



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE  
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL PARA LA REPOTENCIACIÓN DE  
LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES “PTARI” DE LA  
EMPRESA SEDEMI S.C.C.**

**AUTOR: DÍAZ FLORES, SANTIAGO JOAQUÍN**

**DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCÁN, HUGO RAMIRO MGs.**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, *“Diseño e Implementación del Sistema de Instrumentación y Control para la repotenciación de la planta de aguas residuales industriales “PTARI” de la empresa SEDEMI S.C.C.”* fue realizado por el señor *Díaz Flores Santiago Joaquín* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de enero del 2019

Firma:  


**Ing. Hugo Ortiz MGs.**

C. C. 120772159-1



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *Díaz Flores Santiago Joaquín*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Diseño e Implementación del Sistema de Instrumentación y Control para la repotenciación de la planta de aguas residuales industriales “PTARI” de la Empresa SEDEMI S.C.C.”* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 23 de enero del 2018

Firma

**Sr. Santiago Joaquín Díaz Flores**

C.C: 1712582244



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, *Díaz Flores Santiago Joaquín* autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: Título: *“Diseño e Implementación del Sistema de Instrumentación y Control para la repotenciación de la planta de aguas residuales industriales “PTARI” de la Empresa SEDEMI S.C.C.”* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 23 de enero del 2018

Firma

**Sr. Santiago Joaquín Díaz Flores**

C.C.: 1712582244

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto principalmente a Dios a mi abuelita que desde el cielo ha sabido guiarme y protegerme cada día de mi vida a mis padres Joaquín y Noemí los cuales me han sabido dar su apoyo, confianza y cariño en las buenas y en las malas para poder cumplir mis objetivos, a mis hijos Mateo y Giuliana que han sido el motor de mi vida y la razón de nunca darme por vencido y despertar cada día con la fuerza necesaria para sobrellevar cada uno de los obstáculos que se me han presentado, a mi esposa quien es mi compañera de vida la cual a estado a cada minuto a mi lado siendo mi apoyo y el pilar de mi familia y por ultimo a mi hermana Nicole y a mis amigos más cercanos quienes han sido un apoyo constante para no rendirme y han sabido a su manera darme la ayuda necesaria para poder continuar en los momentos en los que la vida te pone más obstáculos y piensas en rendirte.

Santiago Joaquín Díaz Flores

## AGRADECIMIENTO

Dedico este proyecto principalmente a Dios, a mi abuelita por su bendición y protección que aunque no se encuentre presente físicamente siempre ha estado a mi lado, a mi padre Joaquín Edmundo Díaz Flores quien me ha apoyado en toda mi carrera en todo lo que necesite y jamás me dejo solo este título es en base a su esfuerzo y sacrificio ya que sin él no hubiera podido cumplir con este objetivo, a mi madre Noemí Argentina Flores Cañizares quien me enseñó a luchar por mis sueños y a tener la responsabilidad sobre mis actos, lo que me ha llevado a ser una mejor persona, a mi esposa el amor de mi vida, mi compañera y amiga María José Chafla Narváez quien ha estado en los momentos buenos y malos aguantando mi mal genio, presión y desesperación, a mi hermana Nicole, a mi familia política y a mis amigos más cercanos los agradezco por estar a mi lado y ser parte de mi vida.

Santiago Joaquín Díaz Flores

**ÍNDICE GENERAL**

<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xxi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xxix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxx</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>31</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>31</b>

	vii
1.1 Antecedentes.....	31
1.2 Justificación e Importancia.....	33
1.3 Alcance .....	35
<b>1.4. Objetivos .....</b>	<b>37</b>
1.4.1 Objetivo General .....	37
1.4.2 Objetivos Específicos .....	38
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>39</b>
<b>2. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>39</b>
<b>2.1. Tratamiento de aguas residuales.....</b>	<b>39</b>
<b>2.1. Características Físicas del Agua .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3. Clasificación de tratamiento de aguas residuales industriales.....</b>	<b>42</b>
1. Tratamiento biológico.....	42
2. Evaporación al vacío .....	42
3. Tratamiento Físico – Químico.....	43
2.3.1 Tratamientos Biológicos.....	44
2.3.2 Evaporación al vacío .....	44
2.3.3 Tratamiento Físico – Químico.....	45
2.3.3.1 Sedimentación .....	45
2.3.3.2 Flotación .....	48

	viii
2.3.3.3	Precipitación .....48
2.3.3.4	Floculación .....48
2.3.3.5	Neutralización.....50
2.3.3.6	Absorción.....51
2.3.3.7	Filtración.....52
2.3.3.7.1	Filtros de Presión.....53
2.3.3.7.2	Filtro Prensa.....53
2.4	Equipos y dispositivos utilizados en el desarrollo del proceso .....54
2.4.1	Motores Eléctricos de Corriente Alterna .....55
2.4.2	Motores Eléctricos Síncronos .....55
2.4.3	Electroválvulas .....55
2.4.3.1	Electroválvulas de Acción Directa .....56
2.4.3.2	Electroválvulas de Acción Inversa .....56
2.4.3.3	Electroválvulas de Acción Mixta o Combinada .....57
2.4.4	Sensores de Nivel .....57
2.4.4.1	Sensor de nivel tipo flotador.....59
2.4.4.2	Sensor de nivel ultrasónico.....59
2.5	Sistemas de Comunicación .....60
2.5.1	Buses de campo .....61
2.5.2	Modbus TCP /IP .....62
2.5.3	Protocolo HART .....63
2.5.4	Controlador Lógico Programable .....63

2.6	Interfaz Humano Máquina (HMI) .....	65
2.7.1	Sistema SCADA .....	66
2.7.2	Pirámide de Automatización .....	67
2.8	Estándar ISA 101 .....	67
2.8.1	Ciclo de Vida de una HMI.....	70
2.8.1.3	Etapas de Operación .....	71
2.8.1.4	Jerarquía.....	71
2.8.1.5	Factores Humanos y Ergonomía.....	72
2.8.1.6	Navegación .....	73
2.8.1.7	Colores.....	73
2.9	Plataforma de Diseño de Interfaces HMI “INTOUCH” .....	74
2.9.1	OPC “OLE para Procesos de Control” .....	75
2.9.2	DAServer .....	75
2.9.3	DAServer Modicon Modbus TCP (MBTCP) .....	75
2.10	TIA Portal.....	76
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>77</b>
<b>3. DISEÑO CONCEPTUAL.....</b>		<b>77</b>
3.1	Estado Inicial de la Planta de tratamiento de Agua “PTARI” .....	77
3.2	Estado Inicial del Proceso de Tratamiento de la Planta “PTARI” .....	78
3.3	Estado Inicial de los Equipos de la Planta “PTARI” .....	79
3.3.1	Bombas Centrifugas .....	79

	x
3.3.2 Bombas Dosificadoras .....	80
3.3.3 Sensores de pH .....	81
3.3.4 Válvulas Motorizadas .....	81
3.3.5 Bombas Neumáticas .....	82
3.3.6 Bomba Sumergible .....	83
3.3.7 Deshidratador de Fangos .....	83
3.3.8 Tanques de Tratamiento .....	84
3.3.9 Tablero de Control.....	84
3.3.10 Touch Panel .....	85
3.3.11 Flotadores de nivel.....	86
3.4 Problemas en la Operación.....	87
3.5 Diagrama de Flujo de Tratamiento de agua Residual “PTARI 2011”.....	88
3.6 Estado Inicial del sistema SCADA “PTARI 2011”.....	89
3.6.1 Pantalla de Ingreso.....	89
3.6.2 Pantalla de Control AUTOMATICO “PTARI 2011”. .....	89
3.6.3 Pantalla de Gráfica de Tendencias “PTARI 2011”.....	90
3.6.4 Pantalla de Alarmas “PTARI 2011”. .....	91
3.7 Requerimientos del Sistema “SCADA”. .....	92
3.8 Filosofía de Operación.....	92
3.8.1 Proceso de Tratamiento de Agua de Enjuague “ADE”. .....	93
3.8.2 Proceso de Tratamiento de Solución Decapante “SDEC”.....	95
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>97</b>

<b>4.</b>	<b>INGENIERÍA BÁSICA .....</b>	<b>97</b>
4.1	Viabilidad Técnica para la Implementación del Sistema de Instrumentación.....	97
4.2	Disponibilidad Técnica.....	99
4.3	Señales y variables a ser medidas .....	99
4.4	Señales y variables medidas en los tanques de la planta Ptari.....	99
4.4.2	Tanque de Mezcla.....	100
4.4.3	Tanque de Floculación.....	101
4.4.4	Tanque de Neutralización .....	101
4.4.5	Filtro Prensa.....	102
4.4.6.	Tanque auxiliar .....	102
4.4.7	Tanque de Almacenamiento .....	103
4.4.8	Tanque de Solución Decapante .....	103
4.5	Selección de Equipos.....	104
4.6	Identificación de Actividades del proyecto PTARI.....	109
4.7	Esquema de ubicación de cada elemento de control .....	113
4.8	Layout de Equipos del Proyecto .....	116
4.9	Diagramas P&ID preliminares para cada Tanque .....	117
4.9.1	Diagrama P&ID de la Piscina de Almacenamiento.....	117
4.9.2	Diagrama P&ID del Tanque de Mezcla .....	118
4.9.3	Diagrama P&ID de la Tanque de Floculación.....	119
4.9.4	Diagrama P&ID de la Tanque Sedimentador 1 .....	120
4.9.5	Diagrama P&ID de la Tanque de Neutralización .....	121

	xii
4.9.6	Diagrama P&ID de la Tanque Sedimentador 2 ..... 122
4.9.7	Diagrama P&ID de la Tanque de Auxiliar ..... 123
4.9.8	Diagrama P&ID de la Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada..... 124
4.9.9	Diagrama P&ID de la Tanque de Solución Decapante ..... 125
4.10	Requerimientos del Sistema de Supervisión y Monitoreo..... 126
4.10.1.	Diagrama de flujo de proceso de Agua de Enjuague “ADE” ..... 128
4.10.2.	Diagrama de flujo de proceso de Solución Decapante “SDEC” ..... 128
4.11.	Instrumento de Medida de Nivel ..... 129
4.12.	Construcción de Ecuación de Tendencia Lineal de Nivel..... 130
4.12.1.	Nivel Piscina de Almacenamiento..... 131
4.12.2.	Nivel Tanque de Mezcla y Tanque de Floculación ..... 134
4.12.3.	Nivel Tanque de Neutralización y Tanque Auxiliar..... 138
4.12.4.	Nivel Tanque de Solución Decapante..... 141
4.12.5.	Nivel Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada..... 144
4.13.	Instrumento de medida de pH..... 147
4.13.1.	Cálculos de Medición de pH del Tanque de Mezcla ..... 149
4.13.2.	Cálculos de Medición de pH del Tanque de Neutralización ..... 151
4.14.	Diagrama Eléctrico Unifilar del Tablero de Control ..... 152
4.14.1.	Sensor de pH de la marca OMEGA..... 153
4.14.2.	Sensor de Nivel de la marca EGE..... 154
4.14.3.	Sensor de Nivel de la marca EFECTOR..... 155
4.15.	Software del sistema HMI ..... 155

**CAPÍTULO 5.....157****5. INGENIERÍA DE DETALLE.....157**

## 5.1. Detalle de proceso de tratamiento de agua residual..... 157

## 5.1.1. Diagrama de Flujo de Proceso de Agua de Enjuague “ADE”..... 159

## 5.1.2. Diagrama de Flujo de Proceso de Solución Decapante..... 159

## 5.2. Listas de Tags ..... 167

## 5.2.1. Direccionamiento de Entradas Discretas ..... 167

## 5.2.2. Direccionamiento de Salidas Discretas ..... 168

## 5.3. Diseño y Construcción Banco de Potenciómetros..... 170

## 5.3.1. Direccionamiento de Entradas Analógicas ..... 172

## 5.4. Diseño e Implementación del Tablero de Control..... 173

## 5.5. Dimensionamiento de Conductores y Elementos de Protección ..... 177

## 5.5.1. Dimensionamiento y Selección de Conductores ..... 178

## 5.6. Detalle de Diseño de las Interfaces HMI..... 183

## 5.6.1. Consideraciones de Diseño de los Usuarios ..... 183

## 5.7. Formato de Diseño de Pantallas HMI..... 185

## 5.7.1. Detalle de Navegación..... 186

## 5.7.2. Jerarquía de Diseño HMI..... 188

## 5.7.3. Guía de Estilo ..... 189

## 5.7.3.2. Selección de Colores ..... 190

## 5.7.3.3. Diseño y Uso de Objetos Orchestra..... 191

## 5.8. Seguridad del Interfaz HMI..... 192

	xiv
5.9. Diseño de las Pantallas de Control de la Interfaz HMI .....	195
5.9.1. Pantalla de “Ingreso” .....	196
5.9.2. Pantalla de Control Manual ADE de “Adición de Químicos” .....	200
5.9.3. Pantalla de Control Manual SDEC de “Adición de Químicos” .....	205
5.9.4. Pantalla de Control Manual ADE y SDEC de “Tanques Sedimentadores” .....	207
5.9.5. Pantalla de Control Manual de la Pantalla del “Filtro Prensa” .....	209
5.9.6. Pantalla de Control Manual ADE y SDEC de “Tanques de Almacenamiento” .....	212
5.9.7. Pantalla de Control Manual Vaporizador .....	217
5.9.8. Pantalla de Alarmas .....	219
5.9.9. Pantalla de Históricos .....	221
5.10. Implementación de Históricos de Nivel .....	224
5.10.2. Configuración de Parámetros de Almacenamiento de Datos Históricos.....	225
5.10.3. Configuración de los Tags de Lectura.....	226
5.10.4. Visualización y Selección de Datos Históricos de Nivel .....	227
5.10.5. Exportar Datos Históricos de Nivel a Excel .....	231
5.11. Sistema de Comunicación .....	233
5.11.2. Configuración de Servidores para el Sistema de Comunicación .....	234
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>240</b>
<b>6. PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>240</b>
6.1. Pruebas de Funcionamiento.....	241
6.1.1. Encendido y Apagado de Equipos.....	241

	xv
6.1.2. Prueba y Resultados de Funcionamiento “Adición de Químicos”.....	245
6.1.3. Pruebas y Resultados de Funcionamiento “Tanques Sedimentadores”.....	262
6.1.4. Pruebas y Resultados de Funcionamiento “Tanques de Almacenamiento”.....	273
6.1.6. Pruebas de Funcionamiento “Adición de Químicos de SDEC”.....	280
6.1.7. Filtro Prensa.....	284
6.1.8. Tablero de Control.....	286
6.1.9. Flotadores de Emergencia Antiderrame .....	287
6.1.10. Falla Eléctrica .....	288
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>291</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>291</b>
7.1. CONCLUSIONES.....	291
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>294</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>296</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Esquema de detalle de tareas planificadas</i> .....	36
<b>Tabla 2</b> <i>Detalle y descripción de tipos de sedimentación</i> .....	47
<b>Tabla 3</b> <i>Detalle y descripción de tipos de floculación</i> .....	49
<b>Tabla 4</b> <i>Tipos de aguas residuales por su acidez o alcalinidad</i> .....	51
<b>Tabla 5</b> <i>Variable y rango de medida Piscina de Almacenamiento</i> .....	100
<b>Tabla 6</b> <i>Variable y rango de medida Tanque de Mezcla</i> .....	100
<b>Tabla 7</b> <i>Variable y rango de medida Tanque de Floculación</i> .....	101
<b>Tabla 8</b> <i>Variable y rango de medida Tanque de Neutralización</i> .....	102
<b>Tabla 9</b> <i>Variable y rango de medida Filtro Prensa</i> .....	102
<b>Tabla 10</b> <i>Variable y rango de medida Tanque Auxiliar</i> .....	103
<b>Tabla 11</b> <i>Variable y rango de medida Tanque Almacenamiento</i> .....	103
<b>Tabla 12</b> <i>Variable y rango de medida Tanque Solución Decapante</i> .....	104
<b>Tabla 13</b> <i>Especificaciones técnicas de los equipos</i> .....	105
<b>Tabla 14</b> <i>Actividades de diseño e implementación realizadas</i> .....	111
<b>Tabla 15</b> <i>Continuación Actividades de diseño e implementación realizadas</i> .....	112
<b>Tabla 16</b> <i>Continuación Actividades de diseño e implementación realizadas</i> .....	112
<b>Tabla 17</b> <i>Descripción de elementos de la planta de tratamiento Ptari, P&amp;ID</i> .....	117
<b>Tabla 18</b> <i>Valor Mínimo y Máximo del Sensor de Nivel Ultrasónico EGE</i> .....	131
<b>Tabla 19</b> <i>Valor de Lectura Normalizado y Volumen en Litros de la Piscina de Almacenamiento</i> .....	132
<b>Tabla 20</b> <i>Comparación del Valor Medido y Valor Calculado</i> .....	133
<b>Tabla 21</b> <i>Valor de Lectura Normalizado y Volumen en Litros del Tanque de Mezcla y</i>	

<i>Floculación</i> .....	136
<b>Tabla 22</b> <i>Comparación del Valor Medido y Valor Calculado</i> .....	137
<b>Tabla 23</b> <i>Valor de Lectura Normalizado y Volumen en Litros del Tanque de Neutralización y Auxiliar</i> .....	139
<b>Tabla 24</b> <i>Comparación del Valor Medido y Valor Calculado</i> .....	140
<b>Tabla 25</b> <i>Valor de Lectura Normalizado y el Volumen en Litros del Tanque de Solución</i> .....	142
<b>Tabla 26</b> <i>Comparación del Valor Medido y Valor Calculado</i> .....	143
<b>Tabla 27</b> <i>Valor de Lectura Normalizado y el Volumen en Litros del Tanque de Almacenamiento</i> .....	145
<b>Tabla 28</b> <i>Comparación del Valor Medido y Valor Calculado</i> .....	147
<b>Tabla 29</b> <i>Valor de Lectura Normalizado y medición de pH del Tanque de Mezcla</i> .....	150
<b>Tabla 30</b> <i>Valor de Lectura Normalizado y medición de pH del Tanque de Neutralización</i> .....	152
<b>Tabla 31</b> <i>Especificaciones técnicas de la composición del “ADE”</i> .....	158
<b>Tabla 32</b> <i>Especificaciones técnicas de la composición del “SDEC</i> .....	158
<b>Tabla 33</b> <i>Descripción de Entradas y Tags del controlador S7-1200 “Ptari”</i> .....	167
<b>Tabla 34</b> <i>Descripción de Salidas y Tags del controlador S7-1200 “Ptari”</i> .....	168
<b>Tabla 35</b> <i>Especificaciones técnicas del Sensor de Nivel Ultrasónico EGE</i> .....	170
<b>Tabla 36</b> <i>Descripción de Entradas Analógicas y Tags del controlador S7-1200 “Ptari”</i> .....	172
<b>Tabla 37</b> <i>Detalle de Instalación de Dispositivos de maniobra en el Tablero de Control</i> .....	174
<b>Tabla 38</b> <i>Tabla de Selección de calibre AWG para Conductores Eléctricos de Cobre</i> .....	177
<b>Tabla 39</b> <i>Descripción de Módulos de la Pantalla de Ingreso Planta “Ptari”</i> .....	196
<b>Tabla 40</b> <i>Descripción de Ítems de la Barra de Alarmas</i> .....	197
<b>Tabla 41</b> <i>Descripción de Ítems de la Barra de Navegación</i> .....	198

<b>Tabla 42</b> <i>Botones de Ingreso y Registro</i> .....	199
<b>Tabla 43</b> <i>Módulo de Selección de Control Proceso y Selección de Proceso</i> .....	199
<b>Tabla 44</b> <i>Pantalla de Adición de Químicos ADE</i> .....	200
<b>Tabla 45</b> <i>Ítems de la Barra de Control Manual de Pantalla de Adición de Químicos de ADE</i> ..	201
<b>Tabla 46</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso Manual de Pantalla de Adición de Químicos de ADE</i> .....	203
<b>Tabla 47</b> <i>Ítems de la Pantalla de Adición de Químicos SDEC</i> .....	205
<b>Tabla 48</b> <i>Ítems de la Barra de Control Manual de Adición de Químicos de SDEC</i> .....	206
<b>Tabla 49</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso en modo Manual de Adición de Químicos de SDEC</i> .....	206
<b>Tabla 50</b> <i>Ítems de la Pantalla de Tanques Sedimentadores de ADE y SDEC</i> .....	207
<b>Tabla 51</b> <i>Ítems de la Barra de Control Pantalla de Tanques Sedimentadores</i> .....	208
<b>Tabla 52</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Tanques Sedimentadores</i> ....	208
<b>Tabla 53</b> <i>Ítems de la Pantalla del Filtro Prensa</i> .....	210
<b>Tabla 54</b> <i>Ítems de la Barra de Control Pantalla de Filtro Prensa</i> .....	211
<b>Tabla 55</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla del Filtro Prensa</i> .....	212
<b>Tabla 56</b> <i>Ítems de la Pantalla de Tanques de Almacenamiento de ADE y SDEC</i> .....	212
<b>Tabla 57</b> <i>Ítems de la Barra de Control Pantalla de Tanques de Almacenamiento</i> .....	213
<b>Tabla 58</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Tanques de Almacenamiento</i> .....	214
<b>Tabla 59</b> <i>Ítems de la Pantalla de control Automático de ADE y SDEC</i> .....	214
<b>Tabla 60</b> <i>Ítems de la Barra de Control de la Pantalla Automática de ADE y SDEC</i> .....	215
<b>Tabla 61</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla Automática de ADE y SDEC</i> ...	217

<b>Tabla 62</b> <i>Ítems de la Pantalla de control del Vaporizador</i> .....	217
<b>Tabla 63</b> <i>Ítems de la Barra de Control Manual de la Pantalla Vaporizador</i> .....	218
<b>Tabla 64</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla Vaporizador</i> .....	218
<b>Tabla 65</b> <i>Ítems de la Pantalla de Alarmas</i> .....	219
<b>Tabla 66</b> <i>Ítems de la Barra de Control de la Pantalla Automática de ADE y SDEC</i> .....	220
<b>Tabla 67</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Alarmas</i> .....	221
<b>Tabla 68</b> <i>Ítems de la Pantalla de Históricos</i> .....	221
<b>Tabla 69</b> <i>Ítems de la Barra de Identificación de Datos Históricos</i> .....	222
<b>Tabla 70</b> <i>Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Históricos</i> .....	223
<b>Tabla 71</b> <i>Ítems de la Barra de Navegación</i> .....	224
<b>Tabla 72</b> <i>Pasos de Configuración de Datos Históricos</i> .....	225
<b>Tabla 73</b> <i>Pasos de Configuración de Trends Históricos</i> .....	229
<b>Tabla 74</b> <i>Selección de Tags para Datos Históricos</i> .....	230
<b>Tabla 75</b> <i>Pasos para la Configuración de Access Name</i> .....	232
<b>Tabla 76</b> <i>Pasos de Configuración de la aplicación Modify Access Name</i> .....	232
<b>Tabla 77</b> <i>Tabla de Direcciones IP</i> .....	234
<b>Tabla 78</b> <i>Configuración del Servidor DAServer</i> .....	234
<b>Tabla 79</b> <i>Configuración del Servidor DAServer</i> .....	235
<b>Tabla 80</b> <i>Configuración del Servidor Configuración DASMBTCP</i> .....	236
<b>Tabla 81</b> <i>Configuración de entradas y salidas con el registro de Modbus</i> .....	238
<b>Tabla 82</b> <i>Pruebas de Funcionamiento de Equipos</i> .....	242
<b>Tabla 83</b> <i>Calculo error Absoluto</i> .....	247
<b>Tabla 84</b> <i>Calculo error Absoluto</i> .....	251

<b>Tabla 85</b> Rangos de medición de sensor de pH omega PHCN-37.....	253
<b>Tabla 86</b> Calculo de error Absoluto en la medición pH del Tanque de Mezcla .....	253
<b>Tabla 87</b> Verificación de Mezcla Homogénea .....	255
<b>Tabla 88</b> Tiempo de Homogenización del Tanque de Mezcla.....	255
<b>Tabla 89</b> Calculo error Absoluto.....	258
<b>Tabla 90</b> Tiempo de Floculación estimada para cada proceso de tratamiento.....	260
<b>Tabla 91</b> Verificación de Mezcla Homogénea .....	261
<b>Tabla 92</b> Tiempo de Homogenización del Tanque de Mezcla.....	262
<b>Tabla 93</b> Condiciones de mejoradas de desempeño de la planta de tratamiento .....	264
<b>Tabla 94</b> Calculo error Absoluto.....	267
<b>Tabla 95</b> Rangos de medición de sensor de pH omega PHCN-37.....	269
<b>Tabla 96</b> Calculo de error Absoluto en la medición pH del Tanque de Neutralización.....	270
<b>Tabla 97</b> Verificación de Mezcla Homogénea .....	271
<b>Tabla 98</b> Tiempo de Homogenización del Tanque de Mezcla.....	271
<b>Tabla 99</b> Calculo error Absoluto.....	275
<b>Tabla 100</b> Calculo error Absoluto.....	279
<b>Tabla 101</b> Calculo error Absoluto.....	283
<b>Tabla 102</b> Pruebas de Funcionamiento de los Equipos del Filtro Prensa de ADE y SDEC .....	285
<b>Tabla 103</b> Pruebas de Funcionamiento de los Equipos del Filtro Prensa de ADE y SDEC .....	287
<b>Tabla 104</b> Pruebas de Funcionamiento de los Flotadores de Nivel .....	288
<b>Tabla 105</b> Pruebas de Funcionamiento Seguidor de Fase.....	289

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Escala de pH .....	42
<b>Figura 2.</b> Planta de tratamiento de agua residual industrial “PTARI” .....	43
<b>Figura 3.</b> Zonificación de un sedimentador.....	47
<b>Figura 4.</b> Floculación partículas cargadas con el mismo signo y catión coagulante.....	50
<b>Figura 5.</b> Uso de la filtración para tratamiento de aguas residuales.....	53
<b>Figura 6.</b> Filtro prensa.....	54
<b>Figura 7.</b> Electroválvulas acción directa .....	56
<b>Figura 8.</b> Electroválvulas acción inversa .....	57
<b>Figura 9.</b> Electroválvulas acción mixta.....	57
<b>Figura 10.</b> Sensores de Nivel .....	58
<b>Figura 11.</b> Medidor de nivel tipo flotador.....	59
<b>Figura 12.</b> Sensor ultrasónico.....	60
<b>Figura 13.</b> Tipos de buses de campo. ....	62
<b>Figura 14.</b> Modbus TCP/IP .....	62
<b>Figura 15.</b> PLC Siemens S7-1200.....	64
<b>Figura 16.</b> Pirámide de la automatización.....	67
<b>Figura 17.</b> Descripción de la pirámide de la automatización. ....	68
<b>Figura 18.</b> Ciclo de vida de una HMI.....	69
<b>Figura 19.</b> Niveles de Jerarquía HMI.....	72
<b>Figura 20.</b> Plataforma “Intouch” .....	74
<b>Figura 21.</b> Software Tia Portal .....	76
<b>Figura 22.</b> Estado Inicial “PTARI”.....	77

<b>Figura 23.</b> Secuencia de Proceso “PTARI 2011”.....	79
<b>Figura 24.</b> Bombas Centrífugas.....	80
<b>Figura 25.</b> Bombas Dosificadoras.....	80
<b>Figura 26.</b> Sensores de pH “OMEGA” .....	81
<b>Figura 27.</b> Válvulas Motorizadas.....	82
<b>Figura 28.</b> Bombas Neumáticas .....	82
<b>Figura 29.</b> Bombas Sumergibles .....	83
<b>Figura 30.</b> Deshidratador de Fangos. ....	83
<b>Figura 31.</b> Tanque de Tratamiento.....	84
<b>Figura 32.</b> Tablero de Control.....	85
<b>Figura 33.</b> Touch Panel .....	86
<b>Figura 34.</b> Flotadores de Nivel.....	87
<b>Figura 35.</b> Problemas en la Operación. ....	87
<b>Figura 36.</b> Diagrama de Flujo “PTARI 2011” .....	88
<b>Figura 37.</b> Pantalla de Control MANUAL “PTARI 2011”.....	89
<b>Figura 38.</b> Pantalla de Control Manual “PTARI 2011” .....	90
<b>Figura 39.</b> Pantalla de Gráfica de Tendencias “PTARI 2011”.....	90
<b>Figura 40.</b> Pantalla de Alarmas “PTARI 2011”.....	91
<b>Figura 41.</b> Requerimientos del sistema SCADA.....	92
<b>Figura 42.</b> Proceso de tratamiento de “Agua de Enjuague” .....	95
<b>Figura 43.</b> Proceso de tratamiento de “Solución Decapante” .....	96
<b>Figura 44.</b> Zonificación de la planta de tratamiento de agua “Ptari” .....	114
<b>Figura 45.</b> Detalle de ubicación de equipos Zona 1 .....	114

<b>Figura 46.</b> Detalle de ubicación de equipos Zona 2.....	115
<b>Figura 47.</b> Detalle de ubicación de equipos Zona 3.....	116
<b>Figura 48.</b> Layout de equipos PTARI.....	116
<b>Figura 49.</b> Diagrama P&ID de la Piscina de Almacenamiento.....	118
<b>Figura 50.</b> Diagrama P&ID del Tanque de Mezcla.....	119
<b>Figura 51.</b> Diagrama P&ID del Tanque de Floculación. ....	120
<b>Figura 52.</b> Diagrama P&ID del Tanque Sedimentador 1.....	121
<b>Figura 53.</b> Diagrama P&ID del Tanque Neutralizador.....	122
<b>Figura 54.</b> Diagrama P&ID del Tanque Sedimentador 2.....	123
<b>Figura 55.</b> Diagrama P&ID del Tanque Auxiliar.....	124
<b>Figura 56.</b> Diagrama P&ID del Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada.....	125
<b>Figura 57.</b> Diagrama P&ID del Tanque de Solución Decapante. ....	126
<b>Figura 58.</b> Diagrama de proceso de Agua de enjuague.....	128
<b>Figura 59.</b> Diagrama de proceso de Solución Decapante.....	128
<b>Figura 60.</b> Sensor de nivel ultrasónico “EGE” ARKU 3500 GI.....	129
<b>Figura 61.</b> Sensor de nivel láser de “IFM” EFECTOR 01D100.....	130
<b>Figura 62.</b> Relación de Corriente vs Altura de los Sensores Ultrasónicos EGE.....	130
<b>Figura 63.</b> Sensor Ultrasónico Piscina de Almacenamiento. ....	131
<b>Figura 64.</b> Altura de la piscina de almacenamiento vs salida de corriente.....	132
<b>Figura 65.</b> Ecuación de nivel de la Piscina de Almacenamiento. ....	134
<b>Figura 66.</b> Sensor Ultrasónico Tanque de Mezcla y Floculación.....	135
<b>Figura 67.</b> Altura del Tanque de Mezcla y Floculación vs salida de corriente.....	135
<b>Figura 68.</b> Ecuación de nivel Tanque Mezcla y Floculación.....	137

<b>Figura 69.</b> Sensor Ultrasónico Tanque de Neutralización y Auxiliar .....	138
<b>Figura 70.</b> Altura del Tanque de Neutralización y Auxiliar vs salida de corriente.....	138
<b>Figura 71.</b> Ecuación de nivel del Tanque de Neutralización y Auxiliar .....	140
<b>Figura 72.</b> Sensor Ultrasónico Instalado en el Tanque de Solución Decapante.....	141
<b>Figura 73.</b> Altura del Tanque de Solución Decapante vs salida de corriente .....	141
<b>Figura 74.</b> Ecuación de nivel del Tanque de Solución Decapante.....	144
<b>Figura 75.</b> Sensor Ultrasónico del Tanque de Almacenamiento de Agua de Tratada. ....	144
<b>Figura 76.</b> Altura del Tanque de Agua Tratada vs salida de corriente.....	145
<b>Figura 77.</b> Ecuación de nivel del Tanque de Agua de Enjuague. ....	146
<b>Figura 78.</b> Sensor de pH PHCN-37 de la marca OMEGA.....	148
<b>Figura 79.</b> Diagrama de salidas analógicas (Der.) y analógicas aisladas (Izq.).....	149
<b>Figura 80.</b> Diagrama de conexiones de la tarjeta de Salidas Analógicas Aisladas .....	149
<b>Figura 81.</b> Ecuación característica del sensor de pH del Tanque de Mezcla .....	151
<b>Figura 82.</b> Ecuación característica del sensor de pH del Tanque de Mezcla. ....	151
<b>Figura 83.</b> Diagrama unifilar del tablero de control.....	152
<b>Figura 84.</b> Diagramas Eléctricos Unifilares Especiales .....	153
<b>Figura 85.</b> Diagrama unifilar del sensor de pH PHCN-37.....	154
<b>Figura 86.</b> Diagrama unifilar del sensor de nivel ARKU 3500.....	154
<b>Figura 87.</b> Diagrama unifilar del sensor de nivel EFECTOR 01D100. ....	155
<b>Figura 88.</b> Tratamiento Superficial de Galvanizado por Inmersión.....	157
<b>Figura 89.</b> Secuencia de tratamiento de ADE .....	159
<b>Figura 90.</b> Secuencia de tratamiento de SDEC .....	159
<b>Figura 91.</b> Diagrama de proceso Automático de Agua de Enjuague. ....	163

<b>Figura 92.</b> Diagrama de proceso Automático de Solución Decapante.....	166
<b>Figura 93.</b> Sensor Ultrasónico EGE.....	171
<b>Figura 94.</b> Selección de Entradas Analógicas de Voltaje y Corriente .....	171
<b>Figura 95.</b> Diseño de Banco de Potenciómetros. ....	172
<b>Figura 96.</b> Banco de Potenciómetros .....	172
<b>Figura 97.</b> Diseño del Armario de control Ptari.....	173
<b>Figura 98.</b> Implementación del Tablero de control Ptari .....	175
<b>Figura 99.</b> Sistema de Control por pulsadores de la planta Ptari. ....	176
<b>Figura 100.</b> Factores Influyentes en el diseño HMI.....	184
<b>Figura 101.</b> Pantalla de Procesos en Modo Manual y Automático.....	185
<b>Figura 102.</b> Pantalla de Pantalla de Alarmas. ....	186
<b>Figura 103.</b> Menú de Navegación. ....	187
<b>Figura 104.</b> Menú de navegación y Estructura de proceso. ....	187
<b>Figura 105.</b> Pantalla de Proceso Automático. ....	187
<b>Figura 106.</b> Pantalla de Proceso Manual.....	188
<b>Figura 107.</b> Jerarquía de diseño HMI.....	188
<b>Figura 108.</b> Diseño HMI Ptari 2011.....	189
<b>Figura 109.</b> Selección de Colores de la Interfaz HMI.....	190
<b>Figura 110.</b> Toolkit Archestra y Simbol Factory. ....	191
<b>Figura 111.</b> Indicador Numérico creado en Archestra. ....	192
<b>Figura 112.</b> Estructura Filtro Prensa .....	192
<b>Figura 113.</b> Tanques de proceso creados en Archestra.....	192
<b>Figura 114.</b> Pantalla de Ingreso (Login) al HMI.....	193

<b>Figura 115.</b> Usuarios y Administradores del sistema HMI.....	193
<b>Figura 116.</b> Paro de Emergencia (Izq.), Parada de Lote (Der.) virtuales.....	194
<b>Figura 117.</b> Pulsadores de Emergencia físicos.....	194
<b>Figura 118.</b> Pulsadores de Emergencia Digital y Físicos.....	194
<b>Figura 119.</b> Pantalla de Ingreso HMI.....	197
<b>Figura 120.</b> Pantalla de Adición de Químicos Manual de ADE.....	201
<b>Figura 121.</b> Pantalla de Adición de Químicos Manual de SDEC.....	205
<b>Figura 122.</b> Pantalla de Tanques Sedimentadores de ADE y SDEC.....	207
<b>Figura 123.</b> Pantalla de Filtro Prensa de ADE.....	210
<b>Figura 124.</b> Pantalla de Filtro Prensa de SDEC.....	211
<b>Figura 125.</b> Pantalla de Tanques de almacenamiento de ADE y SDEC.....	213
<b>Figura 126.</b> Pantalla de control Automático de “ADE”.....	216
<b>Figura 127.</b> Pantalla de control Automático de “SDEC”.....	216
<b>Figura 128.</b> Pantalla de Control Manual Vaporizador.....	218
<b>Figura 129.</b> Pantalla de Alarmas.....	219
<b>Figura 130.</b> Pantalla de Históricos.....	222
<b>Figura 131.</b> Diagrama de Manejo de Datos Históricos.....	225
<b>Figura 132.</b> Pasos de Configuración de Datos Históricos.....	226
<b>Figura 133.</b> Pasos de Configuración de Datos Históricos.....	226
<b>Figura 134.</b> Filtro Deadband.....	227
<b>Figura 135.</b> Trend Histórico 1.....	228
<b>Figura 136.</b> Trend Histórico 2.....	228
<b>Figura 137.</b> Trend Histórico 3.....	229

<b>Figura 138.</b> Pasos de selección Trend Histórico. ....	229
<b>Figura 139.</b> Configuración de Tags en Trend Histórico .....	230
<b>Figura 140.</b> Diagrama de envío de datos de Intouch a Excel.....	231
<b>Figura 141.</b> Configuración de Tags en Access Name.....	232
<b>Figura 142.</b> Configuración de parámetros Access Name.....	233
<b>Figura 143.</b> Layout de la Red Ptari. ....	233
<b>Figura 144.</b> Configuración del Servidor DAServer. ....	235
<b>Figura 145.</b> Configuración del Servidor Configuración DASMBTCP.....	236
<b>Figura 146.</b> Configuración de los Parámetros de Comunicación Modbus.....	237
<b>Figura 147.</b> Configuración de los Tags de Control del Sistema HMI.....	237
<b>Figura 148.</b> Configuración de entradas y salidas digitales y analógicas por módulos.....	239
<b>Figura 149.</b> Activación del servidor DASMBTCP. ....	239
<b>Figura 150.</b> Diagrama del Antiguo Sistema de Control.....	240
<b>Figura 151.</b> Diagrama de Nuevo Sistema de Control. ....	241
<b>Figura 152.</b> Pantalla Adición de Químicos de ADE. ....	245
<b>Figura 153.</b> Aviso de nivel Máximo “Piscina de Almacenamiento”. ....	246
<b>Figura 154.</b> Aviso de riesgo de derrame de la “Piscina de Almacenamiento”. ....	248
<b>Figura 155.</b> Display de visualización de pH modo “MANUAL” .....	250
<b>Figura 156.</b> Selector de pH modo “Automático”. ....	250
<b>Figura 157.</b> Aviso de riesgo de derrame de la “Tanque de Mezcla”.....	252
<b>Figura 158.</b> Display y selector de tiempo en modo “MANUAL”.....	257
<b>Figura 159.</b> Selector de tiempo en modo “Automático”. ....	257
<b>Figura 160.</b> Aviso de riesgo de derrame de la “Tanque de Floculación”. ....	259

<b>Figura 161.</b> Pantalla Tanques Sedimentadores .....	262
<b>Figura 162.</b> Pantalla Tanques Sedimentadores. ....	264
<b>Figura 163.</b> Display de visualización de pH modo “MANUAL” .....	266
<b>Figura 164.</b> Selector de pH Tanque Neutralizador modo “Automático”. ....	266
<b>Figura 165.</b> Aviso de riesgo de derrame de la “Tanque Neutralizador .....	268
<b>Figura 166.</b> Aviso de riesgo de derrame del “Tanque Sedimentador 2 .....	273
<b>Figura 167.</b> Pantalla Tanques de Almacenamiento.....	273
<b>Figura 168.</b> Tanque Auxiliar.....	275
<b>Figura 169.</b> Aviso de riesgo de derrame del “Tanque Auxiliar”.....	276
<b>Figura 170.</b> Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada.....	278
<b>Figura 171.</b> Aviso de riesgo de derrame del “Tanque de Almacenamiento”.....	279
<b>Figura 172.</b> Pantalla Adición de Químicos de SDEC .....	280
<b>Figura 173.</b> Tanque Almacenamiento de Solución Decapante .....	282
<b>Figura 174.</b> Aviso de riesgo de derrame del “Tanque de Almacenamiento de SDEC”.....	283
<b>Figura 175.</b> Pantalla Filtro Prensa de SDEC.....	284
<b>Figura 176.</b> Pantalla Filtro Prensa de ADE.....	285
<b>Figura 177.</b> Tablero de control.....	286
<b>Figura 178.</b> Luces Indicadoras de Nivel Máximo Antiderrame.....	288
<b>Figura 179.</b> Etiqueta de Alarma de Falla Eléctrica. ....	289
<b>Figura 180.</b> Seguidor de Fase.....	290

## **RESUMEN**

La Empresa SEDEMI comprometida con el cuidado del medio ambiente, decidió en el año 2011 invertir en la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales “PTARI” producidas por el tratamiento de galvanización de estructuras metálicas. La planta se encarga de la separación de sólidos y la neutralización del pH para desechar o reutilizar el agua en el proceso de galvanizado. Por motivos de expansión del área de galvanizado, la producción de agua residual aumento en un 60% la capacidad para la que fue diseñada, la misma fue perdiendo su funcionalidad hasta que en el 2016 quedó a un 20% de su capacidad de procesamiento. En el 2017 se inicia el proyecto de repotenciación de la PTARI mediante la modificación de los procesos de floculación, sedimentación, filtración y neutralización. La automatización de los procesos realizados en este proyecto permite al operador realizar un control y supervisión del tratamiento de agua desde una cabina central de forma más eficiente con un sistema de medición en tiempo real de los valores de pH, del nivel de agua de cada tanque evitando el riesgo de derrame del agua contaminada, disminuyendo el tiempo del proceso, garantizando la vida útil de los equipos y disminuyendo el número de operadores necesarios para realizar el proceso. Los procesos mencionados son controlados por un sistema SCADA el mismo que permite la manipulación de los equipos de forma manual y automática, el control y la supervisión del tratamiento del agua residual por medio de una HMI.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **AUTOMATIZACIÓN**
- **TRATAMIENTO DE AGUA**
- **SCADA**
- **HMI**
- **FLOCULACIÓN**

## **ABSTRACT**

The SEDEMI company committed to the care of the environment decides to invest in the implementation of the industrial wastewater treatment plant "PTARI" produced by the galvanization treatment of metal structures in 2011, which is responsible for the separation of solids and the neutralization of the pH to be able to discard or reuse the water in the galvanizing process. For reasons of expansion of the galvanized area the production of residual water increased by 60% the capacity for the which it was designed, it was losing its functionality until that in 2016 it remains at 20% of its processing capacity. In 2017, the repowering project of the PTARI was initiated by modifying the flocculation, sedimentation, filtration and neutralization processes. The automation of the processes carried out in this project allow the operator to control and supervise the water treatment from a central cabin more efficiently with a system of real-time measurement of the pH values, the water level of each tank avoiding the risk of spillage of contaminated water, reducing the time of the process, guaranteeing the useful life of the equipment and decreasing the number of operators necessary to carry out the process. The aforementioned processes are controlled by a SCADA system, which allows manual and automatic manipulation of the equipment, control and supervision of wastewater treatment by means of an HMI.

### **KEYWORDS:**

- **AUTOMATION**
- **WATER TREATMENT**
- **SCADA**
- **HMI**
- **FLOCCULATION**

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

La Empresa SEDEMI S.C.C se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui en el Km 4 ½ vía Amaguaña. Es una Empresa especializada en la construcción de estructuras metálicas a media y gran escala en diferentes campos de aplicación tales como: el eléctrico (torres de transmisión), petrolero (tubería de transporte de crudo), telecomunicaciones (torres de antenas de transmisión), gas e hidrocarburos (tanques de almacenamiento), e infraestructura (Puentes – Hospitales – Aeropuertos) en el Ecuador. (AAI NAgant, 2009)

SEDEMI S.C.C posee dos plantas de producción, una planta a gran escala especializada en la construcción de estructura metálica para infraestructura y otra especializada en proyectos de construcción de torres de transmisión (eléctrica y telecomunicaciones), contando además con una agencia en Lima–Perú. Las plantas disponen de certificaciones de calidad como ISO 9001, Norma Técnica NTE INEN 2486, ASME y UL (Underwriters Laboratories). (AAI NAgant, 2009)

Según SEDEMI (2005) el desarrollo de la empresa está basada en la ejecución de proyectos de infraestructura en diferentes campos de aplicación, siendo la más solicitada la fabricación de estructuras metálicas galvanizadas, las cuales sirven para la protección de toda clase de piezas, artículos de acero y de sus operarios. Por otra parte, los recubrimientos galvanizados poseen gran versatilidad de utilización protegiendo el acero de la corrosión atmosférica provocada tanto por el agua o la tierra, garantizando así un mayor tiempo de vida

útil de las estructuras.

En el año 2009 SEDEMI S.C.C construyó la planta de tratamiento en galvanizado caliente bajo el proceso de doble inmersión, con el objetivo de mejorar el acabado de sus productos y aumentar la vida útil protegiéndolos un 99% sobre los efectos de corrosión. Todos los trabajos se ejecutan bajo un estricto control de calidad, respaldado en un sistema de gestión, según la norma ISO 9001:2008. Éste proceso produce residuos sólidos con una mezcla de varios metales, grasas y ácidos, por lo cual el código de protección ambiental exige que las empresas que trabajen con sustancias contaminantes tengan plantas de tratamiento de agua para su reutilización o correcto desecho a la alcantarilla pública. (SEDEMI, 2005)

En el año 2011 las necesidades de cumplir con lo establecido en el Reglamento del Código de Protección Ambiental llevaron a la Empresa SEDEMI S.C.C a construir la planta de tratamiento de aguas residuales industriales “PTARI”, la cual se encarga del tratamiento de todos los desechos producidos por la planta de galvanizado, reutilización de agua y separación de desechos sólidos producidos, cumpliendo así con la normativa vigente.

La planta de tratamiento de agua PTARI cuenta con una piscina de almacenamiento de las aguas residuales, dos tanques sedimentadores, tres tanques de proceso, los cuales adicionan las sustancias químicas para la sedimentación, un deshidratador de fangos para el secado y extracción de los desechos sólidos totales.

