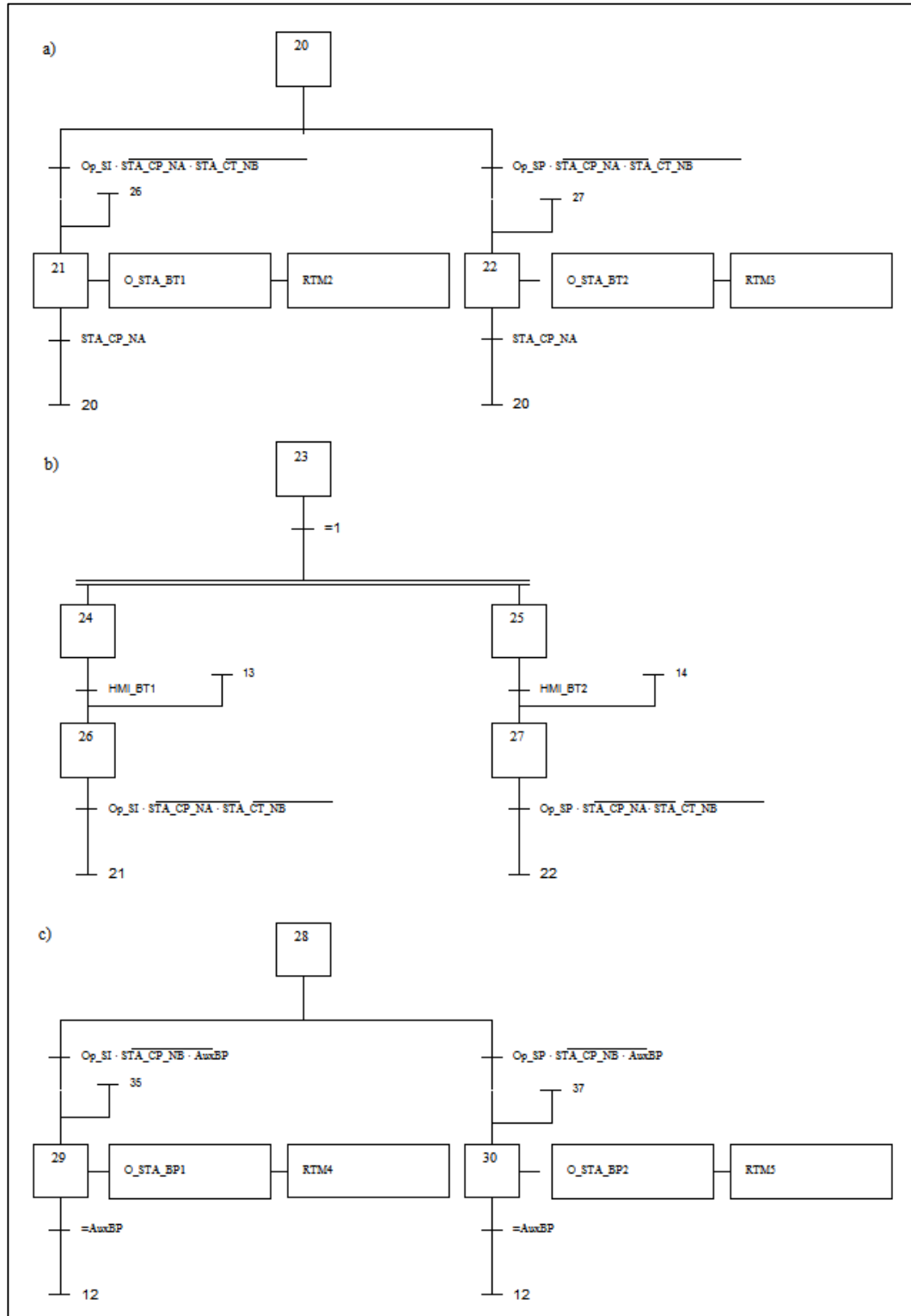


Figura 3-40 GRAFCET asociado al control de las bombas - Parte 2

La Tabla 3-22 es una continuación de las variables asociadas al control de las bombas de extracción, bombas de tratamiento y bombas de proceso desde la HMI y desde los tableros. Además se presentan las variables involucradas en el control de la electroválvula.

Tabla 3-22

Variables asociadas al control de las bombas y la electroválvula

Ítem	Variable PLC	Tipo	Dirección	Declaración	Descripción
1	HMI_BP1	Bool	%M93.5	Marca	HMI - Selector para activar la bomba de procesos 1
2	HMI_BP2	Bool	%M93.6	Marca	HMI - Selector para activar la bomba de procesos 2
3	STA_CP_NB	Bool	%I12.6	Entrada	Sensor de nivel bajo de la cisterna de procesos
4	Op_SI	Bool	%M28.2	Marca	Variable auxiliar que se activa en semanas impares
5	Op_SP	Bool	%M28.3	Marca	Variable auxiliar que se activa en semanas pares
6	PresAgua	Real	%MD24	Marca	Valor normalizado y escalado de la presión en la línea de distribución de agua
1	SAR_Modo_EV	Bool	%M64.4	Marca	HMI - Selector del modo de operación (Manual/Auto.) de la electroválvula
2	Dia_S	USInt	%MB3	Marca	Día de la semana 1-7, 1 para domingo
3	Hora_A	USInt	%MB4	Marca	Hora del reloj del CPU,0-23
4	O_SAR_EV	Bool	%Q12.0	Salida	Señal de control para activar la electroválvula
5	SAR_Ev	Bool	%M65.2	Marca	Pulsador para activar la electroválvula desde la HMI
6	Timer_Ev	Data Block	%DB5	Bloque de datos	Temporizador para activar la electroválvula en modo manual
7	AuxEV	Bool	%M64.7	Marca	Variable para activar la electroválvula, toma el valor de la salida de la subrutina S1

En la Figura 3-41 se presenta el GRAFCET asociado a las variables descritas en la tabla anterior.

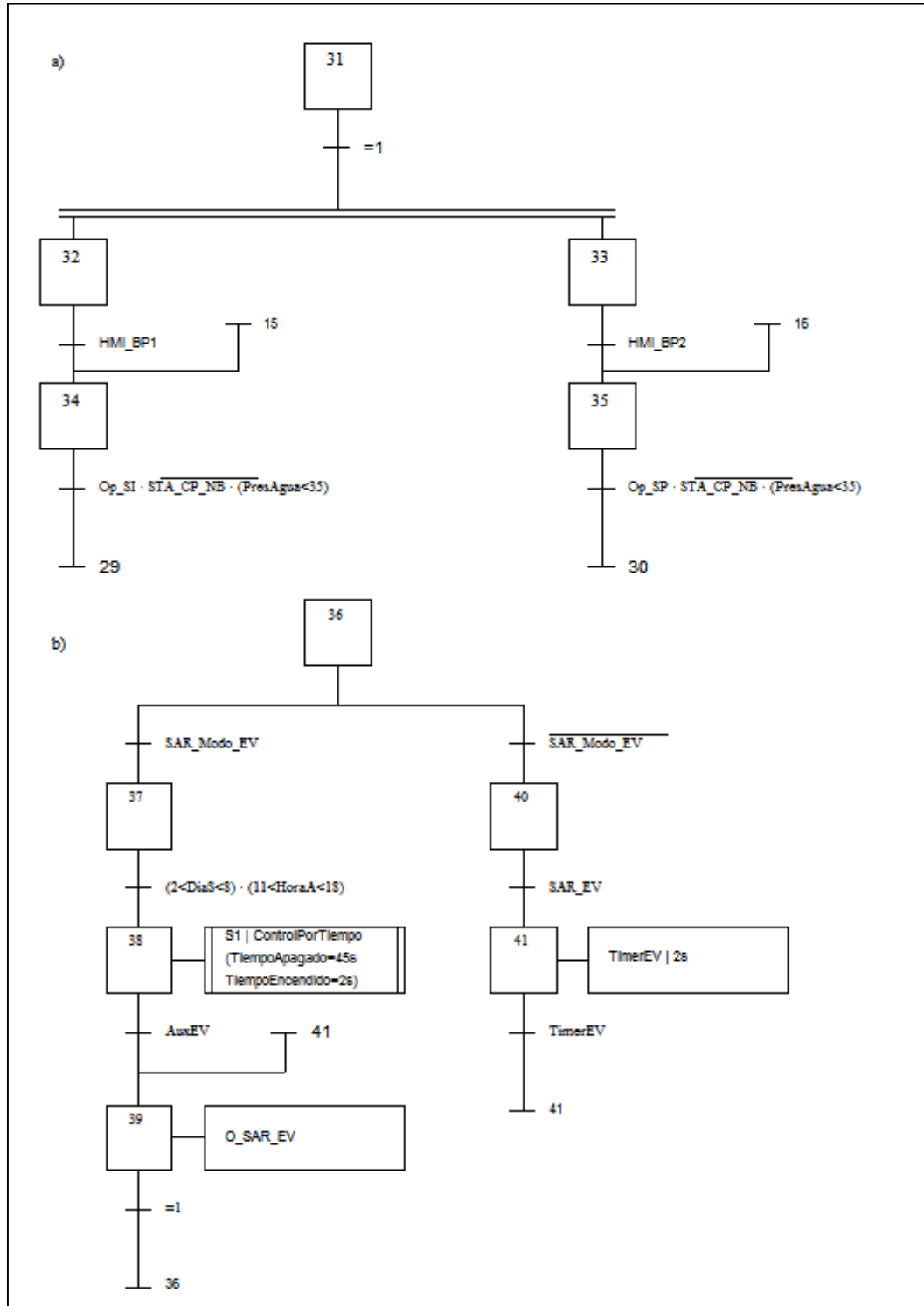


Figura 3-41 GRAFCET asociado al control de las bombas - Parte 3

A continuación en la Tabla 3-23 se indican las variables implicadas en el control del compresor y de las bombas dosificadoras, mientras que el GRAFCET relacionado a esta tabla se presenta en la Figura 3-42.

Tabla 3-23

Variables asociadas al control del compresor y bombas dosificadoras

Ítem	Variable PLC	Tipo	Dirección	Declaración	Descripción
1	SAR_Modo_BSD	Bool	%M77.5	Marca	HMI - Selector del modo Auto. para las bombas dosificadoras
2	SAR_Modo_CO	Bool	%I13.7	Entrada	Selector para activar el modo de operación Auto. del compresor
3	AuxCO	Bool	%M28.1	Marca	Variable auxiliar para el control del compresor
4	O_SAR_CO1	Bool	%Q0.4	Salida	Señal de control para activar el compresor 1
5	O_SAR_BSD	Bool	%Q12.2	Salida	Señal de control para activar las bombas dosificadoras
6	RTM6	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento del compresor 1
7	RTM7	SFC	-	Diagrama secuencial de funciones	Contador de Horas de funcionamiento de las bombas dosificadoras

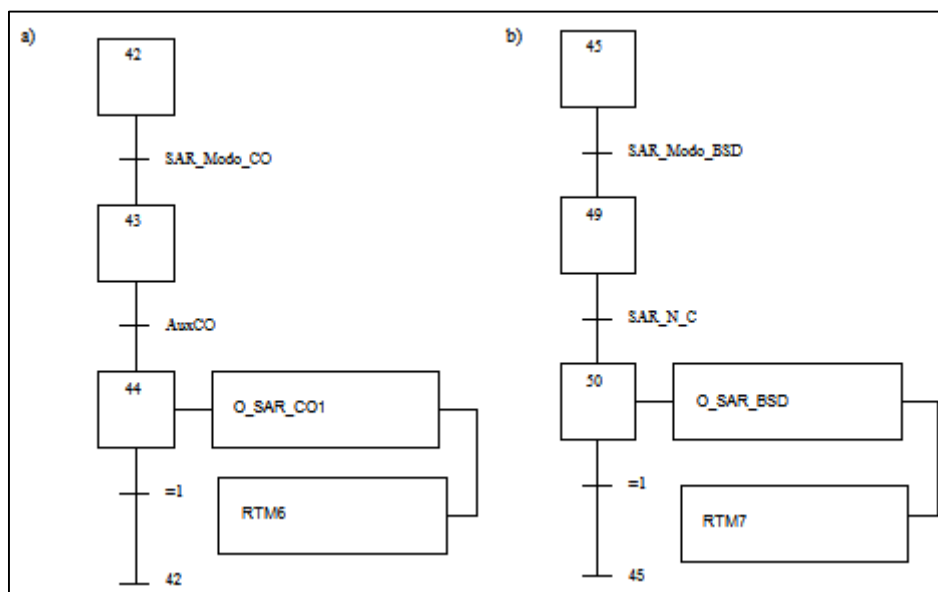


Figura 3-42 GRAFCET asociado al control del compresor y bombas dosificadoras

A continuación la Figura 3-43 presenta un GRAFCET de nivel 1 relacionado con la parada de emergencia, la cual detiene todos los procesos que se encuentren activos.