Así como también de bombas sumergibles y de succión para el transporte del agua

residual de un tanque a otro, también posee sensores de pH que vigilan los niveles del agua residual al ingreso y al final del proceso y válvulas motorizadas que permiten el paso del agua. (SEDEMI, 2005)

## 1.2 Justificación e Importancia

La planta de tratamiento de agua “PTARI” cuenta con un sistema SCADA desarrollado en el año 2011 por la Empresa AAINAGANT (Agua y Automatismos de control), utilizando el programa “Proficy”. Durante siete años de operación ha presentado desventajas y fallas en la parte mecánica, eléctrica y electrónica, siendo necesario corregir inmediatamente los siguientes aspectos:

- La piscina de almacenamiento, así como los tanques de proceso no cuenta con una medición del nivel en tiempo real, ni seguridad anti-derrame del agua residual.
- Para llevar a cabo el proceso de sedimentación de residuos sólidos se realiza la adición de químicos como hidróxido de calcio e hidróxido de sodio los mismos que producen una reacción diferente en el agua residual. El sistema SCADA actual no permite tomar en cuenta el tipo de aditivo a añadir ni su reacción por lo que el control es manual y dificulta el proceso de tratamiento generando un mayor tiempo de procesamiento e inutilizando el sistema de control.
- El sistema SCADA se encuentra fuera de servicio y por el momento solo funciona en forma manual de manera limitada, se realizó la instalación provisional de pulsadores para la activación de bombas, válvulas, etc.
- Las entradas analógicas de los sensores de pH no registran datos reales, por lo que la

visualización en el HMI es errónea. El operador tiene que salir del tablero de control a observar los medidores de pH para regresar a controlar el proceso.

- SEDEMI S.C.C no cuenta con ningún tipo de protección para sobre voltajes, transientes, y distorsión armónica por lo que el PLC y el Touch Panel dejan de funcionar creando un estado de alarma en repetidas ocasiones.
- El sistema de filtrado se acomodó a un filtro de arena manual, debido a que la malla del filtrado se saturaba muy rápidamente y la bomba no era capaz de filtrar volúmenes grandes, por lo que se empleaba al filtro por gravedad; estas condiciones no son las mejores para el filtrado ya que aumentan considerablemente el tiempo de tratamiento del agua.
- El sistema actual no tiene ningún tipo de sistema de contención o paro automático del proceso por medio del análisis de riesgos.

La ejecución del proyecto es importante ya que:

- Con la implementación de un nuevo sistema SCADA se controla y monitorea cada uno de los niveles de los tanques de proceso y de la piscina de almacenamiento en tiempo real, con condiciones establecidas de funcionamiento específico para la adición de cada uno de los diferentes aditivos químicos como, por ejemplo: capacidad máxima del 50% del tanque para la adición de hidróxido de calcio y del 70% para hidróxido de sodio. Además de la implementación de un sistema de contingencia de nivel que con sensores ultrasónicos y flotadores instalados en cada uno de los tanques detendrán el proceso para evitar cualquier tipo de derrame.
- El desarrollo del nuevo sistema SCADA permitirá trabajar en modo automático y manual con un 100% de control de cada uno de los dispositivos, además permitirá el ingreso del pH deseado para cada tanque, así el operador solo ingresará el rango necesario y el sistema se

encargará de realizar la comparación y la dosificación necesaria del aditivo químico para llegar al pH establecido.

- Por medio del sistema de control desarrollado se espera obtener una mejora muy considerable en el tiempo de procesamiento del agua residual industrial, acorde a las necesidades de la planta de galvanizado y disminuir así cualquier tipo de falla con el nuevo diseño de estructura y control de la planta PTARI.
- Para la instalación del nuevo sistema de control se diseñará una cabina de máquinas más cómoda y protegida de todo tipo de gas, donde por salud de los operadores se encuentra separada de los tanques de adición de químicos, tomando en cuenta la salud de los operadores y el estado de los dispositivos de control.

### **1.3 Alcance**

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema SCADA para el control y supervisión del sistema de tratamiento de agua industrial en la empresa SEDEMI S.C.C, utilizando un PLC Siemens (S7-1200), el software de Wonderware (INTOUCH) para el diseño de la interface humano-maquina (HMI), sensores de pH, sensores de nivel ultrasónicos, bombas dosificadoras electrónicas, motores agitadores, válvulas neumáticas, filtro prensa, etc.

En el proyecto se va a integrar un sistema de medición ultrasónica de nivel y de agitadores en cada uno de los tanques en los que se coloquen aditivos químicos, optimizando la dosificación de los químicos necesarios para realizar el proceso de sedimentación de sólidos, todas las bombas y motores serán controlados por medio de la interface HMI la cual constará de modos manual y automático de operación.

Para el control y monitoreo del sistema de dosificación se realizará en cada una de las pantallas (HMI) la selección del aditivo químico a utilizar, ya sea hidróxido de calcio, hidróxido de sodio o ácido clorhídrico, los mismo que restringirán a valores específicos el nivel de los tanques de mezcla para evitar todo tipo de riesgo de derrame.

Se implementará en cada uno de los tanques un sistema de contingencia de nivel, ya que, si por alguna razón uno de los sensores ultrasónico de nivel falla, las boyas detendrán el proceso enviando una alarma en la interface HMI y activando una alarma visual y sonora externa.

En caso de detectar alguna falla en el proceso el operador contará con dos pulsadores de emergencia colocados en zonas libres, accesibles y de fácil ubicación en la planta, los mismos que detendrán el proceso de control desde el sistema HMI.

Para realizar el correcto filtrado de los residuos sólidos en el agua residual, se implementará un filtro prensa para disminuir el tiempo de filtrado de los sólidos, el mismo que será controlado desde la interface HMI vigilando el ingreso de aire y agua, así como también la apertura y cierre de las placas para poder realizar la limpieza de cada una de ellas.

En la Tabla 1 se presentará el detalle de las tareas planificadas en el proyecto de automatización de la planta PTARI.

**Tabla 1**  
*Esquema de detalle de tareas planificadas*

SISTEMA	EQUIPO	ESTADO
---------	--------	--------

CONTINUA →

<b>AUTOMATIZACIÓN</b>	Análisis de materiales y dispositivos, para la implementación de la planta de tratamiento de agua "PTARI".	Cotizaciones, búsqueda y compra de dispositivos.
	Diseño del proceso de tratamiento de agua, MODO MANUAL y MODO AUTOMATICO.	Diseño del proceso de tratamiento de las 2 sustancias residuales, SOL. DECAPANTE y AGUA DE ENJUAGUE.
	Diseño de planos	Diseño de planos P&ID, ELECTRICOS, DISTRIBUCION DE PLC, DISTRIBUCION DE ELEMENTOS DE CONTROL.
	Protocolo de comunicación, e interfaz de control.	Configuración comunicación MODBUS TCP/IP.  Diseño HMI programa INTOUCH.
	Programación de controlador lógico programable, "PLC SIEMENS S7-1200".	Integración de módulos de expansión digital y análoga.  Desarrollo del programa de control de la planta "PTARI" programa TIA PORTAL V13 para el PLC "S7-1200".  Cableado de control de la planta "PTARI".
	Diseño y construcción del tablero de control de la planta "PTARI"	Diseño de planos de distribución de dispositivos de maniobra del tablero de control, "NUEVO DISEÑO".  Cableado de control y potencia.  Instalación de tablero de control.
	Instrumentación y sensores, "SENSOR pH-1, Ph-2"	Instalación de los sensores de pH.  Calibración de los sensores de pH.  Lectura de datos analógicos, normalización y comparación con los datos ingresados en el HMI.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de instrumentación y control para mejorar las

condiciones operacionales de control y monitoreo de la planta de tratamiento de aguas industriales “PTARI” de la empresa SEDEMI S.C.C. ubicada Vía Sangolqui - Amaguaña Km 4.1/2, a fin de cumplir con los reglamentos establecidos en el código de protección ambiental.  
06101964 -19641006 – 348558

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Disminuir el tiempo de tratamiento de las aguas residuales producidas por la planta de Galvanizado a través del diseño e implementación de un sistema de advertencia de averías y de mantenimiento preventivo en base a horas de trabajo.
- Reducir el uso de aditivos químicos para la sedimentación de metales en el agua residual, tales como Hidróxido de Sodio o Hidróxido de Calcio mediante el censado continuo del pH del agua a fin de evitar costos innecesarios a la empresa SEDEMI S.C.C.
- Mejorar el monitoreo del proceso mediante el diseño e implementación de un sistema HMI utilizando el software INTOUCH que permita la visualización del estado actual del proceso, y los niveles tanto de agua tratada como de agua contaminada.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1. Tratamiento de aguas residuales

Para comenzar el estudio relativo al tratamiento de aguas residuales, debe decirse que el sector industrial cada día aumenta de forma considerable el consumo de agua atendiendo a que este recurso es vital para realizar sus procesos de fabricación, en base a su crecimiento exponencial, menos del 30% de las empresas que utilizan el agua posee un compromiso de proteger y conservar el medio ambiente para el tratamiento o reutilización de esta. Por otro lado, más del 80% de los desechos que contaminan los sistemas hídricos a nivel mundial son provenientes de países industrializados; mientras que el 70% de los residuos contaminados devueltos a los sistemas hídricos sin ningún tipo de tratamiento previo, nace de los países en vías de desarrollo. (Banco Mundial, 2013).

Según Almirón (2006), el agua dulce constituye la base de cualquier forma de vida en el planeta, conlleva a desarrollo, producción y crecimiento en el ámbito social, sin embargo, debe tenerse en cuenta que es un recurso restringido, lo que genera la obligación y el compromiso por parte de la sociedad de buscar nuevas formas de proteger este recurso y utilizarlo de la manera más adecuada y eficiente posible. No cabe duda, que el sector industrial constituye la base del desarrollo y producción de un país, un alto crecimiento de esta rama se revierte en mayor estabilidad para el sector social. De él dependen cientos de miles de familias y mientras más alto es el porcentaje del sector industrial, mayor es el consumo de los recursos naturales.

En la misma dirección debe decirse que se ha visto en Ecuador, que es un país pequeño y rico en recursos naturales, pero lamentablemente la rama industrial ha descuidado la protección del medio ambiente, sin tomar en cuenta que los recursos se agotaran, por tal razón la protección ambiental deberá ser tomada como una estrategia de crecimiento y visión de futuro encaminada a la protección de los recursos naturales que son necesarios para el desarrollo del sector analizado.

El proceso de tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo fundamental la recuperación de este recurso utilizándolo en los procesos industriales, permitiendo que la misma sea reutilizada o desechada sin causar afectaciones al medio ambiente. Con respecto al tratamiento de galvanizado de estructuras metálicas, debe señalarse que los márgenes de tolerancia de pH son establecidos para cada una de las fases de inmersión de las piezas metálicas, motivos por los que es necesario llevar a cabo un tratamiento previo del agua para ser utilizada en el proceso y al reutilizarla podemos generar las condiciones de usos específicas en un solo tratamiento con el ahorro de aditivos químicos al agua limpia (Rajeshwar & Ibanez, 1997) citado por (Morales & Acosta, 2010).

Corresponde señalar que el desecho de aguas residuales industriales, proveniente de procesos industriales es uno de los temas esenciales para la autoridad de Medio Ambiente por el daño que puede generar en los mares, ríos, lagos, lagunas, etcétera, así como los efectos directos que causa en la flora, fauna y el ecosistema en general.

La falta de compromiso del sector industrial ecuatoriano, ha motivado al Ministerio del

Ambiente a intensificar los operativos, y sancionar severamente a las empresas que incumplen con la normativa vigente, llegándose a clausurar estas, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 259 del Acuerdo Ministerial No. 061 que regula lo referente a que los proyectos, obras o actividades podrán ser inspeccionados en cualquier momento, en cualquier horario y sin necesidad de notificación previa, por parte de la Autoridad Ambiental Competente (Ministerio de Ambiente, 2015).

## 2.1. Características Físicas del Agua

Resulta oportuno valorar las características físicas del agua residual, la que presenta variaciones debido a sustancias que se encuentra suspendidas en el agua y se pueden medir únicamente mediante la realización de pruebas físicas a sus elementos, entre ellos, a su temperatura, concentración y clase de sólido:

- **La temperatura:** es el calor que se almacena en el agua producida, ya sea por factores ambientales o por la intervención de las sustancias flotantes en el líquido, este factor es el que mayor influencia ejerce en los lagos, puesto que determina la densidad, viscosidad y la tensión superficial, los que disminuyen al aumentar la temperatura (Torres, 2015).
- **Los Sólidos:** Son aquella cantidad de residuos en suspensión, coloquial o disueltos que están contenidos en una cantidad determinada de volumen de agua residual, tales sólidos pueden ser objeto de medición mediante la evaporación de una muestra de agua de un volumen definido, la materia en suspensión, coloidal y disuelta es medida en base a la generación de sólidos totales (Torres, 2015).

- **El pH:** Es el rango de medición que se utiliza determinar si una sustancia líquida se encuentra en una condición ácida o básica, dependiendo el proceso en que se encuentre el uso del agua, siempre el pH se encuentra en un rango de 0 a 14 tomando como pH neutro o también denominado equilibrio entre iones el valor de pH 7 el cual corresponde al agua pura, la escala se describe en la Figura 1 (Torres, 2015).



**Figura 1.** Escala de pH

Fuente: (vidacina, 2018)

### 3.3. Clasificación de tratamiento de aguas residuales industriales

Según Rodríguez (2016) las clasificaciones de los tratamientos de aguas residuales se dividen en 3 tipos de tratamientos con sus diferentes sub procesos los cuales son:

#### 1. Tratamiento biológico

1.1. Fangos activos

1.2. Reactor biológico secuencial

1.3. Reactor biológico de membranas

#### 2. Evaporación al vacío

2.1. Evaporadores al vacío a baja temperatura por bomba de calor

2.2. Evaporadores al vacío a alta temperatura, compresión mecánica del vapor

### 2.3. Evaporadores al vacío de múltiple efecto

## 3. Tratamiento Físico – Químico

### 3.1. Sedimentación

### 3.2. Flotación

### 3.3. Precipitación

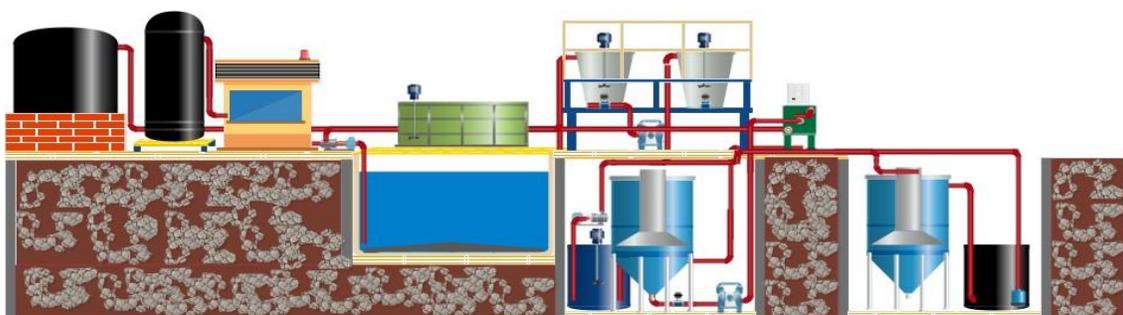
### 3.4. Floculación

### 3.5. Neutralización

### 3.6. Absorción

### 3.7. Filtración

Es importante destacar que uno de los aspectos fundamentales a tomar en cuenta, es que no siempre para todo proceso industrial es necesario implementar cada una de estas etapas, ello depende de factores como: el diseño, optimización de recursos y del proceso que se vaya a ejecutar, mientras menos puntos de los antes mencionados, sean implementados, menor será el costo para la empresa.



**Figura 2.** Planta de tratamiento de agua residual industrial “PTARI”

Resulta oportuno apuntar que el objetivo del proceso, no es solo la disminución de costos, sino también la efectividad del tratamiento de agua para que sea reutilizable, hay que tomar en cuenta factores medio ambientales los cuales pueden afectar al proceso, ello demuestra que los pasos anteriores constituyen una guía que debe ser analizada para determinar el mejor proceso que se adapte a la necesidad de cada empresa y proceso (Rodríguez, 2016). En el gráfico de la Figura 2 se muestra el esquema de la distribución estructural en el proceso de tratamiento de agua de la empresa SEDEMI.

### **2.3.1 Tratamientos Biológicos**

La aplicación de tratamientos biológicos se realiza cuando la contaminación generada es biodegradable así como el proceso de eliminación de la materia orgánica, tal y como el fósforo y el nitrógeno se pueden eliminar con componentes o procesos biológicos, estos procesos pueden ser de dos tipos: aeróbicos y anaeróbicos; es un proceso económico, pero está destinado al sector industrial de alimentos (Rodríguez, 2016).

### **2.3.2 Evaporación al vacío**

Esta técnica está sustentada en un proceso para el tratamiento de residuos líquidos y sustancias que contengan un 30% de su composición en este estado, dicho procedimiento está basado en la concentración de una solución mediante la eliminación de los solventes por medio del proceso de ebullición. La evaporación de efluentes líquidos a través de la evaporación al vacío, es una alternativa eficiente, limpia y segura para tratar residuos industriales que mediante el empleo de técnicas fisicoquímicas o biológicas no resulta viable (Rodríguez, 2016).

### **2.3.3 Tratamiento Físico – Químico**

El tratamiento físico-químico constituye uno de los procesos que mayormente se implementa en el tratamiento de aguas residuales para la eliminación de las numerosas sustancias contenidas. Está compuesto por diferentes subprocesos los cuales pueden o no, ser implementados, ello depende de la necesidad y características de los residuos generados y el orden en el que sean implementados los subprocesos. Es el proceso en el que aplicando el diseño adecuado, puede dar lugar a la disminución de gastos (Rodríguez, 2016).

Se debe mencionar que una de sus principales aplicaciones, es el tratamiento de sustancias que contengan residuos insolubles en el agua, para lo cual se aplican los métodos de sedimentación, filtración y separación centrifuga, entre otros. Estos resultan necesarios para obtener un tratamiento eficaz con la finalidad de retener los residuos sólidos y mejorar la retención de los mismos, para ello se utiliza el proceso de adición de sustancias químicas las cuales permiten que los sedimentos sean fáciles de filtrar o sedimentar. Es una combinación de procesos que garantizan el tratamiento de aguas residuales en espacios físicos limitados. (Rodríguez, 2016)

#### **2.3.3.1 Sedimentación**

La sedimentación es aquel proceso mediante el cual, se separan partículas en suspensión en el agua residual utilizando la acción de la gravedad, para conseguir esto se debe obtener que las partículas en el agua posean una densidad mayor que el del fluido que lo contiene (Ramalho, 1993).

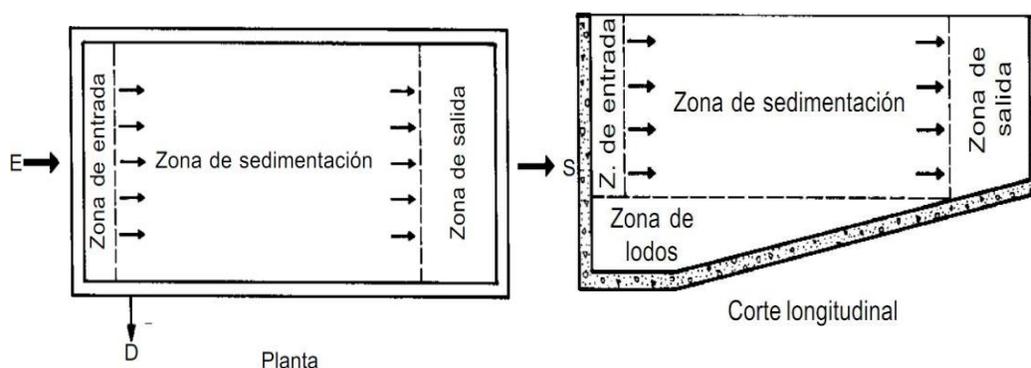
Para obtener la mayor sedimentación posible se utiliza sustancias químicas las cuales permitan que las partículas suspendidas formen floculos (Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes) los cuales al unirse aumentan su densidad y rompen la fuerza de suspensión (Ramalho, 1993).

La sedimentación es netamente un proceso de carácter físico que permite realizar la clarificación del fluido para su posterior tratamiento. Si bien con la adición química podemos lograr un alto porcentaje de sedimentación de residuos en los fluidos, no se debe olvidar que mientras sean añadidas sustancias que permitan la generación de flóculos, el pH del agua cambia siempre en una tendencia creciente (Ramalho, 1993).

La sedimentación por sí sola, no elimina la totalidad de las partículas suspendidas en el agua residual, las partículas que no formen los flóculos de la densidad necesaria para sedimentarse o no, a pesar de que se le haya dado al proceso el tiempo necesario para dicha sedimentación, continúan en suspensión en el agua y por tal motivo, es necesario entrar a un proceso de filtración para retenerlos, por esta razón al proceso de sedimentación y filtración se les considera como procesos de tipo complementario. Los procesos de sedimentación pueden ser varios, hasta llegar a un proceso de filtración y esta es la ventaja de un proceso fisicoquímico que permite generar combinaciones libres para cada proceso (Ramalho, 1993).

Al final del proceso de sedimentación se va a obtener como resultado un fluido clarificado y una suspensión más concentrada, cuando se tiene un mayor interés en el agua clarificada se habla de clarificación y cuando el principal objetivo es la obtención de los

sedimentos se habla de un proceso de espesamiento. Todo depende del siguiente proceso a implementar dentro del tratamiento de agua residual, tal como se muestra en la Figura 3 la zonificación de un sedimentador (Ramalho, 1993).



**Figura 3.** Zonificación de un sedimentador

Fuente: (Maldonado, 2003)

La sedimentación es aquel proceso a través del cual las partículas más densas caen por gravedad al fondo de los recipientes que los contienen, clarificando dicha solución. El proceso de sedimentación corresponde a un grupo de acciones distintas según la concentración de sólidos o partículas en suspensión, los cuales se detallan en la Tabla 2:

**Tabla 2**

*Detalle y descripción de tipos de sedimentación.*

	<b>Tipos de sedimentación</b>	<b>Descripción del proceso</b>	<b>Detalle</b>
1	Sedimentación de partículas discretas	Se denominan partículas discretas las cuales no cambian de forma, tamaño, densidad durante todo el proceso de sedimentación.	El depósito de estas partículas se denomina sedimentación simple.
2	Sedimentación de partículas floculantes	Se denominan partículas floculantes a aquellas que forman flóculos o partículas de mayor tamaño por incidencia de productos químicos que unen las partículas para aumentar su densidad y facilitar la sedimentación.	La sedimentación de este tipo de partículas se llama sedimentación floculenta o decantación.

CONTINUA →

3	Sedimentación por caída libre o interferencia	Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, estas se depositan sin interferir, se denomina a este fenómeno caída libre.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4	Sedimentación de depósito o caída interferida.	Cuando hay altas concentraciones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual.	Compactación de depósitos de lodos.

Fuente: (Maldonado, 2003)

### 2.3.3.2 Flotación

Resulta necesario analizar que la flotación es un proceso de separación física, basado en la reparación de las sustancias con menor densidad que el agua como es el caso, de las grasas, aceites y solidos suspendidos. Se denomina como un proceso sólido-líquido o también un proceso líquido-líquido dependiendo de sustancias con las que se encuentre mezclada el agua residual (Rodriguez, 2016).

### 2.3.3.3 Precipitación

Mediante el proceso de precipitación se transforman los contaminantes que se encuentran solubles en el agua residual en otras sustancias insolubles, las cuales se precipitan, casi siempre este proceso se genera mediante la adición de sustancias químicas, las cuales forman los compuestos insolubles que generalmente ayudan a disminuir la toxicidad y a eliminar efluentes contaminantes como los metales pesados. (Rodriguez, 2016)

### 2.3.3.4 Floculación

El proceso de floculación se basa en la formación de flóculos con el objetivo de aumentar su volumen y densidad para conseguir que se puedan sedimentar durante el proceso. Consiste en la captación de partículas neutralizadas para formar partículas de mayor volumen y densidad,

disminuyendo el tiempo de sedimentación de los mismos. (Rodríguez, 2016)

En este proceso existen dos formas de que las partículas puedan entrar en contacto, las cuales se detallan en la Tabla 3:

**Tabla 3**

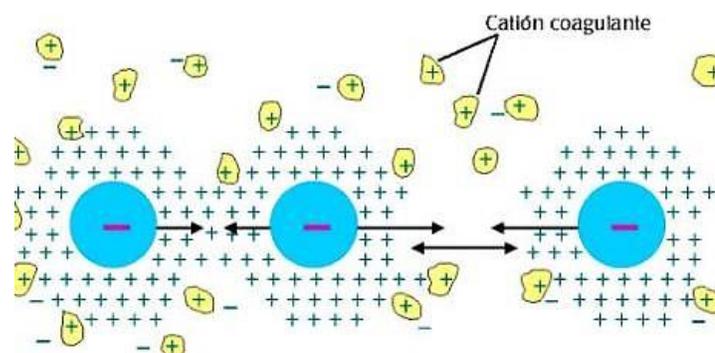
*Detalle y descripción de tipos de floculación.*

	<b>Tipos de floculación</b>	<b>Descripción del proceso</b>	<b>Detalle</b>
1	Floculación pericinética	Movimiento propio de las partículas (difusión browniana)	Por convección natural es muy lenta.
2	Floculación ortocinética	Movimiento del fluido que contiene a las partículas por medio de la agitación de la mezcla.	Por convección forzada.

Fuente: (Lizarazo, 2010)

Corresponde comentar que en el mercado se pueden encontrar determinados productos químicos llamados floculantes que contribuyen a la construcción de floculos en un menor tiempo, estos productos actúan reuniendo las partículas sueltas en partículas aglomeradas generando un floculo más compacto y de mayor densidad. Estas cuando están sueltas tienen un tamaño de entre 0,001 y 1 mm las cuales presentan una gran estabilidad de suspensión y por lo tanto, no es posible separarlas del agua por medio de los procesos de flotación, decantación, o filtración (Vargas, 2015).

Según Vargas (2015), la causa de que estas partículas sueltas presenten una gran estabilidad de suspensión está dada porque los coloides están cargados de energía electrostática del mismo signo, la que provoca que existan fuerzas de repulsión entre ellas, motivos por los que no se aglomeran, ni sedimentan, tal como se ilustra en la Figura 4.



**Figura 4.** Floculación partículas cargadas con el mismo signo y catión coagulante.

Fuente: (Ramírez, 1997).

### 2.3.3.5 Neutralización

La neutralización es un proceso también conocido como proceso de ajuste de pH, se obtiene adicionando un ácido o un álcalis al agua residual, con el objetivo de obtener un rango de pH cercano a un valor neutro de 7, para que se facilite y permita la descarga de agua residual al sistema hídrico sin alterar o afectar el medio ambiente; cumpliendo con las normas permitidas de vertimiento, las cuales requieren un pH entre 5 a 9, o para la reutilización del agua residual en los procesos industriales. (Rodríguez, 2016).

Se debe tomar en consideración que cada fuente receptora del pH es un factor importante para los sistemas, las reacciones biológicas y químicas como se muestra en la Tabla 4. Tomando como ejemplo que los rangos de pH para el desarrollo de la vida marina debe estar en el rango de 6.5 a 8.5 y que el rango de pH para del agua dulce para el consumo debe encontrarse en un rango de 5 a 9, así como que hay sustancias químicas que reaccionan de diferentes maneras a diferentes pH como por ejemplo el amoniaco es 10 veces más toxico a pH 8 que a 7, la toxicidad del cianuro aumenta al disminuir el pH y en el caso del tratamiento de aguas residuales, los sólidos suspendidos en el agua cambian al variar el pH. (Rodríguez, 2016) .

**Tabla 4**  
*Tipos de aguas residuales por su acidez o alcalinidad.*

Industria	Agua Residual Acida	Agua residual Alcalina
Aluminio	X	
Bebidas Carbonatadas		X
Bronce y Cobre	X	X
Café	X	
Caucho	X	X
Cervecería y destilería	X	X
Farmacéuticos	X	X
Fosfatos	X	
Hierro y acero	X	
Lavanderías comerciales		X
Limpieza de metales	X	
Papel	X	X
Pesticidas	X	
Plantas de ablandamiento		X
Plantas químicas	X	X
Refinería del Petróleo	X	X
Textiles	X	X

Fuente: (Tratamiento de aguas residuales teoría y principio de diseño.)

### 2.3.3.6 Absorción

El proceso de absorción posee una amplia utilización en el tratamiento de agua y está basado en la adherencia superficial de una delgada capa de moléculas de tal forma que puedan ser separadas de la superficie absorbente.

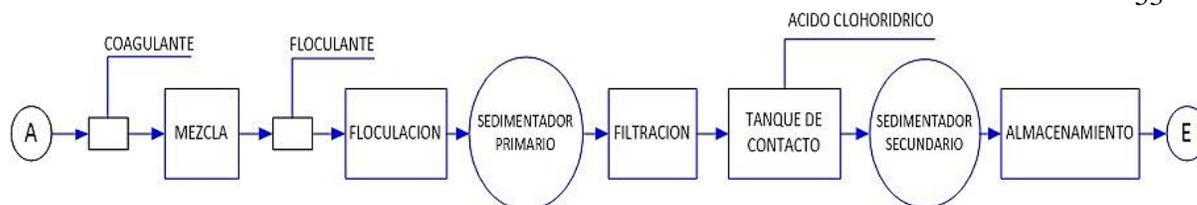
Se debe decir que uno de los materiales absorbentes que se utiliza mayormente es el denominado carbón activo, el cual tiene las características de atraer y retener los compuestos no deseados que se encuentran en el agua, gracias a su superficie con un gran número de poros. (Carpio & Vidalón, 2016).

El carbón activado es muy usado en el tratamiento de agua ya que puede purificar, desodorizar, desinfectar el agua y remueve ciertos metales pesados y compuestos orgánicos, al aumentar la temperatura se consigue un proceso de desorción del material contaminante, el cuál ayuda a la reutilización del material absorbente (Carpio & Vidalón, 2016).

### **2.3.3.7 Filtración**

La filtración es un proceso que está basado en la remoción de partículas que se encuentran suspendidas presentes en el agua residual, además de remover sólidos y material no sedimentable como el fósforo, DBO, DQO, metales pesados, etc. (Maldonado, 2003). La filtración se considera la operación final de clarificación del agua residual, su objetivo es la producción de agua sin sedimentos sólidos o sustancias ajenas al agua requerida para su reutilización, descarga en los efluentes del sistema hídrico o para su potabilización (Maldonado, 2003).

Según Maldonado (2003) existen diferentes tipos de filtración de agua residual, ya sea pasándola por medio de medios granulares como arena (filtros de arena), o por medio de lienzos (filtro prensa), entre otros. Estos sistemas son utilizados para corregir problemas de turbidez, color, y eliminación de bacterias y virus. Su utilización está basada en la depuración de aguas residuales crudas previamente coaguladas, floculadas y sedimentadas, lo que permite completar un proceso secuencial, optimizando recursos en una plata de tratamiento físico-químico como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Uso de la filtración para tratamiento de aguas residuales

### 2.3.3.7.1 Filtros de Presión

Los filtros de presión son los más utilizados en el sector industrial reemplazando a los filtros comunes que se utilizan por gravedad. La fuerza impulsora de estos filtros, es justamente la presión o vacío que causan, la cual supera notablemente la fuerza ejercida por la gravedad dependiendo del valor de compresión de aire suministrada. La clase más común de filtro de presión es el llamado filtro prensa, que está formado básicamente por un motor hidráulico, placas de filtración, lienzos filtrantes y como ingreso agua residual presurizada.

Este tipo de filtros es muy ventajoso por el bajo costo de inversión que posee, asegura una alta superficie filtrante en poco espacio, optimización el tiempo de filtración y pueden ser totalmente automatizados.

### 2.3.3.7.2 Filtro Prensa

Con respecto al antes mencionado filtro de prensa, se puede decir que el principio de su diseño y construcción está basado en la distribución uniforme de presión dentro del sistema, está compuesto por una cabeza móvil impulsada por un motor hidráulico el cual se encarga de ejercer la presión entre las placas que contienen los lienzos y el ingreso de agua fangosa a una determinada presión a través de una bomba que puede ser neumática o eléctrica (Ospino, I, & Agámez, 2015).

A la parte filtrante del filtro prensa se le llama cámaras, las cuales esta conformadas por placas y marcos que contienen los lienzos filtrantes que en los marcos forman las juntas de estanqueidad y en el centro de las placas contienen un conjunto de espacios que filtran el agua residual mediante una bomba centrífuga o neumática (Ospino, I, & Agámez, 2015).

El conocido como filtro prensa de membrana que se muestra en la Figura 6, es uno de los más utilizados, atendiendo a que genera bajo costo de mantenimiento y facilidad de funcionamiento, resulta muy ventajoso en el tratamiento de agua residual.

Los poros de estas membranas o lienzos son muy finos, de tal manera que pueden retener residuos sólidos y minerales, generando una filtración y depuración de los fangos que contienen las aguas residuales deshidratándolas en dos etapas; la primera se realiza a través de la filtración mediante una bomba de alimentación y la segunda fase ocurre mediante el hinchamiento de membranas flexibles (Ospino, I, & Agámez, 2015).



*Figura 6.*Filtro prensa

#### **2.4 Equipos y dispositivos utilizados en el desarrollo del proceso**

Resulta elemental en el proceso de tratamiento de agua contar con de diversos equipos que faciliten y permitan cumplir su función de una manera eficiente, los cuales de detallarán.

### **2.4.1 Motores Eléctricos de Corriente Alterna**

Los motores eléctricos son máquinas que tienen como función transformar la energía eléctrica en energía mecánica mediante la existencia de campos eléctricos en el bobinado central de motor, produciendo movimiento rotacional al rotor; ello trasmite esa energía al exterior a través del eje. (Roldán, 2005).

### **2.4.2 Motores Eléctricos Síncronos**

Los motores síncronos tienen como característica fundamental en su funcionamiento que la velocidad del rotor es proporcional a la frecuencia de la fuente de alimentación, ya sea esta de 50 o 60 Hz, corresponde decir, que la velocidad del rotor es igual al campo magnético producido por el estator, por esta razón trabajan a una velocidad de sincronismo (Roldán, 2005).

### **2.4.3 Electroválvulas**

Tomando en cuenta a ALTEC (2018) las electroválvulas son dispositivos de tipo electromecánico que permiten regular el paso de aire, gas y agua mediante una tubería resultando de gran utilidad dentro de un proceso, la válvula se mueve mediante la activación de una bobina solenoide que tiene solo dos posiciones de trabajo, ya sea ABIERTA o CERRADA, se les denomina válvulas de dos vías y pueden funcionar en tres modalidades distintas en dependencia del modo de operación, ellas son las siguientes:

- Acción Directa.
- Acción Indirecta.
- Acción Mixta o Combinada.

### 2.4.3.1 Electroválvulas de Acción Directa

La función de trabajo de este tipo de electroválvula dependiendo de la utilidad en el proceso, puede ser NC (Normalmente Cerrado) o NO (Normalmente Abierto) y la acción que realiza al momento de energizar la bobina es la magnetización de la misma y por tanto, la contracción o expansión del émbolo para realizar el paso o bloqueo del aire o fluido que se desea controlar y se muestra en la Figura 7. (ALTEC, 2018)



*Figura 7.*Electroválvulas acción directa

Fuente: (ALTEC, 2018).

### 2.4.3.2 Electroválvulas de Acción Inversa

La electroválvula de acción inversa tiene como función de trabajo dependiendo de la utilidad en el proceso y puede ser NC (Normalmente Cerrado) o NO (Normalmente Abierto) y la acción que realiza al momento de energizar la bobina, es la magnetización de la misma, accionando el émbolo el cual permite una segunda acción consistente en que el diafragma principal se abra y se cierre.

Este tipo de electroválvulas requieren una presión mínima para un correcto funcionamiento y se muestra en la Figura 8 (ALTEC, 2018).



**Figura 8.**Electroválvulas acción inversa

Fuente: (ALTEC, 2018)

### 2.4.3.3 Electroválvulas de Acción Mixta o Combinada

Las electroválvulas de acción mixta o combinada poseen como características de funcionamiento que no requieren de una presión mínimas para ello, estas válvulas trabajan a dos tiempos, al igual que las válvulas indirectas, en el primero, se vacía la presión del diafragma superior y después, la presión que se genera en la parte baja del diafragma, la empuja para que se abra, el émbolo está sujeto por medio de un resorte al diafragma grande y la acción que realiza este resorte es acelerar la presión de abajo hacia arriba, para permitir la apertura del diafragma, y así mismo como el otro tipo de válvulas, ya sean directas o indirectas pueden ser también NC (Normalmente Cerrado) o NO (Normalmente Abierto), dependiendo de la acción en el proceso a realizar tal y como se ilustra en la Figura 9 (ALTEC, 2018).



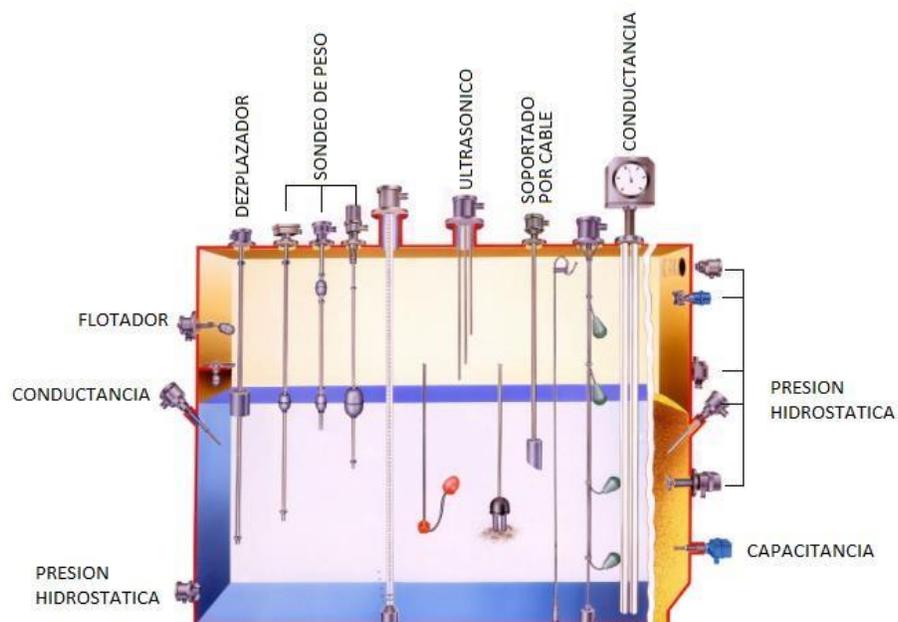
**Figura 9.**Electroválvulas acción mixta

Fuente: (ALTEC, 2018)

## 2.4.4 Sensores de Nivel

Por su lado, los sensores de nivel son dispositivos que se emplean para reconocer el nivel de diferentes sustancias, ya sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, las que encuentran contenidas en un recipiente. Existen varios tipos de sensores en el mercado dependiendo del proceso en el que se les va a utilizar, estos se pueden apreciar en la Figura 10 y los más utilizados en el sector industrial son: (OMEGA, 2018)

- Tipo radar
- Tipo ultrasónicos
- Tipo ultrasónicos
- Tipo flotador
- Tipo desplazamiento
- Capacitivos
- Conductivos

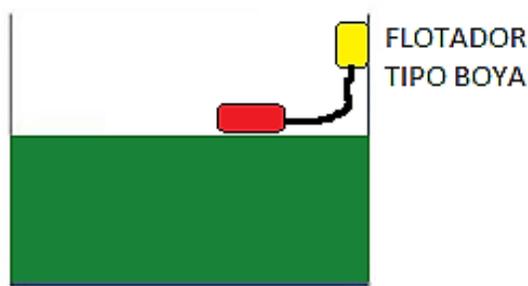


**Figura 10.** Sensores de Nivel

#### 2.4.4.1 Sensor de nivel tipo flotador

Los sensores de nivel tipo flotador o también conocidos como sensores ON/OFF, poseen generalmente en su interior dos contactos uno NO (Normalmente Abierto) y uno NC (Normalmente Cerrado). Su funcionamiento está basado en la conmutación de estos contactos producidos por el movimiento ascendente o descendente del flotador (Wika, 2018).

Estos sensores son elaborados con diferentes materiales, lo que depende del medio en el cual se van a encontrar, las formas pueden modificarse en dependencia del proceso, la mayoría se asemejan a una boya circular lo que permite determinar cuándo un líquido, sólido o gaseoso está en un nivel determinado, ello depende de la calibración por distancia del cable al flotador como se muestra en la Figura 11. (Wika, 2018).



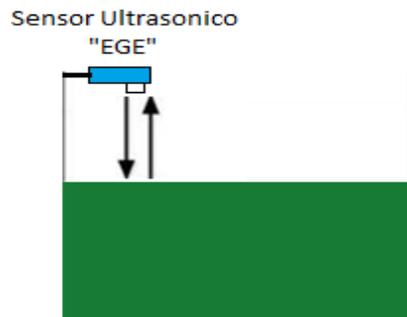
*Figura 11.* Medidor de nivel tipo flotador

#### 2.4.4.2 Sensor de nivel ultrasónico.

Los sensores de nivel ultrasónicos están entre los más empleados en la medición del nivel de los líquidos, siempre y cuando estos se encuentren sin generación de espuma, puesto que ello interfiere en la lectura real del nivel. Para explicar porque la medición es errónea al momento de tener espuma, debe decirse que esto lo provoca, el hecho de que el sensor está compuesto de un emisor y un receptor (Automation Instruments, 2017).

Según Automation Instruments (2017) el emisor emite un impulso ultrasónico, el cual choca con la superficie del líquido y retorna al receptor que se encuentra en el mismo sensor, el tiempo que se tarda en emitir y recibir el impulso ultrasónico es inversamente proporcional al nivel como se muestra en la Figura 12.

La generación de espuma en los tanques de almacenamiento altera el valor del nivel medido por los sensores ultrasónicos, genera datos erróneos al emitir el impulso ultrasónico este ingresa en la espuma y es reflejado por la superficie del líquido, pero no permite el retorno del impulso lo que ocasiona que los valores entregados por el sensor no sean precisos, esta es una limitación en el uso de estos sensores.



*Figura 12.* Sensor ultrasónico

## 2.5 Sistemas de Comunicación

En el sector industrial es muy común que los procesos automatizados sean independientes y específicos para cada una de las marcas comerciales y por lo tanto, esto da lugar a que se tengan programadores lógicos y programables diferentes para cada una de las máquinas CNC, los cuales por ser de diferentes fabricantes no permiten la comunicación entre ellos. La nueva tendencia a escala internacional es integrar los diferentes sistemas y procesos automáticos en un sistema único global de control para permitir que estos procesos puedan ser

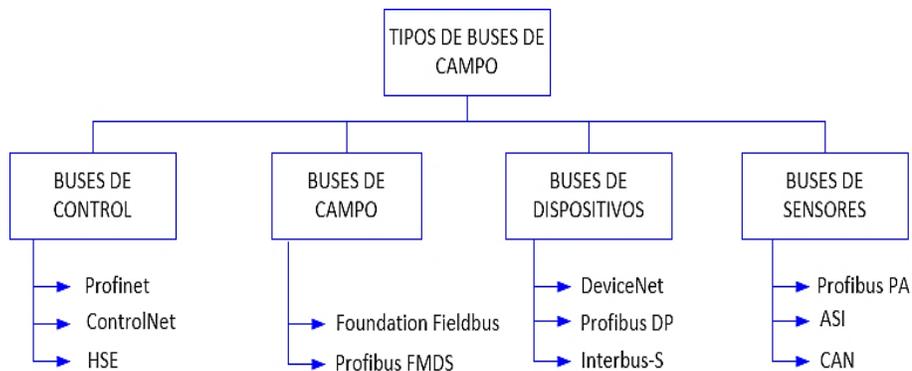
monitoreados y controlados en tiempo real y puedan generar información relevante relacionada con la mejora de la producción, es justo aquí donde aparece el concepto de una red o sistema de comunicación de carácter industrial (Hurtado, 2013).

Según Hurtado (2013), el sistema de comunicación facilita y brinda el medio de transmisión y recepción de datos de un dispositivo a otro, los que pueden o no, estar dentro de una misma planta industrial, conformando una red de comunicación general la cual permite que cada dispositivo pueda enviar o recibir los datos necesarios para alcanzar una producción más eficiente. En dependencia del alcance que se pretende tener, las redes industriales se las puede clasificar en: Buses de campo y Redes LAN.

### **2.5.1 Buses de campo**

El concepto de bus de campo está definido como un sistema de transmisión de datos a través del cual un solo cable se interconecta a diferentes dispositivos industriales y elementos de control, con la finalidad de simplificar la instalación, operación de maquinaria y equipos industriales dentro de un sistema de producción (Hurtado, 2013).

Los buses de campo son redes industriales bidireccionales que se utilizan para reducir los costos de implementación al disminuir la cantidad de cableado de la instalación, mejorar la rapidez de transporte de la información, facilidad de administrar los elementos que conforman la red y la flexibilidad para tener un sistema distribuido de control (Hurtado, 2013). La clasificación más aceptada para los diferentes tipos de buses de campo dependiendo su aplicación se detalla en la Figura 13.



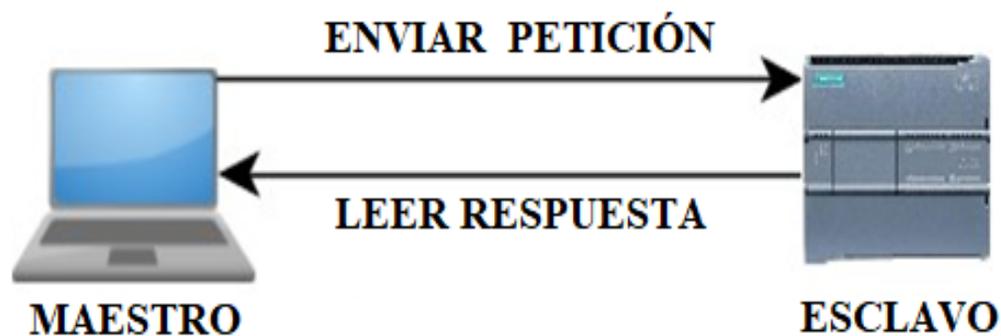
**Figura 13.**Tipos de buses de campo.

Fuente: (Rodríguez M. , 2012)

### 2.5.2 Modbus TCP/IP

Es un protocolo de comunicación que se basa en la acción de realizar una solicitud y esperar una respuesta con una relación directa maestro-esclavo, en esta relación la comunicación se produce en pares, un dispositivo debe iniciar la conversación y esperar la respuesta.

El dispositivo de inicio es el maestro, cuya responsabilidad es iniciar cada una de las interacciones, por lo general, el maestro es una interface humana – maquina (HMI) y el esclavo es un sensor, actuador, o un programador lógico programable (PLC).



**Figura 14.**Modbus TCP/IP

Fuente: (Instruments, 2014).

El protocolo Modbus TCP/IP es utilizado para la comunicación de sistemas SCADA centralizados que permiten controlar y supervisar los procesos, los puertos de comunicación pueden ser varios dependiendo de la utilidad representado en la Figura 14, la velocidad de transmisión y la distancia de comunicación y puede ser configurado para la transmisión con RS-232, RS-485, RS-422 y ETHERNET IP. (Hurtado, 2013).

### **2.5.3 Protocolo HART**

El protocolo de comunicación HART fue desarrollado en la década de los años 80, es uno de los estándares líderes en la comunicación con sensores e instrumentación de campo.