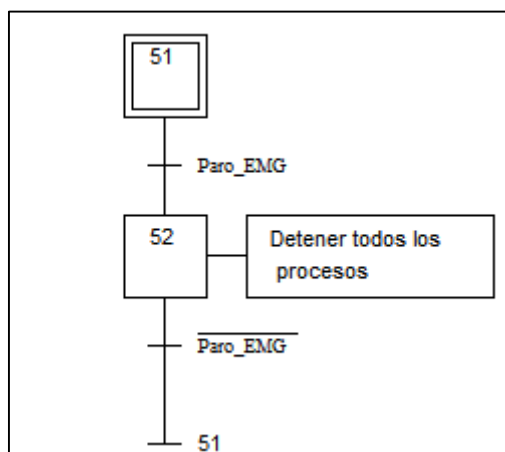


Figura 3-43 GRAFCET asociado al paro de emergencia

La variable “Paro\_EMG” es la variable que corresponde a la entrada física del pulsador de parada de emergencia, es un dato tipo Bool y tiene asignada la dirección de memoria %M81.3

### 3.5.3.2 Bloque de Programa

Es un bloque lógico de orden superior en el programa del controlador, en el que se pueden programar las instrucciones o llamar a otros bloques. Su ejecución es de manera de cíclica.

Contiene el programa principal para el control y monitoreo de los Sistemas auxiliares de la planta de tinturado.

El programa completo del controlador se encuentra contenido en este documento en el Anexo 5.

### 3.5.3.3 Gestión de alarmas

Para definir los tipos de alarmas que se pueden presentar durante la ejecución del sistema de control y monitoreo desarrollado, se usa como guía el estándar de manejo

de alarmas ANSI/ISA 18.2, el cual se enfoca en los sistemas de alarmas que son parte de sistemas de control basados en PLC aplicados en la industria.

### **Tipos de alarmas**

De acuerdo al estándar mencionado y a los procesos que se llevan a cabo por los cuatro sistemas auxiliares, se definen dos tipos de alarmas necesarias para el sistema de control y monitoreo:

- Alarmas de Monitoreo: relacionadas con el monitoreo continuo de los niveles de líquido en los diferentes contenedores y también con el monitoreo de presión y temperatura de los diversos equipos, razón por la cual se sub clasifican en Alarmas de nivel y Alarmas Análogas.
- Alarmas de Mantenimiento: relacionadas al tiempo de operación de las bombas de agua para actividades de mantenimiento.

La Figura 3-4 permite observar los tipos de alarmas que se consideran para el proyecto de acuerdo al estándar ANSI/ISA 18.2.

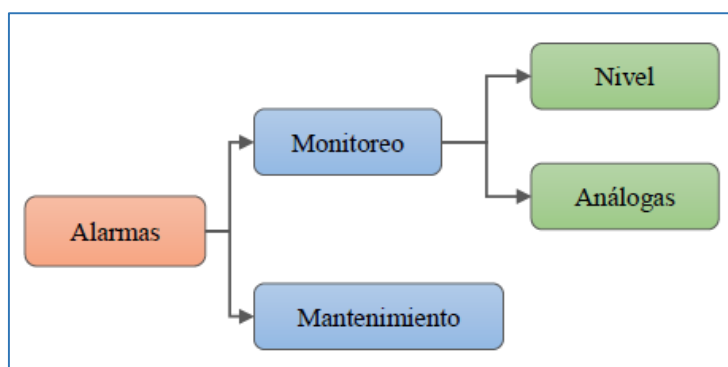


Figura 3-44 Tipos de alarmas para el sistema de monitoreo y control

Para gestionar las alarmas se utiliza una variable tipo Word a la que se ha denominado “Alarmas”. Una variable tipo Word es una secuencia de 16 bits por lo tanto se ha asignado a cada bit de la variable en mención un tipo diferente de alarma. En la Tabla 3-24 y en la Tabla 3-25 se indican las variables correspondientes a las alarmas de monitoreo, mientras que en la Tabla 3-26 se presentan las variables relacionadas con las alarmas de mantenimiento.

## **Alarmas de monitoreo**

Tabla 3-24

### Alarmas de nivel

Bit	Variable	Variable Asociada	Detalle de Alarma
0	Alarmas.X0	SV_T1_NB	Nivel bajo en el tanque 1 del Sistema de generación de vapor
1	Alarmas.X1	SV_T2_NB	Nivel bajo en el tanque 2 del Sistema de tratamiento de aguas residuales
2	Alarmas.X2	SV_T3_NB	Nivel bajo en el tanque 3 del Sistema de tratamiento de aguas residuales
3	Alarmas.X3	SV_T4_NB	Nivel bajo en el tanque 4 del Sistema tratamiento de aguas residuales
4	Alarmas.X4	STA_T1_NB	Nivel bajo en el tanque 1 del Sistema de extracción y tratamiento de agua
5	Alarmas.X5	STA_T2_NB	Nivel bajo en el tanque 2 del Sistema de extracción y tratamiento de agua
6	Alarmas.X6	SC_TP_NB	Nivel bajo en el tanque principal del Sistema de almacenamiento de combustible
7	Alarmas.X7	SC_TR_NB	Nivel bajo en el tanque de reserva del Sistema de almacenamiento de combustible

Tabla 3-25

### Alarmas análogas

Bit	Variable	Variable Asociada	Detalle de Alarma
1	Alarmas.X12	PresAire	Presión fuera de rango en la Línea de distribución de aire
2	Alarmas.X13	PresAgua	Presión fuera de rango en la Línea de distribución de agua
3	Alarmas.X14	PresDV	Presión superior a 120 PSI en el Distribuidor de vapor
4	Alarmas.X15	TempDV	Temperatura superior a 150 °C en el Distribuidor de vapor



## **Alarmas de mantenimiento**

Tabla 3-26

### Alarmas de mantenimiento

Bit	Variable	Variable Asociada	Detalle de Alarma
1	Alarmas.X8	HS_BT1	Mantenimiento preventivo de la Bomba de tratamiento 1 (3000 horas de funcionamiento)
2	Alarmas.X9	HS_BT2	Mantenimiento preventivo de la Bomba de tratamiento 2 (3000 horas de funcionamiento)
3	Alarmas.X10	HS_BP1	Mantenimiento preventivo de la Bomba de procesos 1 (3000 horas de funcionamiento)
4	Alarmas.X11	HS_BP2	Mantenimiento preventivo de la Bomba de procesos 2 (3000 horas de funcionamiento)

## **Funcionamiento de la Baliza**

Al existir tres tipos de alarmas, se requieren tres tipos diferentes de funcionamiento de la baliza que permitan a los operarios de la planta textil identificar qué tipo de alarma se suscitó. A continuación se detalla el funcionamiento de la baliza:

- Ante una Alarma de nivel: Se enciende durante 10 s. cada 10m.
- Ante una Alarma análoga: Se enciende durante 5 s. cada 5s.
- Ante una Alarma de mantenimiento: Se enciende durante 10 s. cada 10m.

## **Prioridades**

Existen niveles de prioridad ya que pueden suscitarse varias alarmas en un mismo periodo de tiempo, por lo tanto se han establecido tres prioridades en función de las cuales la baliza regirá su funcionamiento.

- La prioridad más alta la tienen las Alarmas análogas, pues están relacionadas con las líneas de distribución de agua y aire.

- Las Alarmas de nivel tienen prioridad media, ya que pueden ser atendidas con tiempo suficiente.
- Las Alarmas de mantenimiento tienen prioridad baja, debido a que está contemplado que el mantenimiento de los equipos se planificará a raíz de que se produzca la alarma.

### **3.5.4 Diseño de la Interfaz Hombre Máquina**

La interfaz hombre máquina, conocida por sus siglas en inglés HMI, puede pensarse como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora.

Los sistemas HMI en computadoras son conocidos como software HMI o de monitoreo y control de supervisión. Las señales de los procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, controladores lógicos programables, o unidades remotas de I/O.

#### **3.5.4.1 Funciones de un software HMI (Saco, 2015)**

Las principales funciones que cumplen las HMI se detallan a continuación:

- **Monitoreo:** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.
- **Supervisión:** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- **Alarmas:** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos.
- **Control:** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin

embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema.

- **Históricos:** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización de los procesos.

#### **3.5.4.2 Software Windows Control Center Advanced**

El paquete de software Windows Control Center Advanced (WinCC Advanced), constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los sistemas de visualización y control de procesos industriales desde PC.

A continuación se resumen sus características principales

- Arquitectura de desarrollo abierta (programación en C)
- Comunicación con otras aplicaciones vía OPC
- Programación online: no es necesario detener la runtime del desarrollo para poder actualizar las modificaciones en la misma
- Gestión de alarmas y registros históricos

#### **3.5.4.3 Desarrollo de la HMI**

Para el desarrollo de la HMI del presente proyecto, se ha hecho uso de la Guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión (GEDIS).

La guía GEDIS consiste en la especificación de los principales indicadores que comúnmente son utilizados en la interfaz hombre-máquina de salas de control para procesos industriales, entre los que se tiene: Arquitectura, Navegación, Distribución, Estándares de color y Alarmas

##### **Arquitectura**

Para iniciar el proceso de diseño de la HMI, se definen cinco pantallas generales, las cuales mantienen una arquitectura a un solo nivel, con el fin de que el operador

pueda acceder más rápido a la información, lo que no sucedería si se realiza una arquitectura jerárquica, dicha arquitectura puede ser observa en la Figura 3-45.

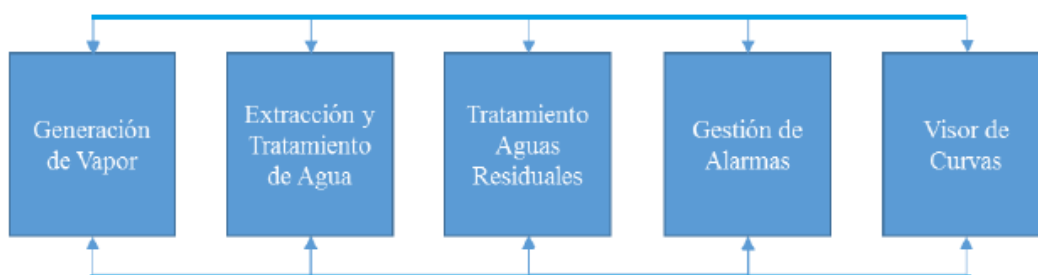


Figura 3-45 Arquitectura de las pantallas para la HMI

- Pantalla “Generación de Vapor”: Es una pantalla de proceso, la cual muestra el estado de los equipos y del proceso referente a la generación de vapor.
- Pantalla “Extracción y Tratamiento de Agua”: Es una pantalla de proceso y de comandos, las cual permite al operador realizar acciones generales como el arranque/paro y visualización de estado de equipos o selecciones varias.
- Pantalla “Tratamiento de Aguas Residuales”: Es una pantalla de proceso y de comandos.
- Pantallas “Visor de curvas”, es una pantalla de tendencias donde se muestran los valores de las variables de presión y temperatura en el tiempo.
- Pantallas “Gestión de Alarmas”: Es una pantalla de alarmas.