La comunicación de este protocolo se basa en 2 vías por la que se transmiten señales analógicas de 4–20 mA, estas señales permiten transmitir la información a mayor distancia evitando pérdidas por caídas de tensión, los valores de amperaje en los que trabaja este protocolo representan valores digitales de 0 o 1 lógico en la escala de 4 a 20 mA a una frecuencia de 1200 Hz y 220 Hz estos valores forman conjuntamente una onda sinusoidal (Meichsner, 2018).

### **2.5.4 Controlador Lógico Programable**

Un controlador lógico programable se define como una computadora que se utiliza en la automatización industrial, con el objetivo de optimizar procesos y disminuir tiempo de producción, son dispositivos electromecánicos que controlan la lógica de funcionamiento de procesos, máquinas y plantas industriales.

Estos reciben y procesan las señales tanto analógicas como digitales mediante funciones lógicas de control programable y PLC seleccionado. Este se muestra en la Figura 15 (Polanco

y Villarruel, 2009).

El dispositivo objeto de estudio, permite una gran escalabilidad en los procesos de control en base a la facilidad de programación, incorporación de funciones estructuradas, las que permiten tratar los datos de formas matemática o como cadena de caracteres, ello abre las posibilidades de programación en base a diferentes lenguajes, entre ellos:

- LADDER (Diagrama de Contactos).
- BFD (Bloque de Funciones).
- SCL (Texto Estructurado).

Permiten que estos dispositivos de control puedan ser programados por personal técnico no informático y ser implementados como elementos de control general para el tratamiento de datos mediante lógica combi nacional o secuencial en tiempo real, a través de una secuencia de instrucciones con variables de entrada y salida, ya sean estas señales digitales o analógicas (Polanco y Villarruel, 2009).



**Figura 15.** PLC Siemens S7-1200

Fuente: (Siemens, 2017).

Estos dispositivos permiten la comunicación con sistemas de control gráficas dependiendo de las necesidades del usuario, estas interfaces pueden controlar todas las salidas mediante protocolos de comunicación a estas se les denomina: Interfaces Hombre Máquina “HMI” (Polanco y Villarruel, 2009).

## **2.6 Interfaz Humano Máquina (HMI)**

La Interface Humano Máquina o “HMI” constituye la vinculación de los sistemas de control a través de dispositivos de maniobra como: relés, pulsadores, selectores, tomando en cuenta que con el sistema HMI se reemplaza los dispositivos de maniobra físicos por dispositivos de maniobra virtuales, así también se puede visualizar el flujo de los procesos y el almacenamiento de datos (Castro & Vargas, 2014).

Las HMI se caracterizan por:

- Permitir manipular en tiempo real los parámetros del programa para realizar el control del encendido y apagado de los actuadores.
- Permitir recibir y analizar información del proceso que se encuentra controlado por medio del “HMI” y el controlador lógico programable “PLC”, mediante un protocolo de comunicación específico.
- Visualizar y almacenar los datos de los fallos existentes producidos en el proceso mediante la medición y censado de variables específicas, las cuales pueden dar origen a la activación de alarmas.

El uso de los sistemas “HMI” en los procesos de automatización resultan actualmente uno de los recursos más importantes al momento de monitorear y adquirir datos. Estos sistemas

no solo permiten interactuar con las entradas y salidas del PLC sino también monitorear variables establecidas para realizar un control eficiente de un proceso de producción (Castro & Vargas, 2014).

### **2.7.1 Sistema SCADA**

Corresponde estudiar el SCADA que es un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, proporcionado por diversos sensores que intervienen en un proceso industrial, y que permiten enviar órdenes a los actuadores por medio de controladores para cumplir objetivos de trabajo o producción dentro del proceso industrial, asegurando con ello la comunicación bidireccional entre el usuario del sistema HMI y los sensores y actuadores del proceso a controlar (Pérez, 2014).

Según Pérez (2014) las características principales de un sistema SCADA son:

- Almacenamiento de datos como Alarmas, Históricos y Reportes para el análisis de del estado del proceso de producción en mediante la recolección de datos en tiempo real.
- Diseño de pantallas de supervisión y control mediante graficas que simulen dispositivos de maniobra, lectores de datos en tiempo real y monitoreo de procesos de producción mediante la visualización de datos.
- Reemplazar los sistemas de maniobra por dispositivos de control digital, los cuales disminuyan los costos generados por desgaste o averías de dispositivos electromecánicos.
- Facilidad de modificación de procesos de automatización y control por medio de software.

- Realizar la comunicación continua entre dispositivos de control como PLC y los sensores y actuadores de proceso.

### 2.7.2 Pirámide de Automatización

La pirámide de automatización constituye una descripción gráfica organizada de los niveles de automatización de una empresa en el área de producción o manufactura, ella muestra claramente como establecer la base de la automatización industrial hasta llegar a la automatización de procesos desde el campo administrativo. Como se puede ver en la Figura 16 se muestra gráficamente cada una de los niveles de la pirámide y cuáles son los componentes necesarios para los niveles de automatización y se detalla en la Figura 16.



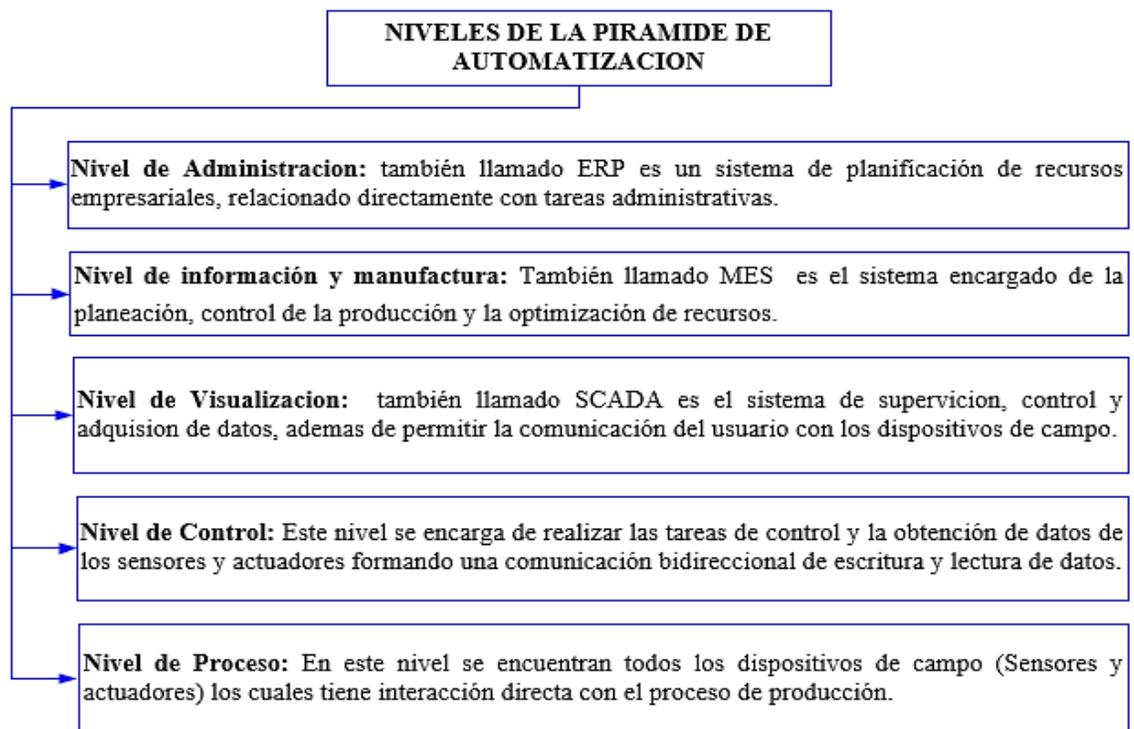
*Figura 16.* Pirámide de la automatización.

### 2.8 Estándar ISA 101

El estándar ISA101 detalla normas, practicas recomendadas e informes técnicos

relacionados con el diseño de interfaces HMI para aplicaciones de manufactura y procesos detallados en la Figura 17.

Las interfaces HMI son pantallas diseñadas para el monitoreo y control en tiempo real de los dispositivos de campo por parte del operador y son el pilar de funcionamiento de un sistema SCADA, la información generada por el estándar ISA 101 están dirigidos a ayudar a los responsables del diseño, implementación y administración del HMI para que tomen en cuenta ciertos parámetros de diseño recomendados para mantener con eficacia su ciclo de vida (Lehmann & Wikins, 2014).



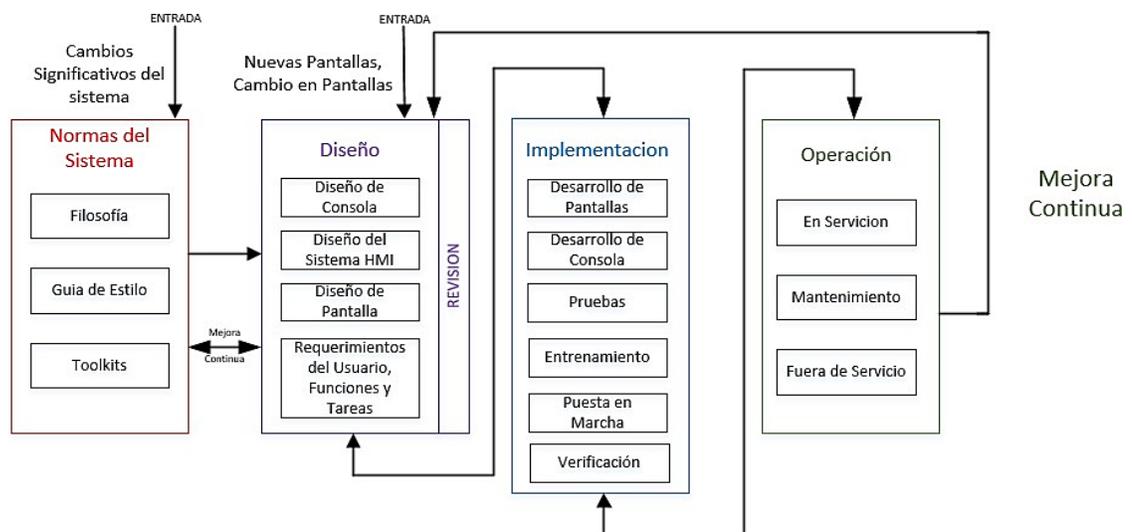
*Figura 17.* Descripción de la pirámide de la automatización.

El estándar proporciona orientación al momento del diseño, construcción, operación y un mantenimiento efectivo de las pantallas HMI con el objetivo de que las pantallas estén

permeadas de seguridad, eficacia, eficiencia, calidad alta y mayor fiabilidad en el control de un proceso. (Lehmann & Wikins, 2014).

Es importante señalar que el alcance del estándar pretende formular jerarquías en el menú de trabajo, niveles de navegación entre pantallas, análisis de contraste de colores y gráficos, elementos dinámicos, parámetros de visualización de alarmas, métodos de seguridad, interfaces de programación de parámetros, bases de datos históricos, pantallas de ayuda y metodologías de trabajo. Con el objetivo de formular pantallas HMI fáciles de entender y que brinde opciones de manejo establecidas para con ello generar un menor número de errores, creciendo la productividad del operador y reduciendo el estrés de trabajo.

Se debe tomar en cuenta que un buen diseño de una pantalla HMI puede disminuir pérdidas significativas a una empresa en términos de tiempos de producción y desperdicios de materia prima detallados en la Figura 18 (Lehmann & Wikins, 2014).



**Figura 18.** Ciclo de vida de una HMI

Fuente: (Lehmann & Wikins, 2014)

## 2.8.1 Ciclo de Vida de una HMI

### 2.8.1.1 Etapas de estándares del sistema HMI

- **Filosofía:** Es la descripción escrita que explica los principios y fundamentos conceptuales de desarrollo, representando el diseño estructural del HMI, así como los elementos que comprenden el diseño estructural de la pantalla HMI (Hawrylo, 2015).
- **Guía de Estilo:** Es la guía de diseño estructural de las pantallas HMI basada en los parámetros del estándar ISA 101, en ella se analizan los parámetros básicos de ergonomías y sobrecarga gráfica, dependiendo de la utilidad de cada una de las pantallas, basándose en la filosofía de trabajo y el proceso a controlar (Hawrylo, 2015).
- **Toolkit:** Constituye la descripción de cada una de las herramientas y elementos de control de las pantallas HMI, estas dependen de forma directa del número de dispositivos de campo a controlar y el análisis de sobrecarga visual de cada pantalla (Hawrylo, 2015).

### 2.8.1.2 Etapas de Diseño

- **Diseño de consola:** Es la capacidad de desarrollo que presenta el software que se tiene como base de diseño, tomando en cuenta cada uno de los elementos a controlar en la distribución del proceso (Hawrylo, 2015).
- **Diseño del sistema HMI:** Es el tipo de diseño de las pantallas considerando las acciones del proceso, administración de dispositivos, sistemas de seguridad y herramientas de ayuda e información dentro de la interface HMI, tomando en cuenta los protocolos de comunicación y la relación entre distribución y proceso (Hawrylo, 2015).

- **Requerimientos del usuario, funcionales y de tarea:** Son las características de diseño a tomar en cuenta en base a las necesidades de control del proceso especificadas por el usuario, además del tipo de acciones a tomar en cuenta en cada etapa del proceso de producción (Hawrylo, 2015).
- **Diseño de pantalla:** Se basa en la formulación de plantillas de trabajo las cuales se tomarán como estándar de diseño para cada una de las pantallas HMI tomando ciertas variaciones dependiendo de la funcionalidad, pero tratando en lo posible conservar un mismo formato de ubicación de elementos de maniobra (Hawrylo, 2015).

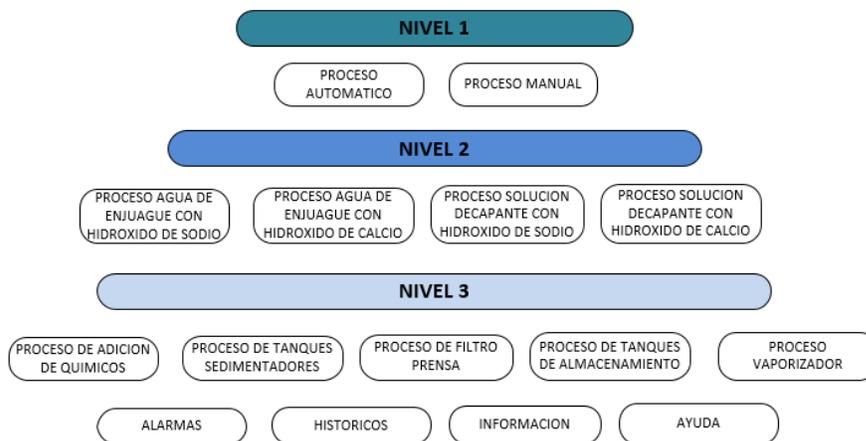
### 2.8.1.3 Etapas de Operación

- **En servicio:** Se define como el estado de funcionamiento del sistema HMI en operación.
- **Mantenimiento:** Se define el estado de funcionamiento del sistema de control como operativo, pero en el momento se encuentra en análisis de funcionamiento o mejora.
- **Fuera de servicio:** Se define en este estado a un sistema HMI al momento de cumplir su ciclo de funcionamiento y determinar que ya no es útil para el control del proceso (Hawrylo, 2015).

### 2.8.1.4 Jerarquía

La jerarquía tiene su basamento en el formato de visualización y control establecido para una interface HMI para la manipulación y análisis de datos de un proceso automatizado, una de las especificaciones del estándar ISA 101 plantea que una interface HMI debe contar con el tercer nivel de jerarquía, para garantizar que la interface HMI controle el proceso.

En la Figura 19 se muestra los niveles de jerarquía que menciona el estándar ISA 101.



**Figura 19.** Niveles de Jerarquía HMI

Fuente: (Hawrylo, 2015)

### 2.8.1.5 Factores Humanos y Ergonomía

Los factores de ergonomía se relacionan con aspectos relacionados con la seguridad y salud, están basados en la capacidad de generar la menor carga visual al operador para de esta manera asegurar el mayor tiempo de concentración y la menor fatiga mental, diseñando una interface HMI intuitiva la cual tenga una estructura de diseño similar en las pantallas, manteniendo un orden y secuencia de la localización de los elementos de control y visualización. (Lehmann & Wikins, 2014).

Tomando en cuenta que los dispositivos de control deben ser netamente los necesarios en cada pantalla, evitando saturación de espacio y limitación de identificación elementos de maniobra gráficos, garantizando que la información entregada en cada pantalla HMI sea la necesaria para garantizar la eficiencia del proceso. (Lehmann & Wikins, 2014).

Los factores humanos que deben tomarse en cuenta para poder garantizar la mejor manipulación de la interface HMI, es la disminución del excesivo grado de atención, la variación muy notable de la ubicación de las zonas de control y visualización, la responsabilidad excesiva en cada proceso sin sistemas de seguridad automáticos programados la cual causaría miedo en la posibilidad de falla con cada acción del operador, se debe garantizar una interface de control basada en la capacidad de manipulación del proceso y el conocimiento y alcance del sistema de producción (Lehmann & Wikins, 2014).

#### **2.8.1.6 Navegación**

La navegación de la interface HMI es uno de los parámetros fundamentales en el diseño de un sistema de control gráfico, puesto que de este depende la velocidad y la precisión de respuesta de un operador ante un suceso determinado, evitando botones de navegación sin una clara nomenclatura del traslado o cambio de pantalla, se debe prevenir que la navegación entre pantallas presente saltos no secuenciales al proceso, lo cual puede causar confusión al operador (Lehmann & Wikins, 2014).

#### **2.8.1.7 Colores**

Los colores juegan un papel importante, estos se eligen para en una pantalla HMI y dependen mucho del diseño que se ha establecido para esta. Se debe tener en consideración puntual establecer colores primarios para de esta forma garantizar que se resalten aquellas informaciones que merecen atención inmediata, entre ellas, las relacionadas con alarmas o condiciones anormales del proceso (Lehmann & Wikins, 2014).

Se debe tomar en cuenta que los colores que se eligen para una pantalla debe ser mantenidos y conservados en toda la distribución de las pantallas HMI, los colores de fondo deben dar realce a todo el diseño, tomando en cuenta las condiciones ambientales donde se encuentra ubicada las pantallas de visualización y control (Lehmann & Wikins, 2014) .

## 2.9 Plataforma de Diseño de Interfaces HMI “INTOUCH”

Corresponde destacar que Intouch es considerado como uno de los mejores sistemas de diseño de interfaces HMI, herramientas de análisis de datos y control de procesos industriales, permitiendo que los diseñadores optimicen las interacciones entre las personas y los elementos de maniobra o sistemas automatizados en un proceso de producción industrial (Wonderware., 2018).



**Figura 20.**Plataforma “Intouch”

Fuente: (Wonderware., 2018)

Un tercio de las empresas a nivel mundial confían sus procesos de automatización en el software Intouch de W. como se muestra en la Figura 20, por la sencillez de diseño, agilidad operativa y visualización de datos en tiempo real. Además, permite al diseñador tener una libertad en base a las necesidades de cada proceso, volviendo una interface de control muy

sencilla hasta una de análisis de datos muy compleja, con valoración de información mediante controles estadísticos de procesos, históricos de datos y diagramas (Wonderware., 2018).

### **2.9.1 OPC “OLE para Procesos de Control”**

Es un estándar de comunicación desarrollado que está dirigido al campo de control y supervisión industrial, diseñado en la plataforma de Microsoft, permite que dispositivos de diferentes softwares tengan una interfaz común de interacción y comunicación. La comunicación OPC está diseñada en una arquitectura Cliente –Servidor, en el cual el servidor OPC es la base de datos en la cual a cualquier aplicación basada en OPC puede leer y escribir en una variable y almacenarla para posteriores procesos (Wonderware., 2018).

### **2.9.2 DAServer**

Los DAServer son productos de integración que fueron creados por Wonderware, los que permiten la conectividad a través de una red con controladores lógicos programables PLC´s, Dicha aplicación funciona como un servidor permitiendo la transmisión (Escritura) y la adquisición (Lectura) de datos de múltiples dispositivos a la vez en tiempo real utilizando una interface HMI. La comunicación de los sistemas de supervisión y control “HMI” se realiza a través de los DAServer desarrollados por Wonderware en base al tipo de comunicación establecida ya sea esta OPC, TCP/IP, INTOUCH OBJECT, etcétera (Wonderware., 2018).

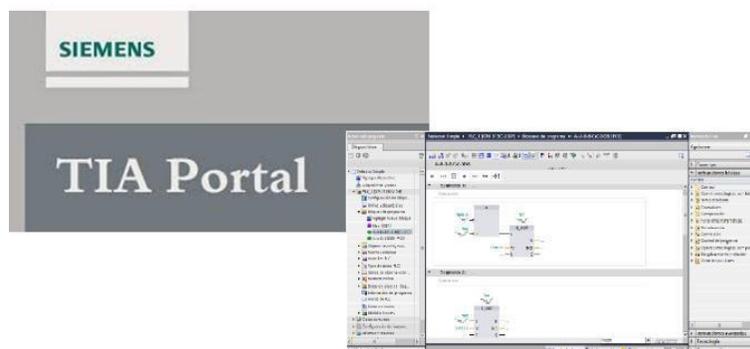
### **2.9.3 DAServer Modicon Modbus TCP (MBTCP)**

El DAServer MBTCP un protocolo de comunicación nativo de Wonderware, con aplicación desarrollada bajo la plataforma Windows, diseñado como protocolo de transmisión

de sistemas de control y supervisión de procesos con un control centralizado, el cual permite la comunicación de sensores, actuadores y controladores lógicos programables “PLC” a través de puertos Ethernet tomando como base de comunicación el protocolo Modbus TCP/IP el cual tiene un límite de distancia de transmisión por medio de cable Par Trenzado de 100m sin necesidad de repetidoras de señal (Wonderware., 2018).

## 2.10 TIA Portal

Es el software de programación que abarca las últimas versiones del software de ingeniería SIMATIC STEP 7, para la programación de controladores lógicos programables “PLC’s” de la marca SIEMENS, el cual presenta un nuevo diseño más eficiente y configuración más intuitivas la cual facilita la programación de los controladores, planificación, diagnóstico en tiempo real, pantallas de visualización y accionamiento de los controladores SIMATIC el cual se muestra en la Figura 21. (SIEMENS, 2012).



**Figura 21.** Software Tia Portal

Fuente: (Siemens, 2017)

Tía portal, maneja el mismo sistema de programación del anterior programa SIMATIC STEP 7, el cual es la base de la programación de los PLC’s, mediante diferentes lenguajes de programación.

## CAPÍTULO 3

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL

#### 3.1 Estado Inicial de la Planta de tratamiento de Agua “PTARI”

La planta de tratamiento de aguas industriales PTARI contaba con un sistema SCADA desde el año 2011 desarrollado por la empresa AAI NAGANT, pero diversos factores han deteriorado el sistema al punto de dejarlo completamente inutilizable haciendo imposible el correcto funcionamiento de la planta.

El sistema SCADA se encontraba aproximadamente con un 85% de daño lo cual solo permitía la activación de algunas bombas mediante un mouse conectado al Panel Touch, debido a diversos factores principalmente de carácter ambientales, se produjo la avería del sistema de reconocimiento y sensibilidad del Panel Touch.



*Figura 22.* Estado Inicial “PTARI”

El sistema de alarmas estaba totalmente deshabilitado, la medición de niveles se basaba en la activación o desactivación de flotadores de nivel, la dosificación del químico se basaba en

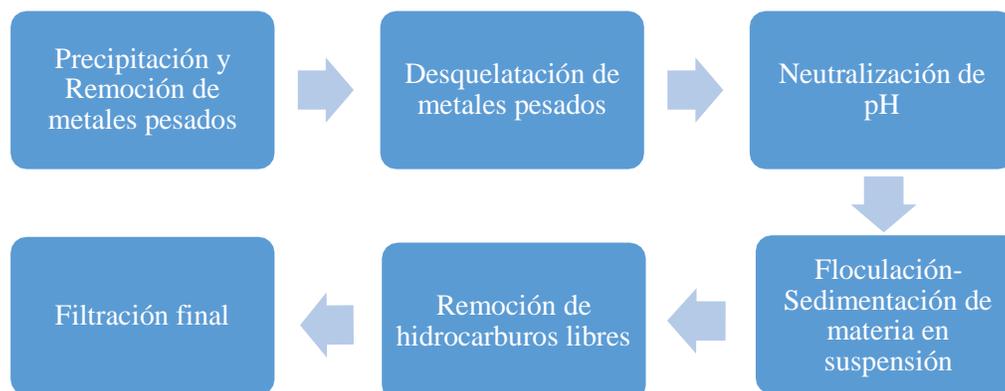
la activación manual de bombas dosificadoras y la instrumentación general se encontraba fuera de funcionamiento. El estado de la planta de tratamiento y la cabina de control se muestra en la Figura 22.

### **3.2 Estado Inicial del Proceso de Tratamiento de la Planta “PTARI”**

SEDEMI pone en marcha en el año 2011 su Plan de Manejo Ambiental en que se establecen alternativas de prevención, mitigación y corrección de los impactos generados por la planta de galvanizado y la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales “Ptari” para cumplir la legislación ambiental vigente. En el año 2015 las cantidades de agua residual a tratar aumentaron considerablemente, debido a la repotenciación de la planta de galvanizado que aumentó su producción.

Tomando en cuenta estos factores la planta de tratamiento cambió las condiciones para las cuales fue diseñada aumentando sus horas de procesamiento y condiciones del agua residual, presentando varias fallas hasta que en marzo del 2017 llega a su colapso, tanto para el tratamiento de Agua de Enjuague (ADE) como para la Solución Decapante (SDEC), los 2 tipos de aguas residuales fueron almacenados directamente en la Piscina de Almacenamiento y al mezclarlos produjeron tres veces más lodo de los que se generaba anteriormente, atascando las bombas, saturando el filtro de arena, produciendo residuos sólidos excesivos.

La descripción del proceso secuencial para el cual fue diseñada la planta de tratamiento Ptari se muestra en la Figura 23.



**Figura 23.** Secuencia de Proceso “PTARI 2011”.

### 3.3 Estado Inicial de los Equipos de la Planta “PTARI”

Al analizar el funcionamiento de los equipos se debe tomar en cuenta que los dispositivos de control, así como actuadores y sensores no contaban con ninguna protección, encontrándose expuestos a los vapores generados por los productos químicos utilizados en el proceso de tratamiento de agua provocando oxidación, mineralización en las carcasas, además de la exposición al polvo metálico generado por el proceso de granallado (Tratamiento de estructuras metálicas por presión de agua o aire combinado con arena), este proceso produce muchos residuos que se transportan por el viento afectando directamente a los elementos de maniobra produciendo atascamiento de los contactos y pueden generar cortocircuitos al formar un medio conductor entre terminales de alimentación eléctrica.

#### 3.3.1 Bombas Centrifugas

Sobre las bombas centrífugas resulta necesario decir que se encuentran en malas condiciones físicas, están expuestas a la acumulación de polvo metálico y polvo de granalla provocando daño en los rotores y en los ejes, presentan además una gran cantidad de óxido en

su base por la exposición a los vapores generados por los tanques de almacenamiento de ácido clorhídrico como se muestra en la Figura 24 cuales no se encuentran totalmente sellados, por tal motivo se realizó un mantenimiento correctivo y cambio de diferentes piezas.



*Figura 24.* Bombas Centrífugas

### 3.3.2 Bombas Dosificadoras

Las bombas dosificadoras controlan la adición de químicos al proceso de tratamiento de agua. De las 3 bombas que conforman el sistema de adición 2 presentaban fallas en la activación, estos dispositivos cuentan con sistemas de control electrónico para la dosificación en los cuales se encuentran sulfatadas las pistas de la tarjeta electrónica, además presentan daños en componentes electrónicos y tiene variaciones en la succión y transporte de los aditivos químicos. El modelo de las bombas se muestra en la Figura 25.

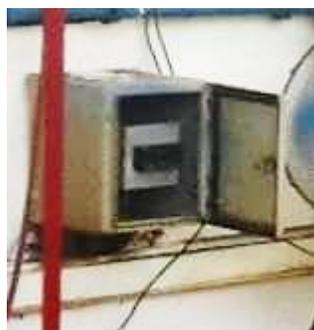


*Figura 25.* Bombas Dosificadoras

### 3.3.3 Sensores de pH

Los sensores de pH se encuentran instalados en cajas individuales para su protección, pero no se podía visualizar el valor numérico mostrado en el LCD del controlador de estos sistemas de medición de pH al no contar con una puerta de vidrio, por lo que se mantenía abierta la puerta de la caja de protección.

Debido a esto los sensores se encontraban expuestos a polvo y a los vapores producidos por el ácido clorhídrico dando como resultado que las pistas de estos controladores se hayan sulfatado provocando cortocircuitos eléctricos en los reguladores de voltaje principal causando así fallas en los microcontroladores e inutilizando al sensor de pH. El modelo del sensor de pH se muestra en la Figura 26.



*Figura 26.* Sensores de pH “OMEGA”

### 3.3.4 Válvulas Motorizadas

Estas válvulas motorizadas tienen encapsulados los dispositivos de control eléctrico encontrándose en mejores condiciones eléctricas. En la parte mecánica su función es el paso y corte de circulación de fluidos residuales, pero al aumentar tres veces la capacidad de generación de lodos provocó el atascamiento de las compuertas de apertura/cierre. El modelo de las válvulas motorizadas se muestra en la Figura 27.



*Figura 27.* Válvulas Motorizadas

### 3.3.5 Bombas Neumáticas

Las bombas neumáticas se encuentran expuestas a residuos industriales como la excesiva generación de lodos y gases producidos por la evaporación de los químicos, lo que ha causado daño en los sistemas de compresión de diafragma y oxidación respectivamente. Ya que estas bombas trabajan mediante presión neumática y al tener que hacer recircular lodos tres veces más densos y contando con la fuerza de gravedad sumada a este proceso se produjo el atascamiento de los residuos en los diafragmas de las bombas neumáticas, para liberar este atascamiento se desmontó las bombas en varias ocasiones para limpiar los componentes internos, deteriorando progresivamente componentes mecánicos. El modelo de las bombas se muestra a continuación en la Figura 28.



*Figura 28.* Bombas Neumáticas

### 3.3.6 Bomba Sumergible

La bomba sumergible presenta desgaste del sello mecánico y daños en los rodamientos del rotor, la condición física del dispositivo se muestra en la Figura 29.



*Figura 29.* Bombas Sumergibles

### 3.3.7 Deshidratador de Fangos

El deshidratador de fangos se encontraba colapsado debido a que los lodos generados superaron la capacidad de filtración, produciendo una capa en las mallas de recolección de sólidos muy densa, la que no permite que el líquido pueda atravesar el filtro. Para tratar de solucionar se tuvo que realizar una limpieza constante de las mallas retrasando el proceso de tratamiento de agua y produciendo una cantidad excesiva de residuos. El diseño del deshidratador de puede observar en la Figura 30.



*Figura 30.* Deshidratador de Fangos.

### 3.3.8 Tanques de Tratamiento

Los tanques de tratamiento de las diferentes etapas del proceso presentan diversos daños, debido a la mala manipulación y traslado de los tanques para modificar el diseño de la planta a las condiciones actuales de tratamiento, algunos tanques han cumplido su vida útil en base a la exposición a químicos los cuales necesitan ser cambiados y otros necesitan ser diseñados en base a las nuevas condiciones de la planta como se muestra en la Figura 31.



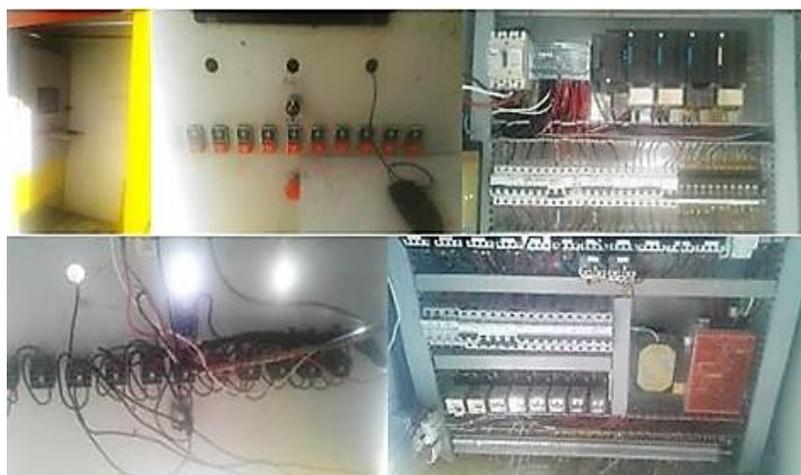
*Figura 31.* Tanque de Tratamiento

### 3.3.9 Tablero de Control

El tablero de control presenta cambios en la conexión eléctrica inicial, la misma que ha sido modificada para trabajar de forma manual, debido a que el Touch Panel ha sufrido daños por la contaminación ambiental y fallas eléctricas.

Ha sido necesario instalar pulsadores para operar los dispositivos que conforman la “Ptari” en reemplazo de salidas digitales del PLC, aumentando un excesivo número de cables sin tener en cuenta condiciones de implementación adecuadas para un tablero de control.

El hecho de que estén expuestos al ambiente, incide en que exista una cantidad considerable de contaminación interna de estos dispositivos, ello genera que algunos elementos de maniobra hayan sufrido daños debido al polvo metálico, como atascamiento de los contactos electromecánicos, cortocircuitos por generar continuidad eléctrica entre diferentes fases y además el daño de entradas y salidas del PLC de control.



**Figura 32.** Tablero de Control

Las fallas eléctricas producidas en la red han afectado también las fuentes de alimentación y algunos dispositivos de maniobra (Contactores, Relés, Térmicos, etc.) por lo que se ha instalado DPS (“Dispositivos de Protección contra Sobretensión”) para la protección de los mismos, se debe tomar en cuenta que estas correcciones han sido momentáneas ya que la planta no podía seguir bajo estas condiciones de control, tal como se puede observar en la Figura 32.

### **3.3.10 Touch Panel**

El Touch Panel al encontrarse instalado en la puerta del tablero de control y estar expuesto a toda la contaminación ambiental sufrió daños en el funcionamiento del sistema Touch, como solución se instaló un mouse para tener en funcionamiento la planta de tratamiento

Debido a las constantes sobretensiones en el sistema de distribución eléctrica de la empresa Sedemi el Touch Panel presenta daño de funcionamiento general. Al realizar la revisión se pudo encontrar que las pistas de la tarjeta de procesamiento se encontraban sulfatadas y presentaba daño eléctrico en algunos reguladores de voltaje como se puede observar en la Figura 33.



*Figura 33.* Touch Panel

### 3.3.11 Flotadores de nivel

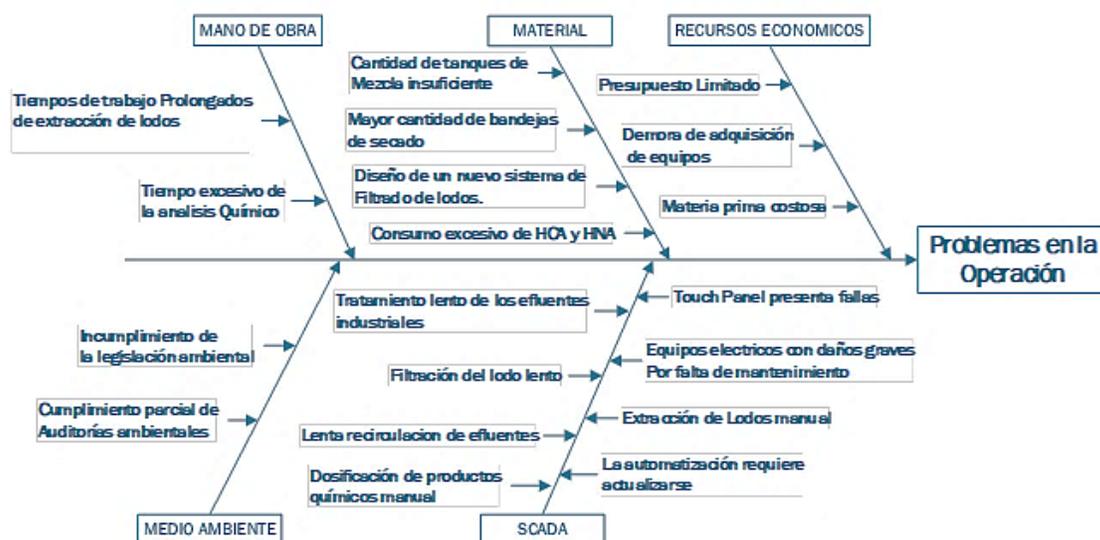
Los flotadores de nivel al ser unos dispositivos de control On/Off de funcionamiento mecánico tienden a desgastar los contactos internos y dependiendo el uso pueden sufrir averías, estos sensores de nivel fueron utilizados como el único dispositivo de información y control de nivel.

Estos sensores flotadores se encontraban funcionando en todo momento por lo que requerían un cambio cada 6 meses, al no existir un sistema de medición auxiliar para la contingencia en caso de falla se producían continuos derrames de agua residual. El estado de estos flotadores se muestra a continuación en la Figura 34.



*Figura 34.* Flotadores de Nivel

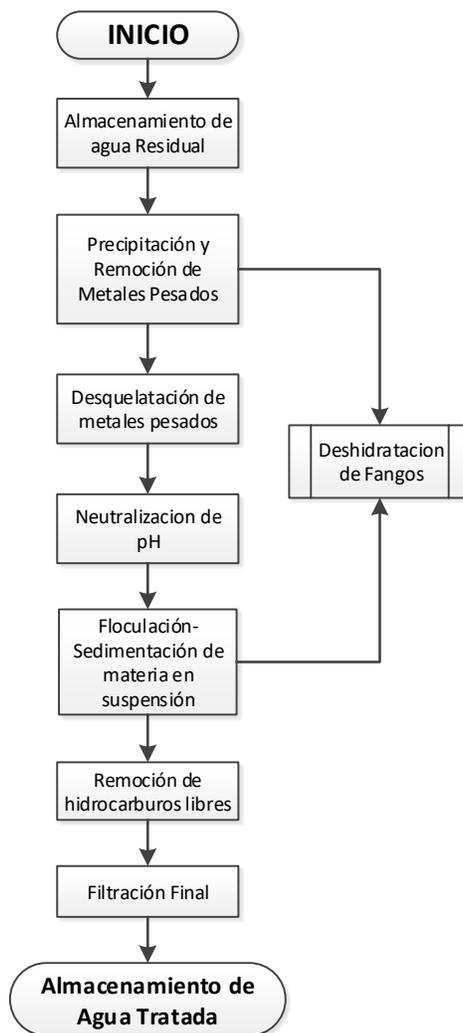
### 3.4 Problemas en la Operación.



*Figura 35.* Problemas en la Operación.

Una vez analizados cada uno de los sistemas, se realizó el levantamiento de cada uno de los problemas en el tratamiento de agua residual actual, los cuales son mostrados en la Figura 35. Estos problemas se deben analizar para determinar cada uno de los aspectos de diseño del nuevo sistema de tratamiento en la repotenciación de la planta “PTARI”.

### 3.5 Diagrama de Flujo de Tratamiento de agua Residual “PTARI 2011”.



**Figura 36.** Diagrama de Flujo “PTARI 2011”

El diagrama de Flujo de la Figura 36 muestra la descripción del proceso de la planta de tratamiento de agua residual “PTARI” del año 2011, en el cual podemos evidenciar una estructura de trabajo secuencial, con un solo subproceso basado en la Deshidratación de Fangos, esta estructura de trabajo fue alterada a lo largo del tiempo de funcionamiento para adaptarse a las necesidades de producción del agua residual, lo que terminó en el colapso general de la planta.

### 3.6 Estado Inicial del sistema SCADA “PTARI 2011”

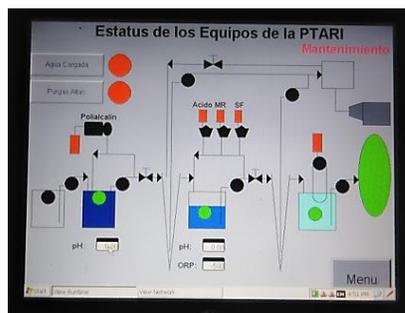
El sistema SCADA de la planta de tratamiento de agua residual basa su interfaz HMI en un Touch Panel de la marca General Electric GE, el cual presenta características muy básicas de diseño, en el modo automático y manual del sistema de control.

#### 3.6.1 Pantalla de Ingreso

La pantalla de ingreso no presenta ningún tipo de registro del usuario, ni identificación del proceso del agua residual a tratar. El diseño del sistema de HMI solo cuenta con un proceso de tratamiento, el cual no amerita las acciones de selección de aditivos químicos, pestañas de selección de Estatus (Automático), Control (Manual), Curvas de Tendencia, y pestaña de Alarmas como se muestra en la Figura 37.

#### 3.6.2 Pantalla de Control AUTOMATICO “PTARI 2011”.

La pantalla de control Automático presenta un diagrama de control muy básico basado en el diagrama P&ID, no muestra una interface realista a nivel de proceso lo que no la hace una interfaz amigable con el usuario, tampoco tiene la posibilidad de seleccionar aditivos químicos diferentes en base al agua residual a tratar como se muestra en la Figura 37.



**Figura 37.** Pantalla de Control MANUAL “PTARI 2011”

La pantalla de control Manual mostrada en la Figura 38 es un conjunto de botones On/Off los cuales no obedecen a normas de diseño, ni identifica la activación o desactivación de los elementos de maniobra del proceso.



**Figura 38.** Pantalla de Control Manual “PTARI 2011”

### 3.6.3 Pantalla de Gráfica de Tendencias “PTARI 2011”.



**Figura 39.** Pantalla de Gráfica de Tendencias “PTARI 2011”

Las pantallas de gráficas de tendencias muestra datos de los sensores de pH de Agua Bruta, del sensor de pH de Agua Clarificada y del sensor de ORP (Potencial de Reducción de Oxidación) de Agua Clarificada, no se muestran datos del nivel de los tanques ya que el sistema

de medición de nivel se basa en sensores flotadores que muestran si los tanques están llenos o vacíos; por esa misma razón no es necesario mostrar el estado de cada tanque de forma continua en las gráficas de tendencia como se muestra en la Figura 40.

#### 3.6.4 Pantalla de Alarmas “PTARI 2011”.

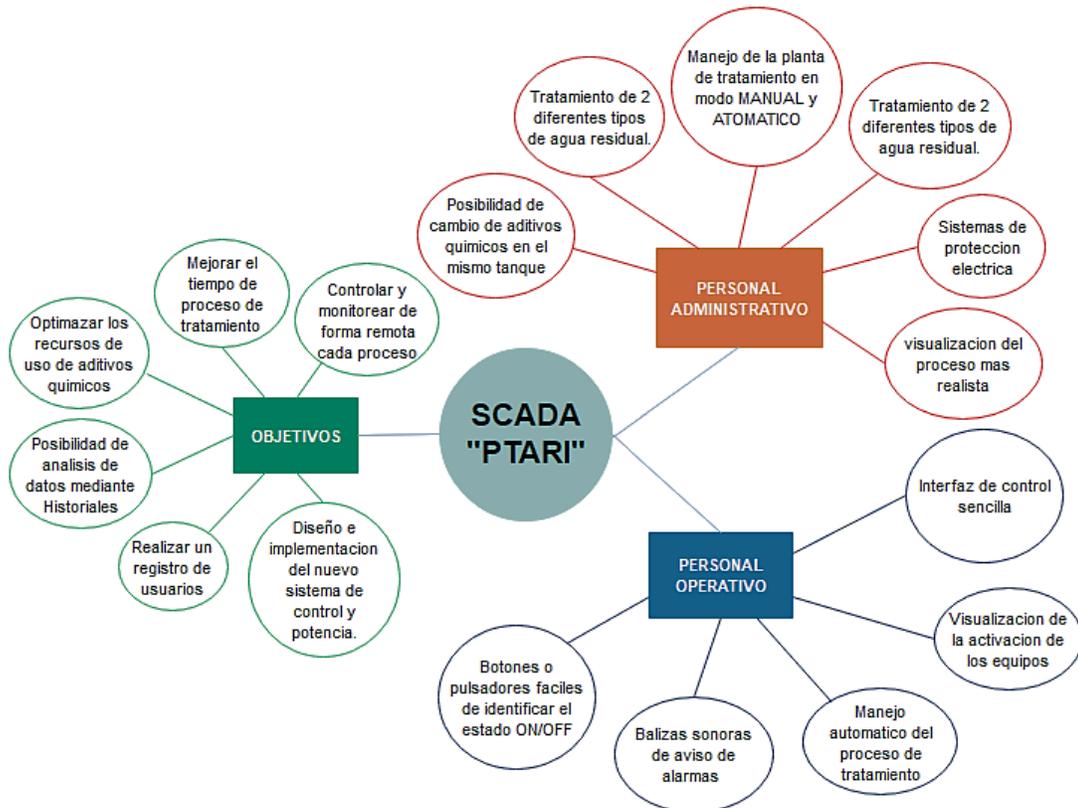
La pantalla de Alarmas mostrada en la Figura 41, permite visualizar la descripción de las alarmas producidas en forma escrita, en base al monitoreo continuo de los rangos establecidos del pH de los tanques de tratamiento. Si el nivel de los tanques es demasiado alto y corre peligro de derrame, las alarmas se muestran en forma de texto mostrando la descripción de la alarma, pero carecen de impacto visual en el operador al no tener un tipo de identificación grafica llamativa.

Además, no permite analizar una falla eléctrica producida en el tablero de control, para proteger los equipos antes de un daño por sobretensiones, subtensiones o pérdida de fases, las cuales generan errores en los dispositivos de maniobra y control del tablero principal.



**Figura 40.** Pantalla de Alarmas “PTARI 2011”

### 3.7 Requerimientos del Sistema “SCADA”.



**Figura 41.** Requerimientos del sistema SCADA

El sistema SCADA no presenta un diseño ergonómico, amigable al usuario, y una visualización precisa de datos, por esta razón los requerimientos del nuevo sistema se recopilaron en base al personal de la empresa SEDEMI tanto administrativo, así como operativo y adaptando el proceso a las nuevas necesidades de la planta de tratamiento “PTARI” se toma las siguientes consideraciones de diseño mostradas en la Figura 42.

### 3.8 Filosofía de Operación

El proceso inicial de tratamiento de agua residual de la planta PTARI realizada por la empresa AAI NAGANT, se basa en un proceso secuencial de un solo tipo de agua residual,

dependiendo de la concentración de sólidos en suspensión y la cantidad de ácidos agotados que varía la cantidad de adición de ácidos de tratamiento.

Al realizar el proyecto de repotenciación de la planta PTARI se obtendrá un sistema de procesamiento basado en dos procesos diferentes para los residuos de Agua de Enjuague (ADE) y otro para Solución Decapante (SDEC), utilizando los dispositivos que conforman la planta de manera que se optimice el tiempo de tratamiento y se realizará el cambio de la estructura de los tanques de proceso así como del sistema de filtrado de sólidos para mejorar la calidad del agua y así reutilizarla en el proceso de galvanizado, estos procesos serán controlados y monitoreados de manera remota desde una cabina de control general.

### **3.8.1 Proceso de Tratamiento de Agua de Enjuague “ADE”.**

El proceso de tratamiento del ADE se basa en la recuperación del agua utilizada en la limpieza de estructuras sometidas al tratamiento químico retirando grasas e impurezas y residuos de ácidos. El proceso comienza con la recolección del agua en la Piscina de Almacenamiento, la que tiene como objetivos el almacenamiento y la sedimentación de los sólidos en suspensión.

La sustancia se trasvasa a un Tanque de Mezcla por medio de una bomba centrífuga, donde se adiciona Hidróxido de Sodio “NaOH” o Hidróxido de Calcio “Ca(OH)<sub>2</sub>” para subir el pH del agua de enjuague hasta que este valor sea superior a 12.

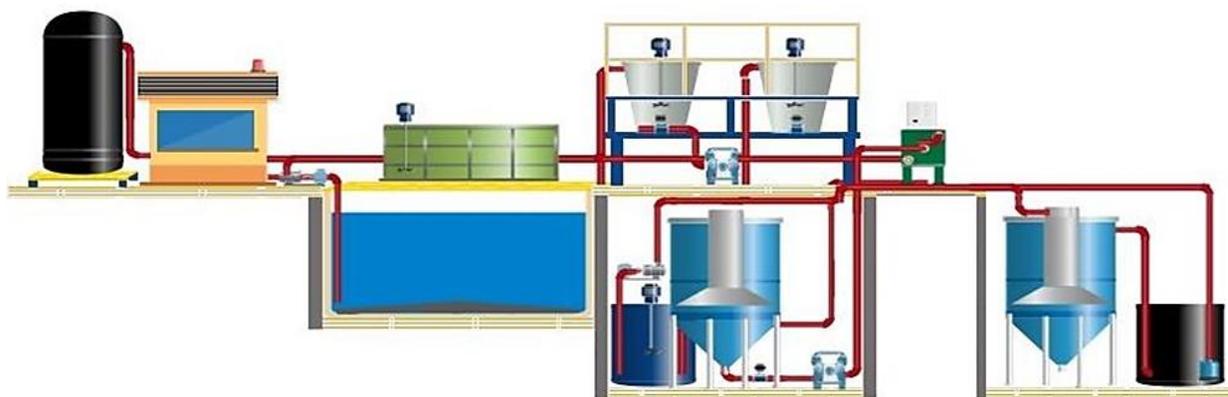
Posteriormente se procede al trasvase del agua al Tanque de Floculación en donde se

adicionará floculante para poder mejorar la generación de flóculos de mayor dimensión y así disminuir el tiempo de sedimentación de sólidos, una vez finalizado este proceso el agua es trasvasada al Tanque Sedimentador1 para que tenga el tiempo suficiente para que los flóculos formados por los sólidos en suspensión puedan sedimentarse.

Una vez que el Tanque sedimentador 1 está lleno y ha cumplido con la mayor cantidad de sedimentación de sólidos se procede a pasar el agua por el Filtro Prensa, el mismo que retendrá la mayor cantidad de sólidos en las mallas de filtración y dirigirá el agua al Tanque de Neutralización, en este tanque se realizará la adición de Ácido Clorhídrico para la regulación de pH disminuyéndolo a un pH de Neutro de 7 a 9 como máximo valor de tolerancia.

Una vez que el pH del Tanque de neutralización se encuentre en el valor indicado el agua es trasvasada al Tanque Sedimentador 2 por medio de una bomba centrífuga. Para que se realice el último proceso de sedimentación en este tanque los últimos sólidos que se encuentren suspendidos en el agua tratada se sedimentarán y de ser necesario por medio de una bomba neumática serán succionados y enviados al tanque sedimentador 1; si el agua no presenta sólidos en suspensión será trasvasado al Tanque Auxiliar por medio de rebose.

El agua tratada acumulada en el Tanque Auxiliar es trasvasada al Tanque de Almacenamiento de 15000 litros por medio de una Bomba Sumergible, para su acumulación y posterior retorno a las tinas de tratamiento de la planta de galvanizado, en la Figura 43 se muestra el diagrama completo de los dispositivos y elementos que intervienen en el proceso de Agua de Enjuague.



**Figura 42.**Proceso de tratamiento de “Agua de Enjuague”

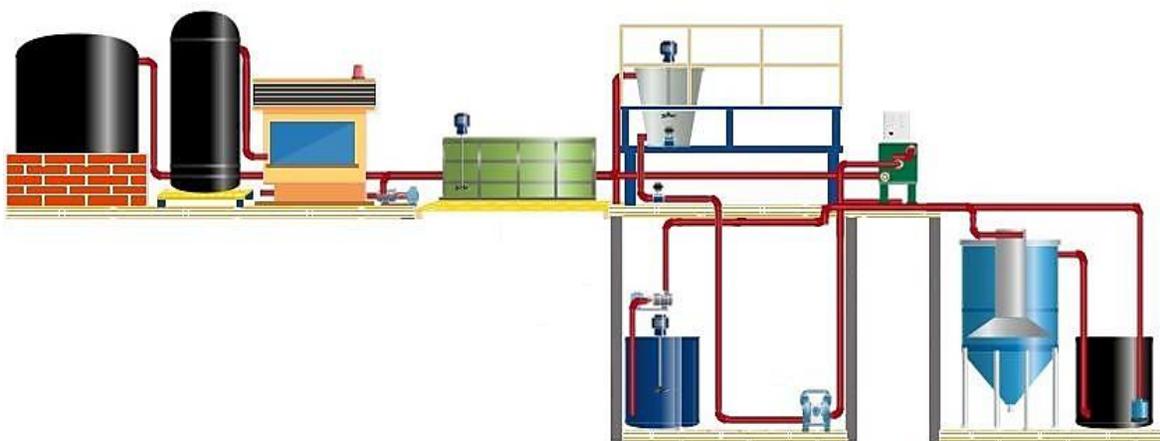
### 3.8.2 Proceso de Tratamiento de Solución Decapante “SDEC”.

El proceso de tratamiento de SDEC se basa en la recuperación del agua utilizada en la mezcla con los ácidos necesarios para realizar el pre-tratamiento de galvanizado, así como para la remoción de impurezas y para mejorar las condiciones del material base para generar una mejor adherencia del zinc. El proceso comienza con su recolección en el Tanque de Solución Decapante, la que tiene como objetivo no solo el almacenamiento sino también la sedimentación de los sólidos en suspensión que conforman su estructura.

La Solución Decapante es trasvasada a un Tanque de Mezcla por medio de una bomba centrífuga, donde se adiciona Hidróxido de Sodio “NaOH” o Hidróxido de Calcio “Ca(OH)<sub>2</sub>”, para poder subir el pH del agua de enjuague hasta que este valor sea superior a 12, mediante una electroválvula y una bomba neumática se procede a pasar el agua por el Filtro Prensa, el mismo que retendrá la mayor cantidad de sólidos en las mallas de filtración y dirigirá el agua al Tanque de Neutralización. En este tanque se realizará la adición de Ácido Clorhídrico para la regulación de pH disminuyéndolo a un pH de Neutro de 7 a 9 como máximo valor de tolerancia.

Una vez que el pH del Tanque de neutralización se encuentre en el valor indicado el agua es trasvasada al Tanque Sedimentador 2 por medio de una bomba centrífuga, para que se realice el último proceso de sedimentación en este tanque los últimos sólidos que se encuentren suspendidos en el agua tratada se sedimentarán y de ser necesario por medio de una bomba neumática serán succionados y enviados al tanque sedimentador 1; si el agua no presenta sólidos en suspensión será trasvasado al Tanque Auxiliar por medio de rebose.

El agua tratada acumulada en el Tanque Auxiliar es trasvasada al Tanque de Almacenamiento de 15000 litros por medio de una Bomba Sumergible para su acumulación y posterior retorno a las tinas de tratamiento de la planta de Galvanizado. En la Figura 44 se muestra el diagrama completo de los dispositivos y elementos que intervienen en el proceso de Solución Decapante.



**Figura 43.**Proceso de tratamiento de “Solución Decapante”

## CAPÍTULO 4

### 4. INGENIERÍA BÁSICA

El sistema de instrumentación y control de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales “Ptari” se encarga permanentemente de la medición de los niveles y rangos de pH del agua residual, para ello es necesario contar con equipos de medida que posean una alta precisión de medición y que permitan la transmisión de datos de manera ininterrumpida, además con el tipo de protección IP adecuado para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y su resistencia a los factores ambientales, ubicación o la variable a ser medida.

También es importante contar con dispositivos de medición que cuenten con un indicador local debido a que los operadores de la planta permanecen en la parte externa de la cabina de control realizando trabajos de limpieza de equipos y verificación de ingreso de aguas residuales y de esta manera pueden visualizar directamente el valor de las variables que controlan el proceso.

Para la selección de los sensores de instrumentación se requiere tomar en consideración que estos dispositivos cuentan con diferentes tipos de respuestas, ya sea mediante señales analógicas de voltaje o corriente, las cuales puedan ser configurables dependiendo de los diferentes factores de ubicación y distribución eléctrica.

#### 4.1 Viabilidad Técnica para la Implementación del Sistema de Instrumentación

Para el desarrollo del sistema de instrumentación de la planta de tratamiento de agua, se

identificó que es viable en base al nivel de complejidad de medición de cada una de las variables de nivel y de pH la cual no es alta, teniendo en cuenta que existen diversos sensores para la medición de estas magnitudes, los cuales tratan los datos y proveen de diferentes métodos de transmisión de los mismos.

Se identificó la necesidad de que los equipos que van a ser utilizados en la implementación del proyecto cumplan con normas de protección IP debidamente certificadas para garantizar la durabilidad de cada uno de estos dispositivos expuestos a la polución del ambiente, ello se sustenta en una norma de calidad internacional y cada empresa debe obtenerla, además se debe garantizar un error mínimo en la medición de cada magnitud para que no sobrepase una tolerancia de  $\pm 1\%$  de desviación.

Como parte de la viabilidad técnica se debe contar con personal técnico calificado en la instalación de los dispositivos mecánicos de succión y dosificación, para garantizar el correcto funcionamiento y menor tiempo de implementación, además que los operadores de la planta de tratamiento deben estar informados de las condiciones de manejo y lectura de cada una de las variables de proceso e identificación del mando manual de cada uno de los equipos.

Se debe garantizar que las señales obtenidas de los sensores de pH o de nivel no sufran afectaciones por ningún tipo corriente parásitas o inducción electromagnética por cables de conducción de alto voltaje, por ello la ubicación de los cables de control debe estar separados en diferentes escalerillas portacables, además debe realizarse una selección correcta del cable para evitar una caída de tensión en el envío y recepción de los valores medidos.

## **4.2 Disponibilidad Técnica**

Al momento de realizar la selección de cada uno de los dispositivos necesarios para la implementación del sistema de instrumentación y control de la planta de tratamiento de agua, se tomó en consideración que los dispositivos se encuentren disponibles en el mercado nacional, para disminuir el tiempo de implementación del proyecto y de ser necesario se encuentren disponibles en el mercado internacional tomando en consideración el tiempo de importación de los equipos.

Además de realizar el análisis costo-beneficio para la compra de los dispositivos, tomando en cuenta que el costo sea lo más conveniente para la empresa y que cuenten con las mejores garantías al momento de la implementación del proyecto. Debido a estos puntos, la disponibilidad técnica es alta y permite el desarrollo del proyecto.

## **4.3 Señales y variables a ser medidas**

Las variables físicas que van a ser analizadas por el sistema de instrumentación y control de la planta de tratamiento es de agua residual y ellas son: temperatura, nivel, presión, tiempo y pH del agua. A continuación, se identificarán cada una de las medidas a analizar y su rango de trabajo.

## **4.4 Señales y variables medidas en los tanques de la planta Ptari**

### **4.4.1 Piscina de Almacenamiento**

**NIVEL:** esta piscina posee una capacidad de 65 m<sup>3</sup> y una altura de 2.5 m. Se debe tomar en cuenta que este reservorio recibe el agua contaminada de varias tinas de tratamiento de

galvanizado, las cuales son descargadas de manera manual por medio de una válvula, el sensor de nivel instalado permitirá al operador de la planta de tratamiento de agua darse cuenta cuando la piscina está a su nivel máximo de capacidad 64 m<sup>3</sup> y cerrar dicha válvula para evitar derrames, los rangos de medición se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**  
*Variable y rango de medida Piscina de Almacenamiento*

VARIABLE	RANGO
Nivel	0 a 65000 litros 0 a 2.5 m

#### 4.4.2 Tanque de Mezcla

**NIVEL:** este tanque tiene una capacidad de 2 m<sup>3</sup> y una altura de 1.75 m , es necesario conocer el nivel de forma constante ya que de esta variable dependerá en inicio del tratamiento de agua residual, tomando en cuenta que al alcanzar el nivel máximo de 1.8 m<sup>3</sup> apagará la bomba de succión la cual trasvasa agua desde la piscina de almacenamiento o del tanque de solución decapante, así mismo una vez que cumpla con las condiciones establecidas y llegue a su nivel mínimo 0.3 m<sup>3</sup>, repita el proceso y vuelva a llenar el tanque para continuar con el proceso.

**PH:** se debe tomar en cuenta que cada una de las aguas residuales tienen diferentes valores de pH, con la adición de químicos por medio de bombas dosificadoras se obtendrá un valor superior a los 12 pH para poder permitir el paso al siguiente tanque de tratamiento, los rangos de medición se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6**  
*Variable y rango de medida Tanque de Mezcla*

VARIABLE	RANGO
Nivel	0 a 1800 litros 0 a 1.8 m
pH	0 a 14 pH

#### 4.4.3 Tanque de Floculación

**NIVEL:** este tanque tiene una capacidad de 2 m<sup>3</sup> y una altura de 1.75 m , es necesario conocer el nivel de forma constante ya que de esta variable dependerá la adición de floculante al agua residual el cual ayudará a disminuir el tiempo de floculación de sólidos, tomando en cuenta que la llegar al valor máximo de nivel de 1.8 m<sup>3</sup> apagará la bomba de succión del tanque de mezcla y permitirá la activación de la bomba dosificadora de floculante por un tiempo establecido y así mismo al llegar al nivel mínimo de 0.3 m<sup>3</sup> permitirá la activación de la bomba de succión del tanque de mezcla si este cumple con las condiciones requeridas.

**TIEMPO:** en este tanque la adición de floculante es controlado en base a un contador de tiempo el cual es programable desde la interfaz HMI, dependiendo del agua residual a tratar “ADE” o “SDEC” y del análisis del técnico de planta, generalmente el tiempo está entre 8 a 10 minutos, los rangos de medición se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Variable y rango de medida Tanque de Floculación*

VARIABLE	RANGO
Nivel	0 a 1800 litros 0 a 1.8 m
Tiempo	0 a 25 minutos

#### 4.4.4 Tanque de Neutralización

**NIVEL:** este tanque tiene una capacidad de 1.8 m<sup>3</sup> y una altura de 1.40 m, es necesario conocer el nivel de forma constante ya que de esta variable dependerá la adición de Ácido Clorhídrico para la estabilización del pH, tomando en cuenta que al llegar al valor máximo de nivel de 1.6 m<sup>3</sup> apagará la bomba del filtro prensa y permitirá la activación de la bomba

dosificadora de ácido y así mismo al llegar al nivel mínimo de 0.3 m<sup>3</sup> permitirá la activación del filtro prensa.

**PH:** Los valores establecidos para el agua residual en este tanque están en el rango de 7 pH a 9 pH para poder ser considerada inofensiva para la reutilización del agua o para la descarga a los sistemas hídricos, los rangos de medición se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Variable y rango de medida Tanque de Neutralización*

VARIABLE	RANGO
Nivel	0 a 1800 litros
pH	0 a 14 pH

#### 4.4.5 Filtro Prensa

**PRESIÓN:** para poder garantizar que no existan fugas de agua por medio de las placas de filtración se requiere que el pistón de compresión de estas placas alcance una presión de 200 PSI, los rangos de medición se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Variable y rango de medida Filtro Prensa*

VARIABLE	RANGO
Presión	0 a 250 PSI

#### 4.4.6. Tanque auxiliar

**NIVEL:** este tanque tiene una capacidad de 1.8 m<sup>3</sup> y una altura de 1.40 m, es necesario conocer el nivel de forma constante. puesto que este sirve de apoyo al tanque de almacenamiento como recolector del agua que pasa por rebose del tanque sedimentador dos puesto que al no ser una cantidad considerable en poco tiempo se utiliza el tanque auxiliar para recolectar el agua

tratada, una vez que llegue al valor máximo de nivel de 1.6 m<sup>3</sup> permitirá la activación de la bomba sumergible que trasvasara el agua hacia el tanque de almacenamiento, así mismo al llegar al nivel mínimo de 0.3 m<sup>3</sup> apagará la bomba sumergible, los rangos de medición se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Variable y rango de medida Tanque Auxiliar*

VARIABLE	RANGO
Nivel	0 a 1800 litros
	0 a 1.4 m

#### 4.4.7 Tanque de Almacenamiento

**NIVEL:** tiene una capacidad de 15 m<sup>3</sup> y una altura de 5 m, es necesario tener una medición constante del nivel del agua tratada para detener el proceso de tratamiento hasta que sea enviada el agua tratada a las tinas de tratamiento de galvanizado, una vez que llegue al valor máximo de nivel de 14.5 m<sup>3</sup> permitirá la activación de la bomba que trasvasará el agua desde el tanque auxiliar, así mismo al llegar al nivel mínimo de 0.5 m<sup>3</sup> apagará la bomba centrífuga que envía el agua tratada a las tinas, los rangos de medición se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Variable y rango de medida Tanque Almacenamiento*

VARIABLE	RANGO
Nivel	0 a 15000 litros
	0 a 5 m

#### 4.4.8 Tanque de Solución Decapante

**NIVEL:** esta piscina tiene una capacidad de 15 m<sup>3</sup> y una altura de 3 m, se debe tomar en cuenta que este reservorio recibe los Ácidos Agotados “SDEC” de varias tinas de tratamiento de galvanizado, las cuales son descargadas de manera manual por medio de una válvula, el

sensor de nivel instalado permitirá al operador de la planta de tratamiento de agua darse cuenta cuando el tanque de solución decapante está a su nivel máximo de capacidad 14.7 m<sup>3</sup> y cerrar dicha válvula para evitar derrames, los rangos de medición se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Variable y rango de medida Tanque Solución Decapante*

VARIABLE	RANGO
Nivel	0 a 14700 litros 0 a 3 m

#### 4.5 Selección de Equipos

Se procedió a verificar el funcionamiento y el estado de los equipos de la planta de tratamiento Ptari, en donde se pudo determinar cuáles son los dispositivos necesarios para realizar la repotenciación de la planta de acuerdo a la revisión de cada uno de los equipos de control e instrumentación.

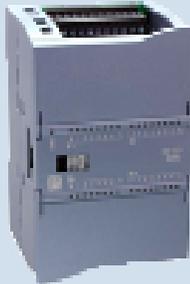
El tablero de control debe ser remplazado en su totalidad ya que los dispositivos de maniobra presentan un desgaste en los componentes electromecánicos, las fuentes de alimentación cumplieron su vida útil, el cableado del tablero de control presenta problemas de recalentamiento debido a diversos cortocircuitos ocasionados por sobretensiones en la red y fallas eléctricas de los dispositivos, el PLC de marca General Electric presentó daños en las entradas digitales y analógicas, en el momento de realizar pruebas de activación y desactivación se verifica que los relés de estado sólido se encuentran con averías debido a su uso y la estructura del tablero de control se encuentra deteriorada por permanecer a la intemperie.

Una vez realizado el análisis de factibilidad y la relación costo - beneficio del diseño del

nuevo sistema de control con dispositivos de la marca Siemens mostrados en la Tabla 13, los cuales tienen mayor acogida en el mercado nacional, serán entregados en un menor tiempo y son de menor costo además al existir mayor información sobre el manejo del lenguaje de programación y protocolos de comunicación es un apoyo considerable al desarrollo del proyecto.

**Tabla 13**

*Especificaciones técnicas de los equipos*

<b>AUTOMATIZACIÓN PLANTA PTARI</b>		
<b>PLC SIEMENS S7-200</b>		
	<b>Descripción</b>	Controlador lógico programable para el proceso de tratamiento de agua residual.
	<b>Marca</b>	SIEMENS
	<b>Especificaciones</b>	
	<b>Modelo Procesador</b>	CPU 1214C DC/DC/DC
	<b>Alimentación</b>	20.4 a 28.8 [Vdc]
	<b>Frecuencia de entrada</b>	47-63 [Hz]
	<b>Número de E/S digitales y</b>	14 entradas y 10 salidas 2 entradas análogas
	<b>Memoria de Programa</b>	75 [Kbytes]
	<b>Capacidad de Temperatura de uso</b>	8 módulos -20° C a 60°C
	<b>Software de Programación</b>	STEP 7 Profesional V11(Tia portal V11) o posteriores.
	<b>Puertos</b>	1 puertos Ethernet RJ45 10/10 Mbps
<b>MÓDULO DE E/S DIGITALES</b>		
	<b>Descripción</b>	Módulo de expansión de E/S digitales para el PLC S7-1200.
	<b>Marca</b>	SIEMENS
	<b>Especificaciones</b>	
	<b>Modelo</b>	SM 1223 DC/RLY
	<b>Alimentación</b>	24 [VDC]
	<b>Número de E/S digitales</b>	16 entradas a 24 VDC y 16 tipo relé.
	<b>Salida de corriente</b>	2 [A]
<b>Entrada de corriente</b>	4 [mA]	
<b>MODULO DE ENTRADAS ANALOGICAS</b>		
<b>Descripción</b>	Módulo de expansión de entradas analógicas para el PLC S7-1200.	
<b>Marca</b>	SIEMENS	

CONTINUA →



	<b>Especificaciones</b>
<b>Modelo</b>	SM 1231 AI
<b>Alimentación</b>	24 [VDC]
<b>Entradas Analógicas</b>	8 entradas
<b>Voltaje de entrada</b>	$\pm 10 - \pm 5 - \pm 2.5$ [VDC]
<b>Entrada de corriente</b>	0-20 / 8-20 [mA]

### SENSOR DE PH OMEGA



<b>Descripción</b>	Sensor controlador de pH Omega, instalado en el tanque de Mezcla y Neutralización.
<b>Marca</b>	OMEGA
<b>Modelo</b>	PHCN-37
<b>Alimentación</b>	110 - 120 [VAC]
<b>Valor de salidas analógicas</b>	0 a 10 Vdc – 0 a 20 mA 4 – 20 mA configurable.
<b>Rango de Medición</b>	-2 a 16 [pH]

### SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL



<b>Descripción</b>	Sensor ultrasónico de nivel, para la medición de nivel de los tanques de tratamiento
<b>Marca</b>	EGE
<b>Modelo</b>	ARKU 3500 GI
<b>Alimentación</b>	15 - 30 [VDC]
<b>Protección</b>	IP 67
<b>Conector</b>	M12
<b>Rango máximo de Medición</b>	3500 [mm]

### MOTOR AGITADOR



<b>Descripción</b>	Motor agitador eléctrico para mezcla homogénea de químicos.
<b>Marca</b>	SMEM
<b>Modelo</b>	T3A 90L6
<b>Alimentación</b>	440 Y [VAC]
<b>Corriente</b>	2.9 [A]
<b>Frecuencia</b>	60 [Hz]
<b>Revoluciones</b>	1130 [Rpm]

### ELECTROVÁLVULAS



<b>Descripción</b>	Electroválvulas de paso de aire para la activación de Bombas Dosificadoras, Válvulas y Bombas Neumáticas.
<b>Marca</b>	ODE
<b>Modelo</b>	21A8KT45
<b>Alimentación</b>	220/230 [VAC]
<b>Potencia</b>	8 [W]

CONTINUA →

<b>Frecuencia</b>	50/60 [Hz]
<b>Presión Mínima y Máxima.</b>	0.5 bar presión mínima. 15 bar presión máxima.

#### VÁLVULA NEUMÁTICA



**Descripción** Válvula neumática que permite el paso de los fluidos contaminados o tratados al siguiente tanque de tratamiento.

**Marca** EMU  
**Especificaciones**

**Modelo** 771521HDN

**Presión Máxima** 10.0 [bar]

**Presión de Trabajo** 5.0 a 7.0 [bar]

#### VÁLVULA MOTORIZADA



**Descripción** Utilizadas para el paso de SDEC y para salida del agua tratada, son válvulas reutilizadas de la planta.

**Marca** BI-TORQ  
**Especificaciones**

**Modelo** SR4X/7CF05-5

**Alimentación** 230 [VAC]

**Frecuencia** 60 [Hz]

**Torque** 200 [LB-IN]

#### BOMBA CENTRÍFUGA



**Descripción** Se utilizan para el abastecimiento de agua residual a la planta de tratamiento y para el envío del agua tratada a las tinajas del proceso de galvanizado.

**Marca** EBARA  
**Especificaciones**

**Modelo** CMT\_345DX

**Alimentación** 230/400 [VAC]

**Frecuencia** 60 [Hz]

**Corriente** 5.9 [A]

**Presión Máxima** 8 [bar]

#### BOMBA NEUMÁTICA



**Descripción** Cumplen la función de traslado del agua residual de un tanque a otro, gracias a la

**Marca** YAMADA

**Especificaciones**

**Modelo** NDP-40

**Material** Polipropileno

**Capacidad Máxima** 405 [LPM] / 107 [GPM]

**Dimensión Tubería** 1 ½" (38 mm)

**Rango Permissible de** 1.4 a 7 Kg/cm2

**Aire** 20 a 100 [PSI]

CONTINUA →

**BOMBA DOSIFICADORA NEUMÁTICA**

<b>Descripción</b>	Cumplen la función de traslado de los químicos de regulación de pH, gracias a la fuerza ejercida al momento de la succión es ideal transporte de químicos pesados.
<b>Marca</b>	YAMADA
<b>Especificaciones</b>	
<b>Modelo</b>	NDP-5
<b>Material</b>	Polipropileno
<b>Capacidad Máxima</b>	51 [LPM] / 13.5 [GPM]
<b>Dimensión Tubería</b>	¼" (6.35 mm)
<b>Rango Permissible de Aire</b>	1.4 a 7 Kg/cm <sup>2</sup> 20 a 100 [PSI]

**FUENTE DC SIEMENS**

<b>Descripción</b>	Provee la alimentación para el PLC y la alimentación de las salidas tipo relé para la activación de los elementos de maniobra.
<b>Marca</b>	SIEMENS
<b>Especificaciones</b>	
<b>Modelo</b>	SITOP PSU200M
<b>Alimentación</b>	110-220 / 230-500 [VAC]
<b>Corriente</b>	10 [A]
<b>Voltaje de Salida</b>	24 -28.8 [VDC]
<b>Frecuencia</b>	50 / 60 [Hz]

**FUENTE DC SCHNEIDER**

<b>Descripción</b>	Provee alimentación a todos los dispositivos de control de nivel como son los sensores ultrasónicos y los sensores flotadores de nivel debido a su distancia de
<b>Marca</b>	SCHNEIDER
<b>Especificaciones</b>	
<b>Modelo</b>	ABL8RPS24100
<b>Alimentación</b>	100-120 / 200-500 [VAC]
<b>Corriente</b>	10 [A]
<b>Voltaje de Salida</b>	24 -28.8 [VDC]
<b>Frecuencia</b>	50 / 60 [Hz]

**RELÉ UNIVERSAL**

<b>Descripción</b>	Activación directa de elementos de maniobra y control.
<b>Marca</b>	SCHNEIDER
<b>Especificaciones</b>	
<b>Modelo</b>	RUMC2AB1BD
<b>Alimentación</b>	24 [VDC]
<b>Corriente</b>	10 [A]
<b>Frecuencia</b>	50 / 60 [Hz]

**CONTACTORES TRIPOLARES TESYS D**

CONTINUA →



<b>Descripción</b>	Contactor de conmutación y alimentación de dispositivos de maniobra.
<b>Marca</b>	SCHNEIDER
<b>Especificaciones</b>	
<b>Modelo</b>	LC1D09B7
<b>Alimentación</b>	100-120 / 200-500 [VAC]
<b>Corriente</b>	20 [A]
<b>Frecuencia</b>	50 / 60 [Hz]

#### RELÉ MINIATURA



<b>Descripción</b>	Activación de las bobinas de los contactores mediante las salidas tipo relé del PLC.
<b>Marca</b>	SCHNEIDER
<b>Especificaciones</b>	
<b>Modelo</b>	RUMC2AB1BD
<b>Alimentación</b>	24 [VDC]
<b>Corriente</b>	10 [A]
<b>Frecuencia</b>	50 / 60 [Hz]

#### POTENCIOMETRO



<b>Descripción</b>	Utilizados para transformas la salida de corriente de los sensores de nivel EGE en salidas de voltaje.
<b>Marca</b>	VISHAY
<b>Especificaciones</b>	
<b>Modelo</b>	534B1102JCB
<b>Potencia</b>	2 [W]
<b>Resistividad</b>	1 [KΩ]
<b>Tolerancia</b>	± 5%

#### FLOTADORES DE NIVEL



<b>Descripción</b>	Son los sensores de nivel de emergencia los cuales no permitirán el derrame del agua contaminada en el caso de falla de los sensores ultrasónicos.
<b>Marca</b>	CAMSCO
<b>Especificaciones</b>	
<b>Presión</b>	5 [bar]
<b>Voltaje</b>	250 [VAC]
<b>Corriente</b>	10 [A]
<b>Protección</b>	IP 67

## 4.6 Identificación de Actividades del proyecto PTARI

El desarrollo del presente proyecto se basa en el diseño total del sistema de automatización de la planta de tratamiento de agua PTARI, realizando un nuevo diseño del tablero de control de la distribución de equipos, desarrollando un programa de automatización

y visualización de procesos, mediante la utilización de los diferentes dispositivos que actualmente están instalados en la planta tales como: Bombas Centrifugas, Bombas Neumáticas, Válvulas de Paso Neumáticas y Eléctricas, Electroválvulas, etc. Previamente sometidos a un exhaustivo mantenimiento mecánico y eléctrico.

Tomando en cuenta que los actuales dispositivos de maniobra del tablero de control tienen varias fallas eléctricas, exposición a contaminación ambiental, e incluso exposición a agua sin tener la protección IP adecuada, se toma la decisión de realizar la implementación de un nuevo tablero de control con dispositivos maniobra de última generación.

El PLC seleccionado para la realización del presente proyecto es de marca Siemens modelo S7- 1200, el cual brinda las protecciones necesarias para la instalación de un tablero de control dentro de una cabina protegida de la contaminación ambiental y permite la expansión de módulos de apoyo para entrada o salida de tipo analógica o digital, permite satisfacer las necesidades del nuevo diseño de la planta y su costo es más accesible, se realiza el desarrollo y programación de la interfaz de visualización y monitoreo HMI utilizando el software de diseño Intouch 2012. La instalación de sensores ultrasónicos permite la identificación de nivel en cada tanque de tratamiento con la finalidad de tener un mejor control del proceso en modo manual y automático. Adicional a esto, se realiza la instalación de sensores flotadores de nivel para la protección ante cualquier falla presentada en los sensores ultrasónicos, garantizando así que no se derrame el agua tratada o contaminada.

Se realiza la instalación de los sensores de pH de la marca OMEGA los cuales sirven

para obtener la lectura del valor de pH del Tanque de Mezcla y del Tanque de Neutralización.

Las actividades realizadas se describen a continuación en la Tabla 14, 15 y 1,6 tomando en cuenta la descripción detallada de cada actividad.

**Tabla 14**

*Actividades de diseño e implementación realizadas*

DESCRIPCION	ACTIVIDAD	DETALLE
<b>Diseño del Tablero de Control</b>	Diseño del proceso de control.	Filosofía de Operación.
	Diseño de planos de ubicación de equipos de maniobra y control.	Planos de ubicación y de dispositivos.
	Calculo de dimensión del armario de control.	Planos de diseño estructural del armario de control.
	Instalación de los elementos de control.	Instalación PLC S7-1200, módulos de expansión y fuentes DC.
	Instalación de los elementos de maniobra.	Instalación de Relés, Contactores, Breakers, Fusibles, Térmicos y Seguidor de fases.
	Instalación de elementos de distribución eléctrica.	Instalación de repartidores de fases, canaletas, y borneras de distribución.
	Conexión eléctrica de los dispositivos de control y maniobra.	Realización del cableado interno de alimentación y control.
	Instalación de pulsadores de control externo y luces indicadoras de estado.	Instalación de pulsadores de selección de proceso y control en la puerta de armario de control y luces indicadoras.
	Diseño e instalación de la placa de potenciómetros de sensores ultrasónicos.	Construcción de placa de potenciómetros para transformación de la lectura de los sensores ultrasónicos de una salida de corriente a una salida de voltaje.
	Conexión de entradas y salidas digitales del PLC S7-1200.	Instalación de sensores flotadores, pulsadores de estado, luces indicadoras y balizas sonoras de emergencia.
Conexión de entradas analógicas del PLC S7-1200.	Instalación de los sensores ultrasónicos de nivel y sensores de pH.	

**Tabla 15***Continuación Actividades de diseño e implementación realizadas*

DESCRIPCION	ACTIVIDAD	DETALLE
<b>Diseño de la interface "HMI"</b>	Diseño de la pantalla de INGRESO	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de Proceso Manual "AGUA DE ENJUAGUE ADICION DE QUIMICOS".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de Proceso Manual "TANQUES SEDIMENTADORES".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de Proceso Manual "TANQUES DE ALMACENAMIENTO".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de Proceso Manual "SOLUCION DECAPANTE ADICION DE QUIMICOS".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de Proceso Manual "FILTRO PRENSA".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de "ALARMAS".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de "HISTORICOS".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de "VAPORIZADOR".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de Proceso Automática "AUTOMATICO".	Diseño de pantalla
	Diseño de la pantalla de "AYUDA".	Diseño de pantalla
Diseño de la pantalla de "MANUALES".	Diseño de pantalla	

**Tabla 16***Continuación Actividades de diseño e implementación realizadas*

DESCRIPCION	ACTIVIDAD	DETALLE
<b>Diseño del Programa de Control</b>	Programación de comunicación MODBUS con sistema "HMI" de INTOUCH.	Comunicación entre PLC S7-1200 con INTOUCH por medio del protocolo DASMBTCP.
	Programación de lectura de los valores de los sensores de pH OMEGA.	Desarrollo de ecuaciones lineales de lectura de los sensores de pH.

CONTINUA →

<b>Instalación y montaje de equipos en campo.</b>	Programación de lectura de los valores de los sensores de nivel ultrasónicos.	Desarrollo de ecuaciones lineales de lectura de los sensores ultrasónicos.
	Programación de modo MANUAL.	Desarrollo de control de Motores Agitadores, Flotadores de Nivel, y paradas de Emergencia.
	Programación de control MANUAL desde pulsadores del armario de control.	Desarrollo de programa de control de estado desde los pulsadores del armario de control.
	Programación de modo Automático de AGUA de ENJUAGUE “ADE” con Hidróxido de Sodio.	Desarrollo del programa de control automático en lenguaje SCL.
	Programación de modo Automático de AGUA de ENJUAGUE “ADE” con Hidróxido de Calcio.	Desarrollo del programa de control automático en lenguaje SCL.
	Programación de modo Automático de SOLUCION DECAPANTE “SDEC” con Hidróxido de Sodio.	Desarrollo del programa de control automático en lenguaje SCL.
	Programación de modo Automático de SOLUCION DECAPANTE “SDEC” con Hidróxido de Calcio.	Desarrollo del programa de control automático en lenguaje SCL.
	Instalación de sensores flotadores de nivel.	Instalación de los sensores flotadores.
	Instalación de sensores ultrasónicos en los tanques de proceso.	Instalación de los sensores ultrasónicos y calibración.
	Instalación de los sensores de pH de OMEGA.	Instalación del controlador y electrodo de medición de pH.
Conexión de dispositivos de proceso.	Instalación de Bombas Centrifugas, Válvulas de paso, Motores Agitadores, etc.	

#### 4.7 Esquema de ubicación de cada elemento de control

En la Figura 44 se muestra la zonificación de la planta de tratamiento de agua, con el objetivo de realizar una descripción detallada de la ubicación real de cada uno de los elementos de control que conforman la planta.

La Figura 45 muestra la ubicación de cada uno de los dispositivos de instrumentación y control de cada uno de los tanques de proceso que conforman la Zona 1 de la planta de

tratamiento de agua, incluyendo la distribución de las tuberías de succión, cabina de control, y sentido de flujo del agua residual.

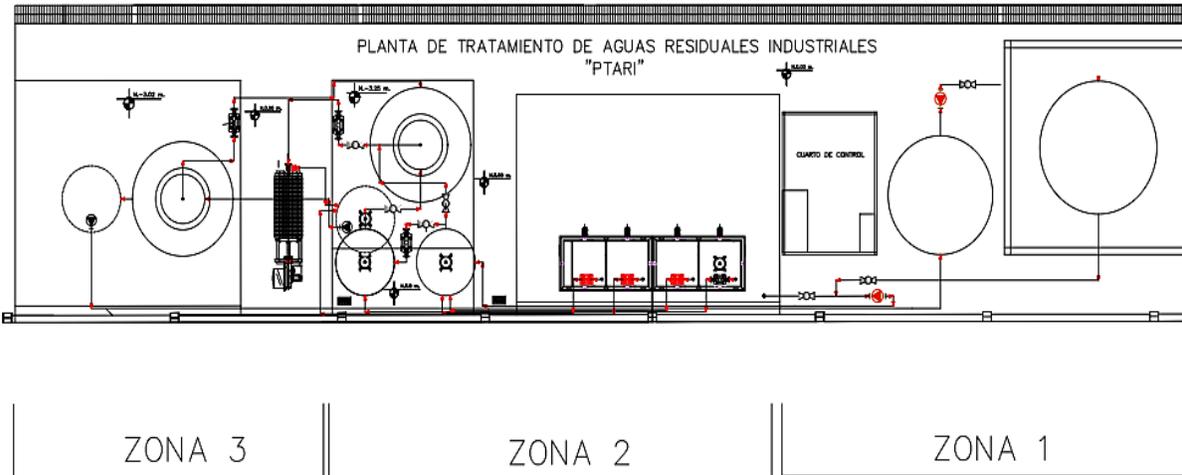


Figura 44. Zonificación de la planta de tratamiento de agua "Ptari"

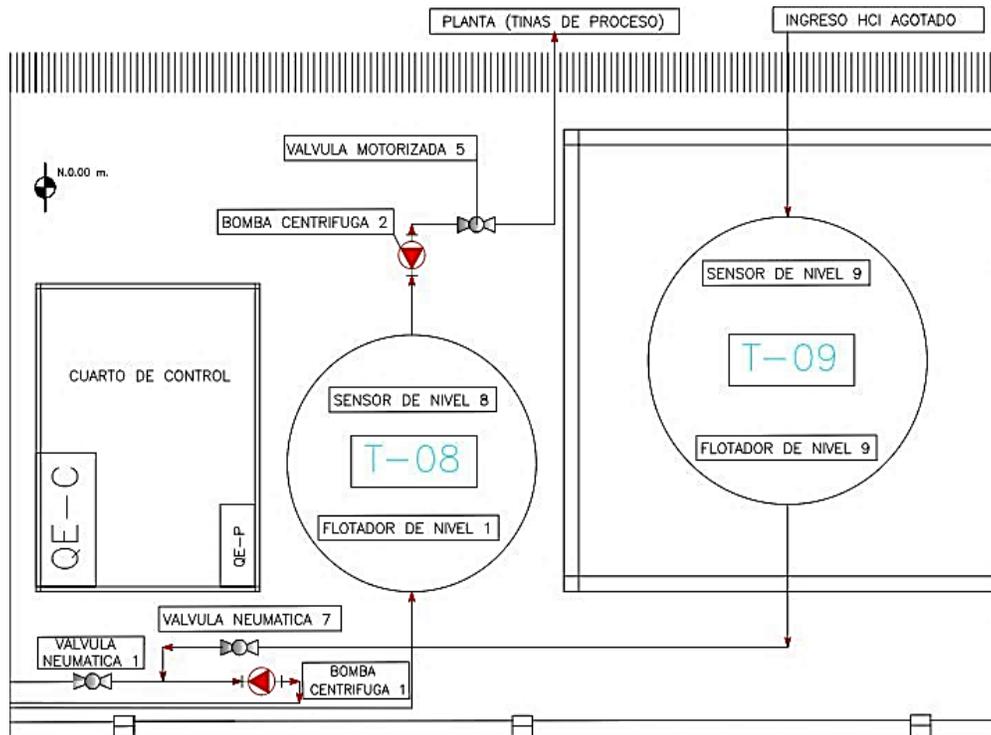
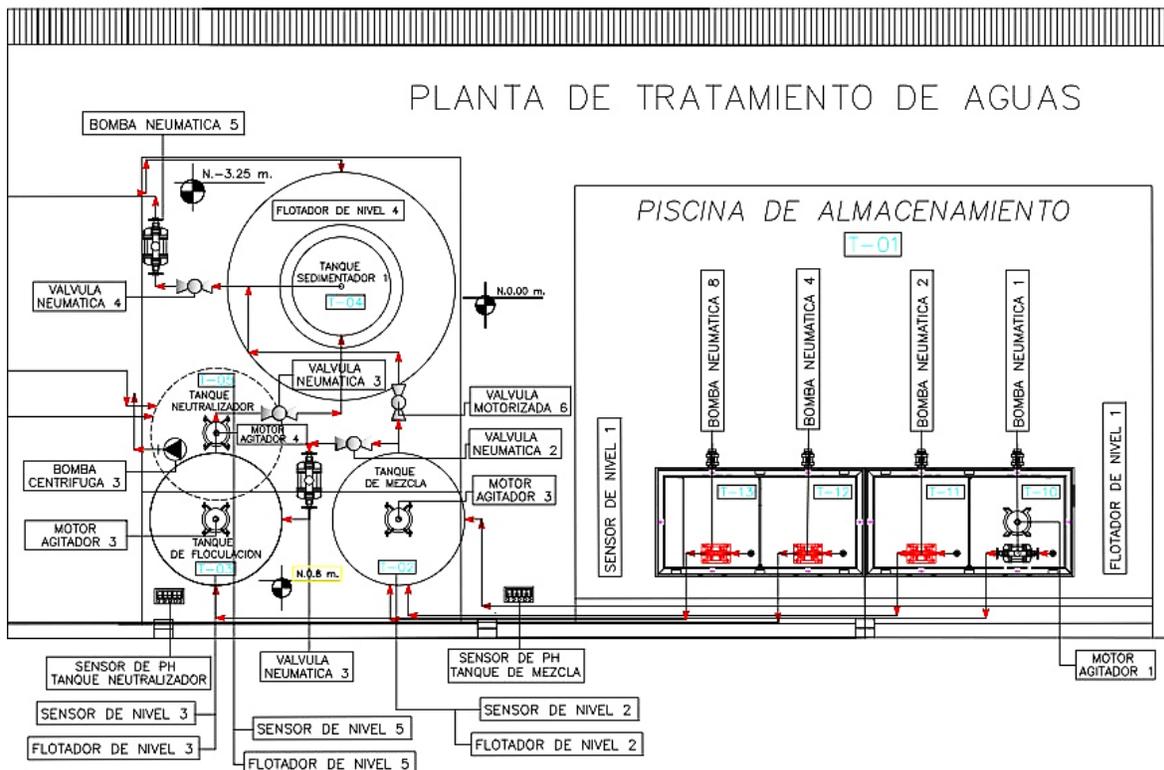


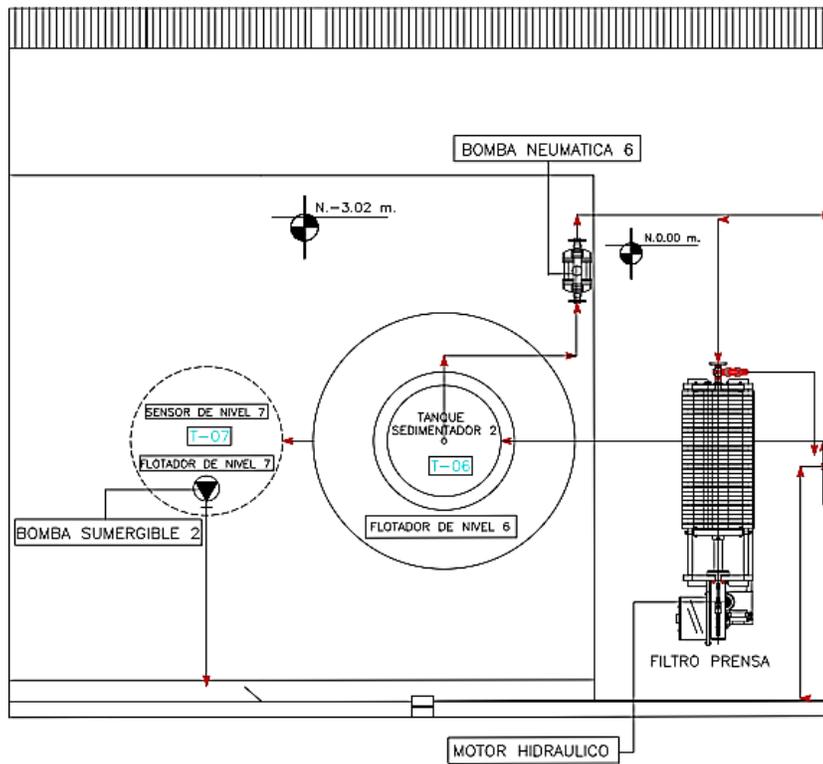
Figura 45. Detalle de ubicación de equipos Zona 1

La Figura 46 muestra la ubicación de cada uno de los dispositivos de instrumentación y control de cada uno de los tanques de proceso que conforman la Zona 2 de la planta de tratamiento de agua, incluyendo la distribución de las tuberías de succión, piscina de almacenamiento, tanques de almacenamiento de soluciones químicas, bombas dosificadoras y sentido de flujo del agua residual.

La Figura 47 muestra la ubicación de cada uno de los dispositivos de instrumentación y control de cada uno de los tanques de proceso que conforman la Zona 3 de la planta de tratamiento de agua, incluyendo la distribución de las tuberías de succión, equipos de filtración, y sentido de flujo del agua residual.