### **Distribución de pantallas**

En el segundo paso de la metodología se han desarrollado las plantillas que regirán el desarrollo de las pantallas propuestas. En una primera instancia se define la estructura de una plantilla general (Figura 3-46), para lo que se ha tomado en consideración lo siguiente:

- 1 Encabezado: Contiene el logotipo de la empresa, hora y fecha del sistema y un botón para cerrar la ventana.
- 2 Área de alarmas: Posee cuatro luces piloto que indican si se produjo algún tipo de alarma o paro de emergencia en los diferentes procesos.

- 3 Barra de navegación: Contiene cinco botones, los tres primeros botones permiten acceder a las imágenes que representan los tres procesos de los sistemas auxiliares: Generación de vapor, Extracción y tratamiento de agua y Tratamiento de aguas residuales). El cuarto botón permite abrir la imagen de gestión de alarmas, mientras que el quinto botón se usa para abrir la ventana del visor de curvas.
- 4 Área de trabajo: Es el espacio disponible para insertar los gráficos y textos que representan a los procesos de los distintos sistemas.

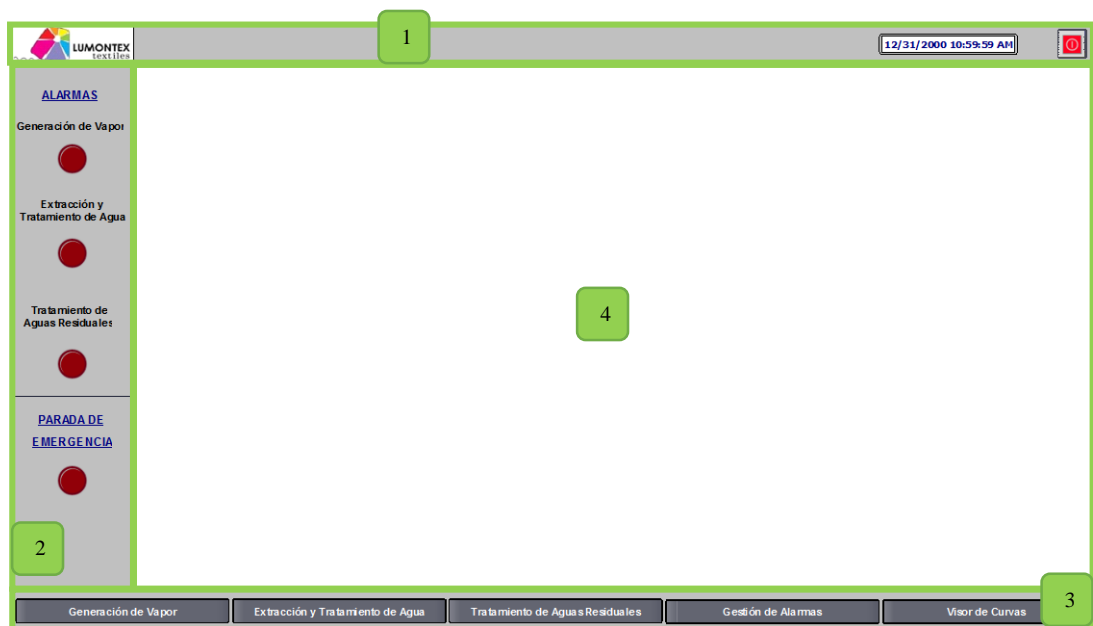


Figura 3-46 Plantilla general para el diseño de las Imágenes de la HMI

También se precisa el diseño de una plantilla auxiliar, cuyos componentes son:

- 1 Encabezado
- 2 Barra de navegación
- 3 Área de trabajo

La función de los componentes no difiere con la función de los componentes de la plantilla general. En la plantilla auxiliar se suprime el Área de alarmas porque algunas pantallas requieren un área de trabajo más grande o no necesitan visualizar las alarmas. La imagen 3-47 muestra la plantilla auxiliar.

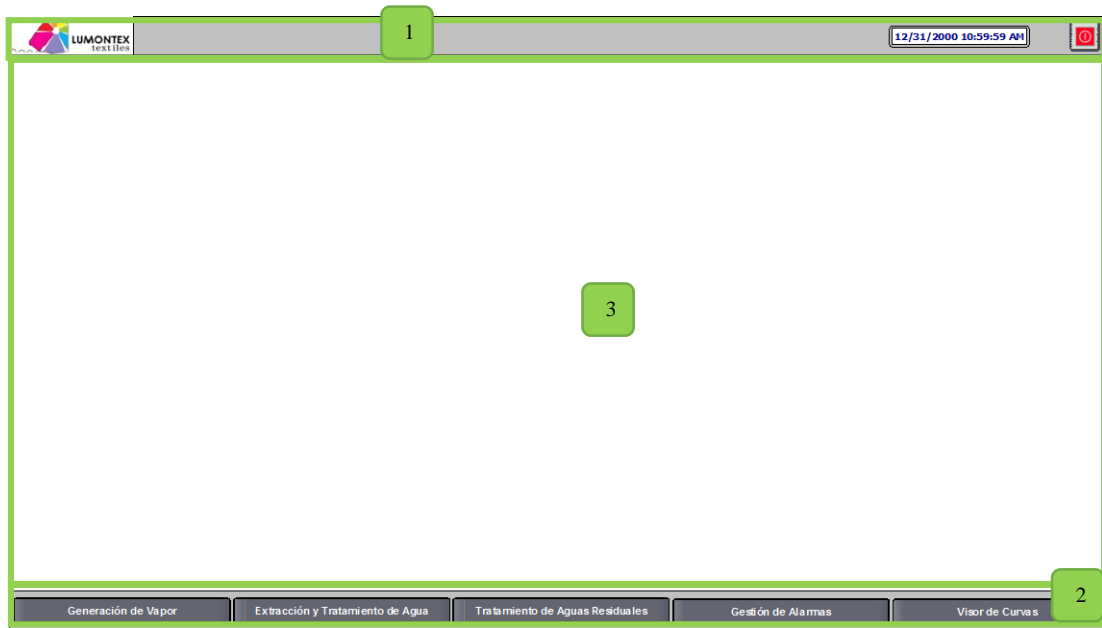


Figura 3-47 Plantilla auxiliar para el diseño de las Imágenes de la HMI

### Uso del Color

La guía GEDIS señala que el color es uno de los elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces HMI, su uso adecuado (conservador, convencional y consistente) es determinante para la generación de una excelente interfaz. (Ponsa & Granollers, 2015)

Para la selección de colores se han considerado las siguientes directrices sugeridas por la guía GEDIS:

- Usar colores neutros para el fondo de pantalla (gris, beige, arena, azul)
- Los colores del fondo deben ser contrastantes con los demás elementos.
- El uso de diferentes colores de fondo puede ser utilizado para diferenciar o agrupar procesos o áreas de la planta.
- Evitar el uso de colores primarios o fuertes en zonas grandes de la pantalla.

### Color del área de trabajo

Para el color del área de trabajo se eligió el color gris pizarra, debido a que permite mantener armonía con los colores de los mímicos de cada sistema y con los demás

elementos que se usan. En la Tabla 3-27 se muestra el color usado, con su respectivo valore RGB (composición de color en términos de la intensidad de los colores primarios).

#### Colores del área de alarmas, barra de navegación y encabezado

Para el área de alarmas, la barra de navegación y el encabezado, se optó por el color gris arena, el cual permite diferenciar estos componentes del área de trabajo a la vez que facilita la apreciación de los botones, textos y demás elementos que las conforman. En la tabla 3-27 se puede observar el color usado con su valor RGB.

#### Color de Tuberías

Los colores para las tuberías se seleccionan de acuerdo a la norma INEN 440 “Colores de Identificación de Tuberías” estableciéndose verde para tubería de agua, azul para tubería de aire, gris plata para tubería de vapor de agua y finalmente amarillo ocre para tubería de combustible.



#### Color de texto


El color elegido para el texto de títulos del encabezado, área de alarmas y área de trabajo es el azul, teniendo concordancia en cuanto al contraste ya que se encuentra sobre elementos de color gris plata o gris pizarra.









Para el texto del área de trabajo, se ha seleccionado el color negro, para mantener la armonía frente a los colores seleccionados anteriormente. Adicionalmente se tiene el texto de los botones de la barra de navegación, el color que se ha determinado para estos componentes es el color blanco.

Tabla 3-27

#### Colores de la interfaz

Ítem	Elemento	Descripción	Color	RGB
1	Área de trabajo	Gris pizarra		168,183,180
2	Barra de navegación	Gris arena		195,195,195

Continúa 





3	Área de alarmas	Gris arena		195,195,195
4	Texto títulos	Azul		0, 0, 255
5	Texto área de trabajo	Negro		0,0,0
6	Texto de la barra de navegación	Blanco		255,255,255
7	Tubería de agua	Verde Oscuro		0, 145, 8
8	Tubería de aire	Azul		0, 0, 255
9	Tubería de vapor de agua	Gris Plata		138, 149, 151
10	Tubería de combustible	Amarillo Ocre		1223, 175, 44

### Color de luces piloto y actuadores

Se utiliza el código de colores descrito en la Tabla 3-28, el cual indica el estatus de los actuadores y luces piloto:

Tabla 3-28

Color de estados de los actuadores y luces piloto

Ítem	Elemento	Descripción	Color	RGB
1	Luz piloto desactivada (estado)	Verde Oscuro		0, 145, 8
2	Luz piloto activado(estado)	Verde		0, 255,0
3	Luz piloto desactivada (alarmas)	Rojo oscuro		145, 0, 8
4	Luz piloto activada (alarmas)	Rojo		255,0,0
5	Bomba encendida	Blanco		255,255,255
6	Sensor activado	Café		175,75,13
7	Compresor encendido	Azul		0, 0, 255
8	Electroválvula encendida	Café		175,75,13

### Simbología


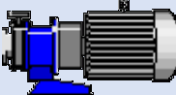




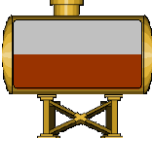

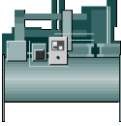




En esta fase se define el estándar gráfico de símbolos que representan el estatus de los diferentes equipos de los sistemas auxiliares, sobre los cuales se ejerce algún tipo de control o se monitorea.

La descripción de la simbología utilizada en las diferentes pantallas que conforman la interfaz HMI se encuentra detalladas en la Tabla 3-29.