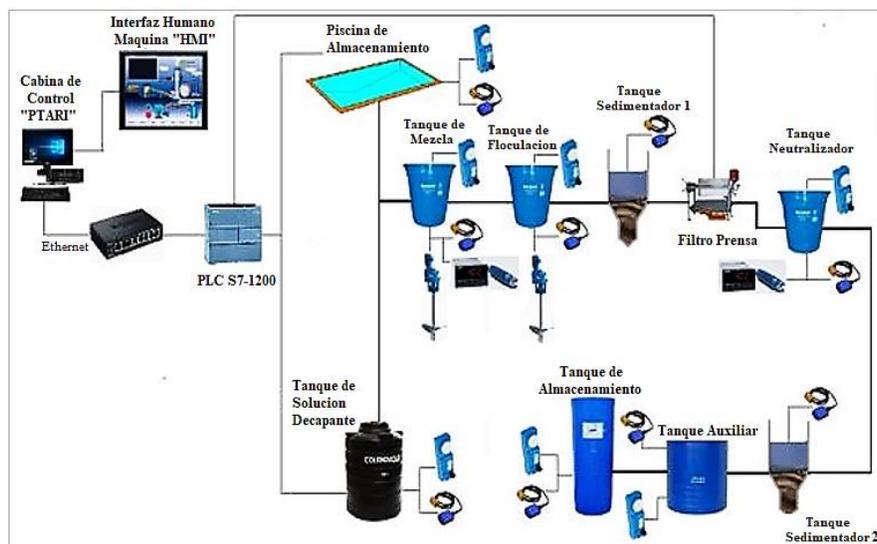


**Figura 46.**Detalle de ubicación de equipos Zona 2



*Figura 47.*Detalle de ubicación de equipos Zona 3

#### 4.8 Layout de Equipos del Proyecto



*Figura 48.*Layout de equipos PTARI

La descripción de la estructura de los equipos del proceso de tratamiento de agua residual “Ptari” se encuentran especificados en la Figura 48. La cual muestra la secuencia del tratamiento, así como también la instrumentación instalada en cada uno de los tanques.

#### 4.9 Diagramas P&ID preliminares para cada Tanque

Los diagramas P&ID desarrollados muestran la existencia y distribución de los elementos de control e instrumentación que se encuentran instalados en cada uno de los tanques de proceso para cumplir con el tratamiento del agua residual industrial. Detallando cada uno de los sensores que se utilizan para medir las variables de nivel, temperatura, presión y pH, así como la distribución de cada una de los dispositivos de maniobra como válvulas, bombas centrífugas, bombas neumáticas, etc. Cada uno de estos dispositivos se detallan a continuación en la Tabla 17.

**Tabla 17**

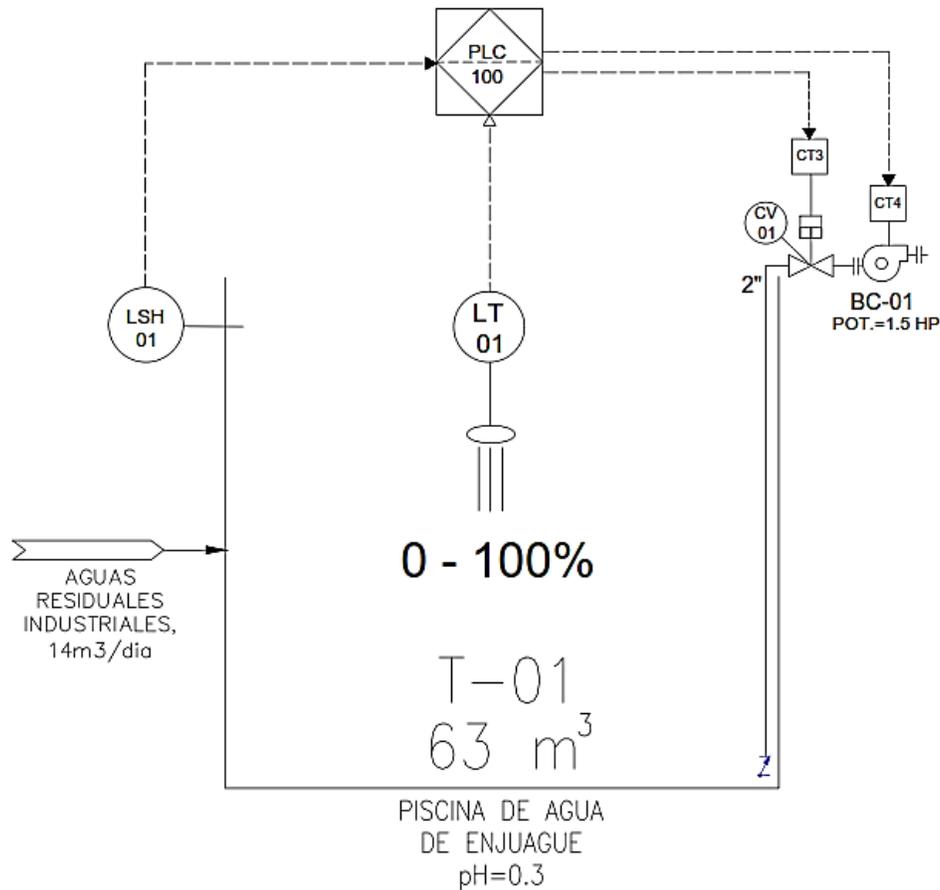
*Descripción de elementos de la planta de tratamiento Ptari, P&ID*

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
LSH-01, LSH-02, LSH-03, LSH-04, LSH-05, LSH-06, LSH-07, LSH-08, LSH-09, LSH-10, LSH-10, LSH-11, LSH-12, LSH-13.	Sensor flotador de nivel "On-Off"
LT-01, LT-02, LT-03, LT-04, LT-05, LT-06, LT-07, LT-08, LT-09.	Transmisión de nivel ultrasónico EGE "24 VDC"
MA-01, MA-02, MA-03, MA-04.	Motor Agitador trifásico
T-01, T-02, T-03, T-04, T-05, T-06, T-07, T-08, T-09, T-10, T-11, T-12, T-13.	Tanques de Proceso
VNT-01, VNT-02, VNT-03, VNT-04, VNT-07, VNT-08.	Válvulas Neumáticas
BC-01, BC-02, BC-03.	Bombas Centrífugas
VMT-05, VMT-06.	Válvulas Motorizadas
BN-01, BN-02, BN-03, BN-04, BN-05, BN-06, BN-07, BN-08	Bombas Neumáticas
BS-02	Bomba Sumergible
FP-01	Filtro Prensa

##### 4.9.1 Diagrama P&ID de la Piscina de Almacenamiento

El diagrama P&ID mostrado en la Figura 50 detalla cada uno de los dispositivos de

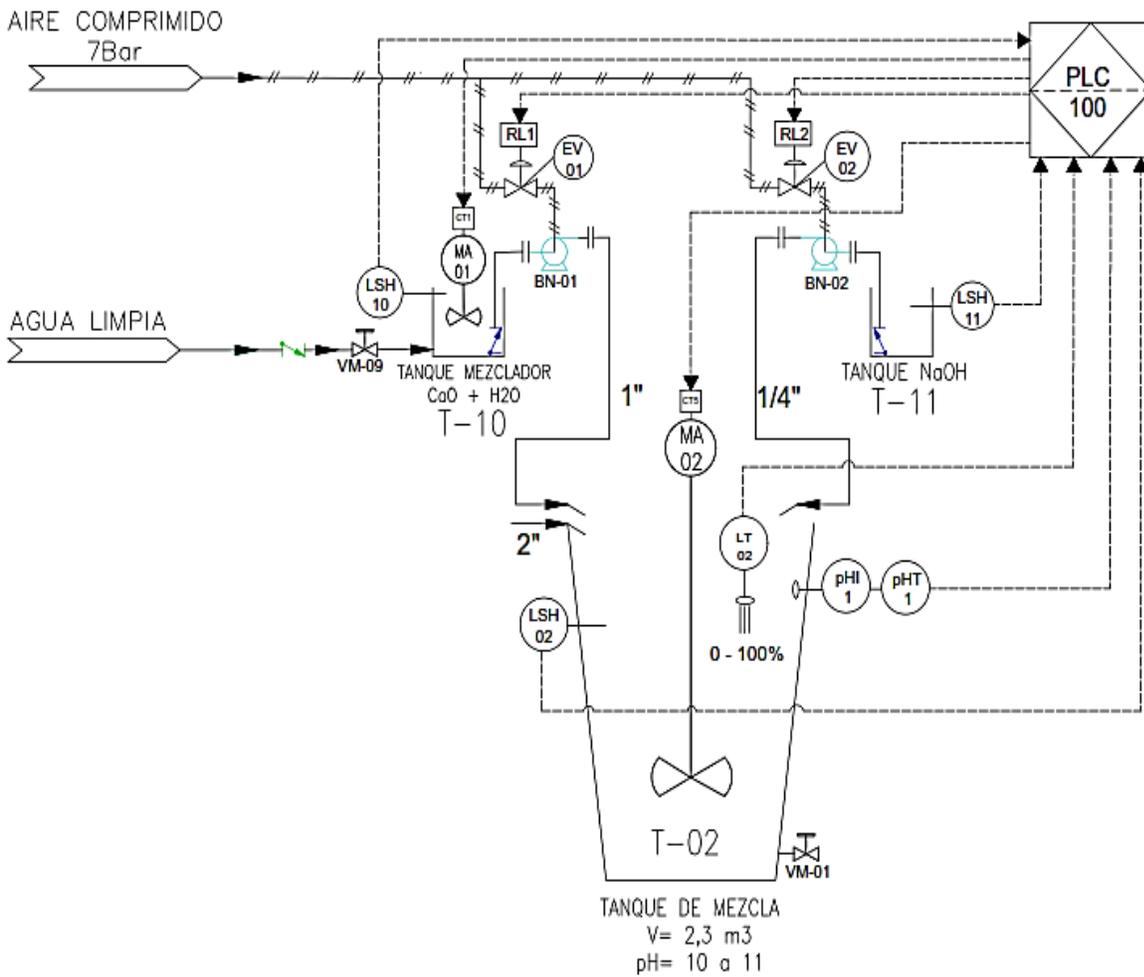
instrumentación y control que se encuentran instalados en la Piscina de Almacenamiento, donde se recolecta el agua de lavado de las estructuras metálicas previo su inmersión en ácidos denominada ADE.



**Figura 49.**Diagrama P&ID de la Piscina de Almacenamiento.

#### 4.9.2 Diagrama P&ID del Tanque de Mezcla

El diagrama P&ID mostrado en la Figura 50 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Mezcla, donde inicia el proceso de tratamiento de agua residual ya sea esta ADE o SDEC, en el que se tiene como objetivo aumentar el pH del agua hasta un valor de 12.



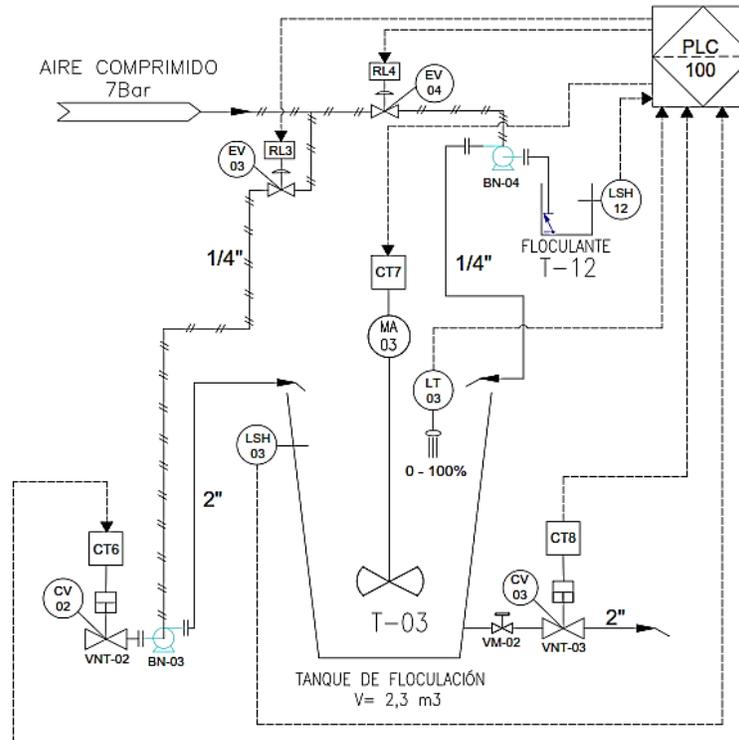
**Figura 50.** Diagrama P&ID del Tanque de Mezcla.

Mediante la adición de químicos seleccionables ya sean Hidróxido de Calcio “Ca(OH)<sub>2</sub>” o Hidróxido de Sodio “NaOH” se realizará la elevación del pH del agua residual, dependiendo para su uso de la disposición del hidróxido en planta y de los permisos de medio ambiente. Además, cuenta con un agitador para que realice una mezcla homogénea.

#### 4.9.3 Diagrama P&ID de la Tanque de Floculación

El diagrama P&ID mostrado en la Figura 51 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Floculación, donde se

adiciona floculante para ayudar a que los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua residual se sedimenten con mayor rapidez y ayude al proceso de filtración.

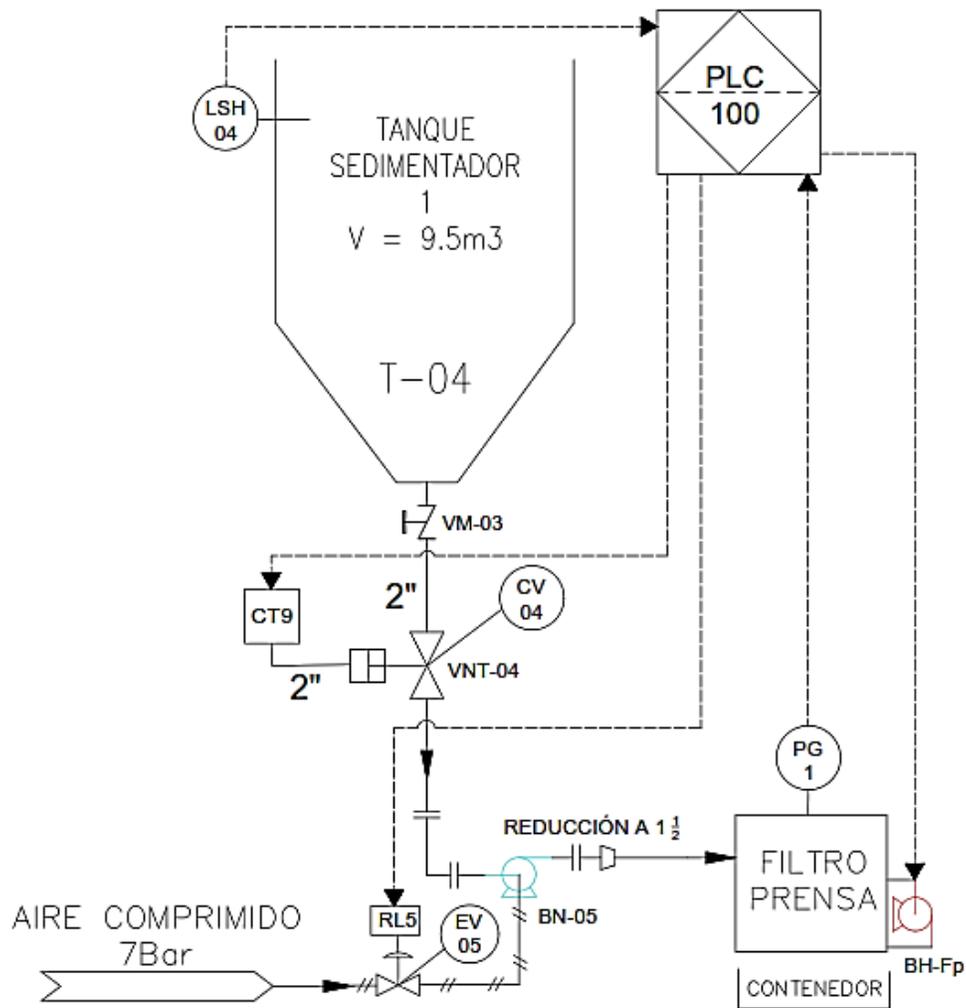


**Figura 51.** Diagrama P&ID del Tanque de Floculación.

La adición floculante es controlada por tiempo dependiendo del tipo de agua residual a tratar ya sea esta ADE o SDEC y además cuenta con un agitador para que realice una mezcla homogénea entre el agua residual y la solución floculante.

#### 4.9.4 Diagrama P&ID de la Tanque Sedimentador 1

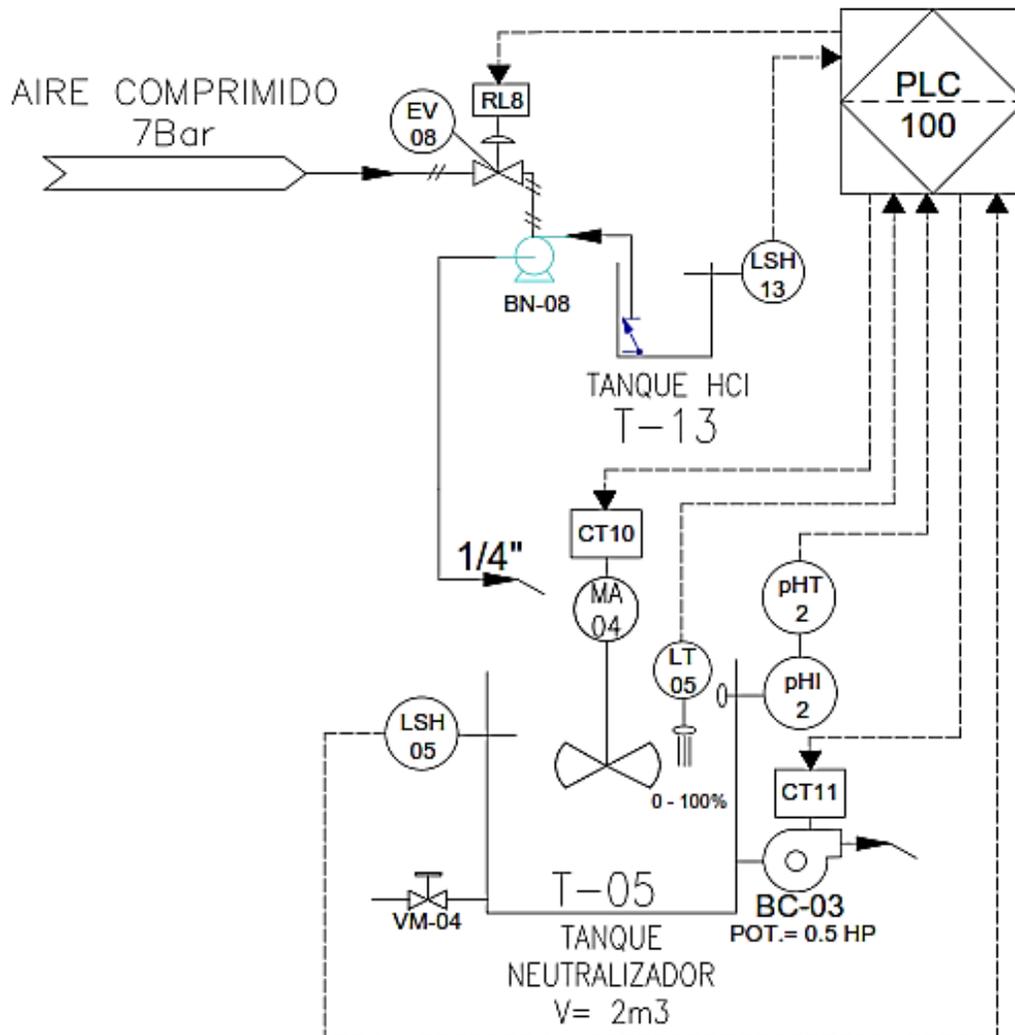
El diagrama P&ID mostrado en la Figura 52 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Sedimentador 1 y del Filtro Prensa, donde se sedimentan la mayor cantidad de sólidos del agua residual para que estos sean filtrados por medio del Filtro Prensa.



**Figura 52.** Diagrama P&ID del Tanque Sedimentador 1.

#### 4.9.5 Diagrama P&ID de la Tanque de Neutralización

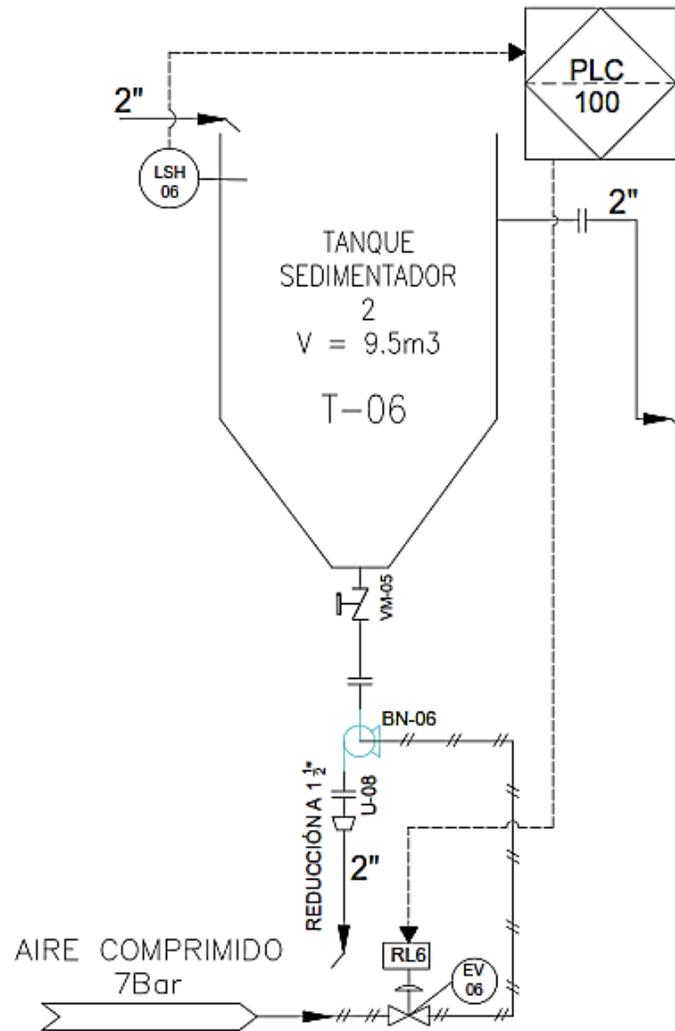
El diagrama P&ID mostrado en la Figura 53 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Neutralización, donde se realiza la reducción del pH del agua tratada de 12 pH por medio de la adición de Ácido Clorhídrico “HCl”, a un rango aceptado por el medio ambiente para la descarga a efluentes hídricos o para su reutilización el cual está comprendido entre 7 pH a 9 pH, además cuenta con un agitador para que realice una mezcla homogénea entre el agua residual y la HCl.



*Figura 53.* Diagrama P&ID del Tanque Neutralizador

#### 4.9.6 Diagrama P&ID de la Tanque Sedimentador 2

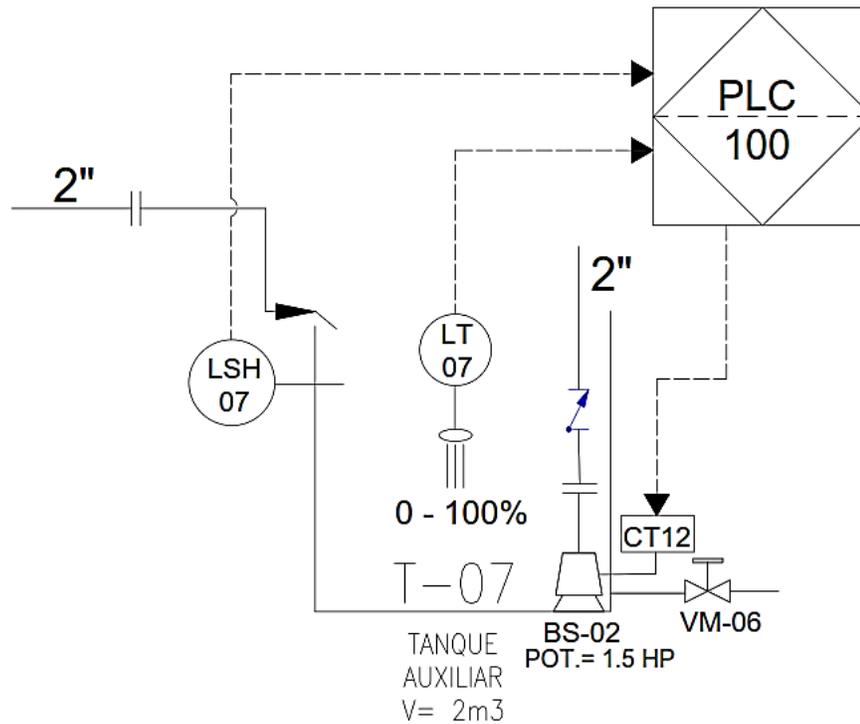
El diagrama P&ID mostrado en la Figura 54 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Sedimentador 2, donde se sedimentan los sólidos en suspensión que hayan logrado traspasar el Filtro Prensa los cuales son muy escasos.



**Figura 54.** Diagrama P&ID del Tanque Sedimentador 2

#### 4.9.7 Diagrama P&ID de la Tanque de Auxiliar

El diagrama P&ID mostrado en la Figura 55 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Auxiliar, donde se recolecta el agua tratada que pasa por rebose del Sedimentador 2 hasta que llegue a su nivel máximo de capacidad y enciende la bomba sumergible para enviar el agua al tanque de Almacenamiento.

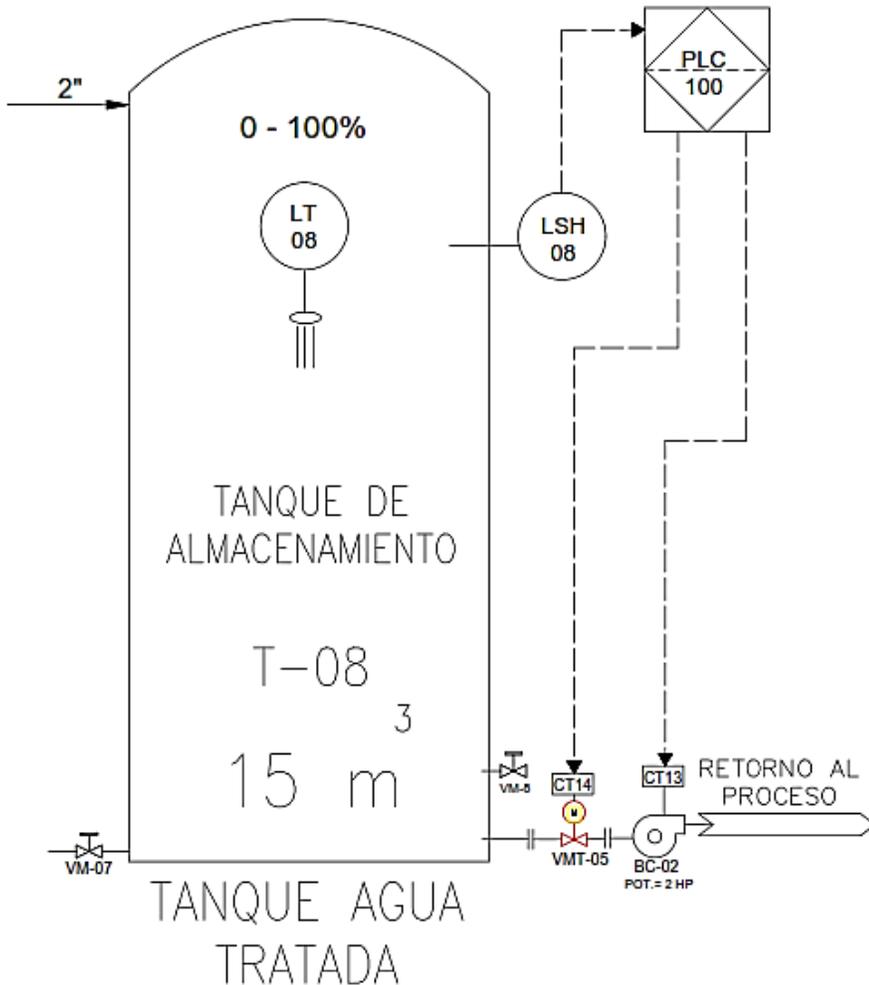


**Figura 55.**Diagrama P&ID del Tanque Auxiliar

#### 4.9.8 Diagrama P&ID de la Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada

El diagrama P&ID mostrado en la Figura 56 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Almacenamiento, donde se recolecta el agua tratada por la planta de tratamiento Ptari.

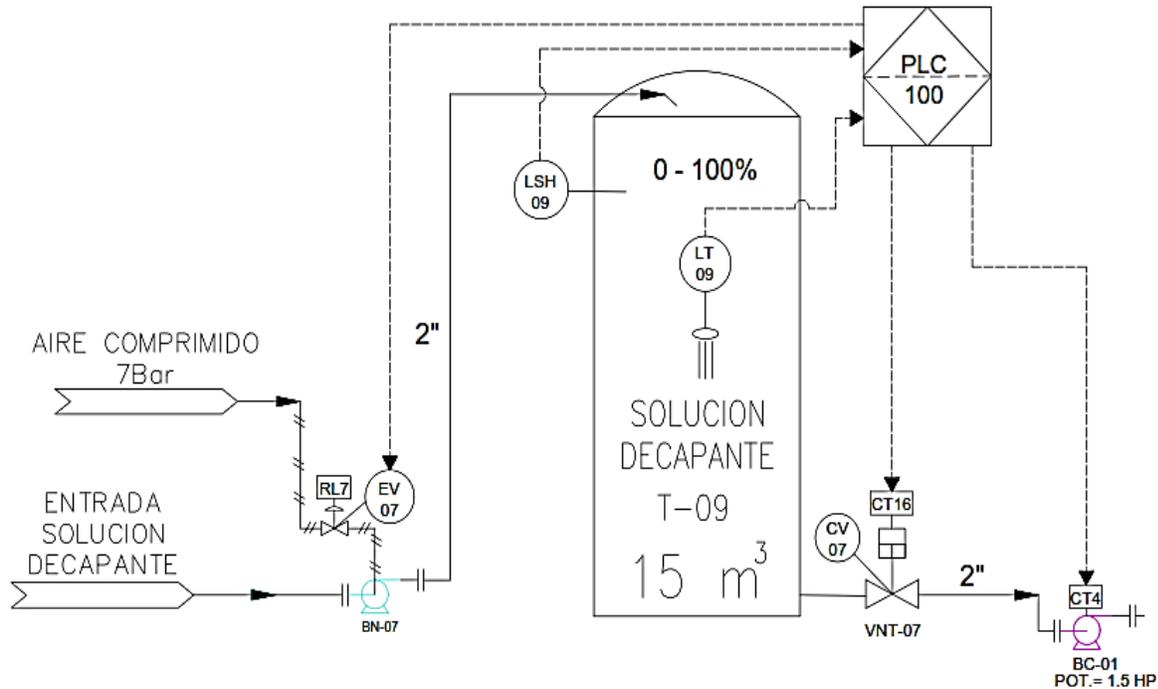
Cuando alguna de las tinas de enjuague del proceso de galvanizado necesite que sean cambiada el agua por estar excesivamente contaminada para el retorno se cuenta con una bomba centrífuga que permite trasvasar el agua a la tina de tratamiento que la necesite.



**Figura 56.** Diagrama P&ID del Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada

#### 4.9.9 Diagrama P&ID de la Tanque de Solución Decapante

El diagrama P&ID mostrado en la Figura 57 detalla cada uno de los dispositivos de instrumentación y control que se encuentran instalados en el Tanque de Solución Decapante, donde se recolecta los ácidos agotados de cada una de las tinas de tratamiento del área de galvanizado los cuales son 3 veces más densos que el agua de enjuague y por lo tanto tienen que ser almacenados en un contenedor diferente.



**Figura 57.**Diagrama P&ID del Tanque de Solución Decapante.

#### 4.10 Requerimientos del Sistema de Supervisión y Monitoreo

El sistema de control anterior utilizaba un PLC FANUC VERSAMAX de la marca General Electric, el cual funcionaba en modo manual por medio de la activación de botones y luces indicadoras, ya que el funcionamiento del Touch Panel no permitía la activación por medio del sistema Touch previamente se instaló un mouse para la activación de los motores, bombas neumáticas y bombas centrífugas desde la interface HMI.

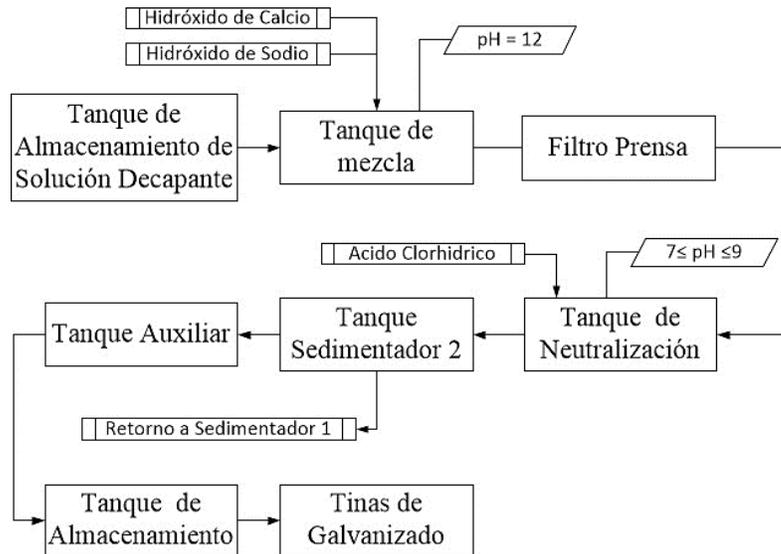
Debido a que cambiaron las condiciones del proceso de tratamiento de agua, se tuvo la necesidad de realizar la implementación completa de software y hardware para que se acople a las nuevas necesidades de la planta.

Los puntos de desarrollo del proceso de tratamiento de agua residual se basan en los siguientes aspectos:

- Diseño e implementación del tablero de control.
- Monitoreo del estado de los equipos que conforman la planta de forma remota.
- Creación del programa de control y las interfaces HMI para cada uno de los procesos de tratamiento.
- Creación de modo de funcionamiento Manual y Automático del control de proceso.
- Lectura de nivel en tiempo real por medio de sensores ultrasónicos de cada tanque de tratamiento.
- Creación de un sistema de Alarmas y detección de posible derrame de agua contaminada.
- Disminución del tiempo de tratamiento del agua residual y mejorar la calidad de la misma.
- Instalación de dispositivos de control y protección de los equipos contra fallas eléctricas.
- Reconocimiento de fallas eléctricas de forma local y remota.
- Creación del control Manual de la selección de químico y del proceso de “ADE” y de “SDEC” desde el tablero de control por medio de pulsadores vinculados al sistema remoto.

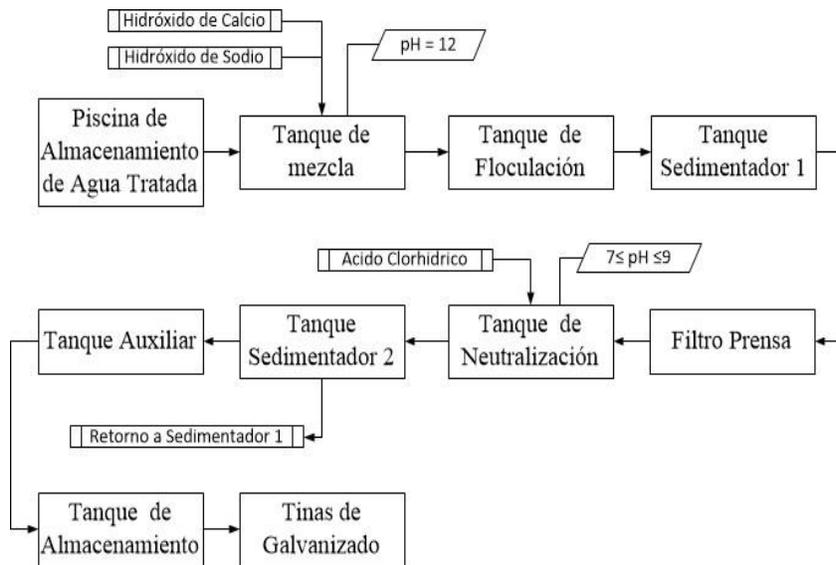
#### 4.10.1. Diagrama de flujo de proceso de Agua de Enjuague “ADE”

En la Figura 58 se muestra mediante un diagrama de flujo el proceso de tratamiento de agua residual denominada Agua de Enjuague “ADE” mediante bloques generales.



**Figura 58.** Diagrama de proceso de Agua de enjuague.

#### 4.10.2. Diagrama de flujo de proceso de Solución Decapante “SDEC”



**Figura 59.** Diagrama de proceso de Solución Decapante

En la Figura 59 se muestra mediante un diagrama de flujo el proceso de tratamiento de agua residual denominada Solución Decapante “SDEC” mediante bloques generales.

#### 4.11. Instrumento de Medida de Nivel

El instrumento de medición de nivel está instalado en el tanque de Mezcla, Floculación, Neutralización, Auxiliar, Solución Decapante y en la Piscina de Almacenamiento y es usado para mediar la variación de nivel volumétrica en cada uno de los tanques que cumplan con los parámetros de medición establecidos del sensor del nivel EGE ARKU 3500 GI.

Además, también cuenta con el sensor de nivel laser EFECTOR 01D100 instalado en el tanque de Almacenamiento de agua tratada.

El sensor EGE ARKU 3500 GI es un sensor ultrasónico de nivel con un rango de medida de 300 a 3500 mm (0.3 a 3.5 m), con una salida analógica de corriente de 4 a 20 mA, alimentación de 15 - 30 V DC y cuenta con protección IP 67, mostrado en la Figura 60.



**Figura 60.** Sensor de nivel ultrasónico “EGE” ARKU 3500 GI.

Fuente: (Ege-elektronik.com, 2018)

El sensor EFECTOR es un sensor láser de nivel con un rango de medida de 300 a 10000 mm (0.3 a 10m), con una salida programable de corriente de 4 – 20 mA y voltaje de 0 a 10 V DC, alimentación de 18 a 30 V DC y cuenta con protección IP 67, mostrado en la Figura 61.

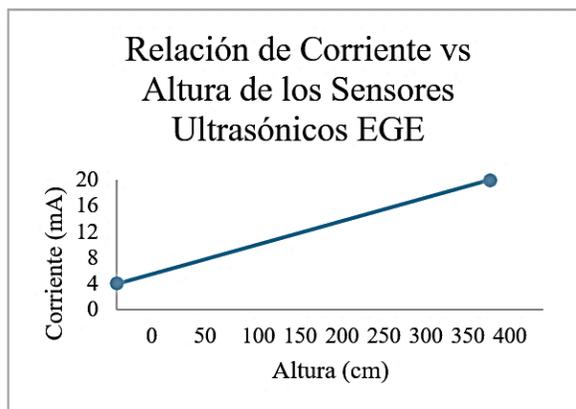


**Figura 61.** Sensor de nivel láser de “IFM” EFECTOR 01D100

Fuente: (Electronic, 2019)

#### 4.12. Construcción de Ecuación de Tendencia Lineal de Nivel

Para poder generar las ecuaciones lineales que gobiernan el comportamiento de medición de nivel de cada uno de los tanques de almacenamiento, se deben tomar en cuenta los detalles técnicos de los sensores ultrasónicos EGE, detallados en la Tabla 18 y en la Figura 62.



**Figura 62.** Relación de Corriente vs Altura de los Sensores Ultrasónicos EGE.

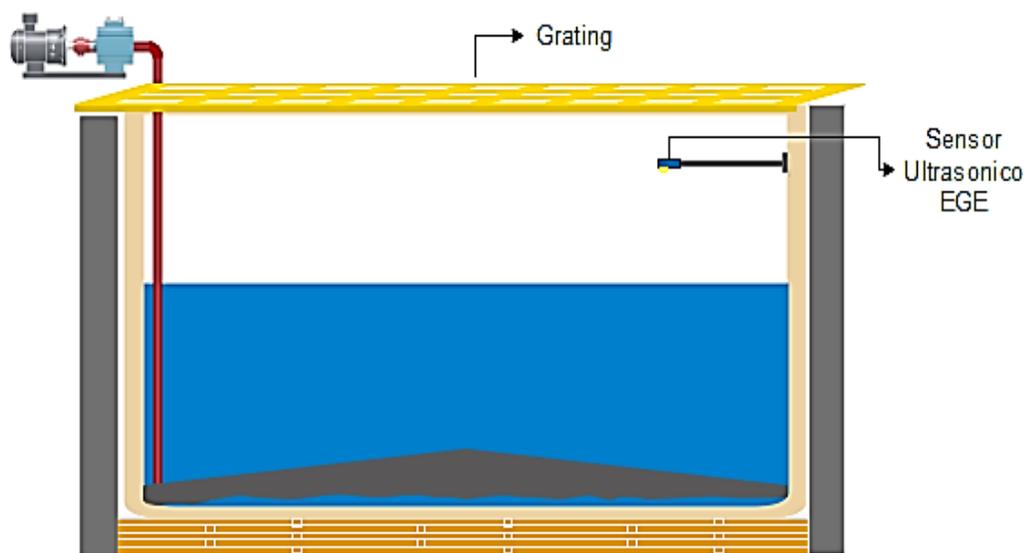
**Tabla 18**

*Valor Mínimo y Máximo del Sensor de Nivel Ultrasonnico EGE*

Nive l	Salida de Corriente	Calibración Potenciómetro	Salida de Voltaje
0 cm	4 [mA]	500 [ $\Omega$ ]	2 [V]
350 cm	20 [mA]	500 [ $\Omega$ ]	10 [V]

#### 4.12.1. Nivel Piscina de Almacenamiento

En la Piscina de Almacenamiento se encuentra instalado un sensor de nivel ultrasónico EGE ARKU 3500 como se muestra en la Figura 63, el cual tiene una salida lineal de corriente de 4 - 20 mA, estos valores están establecidos en base a la distancia mínima y máxima la cual está comprendida en el rango de 0 cm hasta 350 cm.

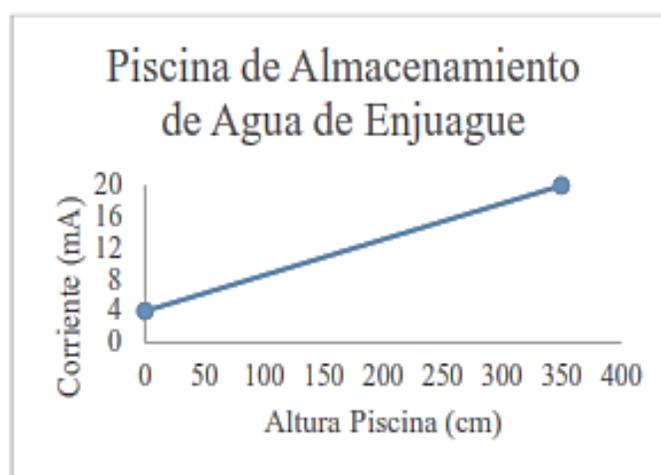


**Figura 63.** Sensor Ultrasonnico Piscina de Almacenamiento.

Una vez analizadas las características técnicas de los módulos de expansión analógicos que permiten la lectura en todas las entradas de voltaje se realizó la conversión de la salida de corriente a voltaje por medio de potenciómetros calibrados a una resistencia establecida de 500 [ $\Omega$ ], la gráfica de tendencia se puede observar en la Figura 64.

Los valores establecidos de volumen para el valor máximo y mínimo se representan en forma inversamente proporcional al crecimiento de la medición de altura como se muestra en la Tabla 19 y estos valores pueden variar dependiendo de las condiciones físicas de cada uno de los tanques de tratamiento, para la piscina de Almacenamiento los valores son los siguientes:

- **Valor Mínimo** = 0 a 30 cm = 0.61 → Valor Normalizado
- **Valor Máximo** = 350 cm = 0.92 → Valor Normalizado



**Figura 64.** Altura de la piscina de almacenamiento vs salida de corriente

**Tabla 19**

*Valor de Lectura Normalizado y Volumen en Litros de la Piscina de Almacenamiento.*

Numero de Medición	Valor Normalizado	Volumen en Litros
1	0.92	0
2	0.90	3350
3	0.89	6700
4	0.88	10050
5	0.86	13400
6	0.84	16750
7	0.83	20100
8	0.81	23450
9	0.79	26800
10	0.78	30150

CONTINUA →

11	0.77	33500
12	0.75	36850
13	0.74	40200
14	0.72	43550
15	0.71	46900
16	0.69	50250
17	0.68	53600
18	0.66	56950
19	0.65	60300
20	0.63	63650
21	0.61	67000

Una vez recolectados los datos del comportamiento del sensor ultrasónico, se genera una ecuación lineal, la cual describe la variación de nivel de la Piscina de Almacenamiento, se realizaron pruebas con la formación de ecuaciones de primer, segundo y tercer grado para obtener una tabla comparativa y escoger el modelo matemático que más se acerque a los valores del nivel de los datos medidos como se puede observar en la Tabla 20 y en la Figura 65.