Tabla 3-29

## Simbología de la interfaz HMI

Ítem	Símbolo	Tipo	Descripción
1		Bomba 1	Representa las diferentes bombas dosificadoras de químicos.
2		Bomba 2	Representa las diferentes bombas de proceso y tratamiento de agua.
3		Bomba 3	Representa a las bombas de extracción de agua de pozos.
4		Sensor 1	Representa a los sensores de nivel tipo flotador utilizados en todos los tanques, ya sean de químicos o de diésel y en el canal de tratamiento de aguas residuales
5		Sensor 2	Representa a los controles de nivel tipo boya, localizados en las cisternas.
6		Tanque 1	Representa a los diferentes tanques que contienen químicos.
7		Tanque 2	Representa a los diferentes tanques que contienen diésel.
8		Electroválvula	Representa a la electroválvula solenoide del Sistema de tratamiento de aguas residuales.
9		Compresor	Representa al compresor 1 del Sistema de tratamiento de aguas residuales.
10		Luz piloto	Representa a un indicador general para visualizar el estado de un equipo, o el estado de una alarma (activado/desactivado)
11		Display	Representa y muestra el valor de una variable análoga determinada (presión/temperatura)
12		Botón 1	Botón de accionamiento o desactivación
13		Botón 2	Botón de accionamiento o desactivación

## Descripción de pantallas

### Pantalla del proceso de Generación de vapor

La Figura 3-48 ilustra esta pantalla, la cual es únicamente de monitoreo, utiliza la plantilla general y permite al usuario supervisar las siguientes variables de proceso:

- Nivel en el tanque con químico inhibidor de incrustaciones
- Presión del distribuidor de vapor
- Temperatura del distribuidor de vapor
- Temperatura de la cámara de secado
- Nivel de diésel en los tanques principal y de reserva

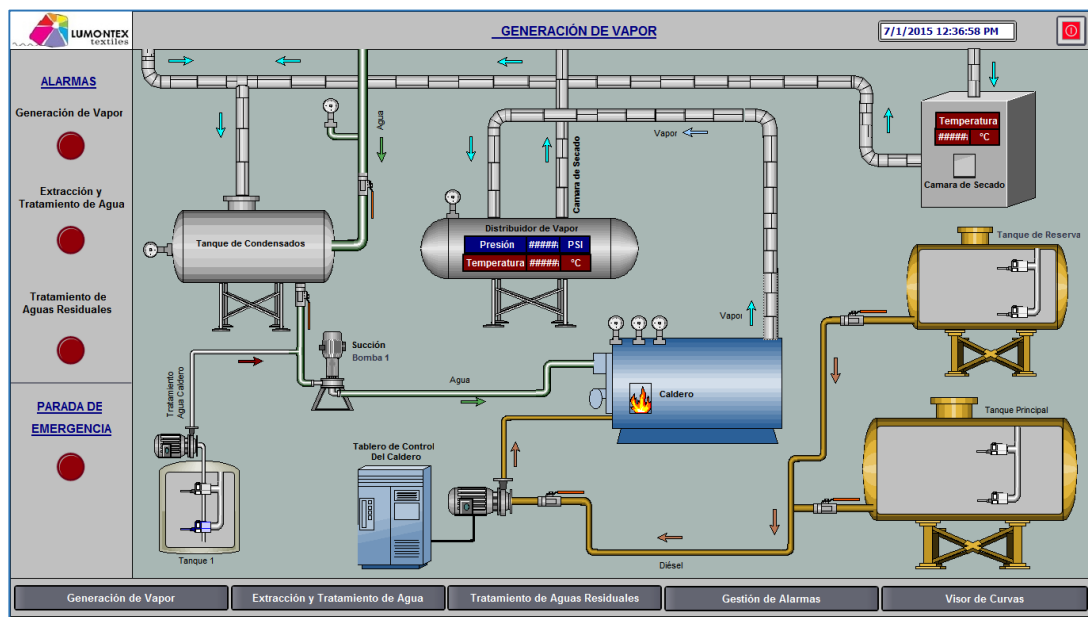


Figura 3-48 Pantalla del proceso de generación de vapor

### Pantalla del proceso de Extracción y tratamiento de agua

La pantalla mencionada se muestra en la Figura 3-49, sirve para monitoreo y control, utiliza la plantilla general y se ha añadido una área a la derecha para situar botones, texto y luces piloto que permiten distinguir el modo de operación de los actuadores, o controlarlos desde la interfaz.

Permite monitorear las siguientes variables de proceso:

- Nivel en los dos tanques de agua con químicos
- Nivel de agua en las cisternas
- Presión en la línea de distribución de agua de la planta industrial

Esta pantalla admite visualizar las horas de funcionamiento de las seis bombas que conforman el sistema y verificar el modo de funcionamiento de las bombas manual/automático.

A la vez, permite controlar:

- Las dos bombas de tratamiento en modos manual o automático.
- Las dos bombas de extracción de agua en modo automático
- Las dos bombas de procesos en modos manual o automático

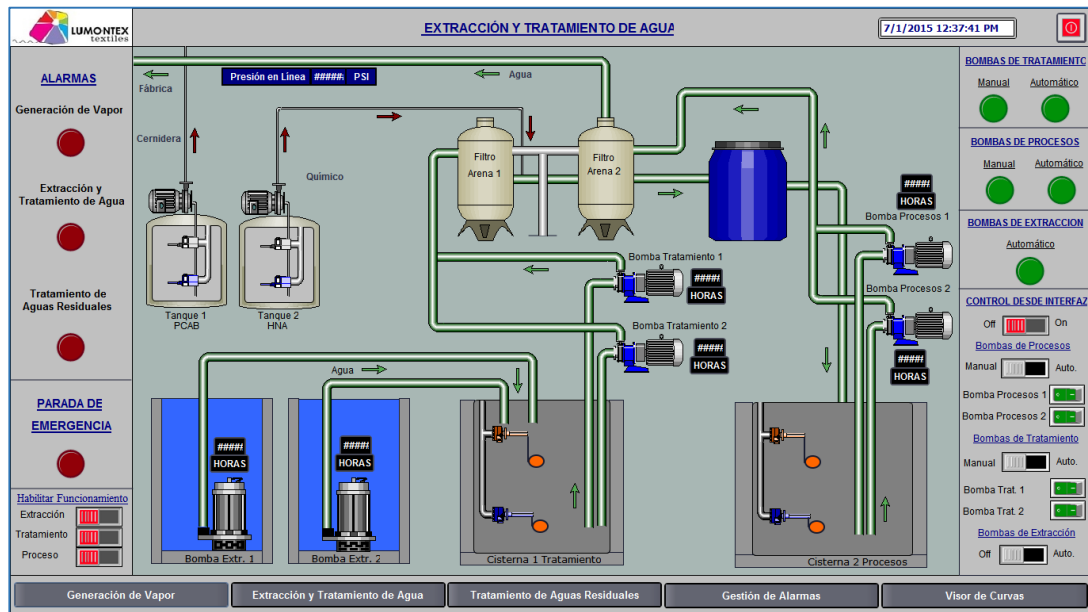


Figura 3-49 Pantalla del proceso de extracción y tratamiento de agua

### Pantalla del proceso de tratamiento de aguas residuales

Permite monitorear el valor de la presión en la Línea de distribución de aire, el número de horas de funcionamiento del compresor y de las bombas dosificadoras.

Además facilita verificar el estado del modo de operación de los actuadores del sistema y controlar la electroválvula, el compresor o las bombas dosificadoras, ya sea en modo manual o modo automático.

La pantalla referente al proceso de tratamiento de aguas residuales puede ser observada en la Figura 3-50.

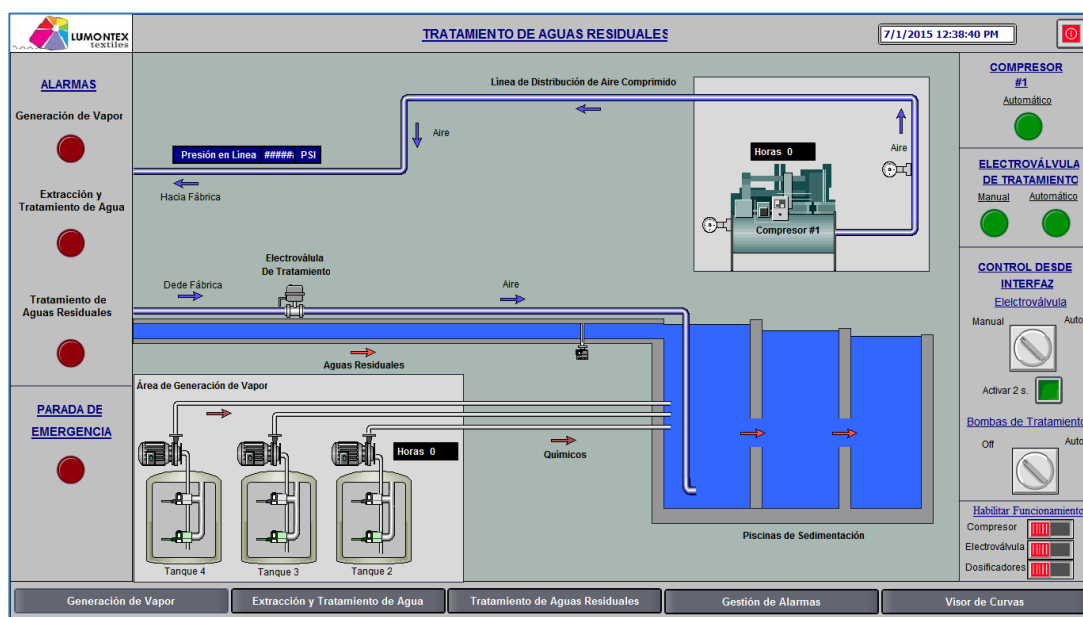


Figura 3-50 Pantalla del Sistema de tratamiento de aguas residuales

### Pantalla de Gestión de alarmas

La imagen contiene luces piloto para todas las alarmas que pueden producirse durante la ejecución de los diversos procesos.

En el caso de que se presente una alarma, esta pantalla dispone de un botón que permite desactivar la baliza de la planta, también tiene un cuadro de registro de alarmas, que indica la hora, fecha y detalle de la alarma en caso de que se produzca.

También cuenta con cuatro pulsadores, los cuales sirven para volver a 0 el contador de horas de funcionamiento del respectivo actuador al que representan. A continuación en la Figura 3-51 se puede ver la pantalla de gestión de alarmas diseñada.

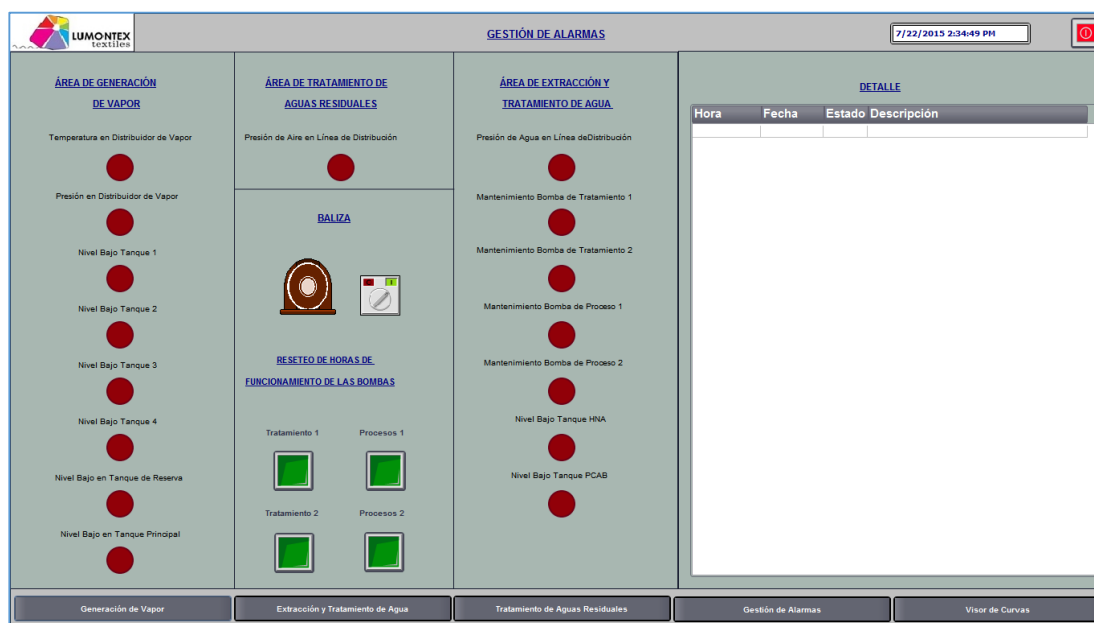


Figura 3-51 Imagen de gestión de alarmas

### Pantalla del Visor de Curvas

La pantalla puede ser vista en la Figura 3-52, ésta se relaciona con las variables que contienen los valores de temperatura y presión en el PLC. Dispone de cuatro visores de curvas dispuestos, de la siguiente manera:

- En la parte superior izquierda se encuentra un visor para la temperatura del distribuidor de vapor y temperatura de la cámara de secado
- En la parte superior derecha se encuentra un visor para la presión del distribuidor de vapor
- En la parte inferior izquierda se encuentra un visor para la presión de la línea de distribución de agua
- Finalmente, en la parte inferior derecha se encuentra un visor para la presión de la línea de distribución de aire

La HMI genera registros históricos de la presión y temperatura del distribuidor de vapor así como de la temperatura de la cámara de secado en forma automática, para ello se toman muestras cada 20 segundos, el máximo número de muestras es

de 1500, que son suficientes muestras para que los usuarios analicen el comportamiento de las curvas.

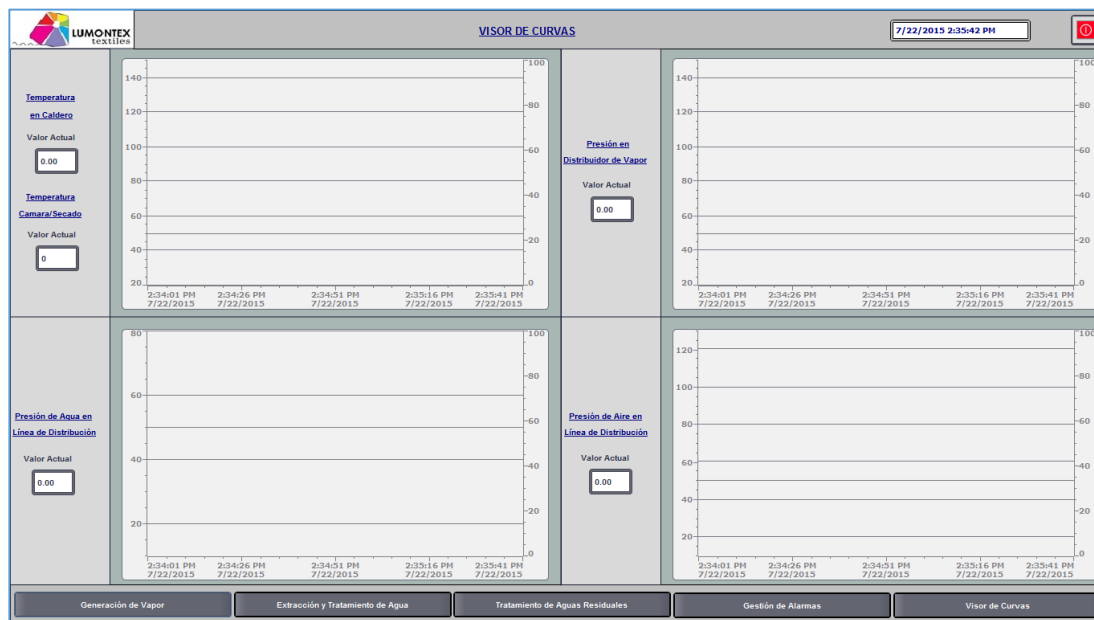


Figura 3-52 Imagen del visor de curvas

Los datos se almacenan en tres archivos de Microsoft Excel en el escritorio del PC, bajo el nombre de “Temperatura del distribuidor de vapor”, “Presión del distribuidor de vapor” y “Temperatura de la cámara” respectivamente.

En el Anexo 6 se puede encontrar el manual de usuario desarrollado para la HMI.

#### 3.5.4.4 Variables de la HMI

Se deben relacionar las variables de la HMI con las correspondientes variables del PLC, para esto, se debe elegir cada objeto de las imágenes y asignar una variable de la siguiente forma:

- Seleccionar el objeto deseado, en este caso se elige el sensor de nivel bajo del tanque 1 del Sistema de generación de vapor.
- Hacer clic derecho y seleccionar propiedades, como se observa en la Figura 3-53.

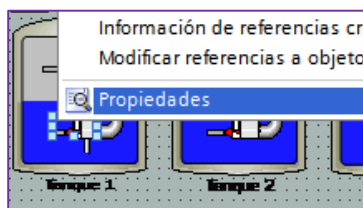


Figura 3-53 Sensor de nivel bajo del tanque de químico 1

- En la Ventana de inspección seleccionar “Animaciones”
- Ubicarse en “Conexión de variables” y elegir “Agregar animación”, como se indica en la Figura 3-54.

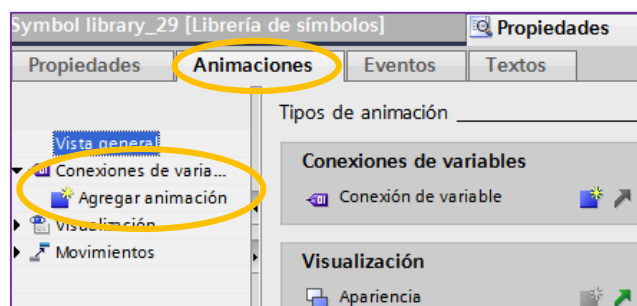


Figura 3-54 Ventana de inspección

- Inmediatamente se abrirá la ventana que se indica a continuación en la Figura 3-55.

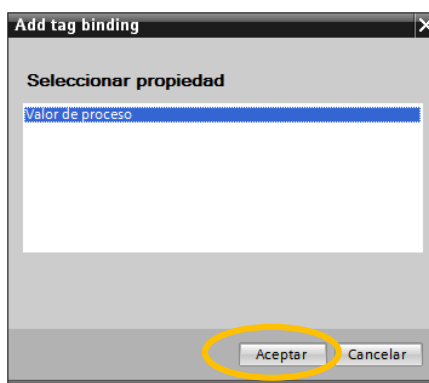


Figura 3-55 Ventana de propiedades del tag

- Seleccionar “Variable de proceso” y dar clic en aceptar.
- Se presentará el cuadro ilustrado en la Figura 3-56.

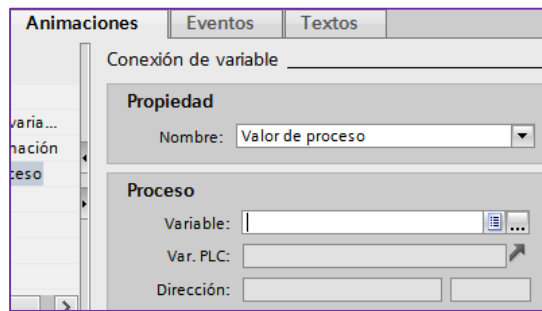


Figura 3-56 Cuadro de conexión de variables

- Buscar la variable del PLC y dar clic en el cuadro con visto de color verde, como se indica en la Figura 3-57.

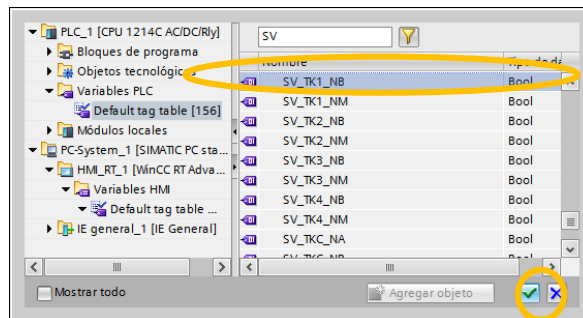


Figura 3-57 Selección de variable del PLC para el sensor de nivel de la HMI

- Automáticamente se creará una variable para la HMI con el mismo nombre que la variable del PLC, esto se puede evidenciar en la Figura 3-58.

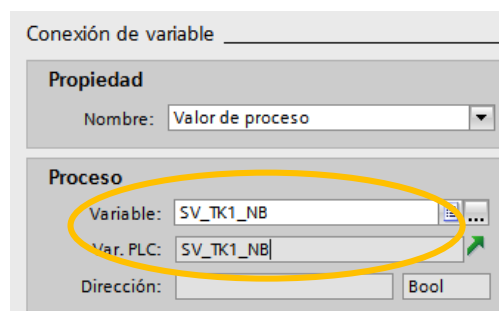


Figura 3-58 Ventana de conexión de variable



## CAPÍTULO IV

### 4 IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1 Montaje de la instrumentación

Para el montaje de los instrumentos y tendido del cableado eléctrico se precisó la ayuda de un operario de la planta textil, ya que surgieron necesidades de perforar equipos y paredes, soldar tubería de cobre, instalar tubos plásticos y canaletas metálicas.

##### 4.1.1 Instalación de canaletas

La instalación de canaletas se realizó cumpliendo las normativas determinadas en el Código Eléctrico Nacional de acuerdo al capítulo 3, sección 362 “Canaletas metálicas y no metálicas para cables”.

Las secciones principales en las que se basó para el montaje de las canaletas se indican a continuación:

- Sección 362-5 Número de conductores: Estipula que las canaletas no deben contener más de 30 conductores portadores de corriente. Sin considerarse conductores portadores de corriente los de los circuitos de señalización o los de control.
- Sección 362-9 Extensión a través de paredes: Indica que se permite que las canaletas metálicas para cables pasen a través de paredes si el tramo que pasa por la pared es continuo. Recordando que se debe mantener el acceso a los conductores por ambos lados de la pared.
- Sección 362-8 Soportes: establece la distancia máxima de los intervalos de sujeción de las canaletas, siendo de 4.5m para un tramo vertical, y de 1.5 m. para tramos horizontales. (INEN, 2015, pág. 247)

Considerando las secciones antes descritas, se realizó el tendido de cable eléctrico por las canaletas aéreas existentes en la planta y en forma adicional se montaron canaletas en el área de generación de vapor, almacenamiento de combustible y en el área destinada para el tablero de control del PLC.

La Figura 4-1 y la Figura 4-2 muestran un registro fotográfico del montaje de las canaletas en el área de generación de vapor.



Figura 4-1 Montaje de canaletas en el área de generación de vapor

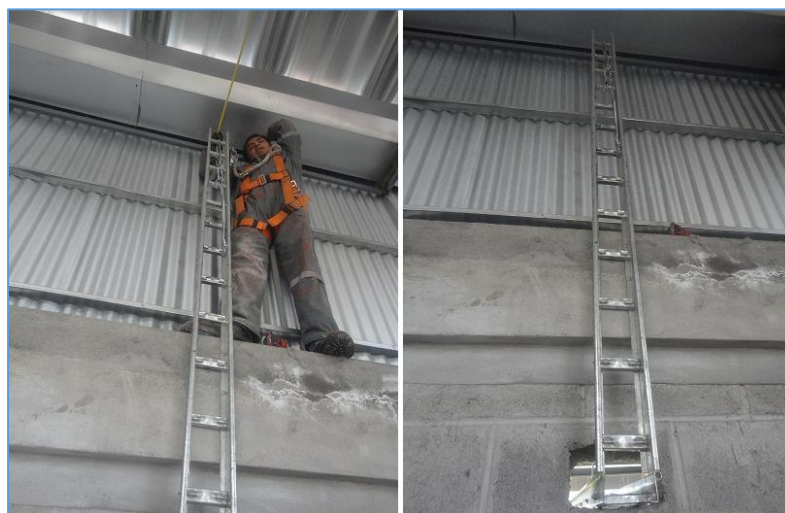


Figura 4-2 Montaje de canaleta para el área de almacenamiento de combustible

La Figura 4-3 contiene un registro fotográfico del montaje de la canaleta para extender el cable desde el tablero de control hasta los tanques de diésel.