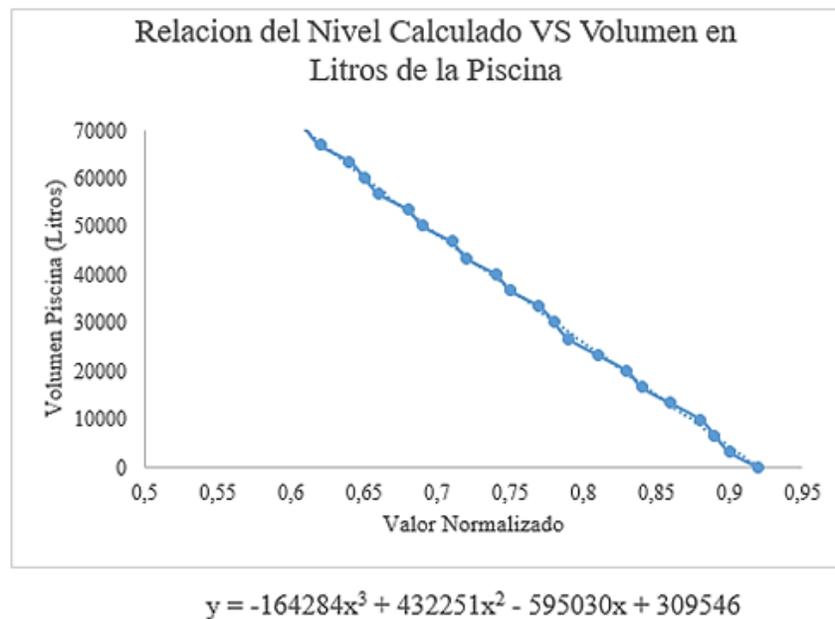
**Tabla 20**

*Comparación del Valor Medido y Valor Calculado*

Nivel Medido en Litros	Nivel Calculado Ecuación Lineal en Litros	Nivel Calculado Ecuación Cuadrática en Litros	Nivel Calculado Ecuación Cúbica en Litros
0	-602,72	268,49	29,67
3350	3895,1	4438,30	4379,27
6700	6144,01	6539,99	6540,19
10050	8392,92	8652,89	8699,83
13400	12890,74	12912,25	13019,22
16750	17388,56	17216,39	17345,32
20100	19637,47	19385,25	19513,36
23450	24135,29	23756,56	23864,33
26800	28633,11	28172,64	28241,73
30150	30882,02	30397,47	30442,81
33500	33130,93	32633,49	32653,45

CONTINUA →

36850	37628,75	37139,13	37107,38
40200	39877,66	39408,73	39352,63
43550	44375,48	43981,53	43884,65
46900	46624,39	46284,72	46173,38
50250	51122,21	50924,68	50801,23
53600	53371,12	53261,45	53142,32
56950	57868,94	57968,57	57883,74
60300	60117,85	60338,93	60286,06
63650	62366,76	62720,47	62710,75
67000	66864,58	67517,15	67631,21

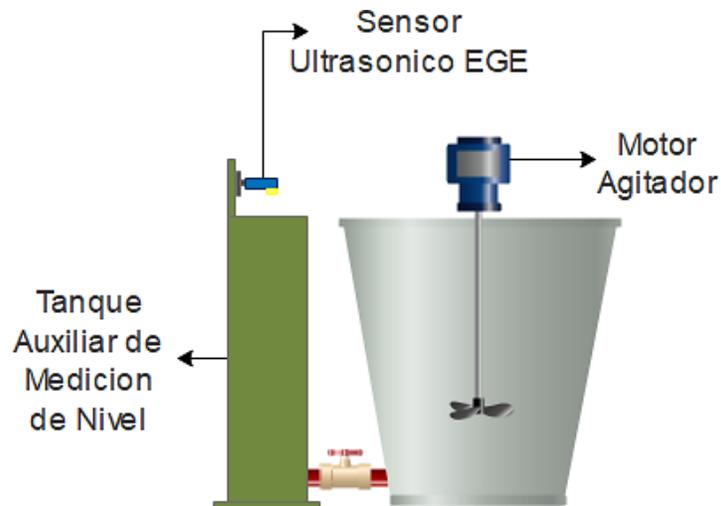


**Figura 65.** Ecuación de nivel de la Piscina de Almacenamiento.

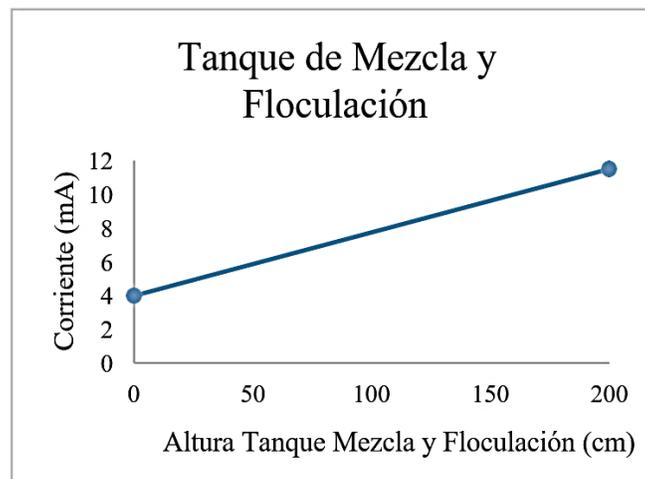
#### 4.12.2. Nivel Tanque de Mezcla y Tanque de Floculación

En el Tanque de Mezcla se encuentra instalado un sensor de nivel ultrasónico EGE ARKU 3500 como se muestra en la Figura 66, el cual tiene una salida lineal de corriente de 4 - 20 mA, estos valores están establecidos en base a la distancia mínima y máxima la cual está

comprendida en el rango de 0 cm hasta 200 cm, en la gráfica de tendencia se puede observar en la Figura 67.



**Figura 66.** Sensor Ultrasónico Tanque de Mezcla y Floculación



**Figura 67.** Altura del Tanque de Mezcla y Floculación vs salida de corriente

Los valores establecidos de volumen para el valor máximo y mínimo se representan en forma inversamente proporcional al crecimiento de la medición de altura como se muestra en la Tabla 2l, para los Tanques de Mezcla y Floculación se detallan los siguientes valores:

- **Valor Mínimo** = 0 a 30 cm = 0.61 → Valor Normalizado

- **Valor Máximo** = 180 cm = 0.84 → Valor Normalizado

**Tabla 21**

*Valor de Lectura Normalizado y Volumen en Litros del Tanque de Mezcla y Floculación*

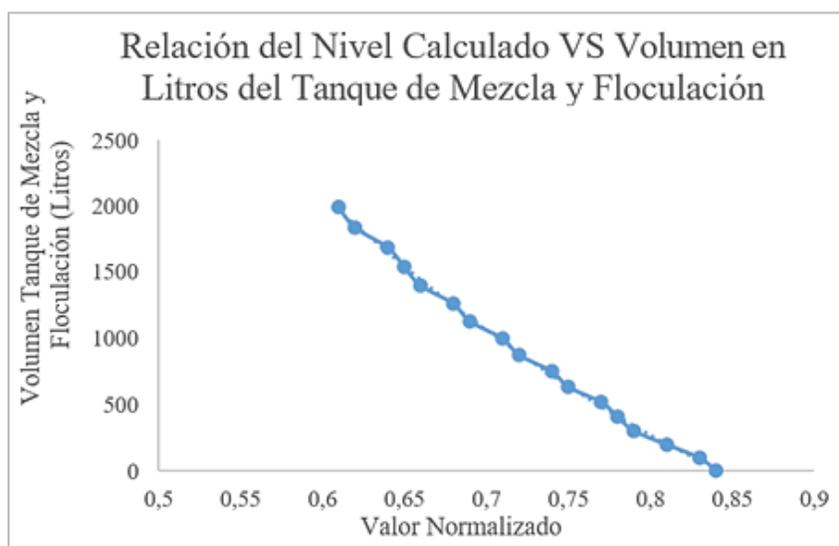
Número de Medición	Valor Normalizado	Volumen en Litros
1	0.84	0
2	0.83	96,72
3	0.81	196,85
4	0.79	300,46
5	0.78	407,6
6	0.77	518,34
7	0.75	632,73
8	0.74	750,83
9	0.72	872,63
10	0.71	998,34
11	0.69	1127,94
12	0.68	1261,49
13	0.66	1399,04
14	0.65	1540,67
15	0.64	1686,42
16	0.62	1836,36
17	0.61	1990,55

Una vez recolectado los datos del comportamiento del sensor ultrasónico, se generó una ecuación lineal la cual describe la variación de nivel de los Tanques de Mezcla y Floculación, los que son exactamente iguales.

Se realizaron pruebas con la formación de ecuaciones de primer, segundo y tercer grado para obtener una tabla comparativa y escoger el modelo matemático que más se acerque a los valores del nivel de los datos medidos como se puede observar en la Tabla 22 y en la Figura 68.

**Tabla 22***Comparación del Valor Medido y Valor Calculado*

Nivel Medido en	Nivel Calculado Ecuación Lineal en Litros	Nivel Calculado Ecuación Cuadrática en Litros	Nivel Calculado Ecuación Cúbica en Litros
0	-78,752	13,0144	29,67
96,72	6,451	73,6136	4379,27
196,85	176,857	201,4864	6540,19
300,46	347,263	338,2584	8699,83
407,6	432,466	409,9816	13019,22
518,34	517,669	483,9296	17345,32
632,73	688,075	638,5	19513,36
750,83	773,278	739,1224	23864,33
872,63	943,684	887,0416	28241,73
998,34	1028,887	974,3384	30442,81
1127,9	1199,293	1155,6064	32653,45
1261,4	1284,496	1249,5776	37107,38
1399,0	1454,902	1444,1944	39352,63
1540,6	1540,105	1544,84	43884,65
1686,4	1625,308	1647,7104	46173,38
1836,3	1795,714	1860,1256	50801,23
1990,5	1880,917	1969,6704	53142,32

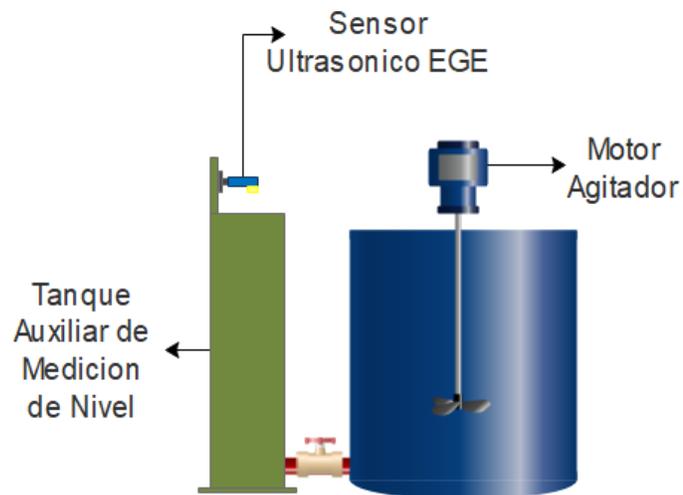


$$y = 11124x^2 - 24637x + 12859$$

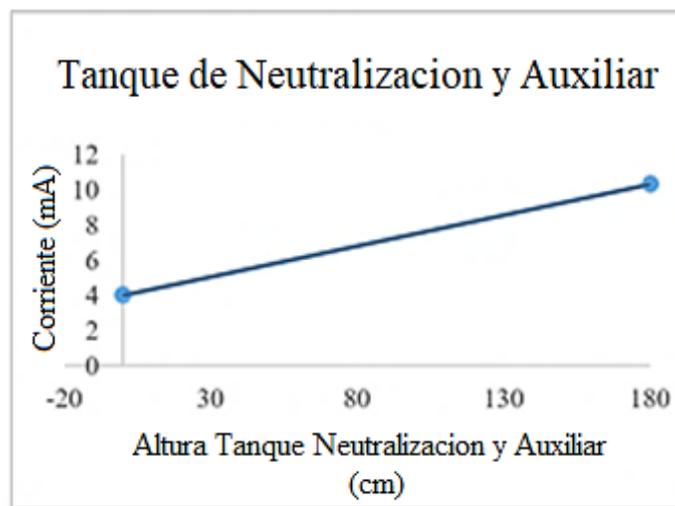
**Figura 68.** Ecuación de nivel Tanque Mezcla y Floculación.

#### 4.12.3. Nivel Tanque de Neutralización y Tanque Auxiliar

En el Tanque de Mezcla se encuentra instalado un sensor de nivel ultrasónico EGE ARKU 3500 como se muestra en la Figura 69, el cual tiene una salida lineal de corriente de 4 - 20 mA, estos valores están establecidos en base a la distancia mínima y máxima la cual está comprendida en el rango de 0 cm hasta 180 cm, la gráfica de tendencia se puede observar en la Figura 70.



**Figura 69.** Sensor Ultrasónico Tanque de Neutralización y Auxiliar



**Figura 70.** Altura del Tanque de Neutralización y Auxiliar vs salida de corriente.

Los valores establecidos de volumen para el valor máximo y mínimo se representan en forma inversamente proporcional al crecimiento de la medición de altura como se muestra en la Tabla 23, para los Tanques de Neutralización y Auxiliar se detallan los siguientes valores:

- **Valor Mínimo** = 0 a 30 cm = 0.61 → Valor Normalizado
- **Valor Máximo** = 180 cm = 0.82 → Valor Normalizado

**Tabla 23**

*Valor de Lectura Normalizado y Volumen en Litros del Tanque de Neutralización y Auxiliar*

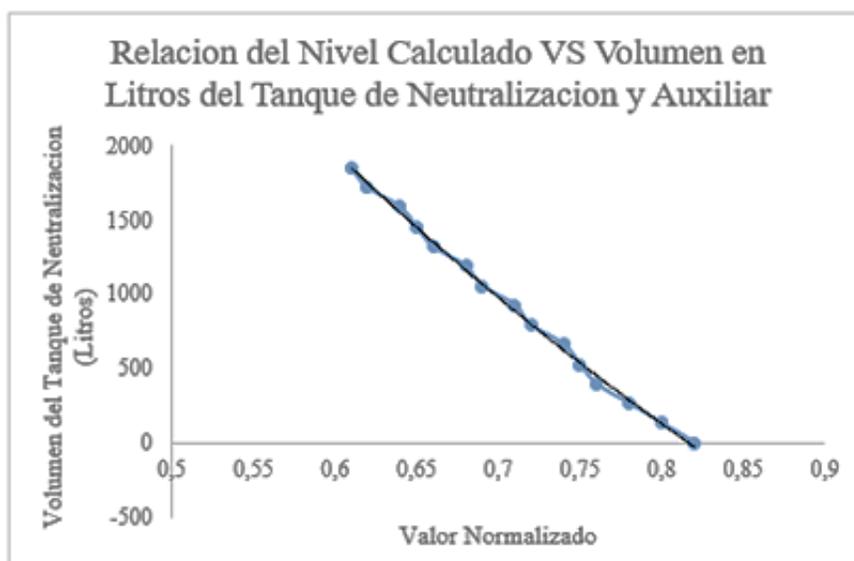
Número de Medición	Valor Normalizado	Volumen en Litros
1	0.82	0
2	0.8	132
3	0.78	264
4	0.76	396
5	0.75	528
6	0.74	660
7	0.72	792
8	0.71	924
9	0.69	1056
10	0.68	1188
11	0.66	1320
12	0.65	1452
13	0.64	1584
14	0.62	1716
15	0.61	1848

Una vez recolectado los datos del comportamiento del sensor ultrasónico, se genera una ecuación lineal la cual describe la variación de nivel del Tanque de Neutralización y Auxiliar ya que son exactamente iguales.

Se realizaron pruebas mediante la formación de ecuaciones de primer, segundo y tercer grado para obtener una tabla comparativa y escoger el modelo matemático que más se acerque a valores del nivel de los datos medidos como se puede observar en la Tabla 24 y la Figura 71.

**Tabla 24***Comparación del Valor Medido y Valor Calculado*

Nivel Medido en Litros	Nivel Calculado Ecuación Lineal en Litros	Nivel Calculado Ecuación Cuadrática en Litros	Nivel Calculado Ecuación Cúbica en Litros
0	-78,752	13,0144	29,67
96,72	6,451	73,6136	4379,27
196,85	176,857	201,4864	6540,19
300,46	347,263	338,2584	8699,83
407,6	432,466	409,9816	13019,22
518,34	517,669	483,9296	17345,32
632,73	688,075	638,5	19513,36
750,83	773,278	719,1224	23864,33
872,63	943,684	887,0416	28241,73
998,34	1028,887	974,3384	30442,81
1127,94	1199,293	1155,6064	32653,45
1261,49	1284,496	1249,5776	37107,38
1399,04	1454,902	1444,1944	39352,63
1540,67	1540,105	1544,84	43884,65
1686,42	1625,308	1647,7104	46173,38
1836,36	1795,714	1860,1256	50801,23
1990,55	1880,917	1969,6704	53142,32

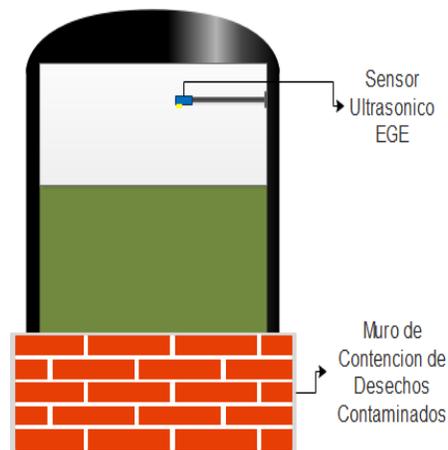


$$y = 6205,6x^2 - 17794x + 10393$$

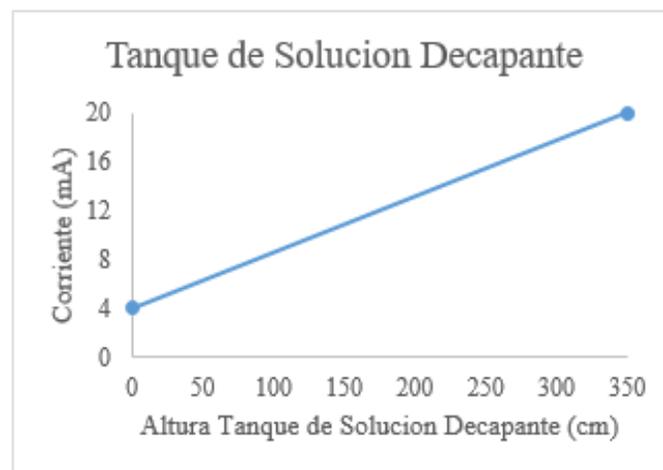
**Figura 71.** Ecuación de nivel del Tanque de Neutralización y Auxiliar

#### 4.12.4. Nivel Tanque de Solución Decapante

En el Tanque de solución decapante se encuentra instalado un sensor de nivel ultrasónico EGE ARKU 3500 como se muestra en la Figura 72, el cual tiene una salida lineal de corriente de 4 - 20 mA, estos valores están establecidos en base a la distancia mínima y máxima la cual está comprendida en el rango de 0 cm hasta 350 cm la gráfica de tendencia se puede observar en la Figura 73.



**Figura 72.** Sensor Ultrasónico Instalado en el Tanque de Solución Decapante



**Figura 73.** Altura del Tanque de Solución Decapante vs salida de corriente

Los valores establecidos de voltaje para el valor máximo y mínimo se representan en forma inversamente proporcional al crecimiento de la medición de altura como se muestra en la Tabla 25, para el Tanque de Solución Decapante los valores son los siguientes:

- **Valor Mínimo** = 0 a 30 cm = 0.61 → Valor Normalizado
- **Valor Máximo** = 350 cm = 0.95 → Valor Normalizado.

**Tabla 25**

*Valor de Lectura Normalizado y el Volumen en Litros del Tanque de Solución Decapante.*

Número de Medición	Valor Normalizado	Volumen en Litros
1	0.95	0
2	0.94	580
3	0.92	1160
4	0.90	1740
5	0.89	2320
6	0.88	2900
7	0.86	3480
8	0.84	4060
9	0.83	4640
10	0.82	5220
11	0.8	5800
12	0.78	6380
13	0.77	6960
14	0.75	7540
15	0.74	8120
16	0.72	8700
17	0.71	9280
18	0.69	9860
19	0.68	10440
20	0.66	11020
21	0.65	11600
22	0.64	12180
23	0.62	12760
24	0.61	13340

Una vez recolectado los datos del comportamiento del sensor ultrasónico, se genera una ecuación lineal la cual describe la variación de nivel del Tanque de Solución Decapante, se realizaron pruebas mediante la formación de ecuaciones de primer, segundo y tercer grado para obtener una tabla comparativa y escoger el modelo matemático que más se acerque a los valores del nivel de los datos medidos como se puede observar en la Tabla 26 y en la Figura 74.

**Tabla 26**  
*Comparación del Valor Medido y Valor Calculado*

Nivel Medido	Nivel Calculado Ecuación Lineal	Nivel Calculado Ecuación Cuadrática	Nivel Calculado Ecuación Cubica
0	-2,55	101,02175	29,575625
580	383,34	468,25612	423,29988
1160	1155,12	1206,09488	1202,18816
1740	1926,9	1948,427	1971,355
2320	2312,79	2321,27807	2352,927455
2900	2698,68	2695,25248	2732,83104
3480	3470,46	3446,57132	3488,64692
4060	4242,24	4202,38352	4240,83328
4640	4628,13	4581,97463	4616,199965
5220	5014,02	4962,68908	4991,42076
5800	5785,8	5727,488	5742,44
6380	6557,58	6496,78028	6495,92164
6960	6943,47	6883,11143	6874,220435
7540	7715,25	7659,14375	7635,203125
8120	8101,14	8048,84492	8018,39468
8700	8872,92	8831,61728	8791,44736
9280	9258,81	9224,68847	9181,816145
9860	10030,59	10014,20087	9971,507755
10440	10416,48	10410,64208	10371,33824
11020	11188,26	11206,89452	11182,23772
11600	11574,15	11606,70575	11593,81438
12180	11960,04	12007,64032	12009,81408
12760	12731,82	12812,87948	12856,09796

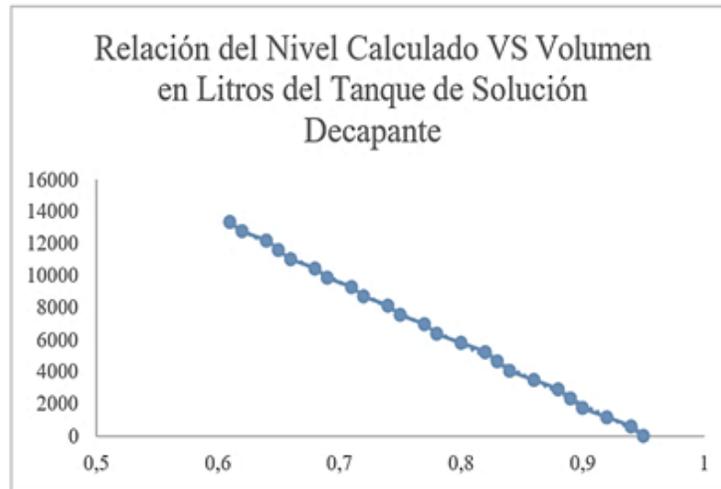
CONTINUA →

13340

13117,71

13217,18407

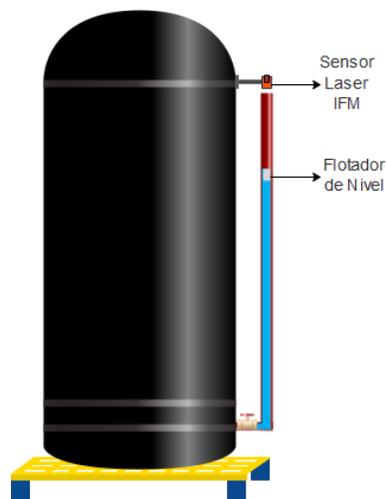
13286,8898



$$y = -42305x^3 + 104610x^2 - 123746x + 59449$$

**Figura 74.** Ecuación de nivel del Tanque de Solución Decapante.

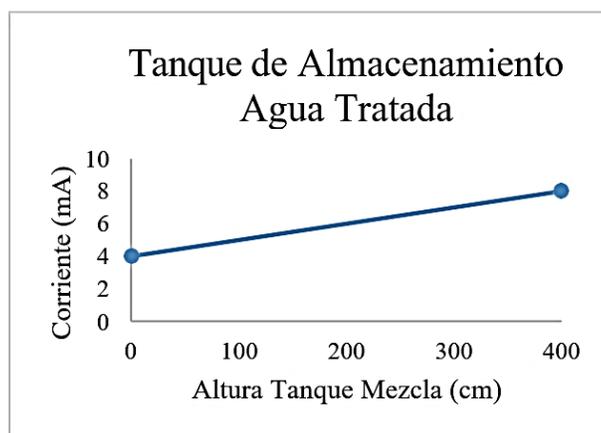
#### 4.12.5. Nivel Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada



**Figura 75.** Sensor Ultrasónico del Tanque de Almacenamiento de Agua de Tratada.

En el Tanque de Almacenamiento se encuentra instalado un sensor de nivel láser EFECTOR200 “01D100” como se muestra en la Figura 75, el cual tiene una salida lineal de corriente de 4 - 20 mA y tiene una distancia de medición de hasta 10 metros, estos valores están

establecidos en base a la distancia mínima y máxima la cual está comprendida en el rango de 0 cm hasta 450 cm la gráfica de tendencia se puede observar en la Figura 76.



**Figura 76.** Altura del Tanque de Agua Tratada vs salida de corriente

Los valores establecidos de volumen para el valor máximo y mínimo se representan en forma inversamente proporcional al crecimiento de la medición de altura como se muestra en la Tabla 27, para el Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada se obtienen los siguientes valores:

- **Valor Mínimo** = 0 a 30 cm = 50.01 → Valor Normalizado
- **Valor Máximo** = 450 cm = 119.97 → Valor Normalizado

**Tabla 27**

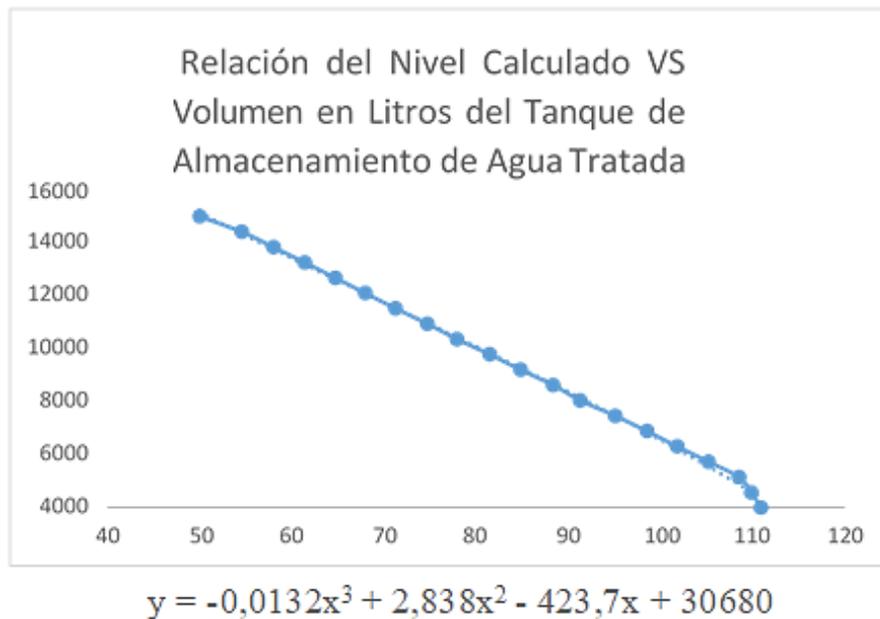
*Valor de Lectura Normalizado y el Volumen en Litros del Tanque de Almacenamiento*

Número de Medición	Valor Normalizado	Volumen en Litros
1	110,97	0
2	109,94	775
3	108,6	1550
4	105,3	2325
5	101,9	3100
6	98,6	3875
7	95,15	4650
8	91,35	5425

CONTINUA →

9	88,43	6200
10	84,87	6975
11	81,54	7750
12	77,97	8525
13	74,75	9300
14	71,31	10075
15	68,01	10850
16	64,77	11625
17	61,44	12400
18	58,06	13175
19	54,6	13950
20	50,01	14725

Una vez recolectado los datos del comportamiento del sensor láser, se genera una ecuación lineal la cual describe la variación de nivel del Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada, se realizaron pruebas con la formación de ecuaciones de primer, segundo y tercer grado para obtener una tabla comparativa y escoger el modelo matemático que más se acerque a los valores del nivel de los datos medidos como se puede observar en la Tabla 28 y en la Figura 77.



**Figura 77.** Ecuación de nivel del Tanque de Agua de Enjuague.

**Tabla 28***Comparación del Valor Medido y Valor Calculado*

Nivel Medido	Nivel Calculado Ecuación Lineal	Nivel Calculado Ecuación Cuadrática	Nivel Calculado Ecuación Cubica
0	792,117	609,0067467	572,0146665
775	1033,034	872,7085549	860,3045381
1550	1346,46	1214,537412	1230,560941
2325	2118,33	2050,378473	2120,387844
3100	2913,59	2902,657017	3006,869041
3875	3685,46	3721,239012	3840,777101
4650	4492,415	4567,940168	4687,798665
5425	5381,235	5489,785778	5595,257388
6200	6064,223	6190,49273	6277,044965
6975	6896,907	7035,775534	7093,146606
7750	7675,794	7817,492445	7844,456762
8525	8510,817	8645,935053	8640,362327
9300	9263,975	9384,624356	9352,679456
10075	10068,591	10164,84119	10110,93339
10850	10840,461	10904,62395	10838,60119
11625	11598,297	11622,68582	11556,09023
12400	12377,184	12352,15483	12299,51059
13175	13167,766	13083,72491	13063,29316
13950	13977,06	13823,37325	13857,93044
14725	15050,661	14790,16166	14937,61109

#### 4.13. Instrumento de medida de pH

El proceso realizado en la planta Ptari tiene como objetivo retirar todos los desechos sólidos y controlar el pH del agua para que esta pueda ser reutilizada o desechada de manera que no perjudique al ecosistema, para cumplir con estos propósitos se tienen instalados dos sensores de pH PHCN-37 de la marca OMEGA como se muestra en la Figura 78, para medir la acidez o la alcalinidad del agua residual.



**Figura 78.** Sensor de pH PHCN-37 de la marca OMEGA

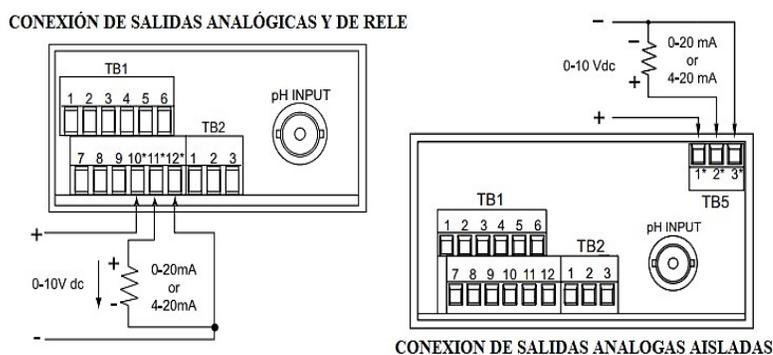
Fuente: (OMEGA M. , 2018).

Los valores de pH son visualizados desde el sistema HMI por medio de la generación de ecuaciones lineales que determinan el comportamiento del sensor, con datos obtenidos de las salidas analógicas entregadas por el controlador OMEGA, las configuraciones de los pines de salida se pueden apreciar en la Figura 79.

La salida TB1 es una salida digital programable directamente desde el controlador en el cual se pueden establecer 2 rangos pH de activación, para lo cual cuenta con dos relés de estado sólido para la conmutación de sus contactos NO o NC, la salida TB2 es la salida analógica directa del controlador PHCN-37 configurable para la lectura de voltaje de 0 a 10 Vdc o para corriente en rangos de 0 a 20 mA o 4 a 20 mA.

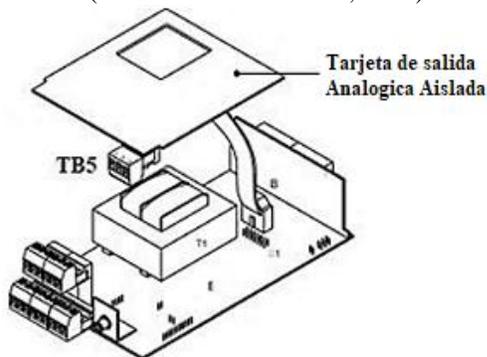
Esta salida fue utilizada para la medición directa con la interfaz HMI, pero se pudo evidenciar que esta salida era muy sensible a ruido dentro de la red eléctrica o malas conexiones, la cual inmediatamente ocasionaba la descalibración del equipo, por lo que se decidió realizar la compra de la tarjeta de salidas analógicas aisladas TB5, para garantizar la integridad del equipo.

Como se muestra en la Figura 79 la imagen de la izquierda muestra los conectores que viene establecidos para la lectura analógica, en la Figura 79 a la derecha muestra la configuración de salidas de un módulo adicional llamado TB5, el cual es una tarjeta independiente la cual permite que la lectura analógica del controlador, no afecte a la integridad del mismo en caso de falla eléctrica o mala conexión como se muestra en la Figura 80.



**Figura 79.** Diagrama de salidas analógicas (Der.) y analógicas aisladas (Izq.).

Fuente: (MANUALES OMEGA, 2018)



**Figura 80.** Diagrama de conexiones de la tarjeta de Salidas Analógicas Aisladas

Fuente: (MANUALES OMEGA, 2018).

#### 4.13.1. Cálculos de Medición de pH del Tanque de Mezcla

El Tanque de Mezcla cuenta con un sensor de pH ya que en este tanque se adiciona Hidróxido de Calcio o Hidróxido de Sodio para poder elevar el valor del pH del Agua de

Enjuague “ADE” o de la Solución Decapante “SDEC” hasta el valor de 12 pH, es de vital importancia la colocación del electrodo y la mezcla homogénea del agua residual ya que de esto depende la cantidad de Hidróxido utilizado el cual mientras mayor cantidad se adicione al tratamiento de agua, mayor es el gasto de la empresa para adquirirlo.

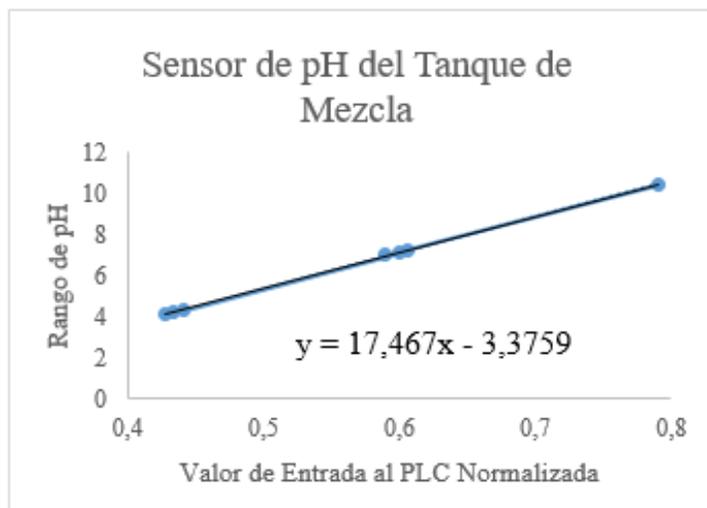
Además se debe tomar en cuenta que el uso del Hidróxido de Sodio es limitado y regulado por el CONSEP (Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas), porque es usado para la separación de los alcaloides (TELÉGRAFO, 2014).

El sensor de pH ha sido conectado en la salida analógica de voltaje de 0 a 10 Vdc, puesto que la distancia del sensor al tablero de control donde se encuentra el PLC Siemens S7-1200 es relativamente corta, por lo que no afectaría a la lectura la caída de tensión, se realizó la recolección de datos para elaborar la ecuación lineal de comportamiento los cuales se detallan en la Tabla 29 y se muestran en la Figura 81.

**Tabla 29**

*Valor de Lectura Normalizado y medición de pH del Tanque de Mezcla*

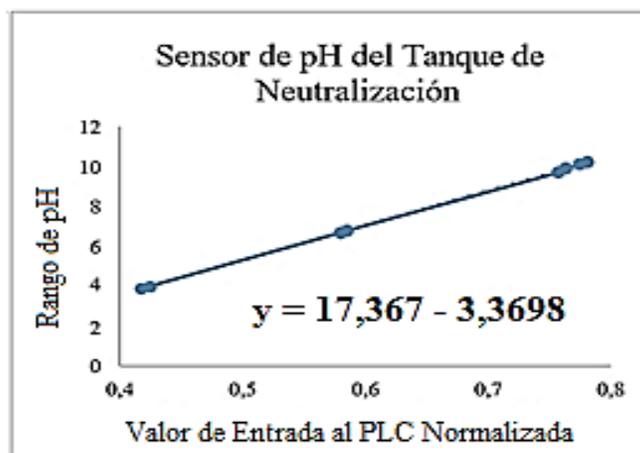
Número de Medición	Valor Normalizado	Rango de pH Medido	Rango de pH Calculado Ecuación Lineal
1	0,43	4,10	4,10
2	0,43	4,20	4,20
3	0,44	4,30	4,32
4	0,61	7	6,93
5	0,60	7,10	7,10
6	0,59	7,20	7,21
7	0,79	10,4	10,42



**Figura 81.** Ecuación característica del sensor de pH del Tanque de Mezcla

#### 4.13.2. Cálculos de Medición de pH del Tanque de Neutralización

El Tanque de Neutralización cuenta con un sensor de pH el cual está encargado de controlar que el agua residual ya filtrada de residuos sólidos por el filtro prensa, mantenga el pH lo más cercano al neutro es decir 7 pH, para lo cual se le adiciona Ácido Clorhídrico para reducir su alcalinidad hasta llegar a un rango de valores permitidos comprendidos entre el 7 pH y 9 pH.



**Figura 82.** Ecuación característica del sensor de pH del Tanque de Mezcla.

El sensor de pH ha sido conectado en la salida analógica de voltaje de 0 a 10 Vdc, puesto que la distancia del sensor al tablero de control donde se encuentra el Plc Siemens S7-1200 es relativamente corta, por lo que no afectaría a la lectura la caída de tensión, se realizó la recolección de datos para elaborar la ecuación lineal de comportamiento los cuales se muestran los cuales se detallan en la Tabla 30 y se muestran en la Figura 82.

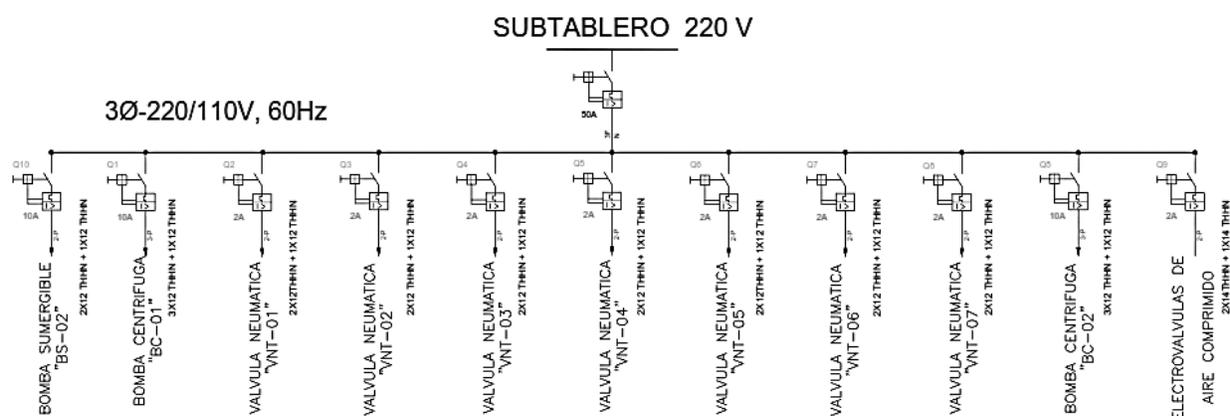
**Tabla 30**

*Valor de Lectura Normalizado y medición de pH del Tanque de Neutralización*

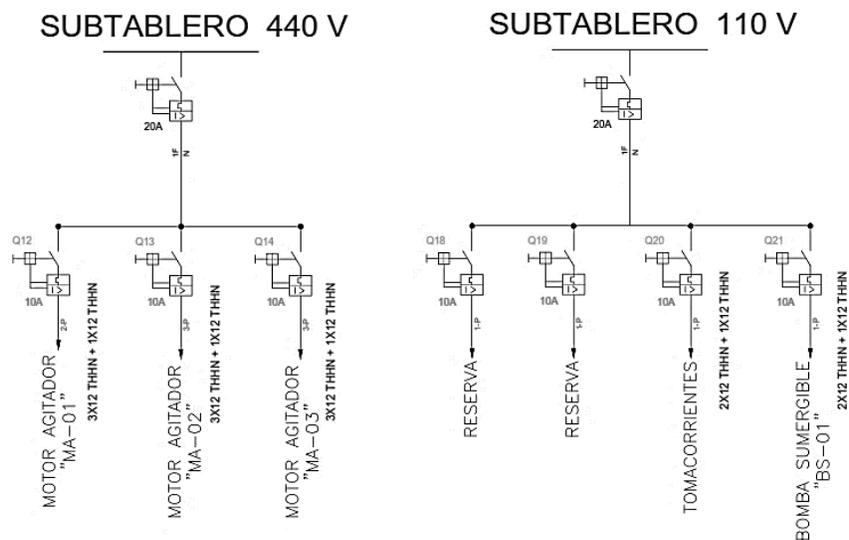
Número de Medición	Valor Normalizado	Rango de pH Medido	Rango de pH Calculado Ecuación Lineal
1	0,41	3,90	3,89
2	0,42	4	4,01
3	0,58	6,70	6,73
4	0,75	9,70	9,77
5	0,76	9,90	9,88
6	0,77	10,10	10,07
7	0,78	10,20	10,18

#### 4.14. Diagrama Eléctrico Unifilar del Tablero de Control

El diagrama unifilar del tablero de control se muestra en la Figura 83 y en la Figura 84, tomando en cuenta los diferentes voltajes de alimentación para los dispositivos de maniobra en la planta de tratamiento de agua Ptari.



**Figura 83.**Diagrama unifilar del tablero de control.



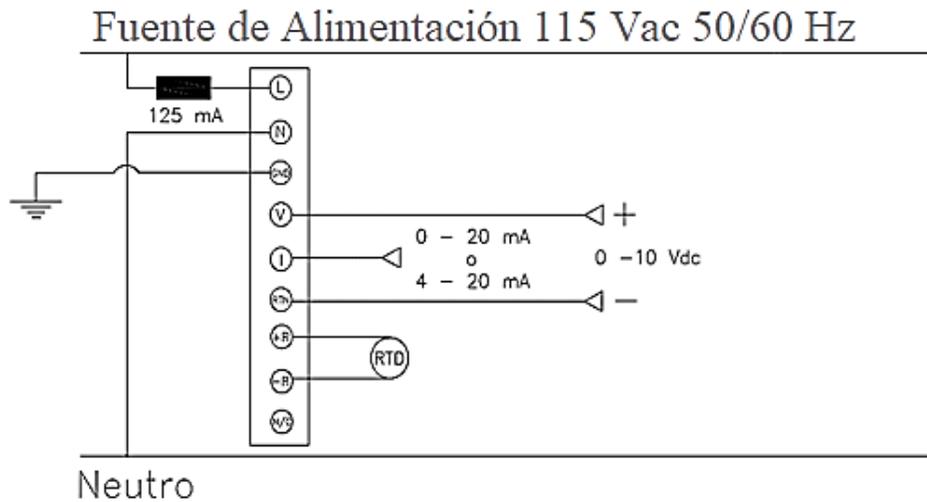
**Figura 84.** Diagramas Eléctricos Unifilares Especiales

Los diagramas eléctricos unifilares de conexión de cada uno de los sensores que conforman la planta de tratamiento de agua Ptari que se muestran a continuación, constituyen una guía de instalación para evitar fallas eléctricas o daños en los dispositivos de instrumentación ocasionados por mala manipulación o maniobra.

#### 4.14.1. Sensor de pH de la marca OMEGA

El diagrama unifilar detallado en la Figura 85 muestra la correcta alimentación del sensor de pH de la marca OMEGA PHCN-37, así como también los pines de conexión para la lectura de las señales de corriente en un rango de 0 – 20 mA o 4 – 20 mA y para voltaje en un rango de 0 a 10 Vdc y la instalación de un RTD (pt-100) para la medición de la temperatura.

Además, se identifica el voltaje de alimentación y el fusible necesario para protección, trabaja a frecuencias de 50 y 60 Hz y es indispensable tener una buena puesta a tierra con una diferencia de potencial mínima.

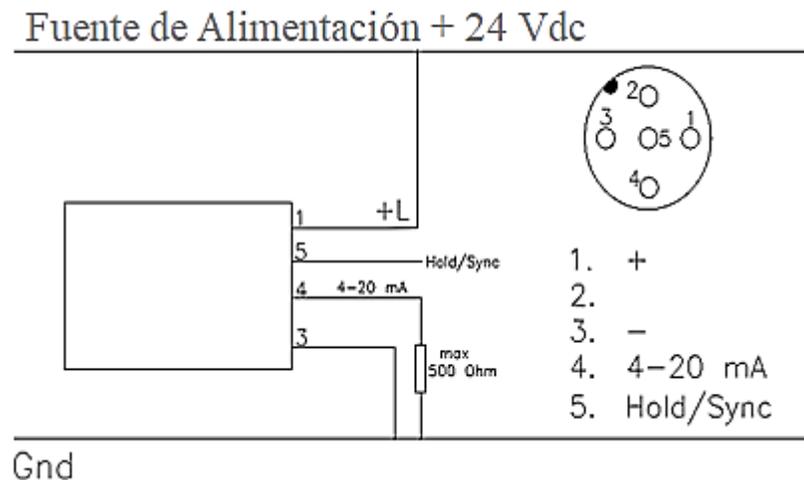


**Figura 85.** Diagrama unifilar del sensor de pH PHCN-37.

Fuente: (OMEGA E. , 2018)

#### 4.14.2. Sensor de Nivel de la marca EGE

El diagrama unifilar detallado en la Figura 86 muestra la correcta alimentación del sensor de nivel de la marca EGE ARKU 3500, así como también los pines de conexión para la lectura de las señales de corriente en un rango de 4 – 20 mA.



**Figura 86.** Diagrama unifilar del sensor de nivel ARKU 3500.

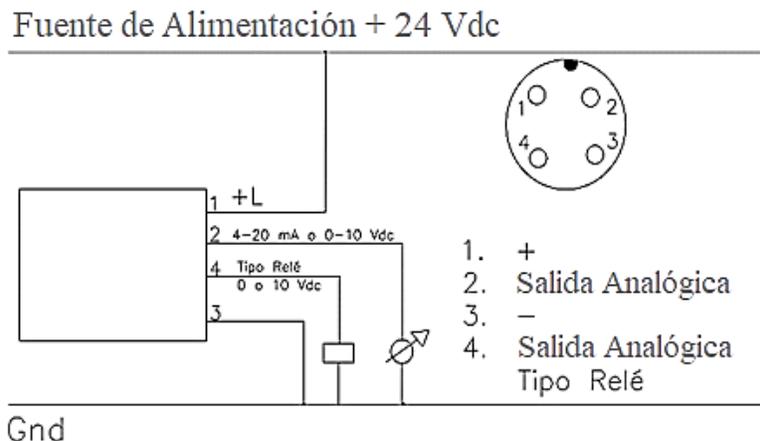
Fuente: (Ege-elektronik.com, 2018)

Así como también el valor máximo de la resistencia que se debe colocar para transformar la señal de corriente a voltaje sin generar caída de tensión, este sensor puede obtener señales hasta una altura máxima de 3500 mm y puede perder la señal de envío al momento de ingresar a una sustancia con espuma.

#### 4.14.3. Sensor de Nivel de la marca EFECTOR

El diagrama unifilar detallado en la Figura 87 muestra la correcta alimentación del sensor de nivel de la marca EFECTOR 01D100, así como también los pines de conexión para la lectura de las señales de corriente en un rango de 4 – 20 mA y una salida de voltaje de 0 – 10 Vdc.

Este sensor cuenta con dos salidas configurables tipo relé con un valor de 0 o 10 Vdc y también permite la configuración de 1 de estas salidas de manera analógica con un valor de 0 – 10 Vdc, la cual permite escalar los valores para construir una ecuación lineal de comportamiento. Este sensor puede medir una distancia máxima de 10000 mm (10 metros).