Figura 4-3 Montaje de canaleta para tendido de cable hasta los tanques de diésel

#### 4.1.2 Gabinete de control

Como se observa en la Figura 4-4, fue necesario instalar un gabinete, para alojar todos los elementos de control, entre los que se encuentran, el PLC, módulos de expansión, fuente de 24 VDC, 22 relés, además borneras y protecciones.

Las dimensiones del gabinete son de 60X60X20 cm., referentes a largo, ancho y profundidad respectivamente. Se realizó un corte de 20x10 cm en la parte superior derecha del gabinete para el ingreso de los cables correspondientes a la alimentación, selectores, señales de sensores y señales de control para los actuadores.



Figura 4-4 Gabinete de control

El cableado del gabinete se realizó de acuerdo al diagrama de conexión indicado en el apartado 3.4.1.

Se consideró etiquetar todos los terminales de los cables para su fácil identificación o posterior modificación como se observa en la Figura 4-6 y en la Figura 4-7.

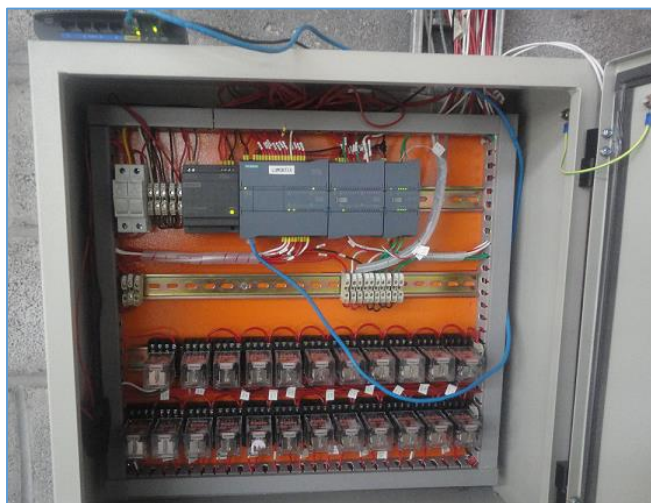


Figura 4-5 Cableado del gabinete de control



Figura 4-6 Etiquetado de los terminales de los cables del PLC

Para los cables que ingresan y salen del PLC se utilizaron etiquetas de envoltura y punteras para su fácil inserción. Por otra parte los cables que transmiten las señales provenientes de los sensores de nivel y que se conectan a los relés usan etiquetas tipo bandera.



Figura 4-7 Etiquetado de los terminales de los cables para los relés

### 4.1.3 Interruptores de Nivel

Con el fin de proteger el cableado de los sensores de nivel, se armó una estructura con tubo PVC para todos los sensores que tenían como destino los tanques de químicos o tanques de diésel.

Las estructuras armadas constan de:

- Tubos rectos de PVC: Sus tamaño varía, sirven para colocar los sensores a las distancias requeridas.
- Codo: Se utiliza para ubicar el sensor que determina si existe un nivel bajo de líquido.
- “T”: Se utiliza para ubicar el sensor que determina si existe un nivel medio de líquido.
- Adaptador de tanque: Se utiliza para fijar la estructura armada en los distintos tanques.

En la Figura4-8, se pueden observar un registro fotográfico de las estructuras armadas, en la parte superior se encuentra armada una estructura destinada a medir nivel en un tanque de químicos, mientras que en la parte inferior se observa una estructura empleada para medir el nivel en los tanques de diésel.





Figura 4-8 Estructuras armadas para los sensores de nivel de los tanques

Para la instalación de las estructuras armadas, fue necesario realizar perforaciones tanto en los tanques de químicos como en los tanques de diésel. Este procedimiento puede ser visto a continuación en la Figura 4-9.



Figura 4-9 Instalación de la estructura armada en un tanque de químico

Fue necesario usar manguera corrugada con el fin de proporcionar protección externa para el cableado que se extiende desde los tanques de químicos y diésel hasta las respectivas canaletas. La Figura 4-10 y la Figura 4-11 contienen fotografías de lo anteriormente descrito.



Figura 4-10 Instalación de los sensores de nivel en un tanque de químico



Figura 4-11 Instalación de los sensores de nivel para el tanque principal de diésel

Para montar el sensor de nivel en la unión entre el Canal de tratamiento y la Piscina de sedimentación 1, fue necesario realizar una perforación en la pared. Por dicha perforación se introdujo tubo cobre, el cual sirve de protección al cableado del sensor.



Figura 4-12 Instalación de tubo de cobre para el cableado del sensor de nivel



Figura 4-13 Instalación del sensor de nivel para el tratamiento de aguas residuales

Los sensores de nivel usados en las cisternas de proceso y de tratamiento, fueron montados usando un tubo de cobre, el cual se sumergió en las cisternas y se fijó mediante abrazaderas metálicas.

La Figura 4-14 indica en la parte derecha el montaje de los sensores para la Cisterna de tratamiento, mientras que en la parte izquierda se visualiza el montaje de los sensores para la Cisterna de procesos.



Figura 4-14 Montaje de los sensores de nivel para las cisternas

#### 4.1.4 Sensores de temperatura y transmisores de presión

La instalación del RTD y del transmisor de presión para el distribuidor de vapor, requirió la instalación de una “T” de acero inoxidable en la válvula manual que se encontraba libre, la instalación se muestra en la Figura 4-15.





Figura 4-15 Instalación de una T para conectar el sensor de temperatura

El montaje del RTD en la cámara de secado, demandó el uso de un adaptador de tanque, en el que se fijó la punta de prueba, además fue necesario realizar una perforación en el ducto de ingreso de vapor.

La Figura 4-16 indica el punto de perforación para fijar el RTD, por otra parte en la Figura 4-17 se puede observar un registro fotográfico del montaje final del instrumento mencionado.



Figura 4-16 Cámara de secado



Figura 4-17 Instalación del sensor de temperatura para la cámara de secado

En el caso particular del transmisor de presión para la línea de distribución de aire comprimido, como se indica en la Figura 4-18, se necesitó soldar una derivación de tubo de cobre e instalar una válvula manual, en la cual se fijó el transmisor.

Para el transmisor de presión de la línea de distribución de agua se utilizó una válvula manual que se encontraba sin uso, conectándose directamente el transmisor en ella.



Figura 4-18 Transmisores de presión para las líneas de distribución de aire comprimido y agua

En la figura anterior se puede observar en la parte izquierda el montaje de los transmisores de presión, en donde los recuadros señalan la derivación de tubo de cobre y la electroválvula donde fueron montados los transmisores. La imagen de la

derecha es una ampliación de la imagen que permite visualizar de mejor manera lo antes expuesto.

#### 4.1.5 Electroválvula

El montaje de la electroválvula demandó cortar una sección de la tubería conduit usada para la aireación de las piscinas de sedimentación, y soldar la electroválvula ya armada con los respectivos acoples para tal fin.

Para cuidar la estética del cableado, los cables de la electroválvula fueron cubiertos con cinta espiral de 12 mm, hasta llegar al gabinete de control, tal y como se observa en la Figura 4-19.



Figura 4-19 Montaje de la electroválvula para el tratamiento de aguas residuales

#### 4.1.6 Bombas dosificadoras

Las bombas dosificadoras se fijaron en la pared, por debajo de la canaleta del área de generación de vapor. La empresa definió que las mangueras que transportan los químicos lleguen al Canal de tratamiento de aguas residuales a través de las canaletas instaladas a lo largo de la planta textil.

A continuación en la Figura 4-20, se puede observar una fotografía referente a la instalación de las tres bombas dosificadoras.



Figura 4-20 Instalación de bombas dosificadoras de químicos para el tratamiento de aguas residuales

#### 4.1.7 Baliza

Fue imprescindible realizar perforaciones en una de las columnas metálicas localizada en el área de tinturado.

La baliza se montó a 30 cm de la canaleta aérea con el fin de que pueda ser visualizada desde cualquier sitio dentro de la planta textil. En la Figura 4-21 se indica una comparación de fotografías que denotan la instalación de la baliza.



Figura 4-21 Instalación de la baliza



#### 4.1.8 Tableros de control

Fue necesario montar un segundo tubo plástico como conducto para el cableado que transporta las señales de control desde el PLC y las señales de los selectores de los tableros. El montaje del tubo plástico puede ser visto en las fotografías comparativas de las Figuras 4-22 y 4-23.

Se realizaron perforaciones a lo largo del tubo plástico para conectar la manguera corrugada de los tanques de químicos, así como también cinta espiral usada para los tableros.



Figura 4-22 Montaje de nuevo conducto de cableado



Figura 4-23 Conexión del cableado hacia los tableros de control

Como se observa en la figura 4-23, se realizó la reutilización de los tableros de control del Sistema de extracción y tratamiento de agua, de los cuales se envían las señales de los selectores hacia el PLC, y por otra parte llegan únicamente las señales de control para las bombas, ocupando la parte de potencia ya instalada.

## CAPÍTULO V

### 5 PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 5.1 Pruebas Preliminares

Antes de la puesta en marcha del sistema de monitoreo y control automático diseñado, se realizaron pruebas independientes de funcionamiento de sensores de nivel, sensores de temperatura y transmisores de presión.

##### 5.1.1 Comunicación con el PLC

La primera prueba consistió en la validación de la conectividad entre el PLC y el computador en forma inalámbrica. Para el efecto, a través del software de programación TIA Portal, se realizó la carga del programa y se estableció la conexión online, la cual se realizó sin inconvenientes.

En la Figura 5-1 se puede apreciar el estado online del controlador lógico programable, en donde se comprueba la correcta conexión mediante las casillas de verificación localizadas en la ventana de Árbol del proyecto.

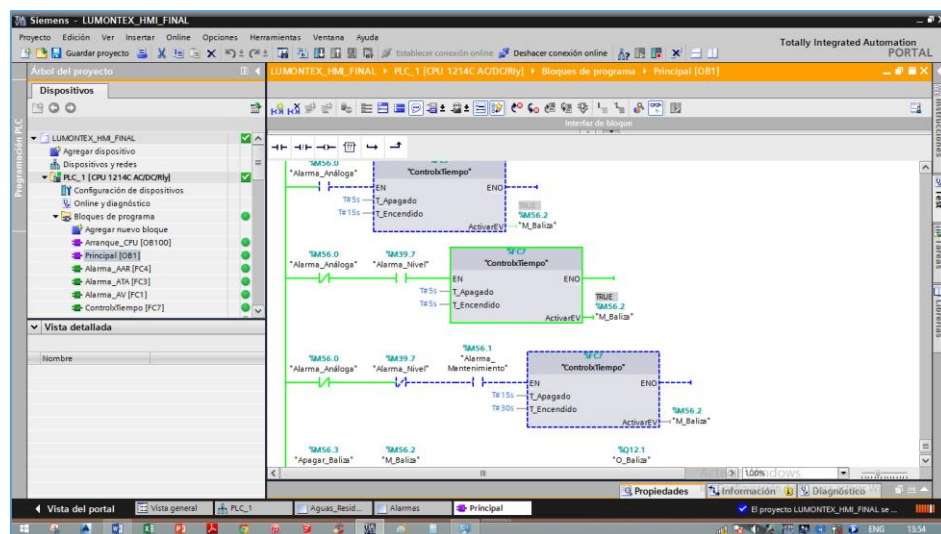


Figura 5-1 Conexión online con el PLC

### 5.1.2 Sensores

En una etapa inicial se verificó la señal emitida por los sensores de nivel de los tanques y cisternas sin que estos se encuentren sumergidos en líquidos. Su activación fue en forma manual mediante la ayuda de un operario de la planta textil, quién se encargaba de cerrar los contactos de éstos, mientras que en el área del gabinete de control se comprobaba la conmutación de los respectivos relés. El procedimiento mencionado se cumplió sin que existieran problemas.