**Figura 87.** Diagrama unifilar del sensor de nivel EFECTOR 01D100.

Fuente: (Electronic, 2019)

#### 4.15. Software del sistema HMI

El software de diseño de las pantallas HMI seleccionado es el software Intouch de

Wonderware, es un sistema interactivo diseñado para la visualización de procesos, la supervisión y el control de todos los elementos de industriales.

El software de desarrollo se compone de dos paquetes, uno de desarrollo llamado Windows y el otro llamado ejecutable, ambos cuentan con una librería extensa de control de 512 PLC's, y otra de imágenes prediseñadas con más de 500 símbolos gráficos las que permiten ser modificadas según las necesidades del diseñador.

Además, el software Intouch cuenta con la suficiente información de usuario manuales y tutoriales los cuales facilitan el manejo del programa, brindando al diseñador la suficiente información para realizar el diseño de la interfaz HMI.

A continuación, se detallan los requisitos del Sistema Operativo:

- Windows XP SP3 Professional 32 bits/Windows Vista SP2 Business o Ultimate 32 o 64 bits/Windows 7 SP1 Professional o Ultimate 32 o 64 bits.
- PC con un procesador de 1,2 GHz.
- 1 GB de RAM.
- 100 GB de espacio libre en el disco duro.
- Tarjeta gráfica y pantalla con resolución Super VGA (1024x768) o superior.
- Unidad de disco CD-ROM o DVD (para la instalación).

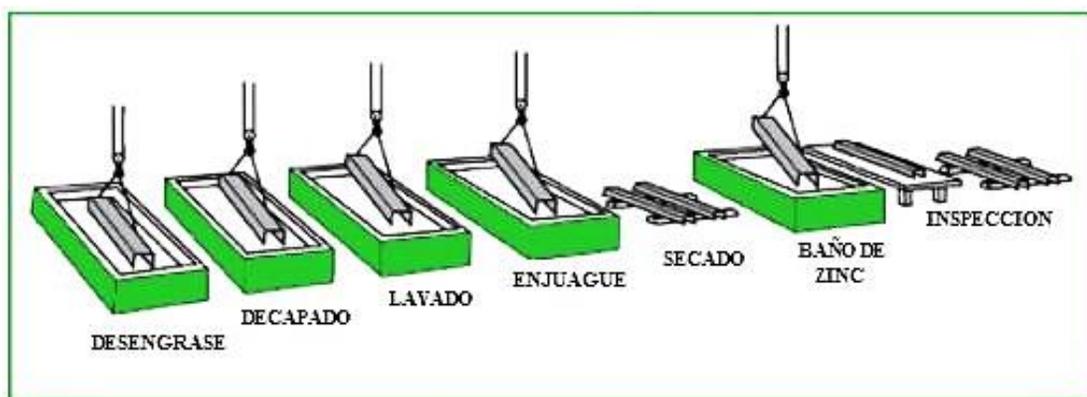
## CAPÍTULO 5

### 5. INGENIERÍA DE DETALLE

#### 5.1. Detalle de proceso de tratamiento de agua residual

En la planta de tratamiento PTARI se procesan dos tipos diferentes de agua contaminada producidos por la planta de Galvanizado por inmersión en caliente, cada una con diferentes características en su composición, razón por la cual no pueden ser tratadas con una misma estructura de proceso.

Según (Gorostidi, 2013) el proceso de galvanizado es un proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro, para proteger el acero contra la corrosión. El recubrimiento que protege el metal se lo impregna por medio de inmersión en tinas de zinc fundido a una temperatura de 450 °C, el proceso de tratamiento superficial mediante galvanizado comprende varias etapas que se muestran en la Figura 88.



**Figura 88.** Tratamiento Superficial de Galvanizado por Inmersión.

Fuente: (Gorostidi, 2013)

La primera es Agua de Enjuague “ADE” la cual como su nombre lo indica, sirve para el

enjuague de las estructuras metálicas que han sido sumergidas en ácidos y realizar la limpieza completa de estructuras metálicas, para evitar que, al realizar la inmersión en la siguiente tina con ácidos, exista la contaminación del ácido actual con el anterior (Gorostidi, 2013).

La composición del “ADE” se puede identificar en la Tabla 31.

**Tabla 31**

*Especificaciones técnicas de la composición del “ADE”*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno “DB05”	mg/l	<2
Demanda Química de Oxígeno “DQ0”	mg/l	330
Sólidos en suspensión	mg/l	90
Sólidos totales disueltos	mg/l	5130
pH (in situ)		1,7
Temperatura (in situ)	°C	19
Aceites y Grasas	mg/l	759,3
Hierro	mg/l	29
Zinc	mg/l	500

Fuente: (AAI NAgant, 2009)

La segunda es Solución Decapante “SDEC” que es el residuo de las tinas de ácido una vez que han cumplido su ciclo de trabajo. Estas recogen los residuos sólidos, grasas e impurezas en la estructura metálica tratada, los cuales hacen que los ácidos en su interior pierdan sus propiedades químicas y formen sedimentos muy espesos (Gorostidi, 2013).

La composición de la Solución Decapante se puede identificar en la Tabla 32.

**Tabla 32**

*Especificaciones técnicas de la composición del “SDEC”*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno “DB05”	mg/l	< 2
Demanda Química de Oxígeno “DQ0”	mg/l	1620
Sólidos en suspensión	mg/l	1790
Sólidos totales disueltos	mg/l	223970
pH (in situ)		0,15
Temperatura (in situ)	°C	

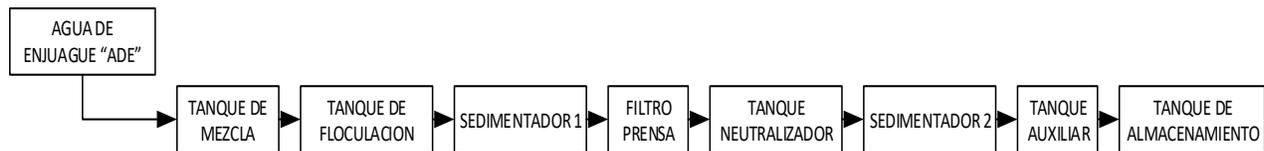
CONTINUA →

Aceites y Grasas	mg/l	42,3
Hierro	mg/l	3480
Zinc	mg/l	455

Fuente: (AAI NAgant, 2009)

### 5.1.1. Diagrama de Flujo de Proceso de Agua de Enjuague “ADE”

En la Figura 91 se muestra mediante un diagrama de flujo, la secuencia completa del proceso automático del tratamiento del ADE y la activación de cada uno de los dispositivos de maniobra que conforman la planta para este proceso, especificando la secuencia de cada uno de los tanques de tratamiento que conforman dicho proceso como se muestra en la Figura 89.



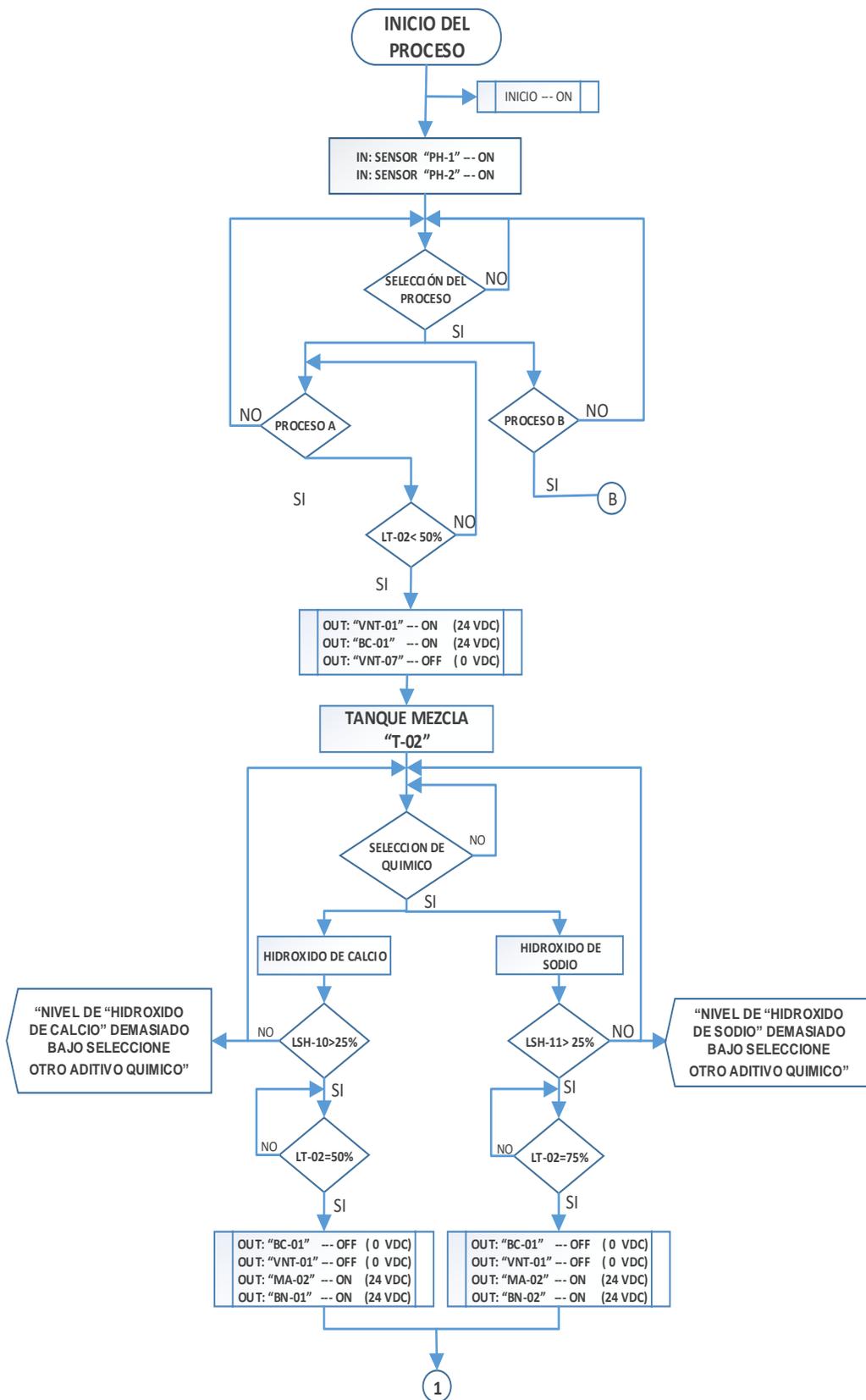
**Figura 89.** Secuencia de tratamiento de ADE

### 5.1.2. Diagrama de Flujo de Proceso de Solución Decapante

En la Figura 92 se muestra mediante un diagrama de flujo, la secuencia completa del proceso automático del tratamiento de SDEC y la activación de cada uno de los dispositivos de maniobra que conforman la planta para este proceso, especificando la secuencia de cada uno de los tanques de tratamiento que conforman el proceso del SDEC como se muestra en la Figura 90.

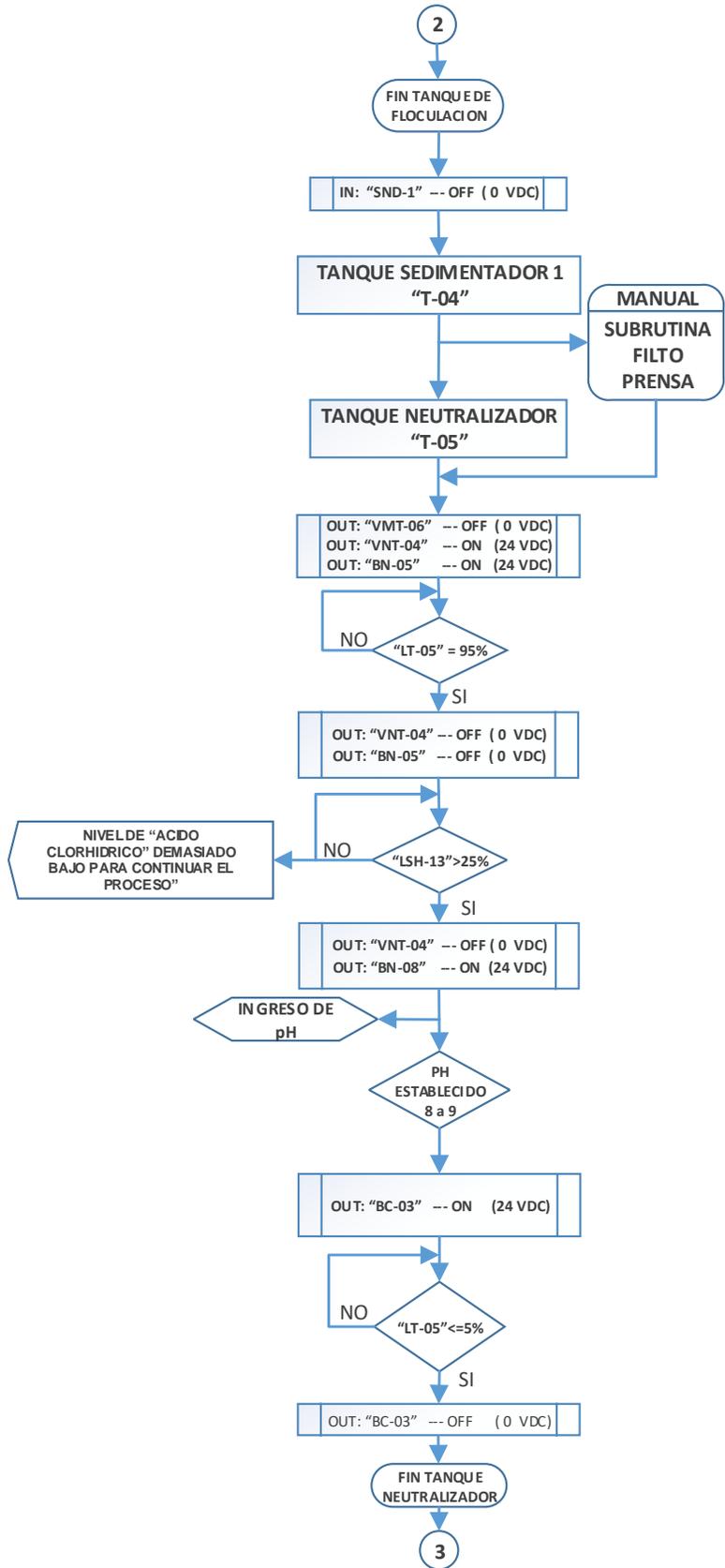


**Figura 90.** Secuencia de tratamiento de SDEC

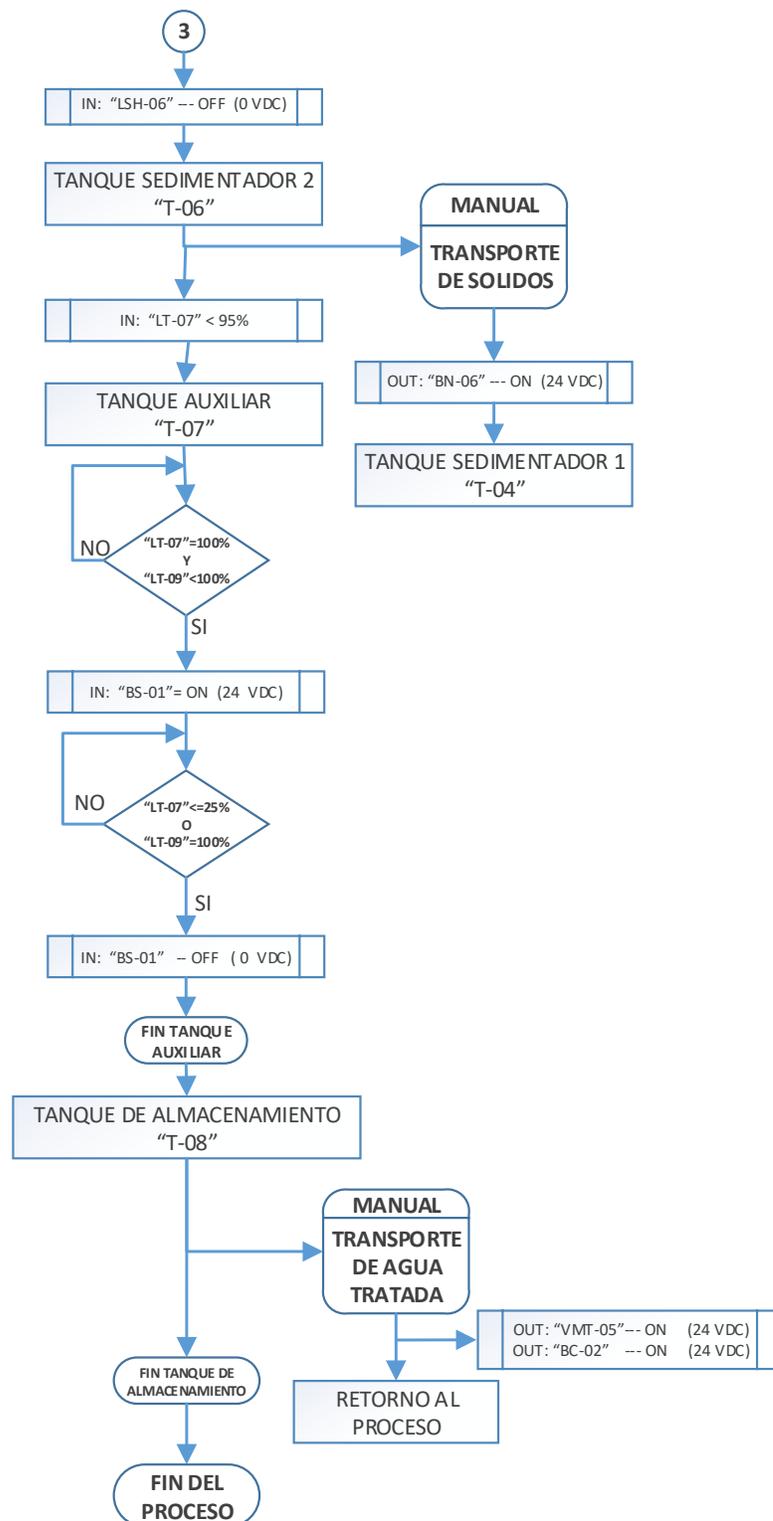


CONTINUA →

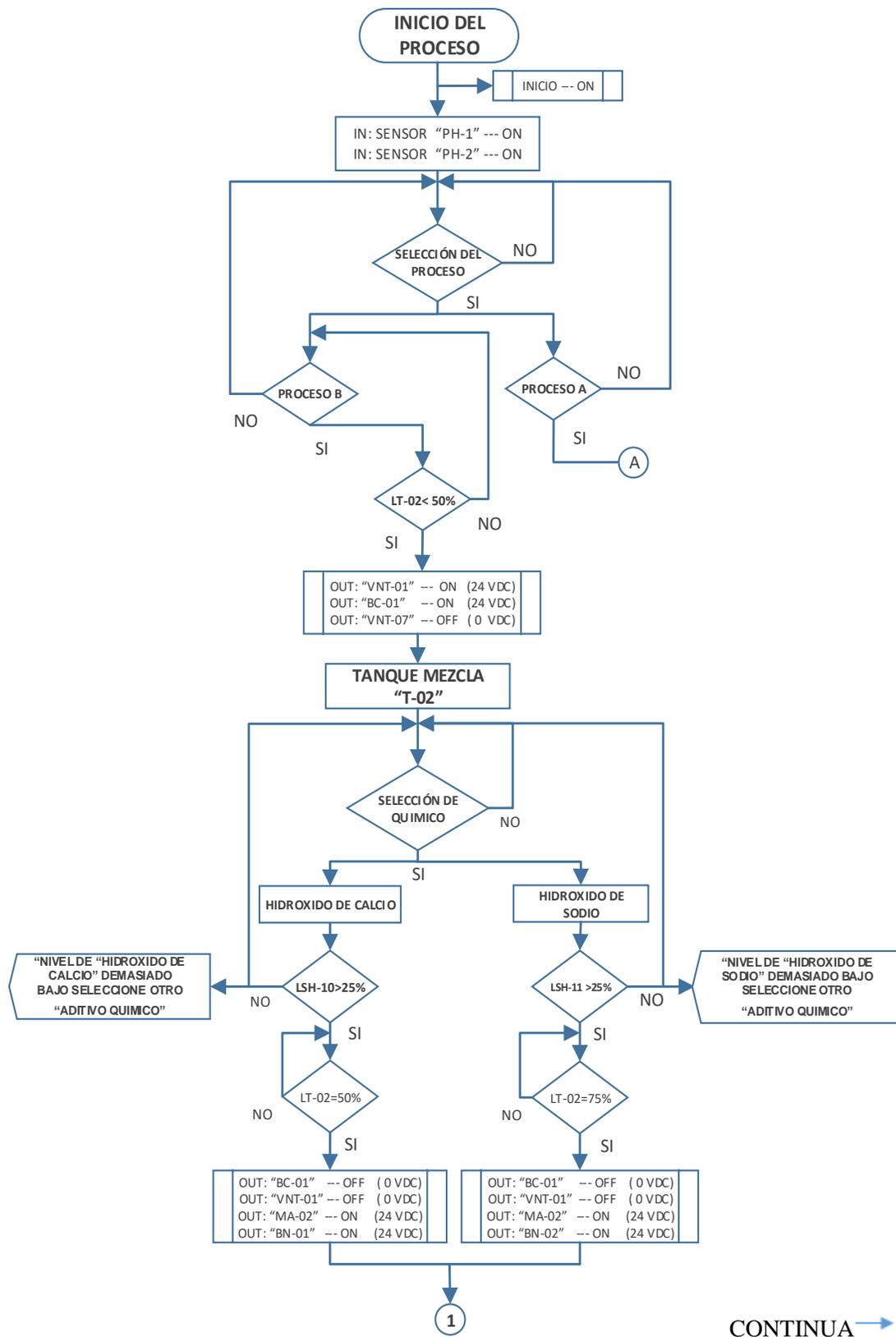


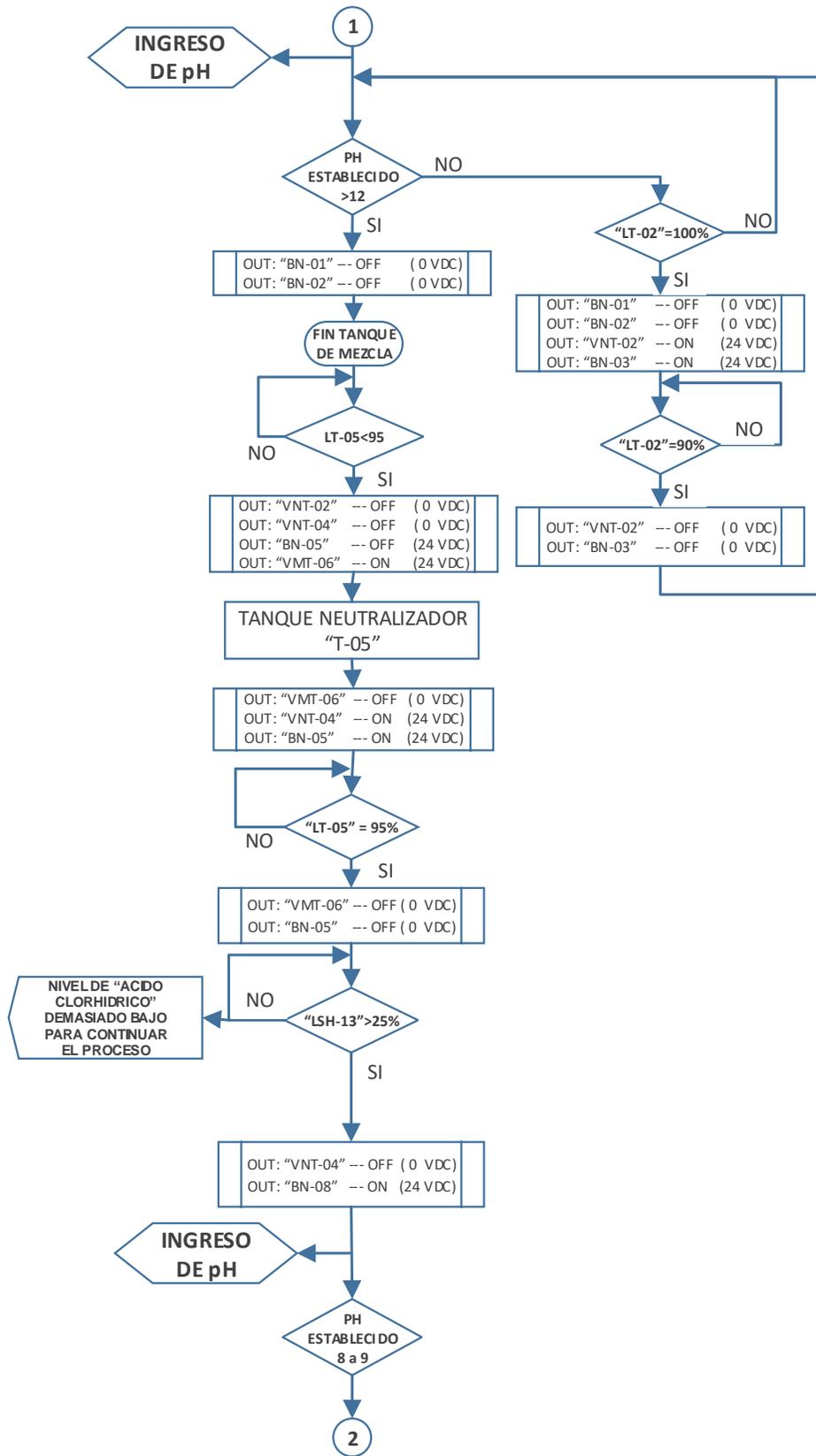


CONTINUA →



**Figura 91.** Diagrama de proceso Automático de Agua de Enjuague.





CONTINUA →

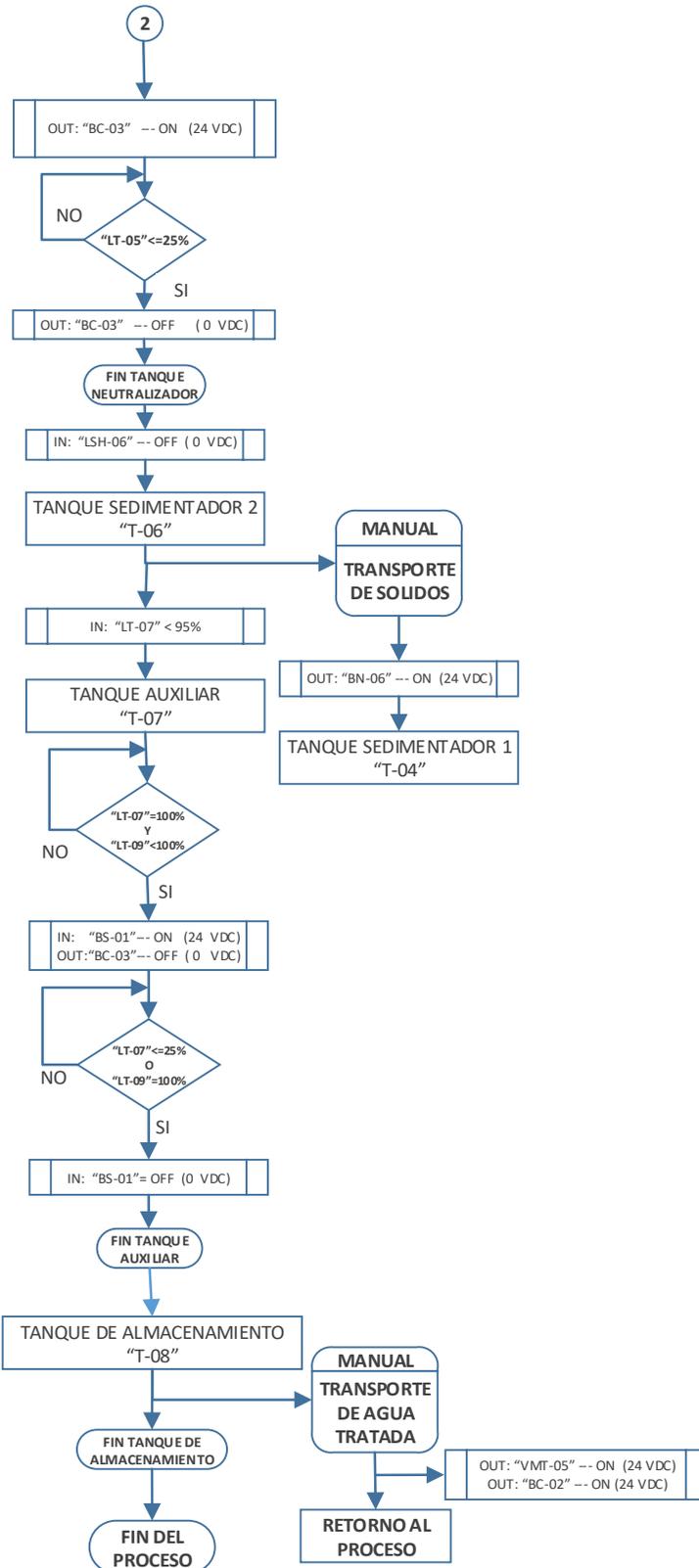


Figura 92. Diagrama de proceso Automático de Solución Decapante.

## 5.2. Listas de Tags

Las listas de Tags utilizadas tanto en el desarrollo del sistema HMI como del programa de control manual y automático se encuentran en el Anexo del presente proyecto denominado como lista de Tag.

### 5.2.1. Direccionamiento de Entradas Discretas

La programación del PLC de la planta de tratamiento de agua controlará y supervisará el tratamiento de cada uno de los tanques de proceso, mediante la adición de químicos para la regulación de pH, el control de nivel, en modo manual y automático, para lo cual se establecieron las siguientes variables de control tanto para entradas como para salidas discretas mostradas en la Tabla 33.

**Tabla 33**

*Descripción de Entradas y Tags del controlador S7-1200 "Ptari"*

ENTRADAS DISCRETAS		
Entradas	Tags	Descripción
I0.0	PULSADOR_EMERGENCIA1	Pulsador de paro de Emergencia 1.
I0.1	PROCESO_AUTOMÁTICO	Pulsador de selección del Proceso Automático.
I0.2	AGUA_DE_ENJUAGUE	Pulsador de selección del Agua de Enjuague.
I0.3	SOLUCIÓN_DECAPANTE	Pulsador de selección de Solución Decapante.
I0.4	PARO_PROCESO_AUTOMÁTICO	Pulsador de paro de Proceso Automático.
I0.5	FALLA_ELÉCTRICA	Entrada de señal de aviso de Falla Eléctrica.
I0.6	INICIO AUTOMÁTICO	Pulsador de inicio de Proceso Automático.
I1.0	RESET EMERGENCIA	Pulsador de apagado de Balizas de Emergencias.
I1.1	ACT_FP	Señal de aviso de encendido del motor del Filtro Prensa.
I1.3	PULSADOR DE SELECCIÓN DE QUÍMICO	Pulsador de selección Manual de Aditivo Químico.
I1.4	FINAL DE CARRERA FILTRO PRENSA	Lectura de estado del Final de Carrera del Filtro Prensa.
I8.0	FLOTADOR_PISCINA	Flotador de máxima capacidad de la Piscina de Almacenamiento.

CONTINUA →

I8.1	FLOTADOR_T.FLOCULACIÓN	Flotador de máxima capacidad del Tanque de Floculación.
I8.2	FLOTADOR_MEZCLA	Flotador de máxima capacidad del Tanque de Mezcla.
I8.3	FLOTADOR SEDIMENTADOR1	Flotador de máxima capacidad del Tanque de Sedimentador 1.
I8.4	FLOTADOR FLOCULANTE	Flotador de mínima capacidad del Tanque de reserva de Floculante.
I8.5	FLOTADOR HIDRÓXIDO DE SODIO	Flotador de mínima capacidad del Tanque de reserva del Hidróxido de Sodio.
I8.6	FLOTADOR HIDRÓXIDO DE CALCIO	Flotador de mínima capacidad del Tanque de reserva del Hidróxido de Calcio.
I8.7	FLOTADOR ÁCIDO CLORHÍDRICO	Flotador de mínima capacidad del Tanque de reserva del Ácido Clorhídrico.
I9.0	FLOTADOR AUXILIAR	Flotador de máxima capacidad del Tanque Auxiliar.
I9.1	FLOTADOR SOLUCIÓN DECAPANTE	Flotador de máxima capacidad del Tanque de Solución Decapante.
I9.2	FLOTADOR T.ALMACENAMIENTO	Flotador de máxima capacidad del Tanque de Almacenamiento.
I9.3	FLOTADOR SEDIMENTADOR2	Flotador de máxima capacidad del Tanque de Sedimentador 2.
I9.4	FLOTADOR NEUTRALIZADOR	Flotador de máxima capacidad del Tanque de Neutralización.
I9.6	INICIO_PROC_MANUAL_ADE_QUIMICOS	Pulsador de inicio de tratamiento de agua residual en modo Automático.
I12.7	PULSADOR_EMERGENCIA2	Pulsador de paro de Emergencia 2.

### 5.2.2. Direccionamiento de Salidas Discretas

Las descripciones de cada una de las salidas discretas para la activación de los dispositivos de la planta de tratamiento utilizadas para el desarrollo de este proyecto se detallan en la Tabla 34.

**Tabla 34**

*Descripción de Salidas y Tags del controlador S7-1200 "Ptari"*

SALIDAS DISCRETAS		
Entradas	Tag	Descripción
Q0.0	BALIZA_EMERGENCIA1	Activación Baliza de Emergencia 1.
Q0.1	VÁLVULA_VNT_01	Activación bobina de relé arranque Válvula Neumática 1.
Q0.2	BOMBA_CENTRÍFUGA_BC_01	Activación bobina de relé arranque Bomba centrífuga1.

CONTINUA →

Q0.3	MOTOR_AGITADOR_MA_01	Activación bobina de relé arranque Motor Agitador 1.
Q0.4	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_01	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 1.
Q0.5	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_02	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 2.
Q0.6	MOTOR_AGITADOR_MA_02	Activación bobina de relé arranque Motor Agitador 2.
Q0.7	VÀLVULA_VNT_02	Activación bobina de relé arranque Válvula Neumática 2.
Q1.0	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_03	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 3.
Q1.1	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_04	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 4.
Q8.0	MOTOR_AGITADOR_MA_03	Activación bobina de relé arranque Motor Agitador 3.
Q8.1	VÀLVULA_VNT_03	Activación bobina de relé arranque Válvula Neumática 3.
Q8.2	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_07	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 7.
Q8.3	MOTOR_AGITADOR_MA_04	Activación bobina de relé arranque Motor Agitador 4.
Q8.4	BOMBA CENTRÌFUGA BC_03	Activación bobina de relé arranque Bomba Centrífuga 3.
Q8.5	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_06	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 6.
Q8.6	BOMBA_SUMERGIBLE_BS_02	Activación bobina de relé arranque Bomba Sumergible 2.
Q8.7	VÀLVULA_VNT_05	Activación bobina de relé arranque Válvula Neumática 5.
Q9.0	BOMBA CENTRÌFUGA_BC_02	Activación bobina de relé arranque Bomba Centrífuga 2.
Q9.1	FILTRO_PRENSA	Encendido de Filtro Prensa.
Q9.2	APERTURA PLACAS FILTRO PRENSA	Activación de apertura de placas.
Q9.3	CIERRE PLACAS FILTRO PRENSA	Activación de cierre de placas.
Q9.4	VÀLVULA_VNT_04	Activación bobina de relé arranque Válvula Neumática 4.
Q9.5	VÀLVULA_VMT_06	Activación bobina de relé arranque Válvula Motorizada 6.
Q9.6	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_05	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 5.
Q9.7	VÀLVULA_VNT_07	Activación bobina de relé arranque Válvula Neumática 7.
Q12.0	BOMBA_NEUMÀTICA_BN_08	Activación bobina de relé arranque Bomba Neumática 8.
Q12.1	VAPORIZADOR	Activación bobina de relé arranque Vaporizador.
Q12.2	LUZ PROCESO AUTOMÀTICO	Activación Luz Indicadora de Proceso Automático.
Q12.3	LUZ AGUA DE ENJUAGUE	Activación Luz Indicadora de Agua de Enjuague.
Q12.4	LUZ SOLUCION DECAPANTE	Activación Luz Indicadora de Solución Decapante.
	LUZ INICIO PROCESO AUTOMÀTICO	Activación Luz Indicadora de Inicio de

Q12.5		Proceso Automático.
Q12.6	LUZ PARO PROCESO AUTOMÀTICO	Activación Luz Indicadora de Paro de Proceso Automático.
Q12.7	LUZ PROCESO MANUAL	Activación Luz Indicadora de Proceso Manual.
Q13.0	ALARMA HORAS DE TRABAJO FILTRO PRENSA	Activación Luz Indicadora de Horas de Trabajo del Filtro Prensa.
Q13.1	HIDRÒXIDO DE SODIO	Activación Luz Indicadora de Hidróxido de Sodio.
Q13.2	HIDRÒXIDO DE CALCIO	Activación Luz Indicadora de Hidróxido de Calcio.
Q13.3	ARRANQUE MOTOR FILTRO PRENSA	Activación bobina de relé arranque del Filtro Prensa.
Q13.4	AUX_MA_02	Activación auxiliar arranque Motor Agitador 2.
Q13.5	AUX_MA_03	Activación auxiliar arranque Motor Agitador 3.
Q13.6	AUX_MA_04	Activación auxiliar arranque Motor Agitador 4.
Q13.7	BALIZA_EMERGENCIA2	Activación Baliza de Emergencia 2

### 5.3. Diseño y Construcción Banco de Potenciómetros

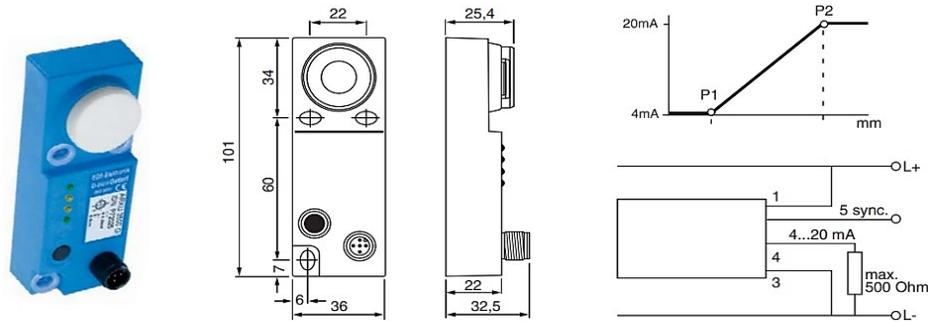
Una vez analizados cada uno de los tanques de tratamiento, se toma en cuenta el número de sensores ultrasónicos que se necesitan para la medición de nivel, los cuales entregan una señal de corriente en un rango de 4 a 20 mA, con las siguientes características de diseño, según se muestra en la Tabla 35 y en la Figura 93.

**Tabla 35**

*Especificaciones técnicas del Sensor de Nivel Ultrasónico EGE*

SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO EGE	
Modelo	ARKU 3500 GI
Rango de Medición	300 a 3500 mm
Salida Analógica	4 a 20 mA
Voltaje de Alimentación	15 a 30 VDC
Respetabilidad	±0,2%
Temperatura Ambiente	-15 a +70 °C
Protección IP	IP 67

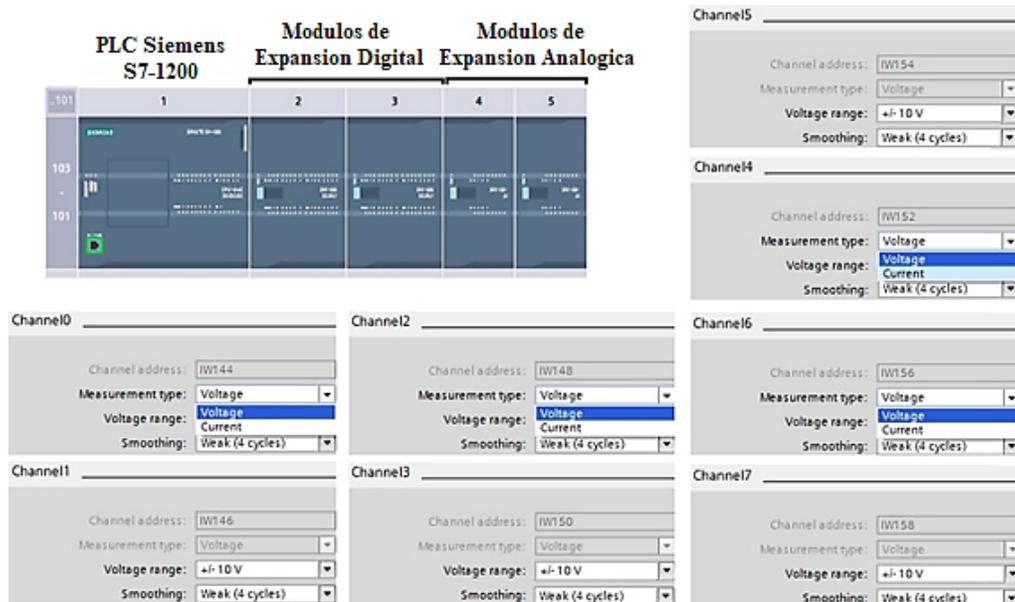
Fuente: (Ege-elektronik.com, 2018).



**Figura 93.** Sensor Ultrasonico EGE.

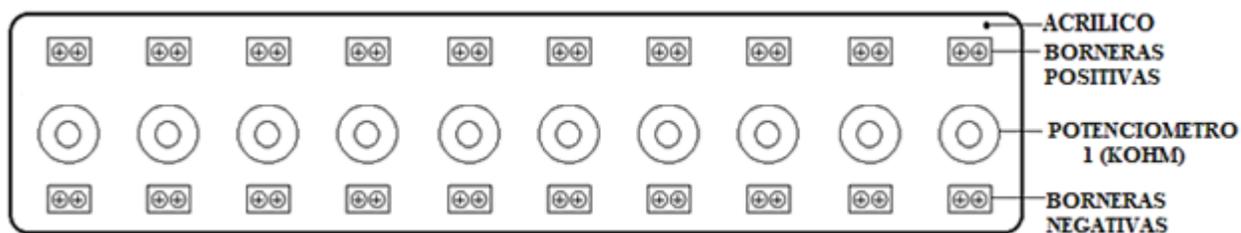
Fuente: (Ege-elektronik.com, 2018)

Al analizar las características de los sensores de nivel se debe tomar en cuenta que en los módulos de expansión analógicos del PLC S7-1200, no todas las entradas permiten la lectura de corriente, pero si todas las entradas admiten la lectura de voltaje como se muestran en la Figura 94, por tal razón se tomó la decisión de construir un banco de potenciómetros el cual transforme la salida de corriente de los sensores a voltaje como se muestra en la Figura 95.



**Figura 94.** Selección de Entradas Analógicas de Voltaje y Corriente

Fuente: (Siemens, 2017).



**Figura 95.** Diseño de Banco de Potenciómetros.

### 5.3.1. Direccinamiento de Entradas Analógicas

La programación del controlador de la planta de tratamiento de agua, controlará y supervisará el tratamiento de cada uno de los tanques de proceso, mediante la adquisición de datos de nivel por medio de los sensores ultrasónicos, para lo cual se establecieron las siguientes variables de control para entradas analógicas mostradas en la Figura 96 y detallada en la Tabla 36.



**Figura 96.** Banco de Potenciómetros

**Tabla 36**

*Descripción de Entradas Analógicas y Tags del controlador S7-1200 "Ptari"*

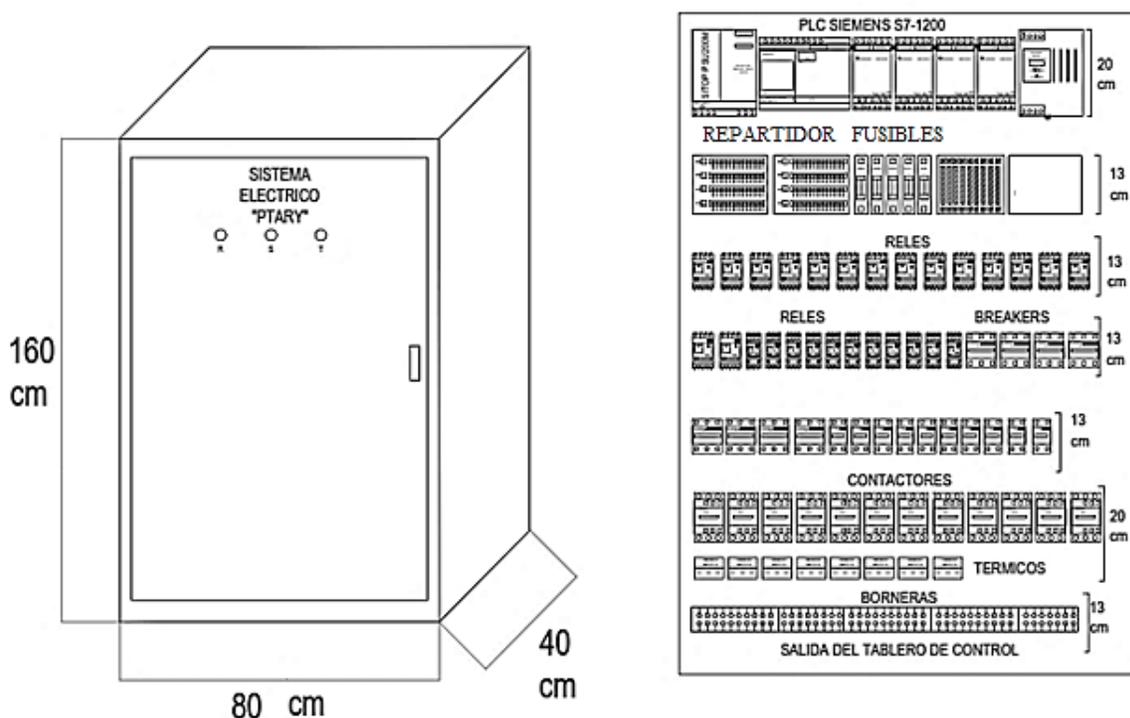
ENTRADAS ANALÓGICAS		
Entradas	Tag	Descripción
IW128	SENSOR_NIVEL_PISCINA	Entrada del sensor de nivel de la Piscina de Almacenamiento.
IW130	SENSOR_NIVEL_T.MEZCLA	Entrada del sensor de nivel del Tanque de Mezcla.
IW134	SENSOR_NIVEL_T.FLOCULACIÓN	Entrada del sensor de nivel del Tanque de Floculación.
IW136	SENSOR_NIVEL_T.NEUTRALIZACIÓN	Entrada del sensor de nivel del Tanque de Neutralización.
IW138	SENSOR_NIVEL_T.AUXILIAR	Entrada del sensor de nivel del Tanque Auxiliar.

CONTINUA →

#### 5.4. Diseño e Implementación del Tablero de Control

El tablero de control de la planta de tratamiento Ptari fue diseñado en base al nuevo proceso y condiciones de tratamiento de las diferentes aguas residuales producidas por el proceso de galvanizado, tomando en cuenta todos los dispositivos que conforman el sistema de control para realizar el dimensionamiento y plano del armario de control.