Antes de la instalación de los sensores y transmisores de temperatura de la cámara de secado y del distribuidor de vapor, se realizó la conexión directa de los transmisores al módulo de entradas análogas del PLC y mediante la interfaz gráfica se registraron las medidas que marcaban los sensores a temperatura ambiente, y luego en agua caliente contenida en un recipiente plástico.

Como instrumento de medida adicional para la validación de las medidas registradas, se utilizó a la par un RTD con visualizador análogo disponible en la fábrica, dicho instrumento puede ser visto en la Figura 5-2.



Figura 5-2 Verificación de los sensores y transmisores de temperatura

De esta forma se pudo comprobar el correcto desempeño del RTD del distribuidor de vapor y una variación de  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  en las medidas registradas por el RTD de la cámara de secado.



La corrección de la variación de temperatura medida por el sensor de la cámara de secada se realizó mediante software, cambiando parámetros de la función para escalar la señal.

Ante la inexistencia de instrumentos de medida para validar el funcionamiento de los transmisores de presión para las líneas de distribución de aire y de agua, se recurrió a visualizar y comparar las mediciones registradas por el PLC con las mediciones de los instrumentos montados en las líneas de distribución más cercanos. Los resultados de las medidas fueron coherentes y estuvieron bajo conocimiento del Gerente de proyectos de la planta textil, el cual las validó.

### **5.1.3 Actuadores**

Luego de las pruebas de comunicación con el PLC y del funcionamiento de los sensores, se realizó una prueba simple sin carga, para verificar el funcionamiento de los actuadores.

Desde la HMI se seleccionaron los modos de funcionamiento manual y automático y se comprobó el comportamiento de las salidas digitales del PLC correspondientes a los diferentes actuadores.

## **5.2 Puesta en Marcha**

Finalizadas las pruebas preliminares de funcionamiento se procedió a conectar los terminales de los cables a los actuadores correspondientes.

Se realizaron comprobaciones del sistema de control en los modos manuales y automáticos. La puesta en marcha fue supervisada por el Gerente de proyectos, quien se encargó de verificar el desempeño del sistema en conjunto.

En las Figuras 5-3, 5-4 y 5-5 se puede comprobar la validez del sistema de monitoreo y control, ya que se visualizan las diferentes pantallas con la respectiva simbología gráfica, la cual se encuentra en estado operativo, permitiendo distinguir niveles en los tanques, valores de presión y temperatura, así como también estado de los actuadores y alarmas.

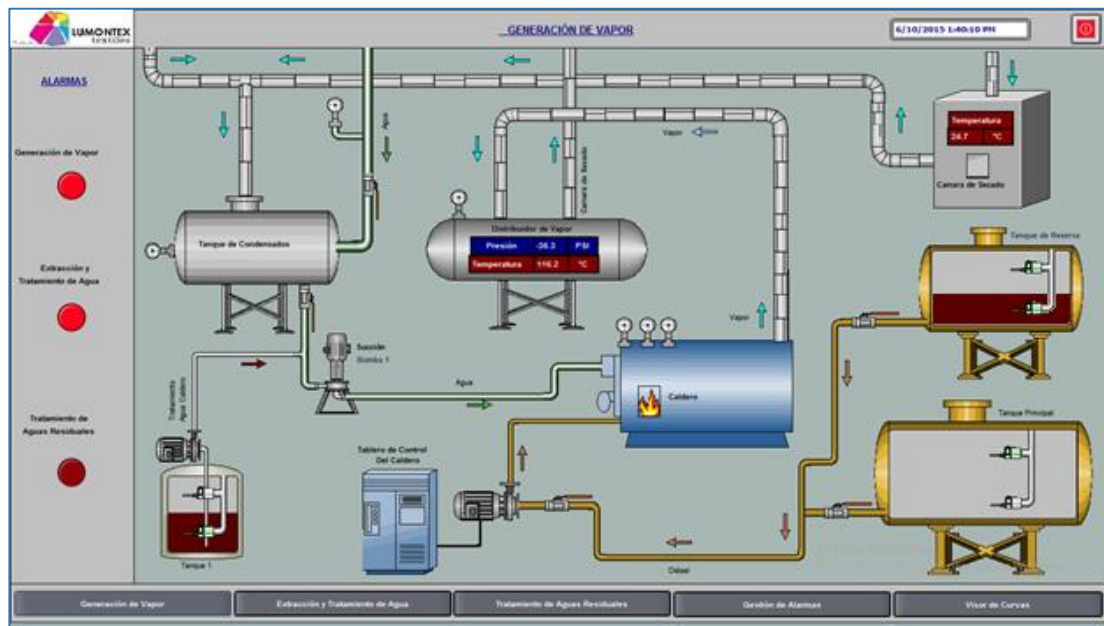


Figura 5-3 Monitoreo del proceso de generación de vapor

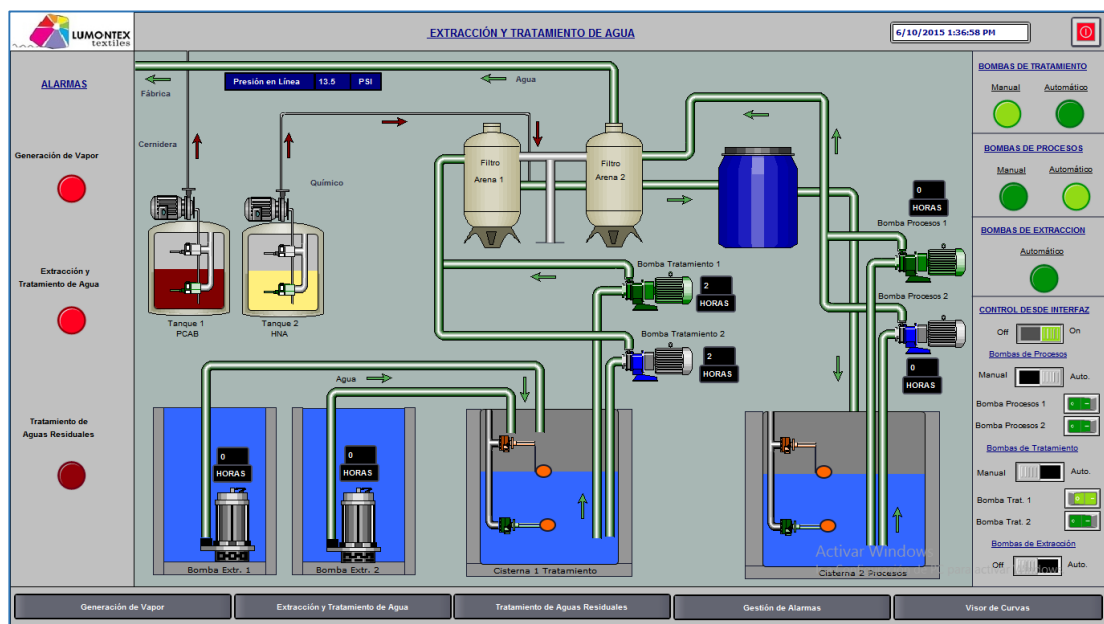


Figura 5-4 Monitoreo y control para el proceso de extracción y tratamiento de agua

Las figuras anteriores también permiten corroborar el uso de los colores planteados durante el diseño de la interfaz hombre-máquina.

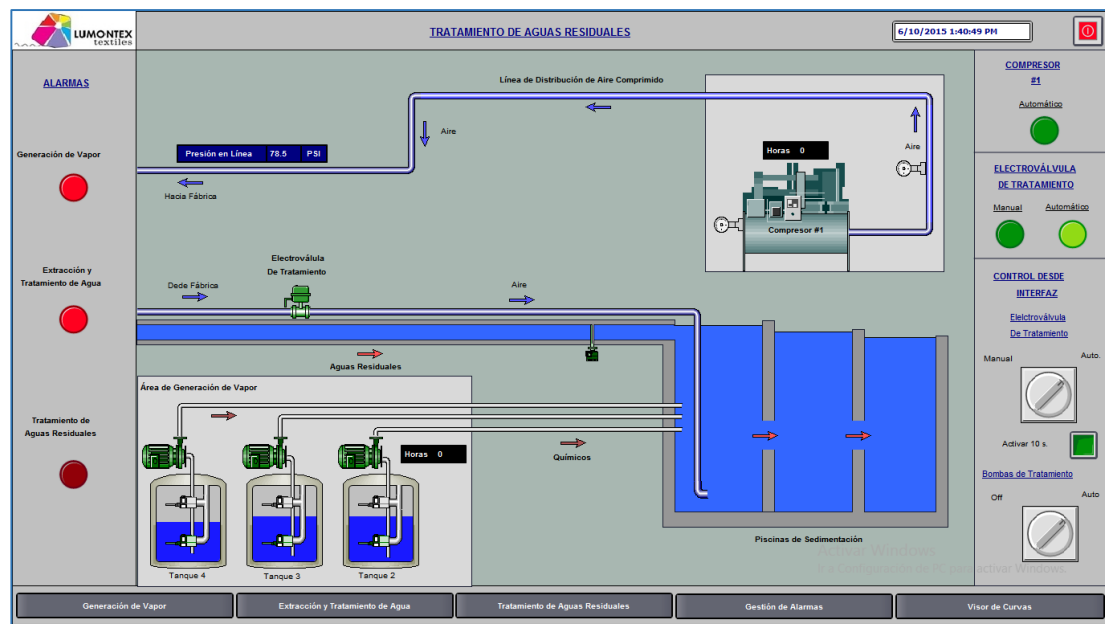


Figura 5-5 Monitoreo y control del proceso de tratamiento de aguas residuales

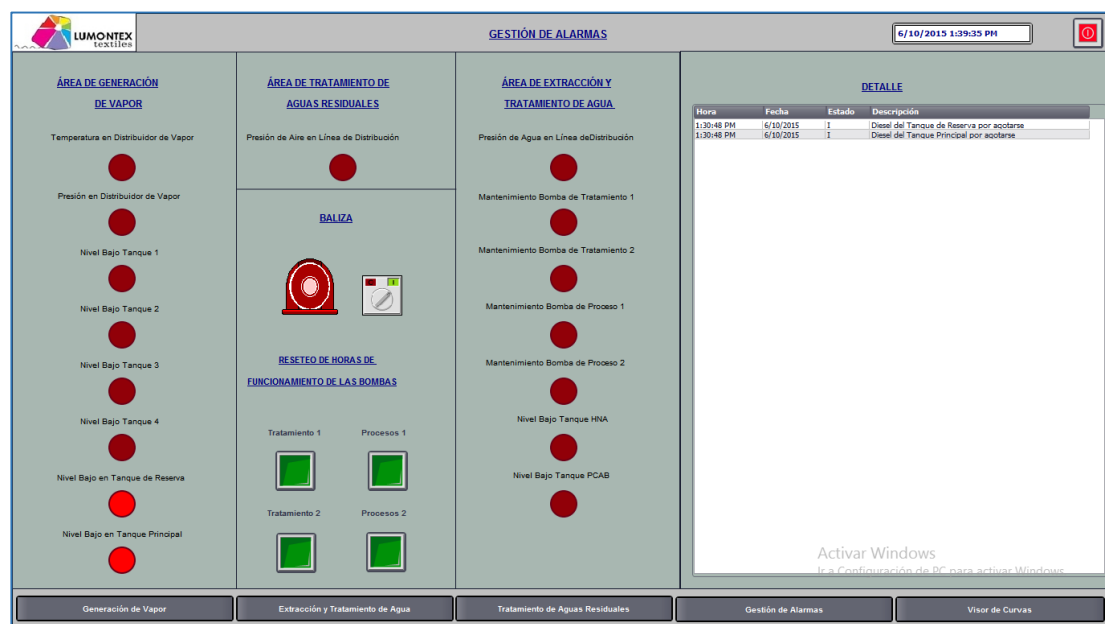


Figura 5-6 Monitoreo de alarmas

En la Figura 5-6 se observa la existencia de dos alarmas de nivel, que corresponden a los dos tanques de diésel, esto también pudo ser determinado al observar los mímicos referentes al área de generación de vapor en la Figura 5-3.

A continuación la Figura 5-7 presenta las curvas de temperatura y presión que se registraron durante una de las prueba de funcionamiento.

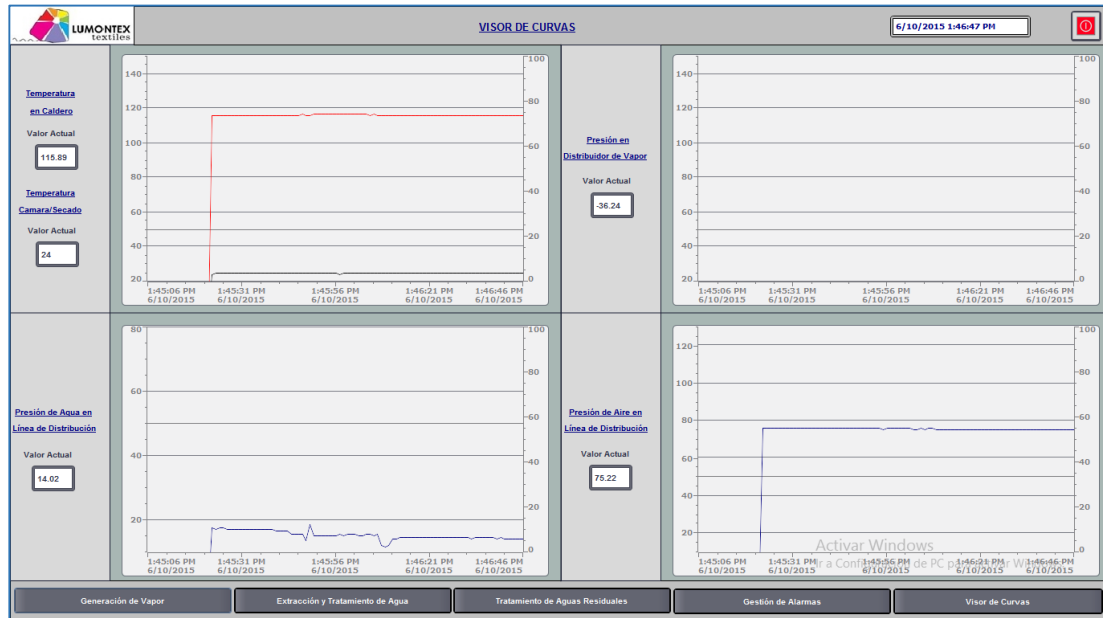


Figura 5-7 Monitoreo del comportamiento de las curvas de presión y temperatura

### 5.3 Resultados

Las pantallas de monitoreo permitieron a los usuarios visualizar la información de todas las variables de procesos correspondientes a cada proceso involucrado en el tinturado de hilo.

Los operarios pudieron comprobar los colores en pantalla y el modo de operación de la HMI detallados en el manual de usuario que se les suministró.

Las pruebas de funcionamiento permitieron notar que el tiempo de activación de la electroválvula (10s), en modo automático, era muy largo para el proceso de aireación de la Piscina de sedimentación a, fijándose un tiempo de 2 s., en intervalos de 30 s.

El sistema es muy flexible al estar basado en una programación por software, ya que puede adaptarse de forma oportuna a nuevas necesidades de monitoreo o de control.

## CAPÍTULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Ante la carencia de documentación por parte de la planta textil sobre los procesos de generación de vapor, extracción de agua y tratamiento de aguas residuales, el uso de herramientas de diseño asistido por computador para la elaboración de los diagramas P&ID de los sistemas auxiliares, facilitaron el entendimiento de la forma en que son ejecutados dichos procesos, conllevando a un desarrollo de software eficiente y selección de la instrumentación adecuada.
- De acuerdo al análisis y estudio de los procesos de extracción de agua y tratamiento de aguas residuales, se determinó que la operación de las bombas dosificadoras, electroválvula, compresor y bombas de agua, requieren de un control tipo On/Off.
- La interfaz hombre-máquina diseñada, cumplió con las características de operatividad requeridas por la planta textil, al ser de fácil manipulación para los operarios por su arquitectura en un solo nivel, generar y almacenar registros históricos de las variables de procesos en Microsoft Excel y cumplir con las necesidades de monitoreo y control.
- El uso de un PLC como elemento de control presentó gran flexibilidad, ya que pudo modificarse su software para adaptarse inmediatamente a nuevas necesidades, requerimientos o mejoras que se presentaron durante la automatización de los sistemas.
- La implementación del sistema de alarmas, mejoró el tiempo de respuesta por parte de los operarios para el rellenado de los tanques de químicos, durante las pruebas de funcionamiento se evidenciaron alarmas de nivel en los tanques de cloro, permitiendo realizar el rellenado de los mismos en forma ágil y oportuna.

- La implementación del control de aireación y dosificación para el tratamiento de aguas residuales, ayudaron a agilizar el proceso de sedimentación en las piscinas, durante el primer mes de funcionamiento del sistema de control se observó una mayor formación de sólidos suspendidos, mejorando de esa forma la calidad del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Las pruebas de alarmas de mantenimiento se realizaron reduciendo las horas de funcionamiento necesarias de 3000 a 4, para verificar la validez del sistema, obteniendo resultados satisfactorios y concluyendo que la automatización de los sistemas auxiliares de la planta textil incrementa los niveles de fiabilidad y seguridad en la consecución de los procesos de extracción de agua y tratamiento de aguas residuales al registrar el número de horas de funcionamiento de los actuadores involucrados y poder planificar mantenimientos preventivos para evitar daños o posibles paros de producción.

## **6.2 Recomendaciones**

- Se recomienda a LUMONTEX S.A., planificar y gestionar de mejor manera la compra de dispositivos e instrumentación para futuros proyectos, a fin de evitar problemas de tiempo de entrega, como los suscitados durante la elaboración del proyecto.
- Previo a la manipulación de la interfaz hombre-máquina desarrollada, se sugiere tener un acercamiento al manual de usuario suministrado para realizar una operación óptima de la misma o solventar inquietudes.
- En el caso de que se requieran realizar cambios en el programa del PLC, se recomienda a la empresa crear respaldos, para asegurar que ante un posible fallo en los cambios del programa se pueda restaurar el software del PLC a su estado inicial hasta analizar los motivos que suscitaron el error.
- La comunicación inalámbrica entre el computador y el PLC para cuestiones de monitoreo y control es menos fiable y más limitada en distancia que una conexión cableada, por lo que se aconseja utilizar cable de red para la conexión entre el computador y el PLC.

## Referencias Bibliográficas

- Anónimo. (30 de Abril de 2015). Obtenido de  
[http://www.tecnoficio.com/electricidad/valvula\\_solenoide.php](http://www.tecnoficio.com/electricidad/valvula_solenoide.php)
- ASCO Numatics. (30 de Abril de 2015). Obtenido de  
[http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/\\_es/pdf1/00005es.pdf](http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_es/pdf1/00005es.pdf)
- Bolton. (2006). *Programmable Logic Controllers*. Oxford: Elsevier Newnes.
- Centelsa. (2 de Mayo de 2015). Obtenido de  
<http://www.centelsa.com.co/index.php?lp=0006>
- Disetec. (28 de Abril de 2015). Obtenido de <http://www.disetec-ec.com/noticias-sector-industrial-petrolero-energetico-quito-ecuador.php?tablajb=noticias&p=4&t=TRANSMISORES-DE-PRESION&>
- Distritec. (30 de Abril de 2015). Obtenido de  
<http://www.distritec.com.ar/detalleNovedad.php?titulo=%BFQU%C9%20E%20UNA%20ELECTROV%C1LVULA%20Y%20PARA%20QU%C9%20SIRVE?>
- Enríquez, G. (2000). *EL ABC DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES*. México: LIMUSA.
- FACSA. (2 de 5 de 2015). Obtenido de [http://www.facsa.com/el-agua/calidad/ladureza-del-agua#.Vaw-Dfl\\_Okp](http://www.facsa.com/el-agua/calidad/ladureza-del-agua#.Vaw-Dfl_Okp)
- González, J. M. (Febrero de 2004). *Universidad del País Vasco*. Obtenido de  
<http://www.araba.ehu.es/depsi/jg/API.pdf>
- INEN. (2 de Mayo de 2015). Obtenido de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/210-1R.pdf>
- INEN. (2 de Mayo de 2015). Obtenido de  
<http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/cpe/COD-EL-4.pdf>

- INEN. (4 de mayo de 2015). *Código Eléctrico Nacional*. Obtenido de <ftp://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.cpe.19.3.2001.pdf>
- Madison. (24 de Abril de 2015). Obtenido de <http://madisonco.com/index.php/products/liquid-level/single-point/plastic/product/53-m8700.html>
- Madison. (20 de April de 2015). Obtenido de <http://madisonco.com/index.php/products/liquid-level/single-point/stainless-steel/product/41-m5920-stainless-steel-side-mounted-float-switches.html>
- Madison. (21 de Abril de 2015). Obtenido de <http://madisonco.com/index.php/products/liquid-level/single-point/brass/product/46-m4300-brass-buna-float-level-switches.html>
- Maloney, T. (1983). *Electrónica industrial: Dispositivos y Sistemas*. México: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.
- Mopin, P. (2006). *Automática y Electrónica*. Mexico: prentice Hall.
- Ordax, J. (Junio de 2005). *Universidad Pontificia Comillas*. Obtenido de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/42bbf80238332.pdf>
- Rodriguez, A. (5 de Mayo de 2015). Obtenido de [http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2\\_tratamientos\\_avanzados\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
- Saco, R. (4 de Mayo de 2015). Obtenido de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- Siemens. (30 de Abril de 2015). Obtenido de [http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/en/simatic\\_st70\\_chap04\\_english\\_2011.pdf](http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/en/simatic_st70_chap04_english_2011.pdf)



Siemens. (30 de Abril de 2015). Obtenido de

[https://www.automation.siemens.com/w1/efiles/instrumentation/catalogs/fi01/fi01\\_en\\_extract/sitranst\\_th200-fi01en.pdf](https://www.automation.siemens.com/w1/efiles/instrumentation/catalogs/fi01/fi01_en_extract/sitranst_th200-fi01en.pdf)

Siemens. (30 de Abril de 2015). Obtenido de

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/913/23833913/att\\_76275/v1/A5E00393071-01es\\_TH200TH300.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/913/23833913/att_76275/v1/A5E00393071-01es_TH200TH300.pdf)

Skillten. (18 de Abril de 2015). Obtenido de

[http://www.skillten.com/cursos/sens002/semana2/capacitivos\\_funcionamiento.pdf](http://www.skillten.com/cursos/sens002/semana2/capacitivos_funcionamiento.pdf)

SMC. (30 de Abril de 2015). Obtenido de

<http://www.smc-pneumatics.com/pdfs/VXZ.pdf>

Viyilant. (20 de Abril de 2015). Obtenido de

[http://www.viyilant.com.ar/productos\\_tiHermetico.html](http://www.viyilant.com.ar/productos_tiHermetico.html)

WATLOW. (15 de Abril de 2015). Obtenido de

<https://www.watlow.com/common/catalogs/files/appguide.pdf>

WIKA. (30 de Abril de 2015). Obtenido de [http://www.wika.us/S\\_10\\_en\\_us.WIKA](http://www.wika.us/S_10_en_us.WIKA)

## ACTA DE ENTREGA

Este proyecto fue entregado en la Dirección de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, 19 de agosto de 2015

ELABORADO POR:



Rafael Leonardo Auqui Sayago

CI: 1718989195

AUTORIDAD:



Ing. Víctor Proaño Msc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL (Encargado)