El diseño estructural y de distribución de elementos de maniobra se muestra en la Figura 97, Figura 98 y está detallada en la Tabla 37.

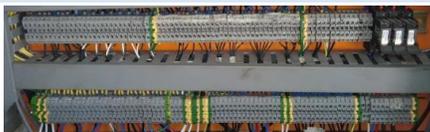


**Figura 97.** Diseño del Armario de control Ptari.

**Tabla 37***Detalle de Instalación de Dispositivos de maniobra en el Tablero de Control*

<b>TABLERO DE CONTROL PLANTA PTARI</b>	
<b>PRIMERA FILA</b>	
	<p><b>Descripción</b> Es el área de controladores de la Ptari, conformado con el PLC S7-1200 y sus módulos de expansión analógicos y digitales y de las fuentes de alimentación de los dispositivos de 24 Vdc y del PLC.</p> <p><b>Elementos</b>            1 Plc Siemens S7-1200            2 Módulos de expansión Digital            2 Módulos de expansión Analógica            1 Fuente de Alimentación 24 Vdc SCHNEIDER 10 A            1 Fuente de Alimentación de 24 Vdc SIEMENS 10 A</p>
<b>SEGUNDA FILA</b>	
	<p><b>Descripción</b> En esta área se encuentra instalado un seguidor de fase y dispositivos de protección eléctrica para los sensores de pH (Fusibles y Breakers), además se encuentra instalado el banco de potenciómetros.</p> <p><b>Elementos</b>            1 Seguidor de Fases            5 Breakers de 2 polos            4 Porta Fusibles            1 Banco de Potenciómetros</p>
<b>TERCERA FILA</b>	
	<p><b>Elementos</b> En esta área se realiza la distribución eléctrica de los voltajes de alimentación de 440 y 220 trifásico y 24 Vdc.</p> <p><b>Marca</b> 4 cajas repartidoras de fase Legrand</p>
<b>CUARTA FILA</b>	
	<p><b>Descripción</b> Esta área están instalados relés de 24 Vdc universales que realizan una activación directa de los elementos de control.</p> <p><b>Elementos</b>            14 relés universales con base de 8 pines            1 relé miniatura</p>
<b>QUINTA FILA</b>	
	<p><b>Descripción</b> Área de activación de relés miniatura por medio de las salidas digitales del PLC, las cuales activan los Contactores además Breakers de alimentación de los motores Agitadores.</p> <p><b>Elementos</b>            13 Relés Miniatura con base de 8 pines            4 Breakers de 3 polos</p>
<b>SEXTA FILA</b>	
	<p><b>Descripción</b> Área de alimentación, distribución y protección de dispositivos de maniobra por medio de Breakers.</p> <p><b>Elementos</b>            4 Breakers de 3 polos            10 Breakers de 2 polos</p>

CONTINUA →

**SÉPTIMA FILA**

**Descripción** Área de activación de bombas centrifugas, sumergibles, Válvulas Motorizadas, etc.

**Elementos** 12 Contactores SCHNEIDER

**OCTAVA Y NOVENA FILA**

**Descripción** Área de distribución de entradas y salidas de los dispositivos de maniobra con los dispositivos de campo.

**Elementos** 200 Borneras

El sistema HMI diseñado permite la visualización y el control de todos los dispositivos que conforman la planta de tratamiento en tiempo real, pero como forma de contingencia a cualquier fallo producido en la computadora central.

Se realizó un sistema de control en paralelo al sistema SCADA, el cual por medio de pulsadores y luces indicadoras, interactúan directamente con el PLC en la selección de proceso Automático, con los diferentes aditivos químicos ya sea Hidróxido de Sodio o Hidróxido de Calcio, además de inicio y paro del proceso.



**Figura 98.** Implementación del Tablero de control Ptari

Se debe tomar en cuenta que estos pulsadores solo permiten la selección del proceso automático, puesto que realizar de esta manera el sistema de control manual significaría la instalación de una gran cantidad de pulsadores y luces indicadoras, este sistema de control sirve como contingencia en el caso de falla de comunicación del sistema HMI con el PLC.

Además de una forma de mostrar el estado en la que se encuentra la planta de tratamiento a los operadores, por medio de luces indicadoras de estado instaladas en la puerta del tablero de control, además este sistema tiene instalado un horómetro que cuenta las horas de trabajo del filtro prensa y dos contadores de pulso, los cuales cuentan las fallas eléctricas producidas y el número de veces que se ha presionado la parada de emergencia. La distribución de los elementos se puede observar en la Figura 98.



**Figura 99.** Sistema de Control por pulsadores de la planta Ptari.

## 5.5. Dimensionamiento de Conductores y Elementos de Protección

La Tabla 38 ilustra la selección del calibre del cable conductor de acuerdo con la tolerancia de corriente para la alimentación de un dispositivo.

**Tabla 38**

*Tabla de Selección de calibre AWG para Conductores Eléctricos de Cobre*

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73

CONTINUA →

24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	56,0	0,23	669,3	0,072
34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045
36	0,1270	0,0127	69,0	0,10	1338,0	0,036
37	0,1131	0,0100	78,0	0,089	1700,0	0,028
38	0,1007	0,0079	82,3	0,070	2152,0	0,022
39	0,0897	0,0063	97,5	0,056	2696,0	0,017
40	0,0799	0,0050	111,0	0,044	3400,0	0,014
41	0,0711	0,0040	126,8	0,035	4250,0	0,011
42	0,0633	0,0032	138,9	0,028	5312,0	0,009
43	0,0564	0,0025	156,4	0,022	6800,0	0,007

Fuente: (Standard, 2015)

### 5.5.1. Dimensionamiento y Selección de Conductores

Los cálculos de dimensionamiento y selección del calibre del cable conductor necesario para soportar la corriente de activación de relés, bobinas de contactores, breakers de seccionamiento, fuentes de alimentación 24 Vdc y varios dispositivos de maniobra se realizaron mediante las normas de tolerancia eléctrica AWG para la conexión de los siguientes elementos:

#### 1. Bobina de Relé Schneider RXM4AB1BD, 24 Vdc, 60 Hz, 2 A.

La alimentación de la bobina de los relés permitirá el control de la activación y desactivación de los contactores que comandan el funcionamiento de diversos dispositivos de

maniobra por medio de la conmutación de los contactos internos, separando la parte de control de la parte de potencia de la planta de tratamiento, para lo cual se identificará el calibre del cable necesario para soportar la corriente requerida por la bobina del relé tomando en cuenta el 25% de tolerancia extra.

$$I = 2 A * 1.25$$

$$I = 2.5 A$$

La corriente de activación tomando en cuenta el 25% por sobretensión al momento de la conmutación es de 2.5 [A], por lo cual el calibre del cable a utilizar según la Tabla 31 es de 18 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

## **2. Bobina Contactor Schneider LC1D12F7, 220 Vac, 60 Hz, 6 A.**

La activación de la bobina de los contactores permitirá el paso del voltaje necesario para la activación de los diversos dispositivos por medio de la conmutación de los contactos internos ya sea este monofásico o trifásico, separando la parte de control de la parte de potencia de la planta de tratamiento, para lo cual se identificará el calibre del cable necesario para soportar la corriente requerida por la bobina del contactor tomando en cuenta el 25% de tolerancia extra.

$$I = 6 [A] * 1.25 = 7.5 [A]$$

La corriente de activación tomando en cuenta el 25% por sobretensión al momento de la conmutación es de 7.5 [A], por lo cual el calibre del cable a utilizarse según la Tabla 31 es de 12 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

### 3. Bomba Centrifuga 1, 2, 3, 220 Vac Trifásico, 60 Hz, 2 Kw.

La activación de las bombas centrifugas trifásicas es necesario calcular el valor de corriente de consumo de este tipo de bombas, para lo cual se va a utilizar la siguiente formula siendo P: potencia en Kw, I: Corriente de línea, V= Voltaje de alimentación y fp= Factor de Potencia.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * f_p * V}$$

$$I_{nominal} = \frac{2 Kw}{\sqrt{3} * 0.95 * 220} = 5.52 [A]$$

$$I_{arranque} = 5.52 [A] * 5 = 27.6 [A]$$

#### **Ecuación 1** Calcular el valor de corriente de consumo

La corriente de activación tomando en cuenta el pico de corriente de arranque que está estimado que es de 5 a 7 veces más que la corriente de consumo de 27.6 [A], por lo cual el calibre del cable a utilizarse según la Tabla 31 es de 8 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

### 4. Motor Agitador 1, 2, 3, 4, 440 Vac Trifásico, 60 Hz, 2.2 Kw.

La activación de los motores agitadores trifásicos es necesario calcular el valor de corriente de consumo de este tipo de agitadores, para lo cual se va a utilizar la siguiente fórmula siendo P: potencia en Kw, I: Corriente de línea, V= Voltaje de alimentación y fp= Factor de Potencia.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * f_p * V}$$

$$I_{nominal} = \frac{2.2 \text{ Kw}}{\sqrt{3} * 0.95 * 440} = 3.34 \text{ [A]}$$

$$I_{arranque} = 3.34 \text{ [A]} * 5 = 16.7 \text{ [A]}$$

**Ecuación 2** Cálculo del valor de corriente de consumo

La corriente de activación tomando en cuenta el pico de corriente de arranque que está estimado que es de 5 a 7 veces más que la corriente de consumo es de 16.7 [A], por lo cual el calibre del cable a utilizarse según la Tabla 31 es de 10 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

**5. Electroválvulas 220 Vac monofásico, 60 Hz, 8 W.**

La activación de las electroválvulas monofásicas es necesario calcular el valor de corriente de consumo de este tipo de bombas, para lo cual se va a utilizar la siguiente formula siendo P: potencia en Kw, I: Corriente de línea, V= Voltaje de alimentación y fp= Factor de Potencia.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * f_p * V}$$

$$I_{nominal} = \frac{8 \text{ w}}{220} = 36 \text{ [mA]}$$

$$I_{arranque} = 36 \text{ [mA]} * 5 = 180 \text{ [mA]}$$

**Ecuación 3** Cálculo valor de corriente de consumo

La corriente de activación tomando en cuenta el pico de corriente de arranque que está

estimado que es de 5 a 7 veces más que la corriente de consumo es de 180 [mA], por lo cual el calibre del cable a utilizarse según la Tabla 31 es de 29 AWG por motivos comerciales se utilizó el cable 20 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

#### **6. Plc Siemens S7-1200 CPU 1214C, 24 Vdc, 60 Hz, 1.2 A.**

El controlador utilizado en la planta de tratamiento es el S71200 con el CPU 1214C el cual necesita valores mínimos de alimentación para garantizar una correcta operatividad.

$$I = 1.2 [A] * 1.25 = 1.5 [A]$$

La corriente de activación tomando en cuenta el 25% por sobretensión al momento de la conmutación es de 1.5 [A], por lo cual el calibre del cable a utilizarse según la Tabla 31 es de 20 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

#### **7. Sensor de pH OMEGA PHCN-37, 110 Vac, 60 Hz, 125 mA.**

El sensor de pH utilizado en la planta de tratamiento es el controlador PHCN-37 el cual necesita valores mínimos de alimentación para garantizar una correcta operatividad.

$$I = 125 [mA] * 1.25 = 156.2 [mA]$$

La corriente de activación tomando en cuenta el 25% por sobretensión al momento de la conmutación es de 156.2 [mA], por lo cual el calibre del cable a utilizarse según la Tabla 31 es de 30 AWG por motivos comerciales se utilizó el cable 20 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

## **8. Fuente 24 Vdc Schneider y Siemens, 110 Vac, 60 Hz, 10 A.**

La fuente de alimentación del PLC y de los relés necesita valores mínimos de alimentación para garantizar una correcta operatividad.

$$I = 10 [A] * 1.25 = 12.5 [A]$$

La corriente de activación tomando en cuenta el 25% por sobretensión al momento de la conmutación es de 12.5 [mA], por lo cual el calibre del cable a utilizarse según la Tabla 36 es de 10 AWG, para mejorar la conductividad el cable debe ser de cobre y por facilidad de manejo de tipo flexible multifilar.

### **5.6. Detalle de Diseño de las Interfaces HMI.**

El desarrollo de la interface HMI para realizar un sistema de control adecuado del proceso de la planta Ptari, debe cumplir con ciertas características de diseño que sean acorde a las necesidades no solo del proceso sino también tomando en cuenta ciertas aptitudes de los operadores para garantizar el correcto desempeño y control del proceso.

#### **5.6.1. Consideraciones de Diseño de los Usuarios**

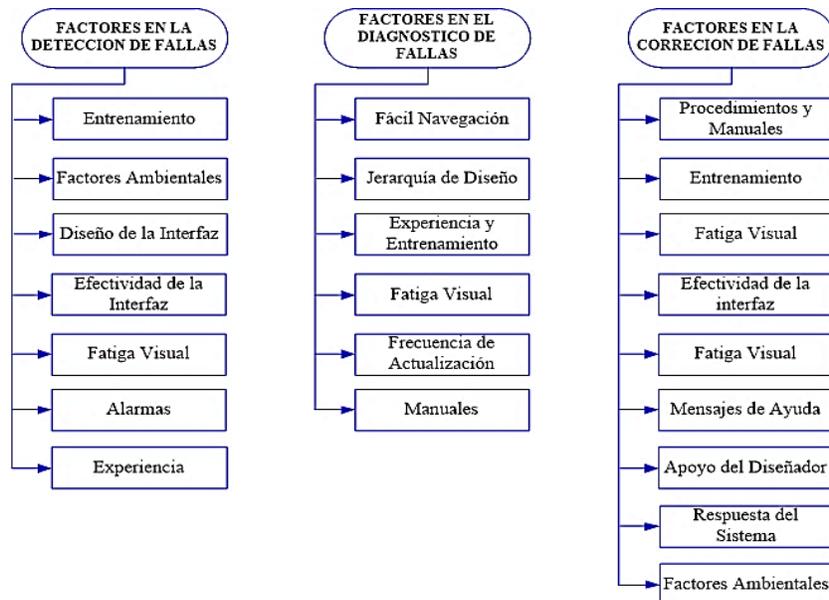
El diseño de una interfaz HMI se basa en llegar a ser una herramienta de control y monitoreo remoto de un proceso, la cual es representada mediante un diseño gráfico del proceso, éste debe mostrar de forma clara y concisa cada una de las acciones a realizar para garantizar que el sistema sea de fácil aprendizaje, manipulación e interpretación. Se debe tomar en cuenta cuáles son los usuarios finales y su capacidad de reconocimiento.

Uno de los factores más importantes para la correcta manipulación de la interface HMI es asegurar que los usuarios tengan un conocimiento completo del proceso diseñado en la

interfaz, a este tipo de conocimiento se define como la relación entre el entendimiento del estado del proceso por parte del operador y el estado de la planta en cualquier instante de tiempo.

Se debe tomar en cuenta que el diseño de las pantallas de control deben contener un formato establecido de tal manera que la manipulación de las mismas sea de forma intuitiva para el usuario y que sea lo más parecido al diseño real de la planta, lo cual tiene la finalidad de identificar con mayor facilidad los equipos a controlar, evitando así la saturación de la pantalla con gráficos de control que puedan confundir al usuario y garantizar que el operador sea capaz de resolver cualquier problema generado con mayor facilidad la ejecución del proceso.

Los factores que más influyen en la detección, corrección y diagnóstico de fallas se muestran en la Figura 100, las mismas que se deben tomar en cuenta al momento del diseño de cada pantalla de control.



**Figura 100.** Factores Influyentes en el diseño HMI

### 5.7. Formato de Diseño de Pantallas HMI

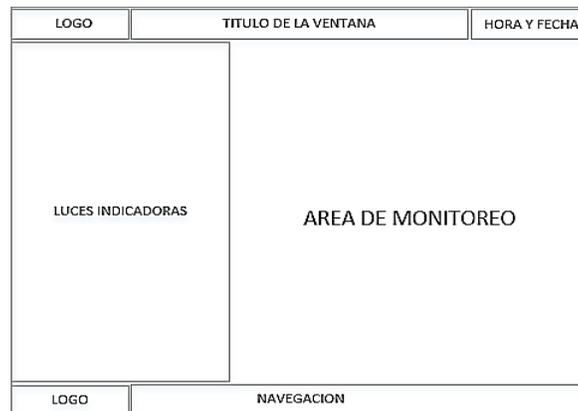
En el diseño de la distribución de elementos de las pantallas de la interface HMI se tomó en cuenta varios aspectos desde la facilidad de entendimiento de los operadores con los sistemas de HMI, hasta la distribución simétrica de los elementos de control para la rápida identificación de los mismos, manteniendo un formato establecido de los puntos que se detallan a continuación:

- Encabezado.
- Hora y Fecha.
- Logo de la Empresa
- Área de control
- Navegación
- Luces Indicadoras
- Modo del Proceso
- Área de monitoreo

Con el objetivo de facilitar la manipulación de las interfaces HMI, mejorar el rendimiento del sistema y generar la menor carga visual sobre los operadores, se desarrolla un sistema de manejo intuitivo el cual permitirá al operador un reconocimiento global de todos los componentes que conforman la planta de tratamiento de agua “Ptari” detallados en la Figura 101 y la Figura 102.



**Figura 101.** Pantalla de Procesos en Modo Manual y Automático



**Figura 102.** Pantalla de Pantalla de Alarmas.

### 5.7.1. Detalle de Navegación

La navegación de la interface HMI está enfocada en el proceso que se selecciona en la pantalla de INGRESO donde se identifica el tipo de agua residual a tratar sea ésta Agua de Enjuague o Solución Decapante y el modo de funcionamiento Manual o Automático.

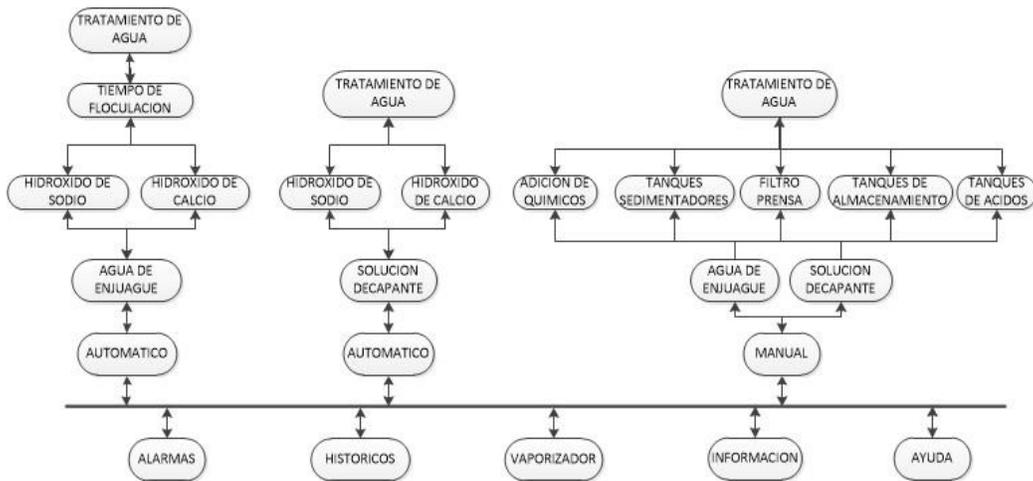
El presente sistema permite que la pantalla cambie el menú de navegación entre pantallas evitando generar confusión entre procesos, manteniendo vínculos de pantallas estáticas las cuales no cambian al seleccionar otro proceso, cuyas opciones se detallan a continuación en la Figura 103.

- Alarmas.
- Históricos.
- Inicio.
- Información.
- Ayuda.



**Figura 103.**Menú de Navegación.

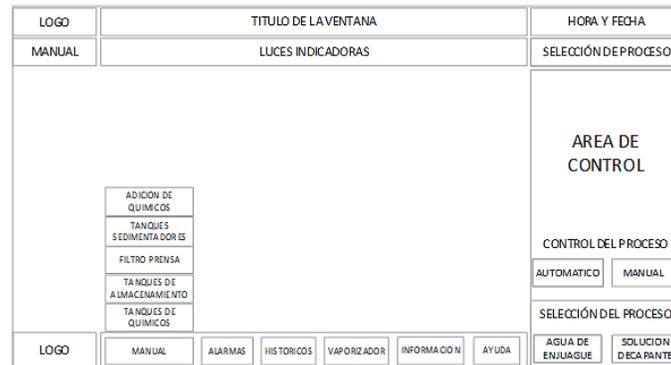
La pantalla de INGRESO permite la selección de los procesos a tratar y tiene vinculación directa con el menú de navegación manteniendo una estructura tal como se muestra en la Figura 104, Figura 105 y en la Figura 106.



**Figura 104.**Menú de navegación y Estructura de proceso.



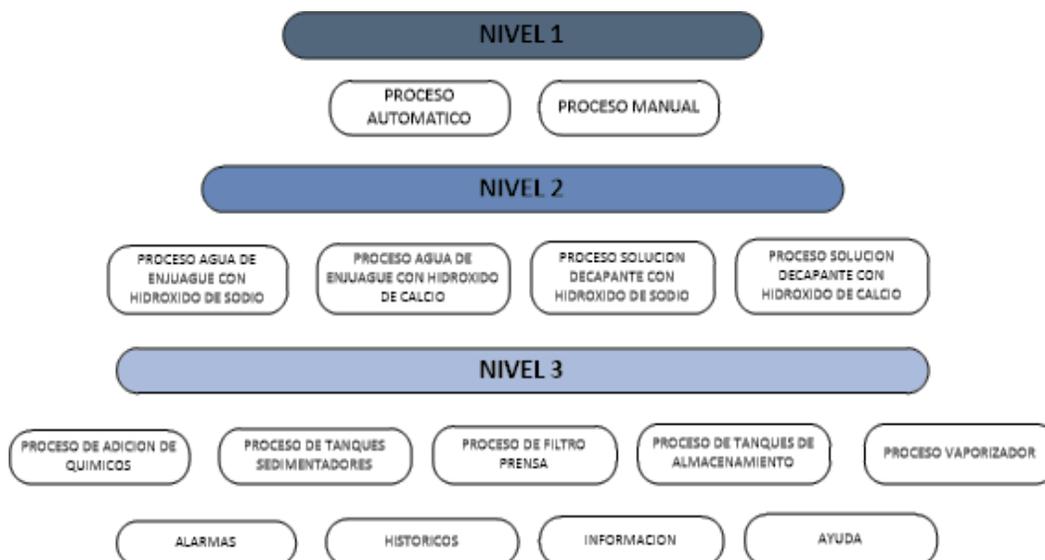
**Figura 105.** Pantalla de Proceso Automático.



**Figura 106.** Pantalla de Proceso Manual.

### 5.7.2. Jerarquía de Diseño HMI

La jerarquía en el diseño del HMI se basa en el control y monitoreo del proceso desde una perspectiva general en el nivel 1 hasta un sistema de control detallado en el nivel 3 en el cual se puede controlar y monitorear de forma individual cada elemento que conforman los diferentes procesos, tomando en cuenta que cada nivel de diseño cuenta con características de control específicas dependiendo al tipo de proceso a controlar los cuales son detallados en la Figura 107.



**Figura 107.** Jerarquía de diseño HMI.

### 5.7.3. Guía de Estilo

#### 5.7.3.1. Base de Diseño HMI Antigua Planta PTARI

En el momento de realizar la interfaz de control y monitoreo de la planta de tratamiento, se tomó en cuenta que el proceso era completamente diferente al original, por lo tanto no se pudo tomar como referencia el sistema antiguo de control como formato del nuevo sistema, pero el sistema anterior sirve de guía para identificar puntos claves en la forma de operación a la que estaban acostumbrados los operadores de la planta, de tal manera que en el momento de operar el nuevo sistema HMI sea más fácil de entender y operar, garantizando una detallada visualización y control de los diferentes procesos. Las interfaces del antiguo sistema de control se detallan en la Figura 108.

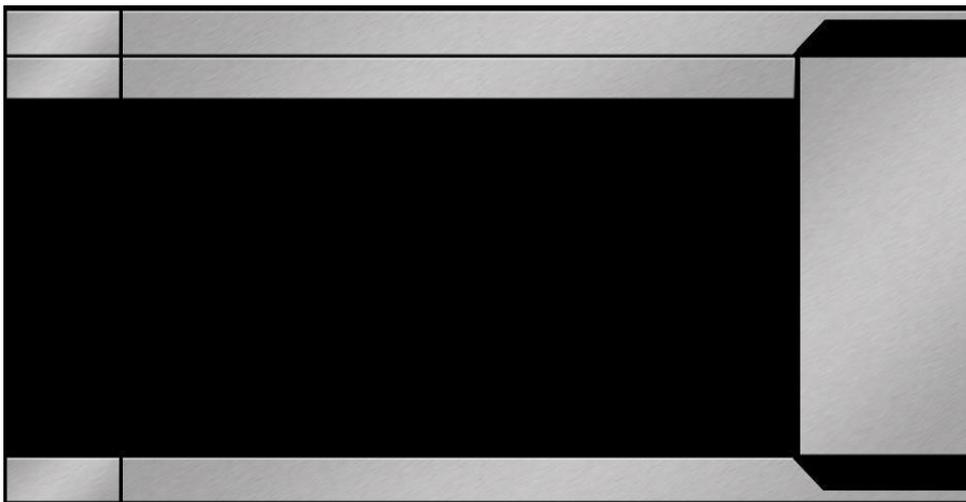


Figura 108. Diseño HMI Ptari 2011.

### 5.7.3.2. Selección de Colores

La selección de colores de fondo de las pantallas está basada en las condiciones del entorno y el espacio físico de trabajo debido a que es una cabina de control con ventanales muy amplios y con mucha iluminación, la utilización de colores muy claros ocasiona fatiga visual al operador debido a factores presentados en el ambiente, al darle un fondo de color negro resalta más los objetos insertados en el área de trabajo los cuales al momento de ser activados cambiarán de color, y toman colores claros como verde, azul, los cuales al contraste con el fondo llaman la atención del operador manteniendo una mejor concentración logrando evitar la sobrecarga de luminosidad de las gráficas.

Los paneles de control y los fondos del Menú, Logos, Indicadores y Selección de Procesos se presentan con color gris oscuro, el cual se diferencia claramente del fondo y genera un espacio de trabajo disponible para la aplicación de gráficos de control e indicadores, el formato de diseño utilizado en la selección de colores tal como se muestra en la Figura 109.



*Figura 109.* Selección de Colores de la Interfaz HMI.

### 5.7.3.3. Diseño y Uso de Objetos Archestra

En el diseño de las pantallas HMI de la interfaz de control se utilizan símbolos y gráficos propios de la librería Archestra, el cual es un Toolkit de desarrollo, que contiene gráficos en 3D los cuales generan un entorno más realista y el Toolkit Symbol Factory que proporciona una gama amplia de gráficos en 2D, ambos pertenecen al software de diseño Intouch tal como se muestra en la Figura 110.



**Figura 110.** Toolkit Archestra y Symbol Factory.

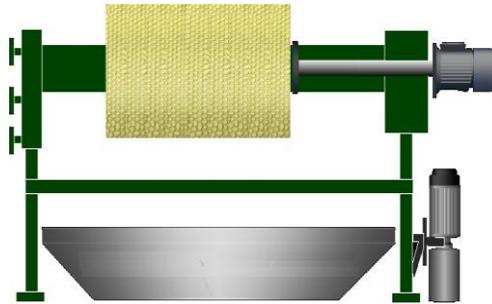
Fuente: (Invensys System, 2007).

Al diseñar el entorno de control se evidenció la necesidad de realizar gráficas que sean lo más parecidas con la realidad con el objetivo de que los operadores reconozcan de forma más clara el entorno de control y puedan relacionar el diseño de la interfaz con la realidad sin necesidad de un conocimiento técnico específico.

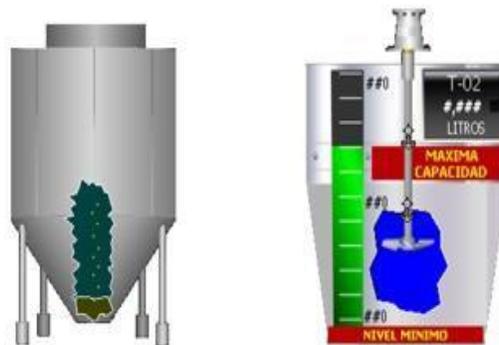
El Toolkit de desarrollo Archestra permite la modificación de los elementos a voluntad del diseñador lo que ayuda a la creación de gráficos independientes con animación, los cuales se pueden observar en la Figura 111, Figura 112 y Figura 113.



*Figura 111.*Indicador Numérico creado en Archestra.



*Figura 112.*Estructura Filtro Prensa



*Figura 113.*Tanques de proceso creados en Archestra

## 5.8. Seguridad del Interfaz HMI

El SCADA cuenta con un sistema de seguridad con una pantalla de Login de usuario y contraseña para la habilitación de la interfaz de control con niveles de acceso para la activación del menú de navegación, el cual identifica el usuario que va a manejar el HMI, como se muestra en la Figura 114 y la identificación de los usuarios se muestran en la Figura 115.

La planta actualmente cuenta con pulsadores de Paro de emergencia digital los cuales se

encuentran en las pantallas de control; el de la izquierda sirve para detener el lote de producción y el de la derecha permite detener el proceso total de la planta de tratamiento como se muestra en la Figura 116, además se encuentran instalados dos pulsadores de emergencia en la entrada de la cabina de control y a un costado del sensor de pH del Tanque de Mezcla como se muestra en la Figura 117.



Figura 114. Pantalla de Ingreso (Login) al HMI.



Figura 115. Usuarios y Administradores del sistema HMI.



*Figura 116.* Paro de Emergencia (Izq.), Parada de Lote (Der.) virtuales.



*Figura 117.* Pulsadores de Emergencia físicos.

En el caso de producirse fallas en la computadora de la cabina de control y esto ocasiona problemas en el sistema HMI, éste cuenta con pulsadores de selección de proceso, de aditivos químicos al tratamiento, de arranque y paro del proceso de tratamiento en modo automático instalados en el tablero de control de la “Ptari” como se muestra en la Figura 118.



*Figura 118.* Pulsadores de Emergencia Digital y Físicos.

## 5.9. Diseño de las Pantallas de Control de la Interfaz HMI

Las pantallas de control fueron diseñadas en base al nuevo proceso de tratamiento de agua, por lo que no se pudo conservar ninguna similitud con el antiguo sistema HMI de la planta, la prioridad de diseño es obtener la mayor claridad posible en los gráficos de procesos con el fin de que muestren una similitud con la distribución y forma de los equipos, puesto que el personal operativo no estaba familiarizado con un sistema de control con gráficos realistas. Se tomó en cuenta los requerimientos del personal técnico, administrativo y de mantenimiento conservando los estándares de diseño de la ISA 101 y las condiciones fisiológicas de los operadores y las condiciones físicas del entorno.

Se debe señalar que se trabajó buscando evitar la saturación excesiva de cada pantalla, manteniendo una secuencia de control y un formato establecido de los elementos de control y visualización, impidiendo de esta manera, confusión por parte del personal operativo. Las pantallas desarrolladas dependen del modo de proceso de tratamiento, ya sea manual o automático y además de que tipo de agua residual se va a tratar Agua de Enjuague “ADE” o Solución Decapante “SDEC” a continuación se describen las pantallas de control que posee el sistema:

- Ingreso: Selección de Proceso – Selección Agua Residual.
- Adición de químicos Agua de Enjuague.
- Adición de químicos Solución Decapante.
- Tanques Sedimentadores: Agua de Enjuague – Solución Decapante.
- Filtro Prensa: Agua de Enjuague – Solución Decapante.

- Tanque de almacenamiento Agua Tratada.
- Alarmas.
- Históricos.
- Vaporizador: Nivel de acceso para ingresar (Analista Mantenimiento).
- Información: Manuales de funcionamiento HMI modo Manual y Automático.
- Ayuda: Planos (Eléctricos, Unifilares, I/O del PLC), Manuales (Sensores Ultrasónicos de Nivel, Sensores de pH).

El diseño de cada una de las pantallas y la descripción de cada una de los elementos de control se detallan a continuación:

### 5.9.1. Pantalla de “Ingreso”

En la Tabla 39 se describe la estructura de la Pantalla de “Ingreso”, en la Figura 119 se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 40 describe cada una de las Alarmas, la Tabla 41 detalla la Barra de Navegación, la Tabla 42 detalla el ingreso y registro y la Tabla 43 identifica el Control de Proceso y la Selección de Proceso.

**Tabla 39**

*Descripción de Módulos de la Pantalla de Ingreso Planta “Ptari”*

ITEM	DESCRIPCION
1	Logo
2	Indicador proceso y modo de control.
3	Barra de Alarmas
4	Área de Control (Mímico)
5	Título de la Pantalla
6	Barra de Navegación
7	Hora y Fecha
8	Ingreso y Registro
9	Selección de Control Proceso y Selección de Proceso

**Tabla 40**  
 Descripción de Ítems de la Barra de Alarmas.

BARRA DE ALARMAS	
ITEM	DESCRIPCION
	Luz indicadora que refleja el estado del nivel máximo de los tanques de tratamiento, si el indicador se encuentra de color verde no ha superado el límite máximo permitido, si se encuentra de color rojo existe peligro de derramé y suspende el ingreso de agua y de químico mientras no baje el nivel.
	



Identificador de usuario programado a cada uno del personal operativo, personal técnico y Administrativo que tiene interrelación con el manejo y control del sistema HMI de la planta de tratamiento de aguas residuales “Ptari”.

Si el usuario y contraseña es incorrecto no permite la activación del sistema de control.



Figura 119. Pantalla de Ingreso HMI

**Tabla 41**

*Descripción de Ítems de la Barra de Navegación.*

BARRA DE NAVEGACION	
ITEM	DESCRIPCION
	<p>Este botón abre un Menú en el cual se encuentran las pantallas del control del proceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pantalla de Adición de químicos de ADE o SDEC</li> <li>• Pantalla de Tanques Sedimentadores de ADE o SDEC</li> <li>• Pantalla de Tanques de Almacenamiento</li> <li>• Pantalla Filtro Prensa</li> </ul>
	<p>Este botón abre la pantalla de Adición de Químicos es la primera fase de tratamiento del agua residual, en la que se adicionan NaOH o Ca(OH)<sub>2</sub> en el tanque de mezcla hasta obtener un pH <math>\geq 12</math> y el Floculante en el tanque de floculación controlado por tiempo.</p>
	<p>Este botón abre la pantalla de Tanques Sedimentadores la cual cumple la función de permitir que el agua ya adicionada químicos sedimente las partículas en suspensión que se encuentran en su estructura. Y contiene el tanque de neutralización en el cual se adiciona HCL para reducir el pH del agua hasta llegar a un rango de <math>7 \leq \text{pH} \leq 9</math>.</p>
	<p>Este botón abre la pantalla de Filtro Prensa en la que se realiza la filtración de los sólidos que se encuentran en el agua residual se de ADE o SDEC reteniendo en 95% de sólidos en los lienzos de filtración.</p>
	<p>Este botón abre la pantalla de Tanque de Almacenamiento en el cual se encarga del almacenamiento del agua tratada para ser devuelta a las tinas del proceso de galvanizado.</p>
	<p>Este botón abre la pantalla de ALARMAS en la que se pueden revisar el estado de cada uno de los sensores de nivel auxiliares los cuales evitan que exista derrame del agua residual si el sensor ultrasónico de nivel llegara a fallar en su lectura.</p>
	<p>Este botón abre la pantalla de Históricos en la cual se puede visualizar los niveles de los tanques en una jornada de trabajo para el análisis de la productividad de la planta de tratamiento.</p>
	<p>Este botón abre la pantalla del Vaporizador en la cual podemos encontrar el sistema de control remoto de encendido y apagado del incinerador del tanque de GLP el cual necesita de un nivel de acceso alto para poder ser manipulado, los operadores de la Ptari no tienen el acceso a esta ventana, solo tiene acceso personal calificado en el manejo del GLP.</p>

CONTINUA →



Este botón permite el retorno inmediato a la pantalla de Ingreso en la cual se puede realizar cambios de selección del proceso y modo de control Manual y Automático.



Este botón abre la pantalla de control del Proceso Automático el cual puede ser seleccionado para ADE o SDEC con variaciones específicas en el proceso, garantiza una lógica de control estructurada y capaz de efectuar todo el proceso con baja supervisión.



Este botón abre la pantalla de Información en la cual se encuentran enlaces directos para los manuales de operación de las pantallas HMI en modo manual y Automático de los procesos de ADE y de SDEC.



Este botón abre la pantalla de Ayuda en la cual se encuentran enlaces directos de los manuales de los sensores de pH, sensores de nivel ultrasónicos, planos eléctricos unifilares, planos P&ID y planos I/O del PLC.

**Tabla 42**

*Botones de Ingreso y Registro.*

INGRESO Y REGISTRO	
ITEM	DESCRIPCION
	Este botón permite el registro del usuario de la interfaz de control HMI y el nivel de acceso que tiene para realizar la operación de la planta.
	Este botón permite salir al operador, indicando la finalización del tratamiento de agua residual y apagando el sistema de control.
	Esta ventana identifica cual es el usuario actual de la planta de tratamiento, sobre el cual recae toda la responsabilidad de manejo de la Ptari mientras su cuenta se encuentre activa, la interfaz cuenta con 3 Técnicos de la planta, 1 Analista Químico, 1 Analista Mecánico, 1 Analista de Mantenimiento, 1 Jefe de Galvanizado y 1 Administrador General.

**Tabla 43**

*Módulo de Selección de Control Proceso y Selección de Proceso*

SELECCIÓN DE CONTROL PROCESO Y SELECCIÓN DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCION

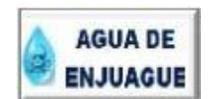
CONTINUA →



Este botón permite seleccionar el modo de control del proceso Automático.



Este botón permite seleccionar el modo de control del proceso Manual.



Este botón permite seleccionar el agua residual llamada AGUA DE ENJUAGUE (ADE).



Este botón permite seleccionar el agua residual llamada SOLUCIÓN DECAPANTE (SDEC).

### 5.9.2. Pantalla de Control Manual ADE de “Adición de Químicos”

La Tabla 44 representa la estructura de la pantalla de “Adición de Químicos” para el Agua de Enjuague “ADE”, en la Figura 120 se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 45 ilustra cada uno de los botones de control en modo manual de la adición de químicos y la Tabla 46 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.

**Tabla 44**

*Pantalla de Adición de Químicos ADE.*

ITEM	DESCRIPCION
1	Logo
2	Indicador control de proceso: Manual
3	Barra de Alarmas
4	Área de Control de Proceso (Mímico)
5	Título de la Pantalla
6	Barra de Navegación
7	Hora y Fecha
8	Selección de Proceso: Agua de Enjuague (ADE)
9	Barra de Control Manual



Figura 120. Pantalla de Adición de Químicos Manual de ADE

Tabla 45

Ítems de la Barra de Control Manual de Pantalla de Adición de Químicos de ADE

BARRA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCION
	Este botón enciende y apaga la Válvula Neumática “VNT-01” la que permite el paso del Agua de Enjuague de la Piscina de Almacenamiento.
	Este botón enciende y apaga la Bomba Centrifuga “BC-01” la cual succiona el Agua de Enjuague “ADE” y la Solución Decapante “SDEC”.
	Este botón permite la selección de Hidróxido de Calcio “Ca(OH) <sub>2</sub> ”, como aditivo químico al tratamiento de Agua de Enjuague en el Tanque de Mezcla.
	Este botón permite la selección de Hidróxido de Sodio “NaOH”, como aditivo químico al tratamiento de Agua de Enjuague en el Tanque de Mezcla.

CONTINUA →



Este botón enciende y apaga el Motor Agitador "MA-01" el cual se encarga de mezclar el Hidróxido de Calcio " $\text{Ca(OH)}_2$ " en el tanque de aditivos químicos.



Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática "BN-01" la cual se encarga de la dosificación de " $\text{Ca(OH)}_2$ " al Tanque de Mezcla.



Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática "BN-01" la cual se encarga de la dosificación de "NaOH" al Tanque de Mezcla.



Este botón enciende y apaga la Válvula Neumática "VNT-02" la que permite el paso del Agua Residual "ADE" del Tanque de Mezcla al Tanque de Floculación.



Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática "BN-03" la cual succiona el Agua Residual con un  $\text{pH} \geq 12$  del tanque de Mezcla al Tanque de Floculación.



Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática "BN-04" la cual se encarga de la dosificación de Floculante al Tanque de Floculación.



Este botón enciende y apaga la Válvula Neumática "VNT-03" la cual se encarga de permitir el paso del agua residual del Tanque de Floculación por gravedad hacia el Tanque Sedimentador 1.



Este botón activa el paro de emergencia de todos los dispositivos que se encuentran en la pantalla y los apaga, a lo que se le denomina parada de lote y se encuentra en cada una de las pantallas de la interface HMI.



Este botón activa el paro de emergencia general y apaga todos los dispositivos que conforman la planta de tratamiento y se encuentra en cada una de las pantallas de la interface HMI.

**Tabla 46***Ítems del Área de Control de Proceso Manual de Pantalla de Adición de Químicos de ADE*

AREA DE CONTROL DE PROCESO	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN
	Este gráfico representa a las válvulas neumáticas de paso la cual permite el trasvasé del agua residual de un tanque al siguiente.
	Este gráfico representa las bombas centrifugas de succión del Agua de Enjuague y Solución Decapante y de trasvasé del agua residual.
	Este icono representa el Tanque de selección de Hidróxido de Calcio “Ca(OH)”, como aditivo químico al tratamiento de Agua de Enjuague “ADE” en el Tanque de Mezcla.
	Este gráfico representa el Tanque de selección de Hidróxido de Sodio “NaOH”, como aditivo químico al tratamiento de Agua de Enjuague “ADE” en el Tanque de Mezcla.
	Este grafico representa los agitadores de los tanques donde se adiconas productos químicos para el tratamiento del agua residual.
	Este display muestra el valor del pH del Tanque de Mezcla, el cual debe llegar a un valor de $\text{pH} \geq 12$ .
	Este selector numérico permite ingresar el tiempo de adición del floculante en el Tanque de Floculación, para ayudar a la sedimentación de sólidos.

CONTINUA →



Este display muestra el contador ascendente del tiempo de floculación ingresado por el operador del HMI.



Este icono representa el nivel y el estado de la adición de floculante al agua residual.



Este icono representa las bombas neumáticas de succión del agua residual y dosificación de químicos a los tanques de tratamiento.



Este display muestra el nivel de los tanques de forma numérica dependiendo de la capacidad de almacenamiento de cada tanque.

**PROCESO SELECCIONADO  
AGUA DE ENJUAGUE**

Este etiqueta identifica el proceso del tipo de agua residual que se está tratando en este caso de Agua de Enjuague “ADE”.

**CONTROL:  
MANUAL**

Este etiqueta identifica modo del proceso ya sea este Manual o Automático.



Este grafico representa la Piscina de Almacenamiento de Agua de Enjuague, la cual tiene una capacidad de 70000 Litros.



Este Grafico representa el Tanque de Mezcla, el cual es el primer tanque de tratamiento de la planta Ptari.



Este Grafico representa el Tanque de Floculación, donde se adiciona floculante para una mejor compactación de los sólidos en suspensión del agua residual..

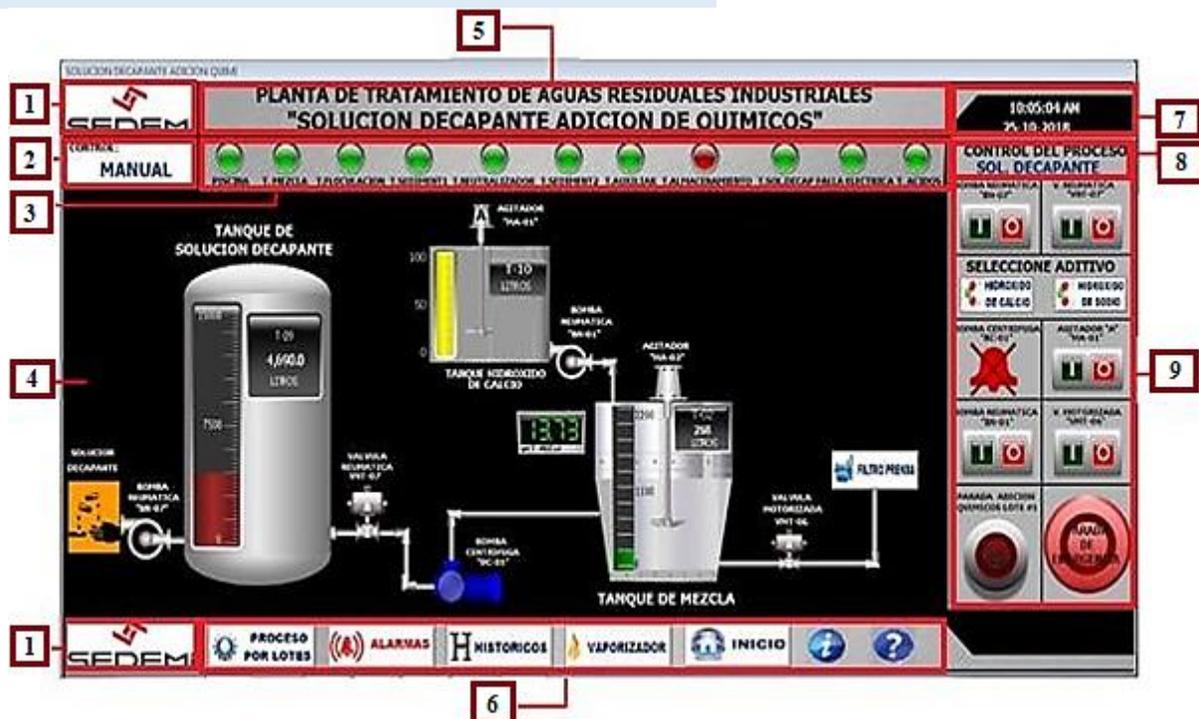
### 5.9.3. Pantalla de Control Manual SDEC de “Adición de Químicos”

En la Tabla 47 se ilustra la estructura de la pantalla de “Adición de Químicos” para la Solución Decapante “SDEC”, en la Figura 121 se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 48 describe cada uno de los botones de control en modo manual de la adición de químicos y la Tabla 49 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.

**Tabla 47**

*Ítems de la Pantalla de Adición de Químicos SDEC.*

ITEM	DESCRIPCION
1	Logo
2	Indicador control de proceso: Manual
3	Barra de Alarmas
4	Área de Control de Proceso (Mímico)
5	Título de la Pantalla
6	Barra de Navegación
7	Hora y Fecha
8	Selección de Proceso: Solución Decapante (SDEC)
9	Barra de Control Manual



**Figura 121.** Pantalla de Adición de Químicos Manual de SDEC.

**Tabla 48***Ítems de la Barra de Control Manual de Adición de Químicos de SDEC.*

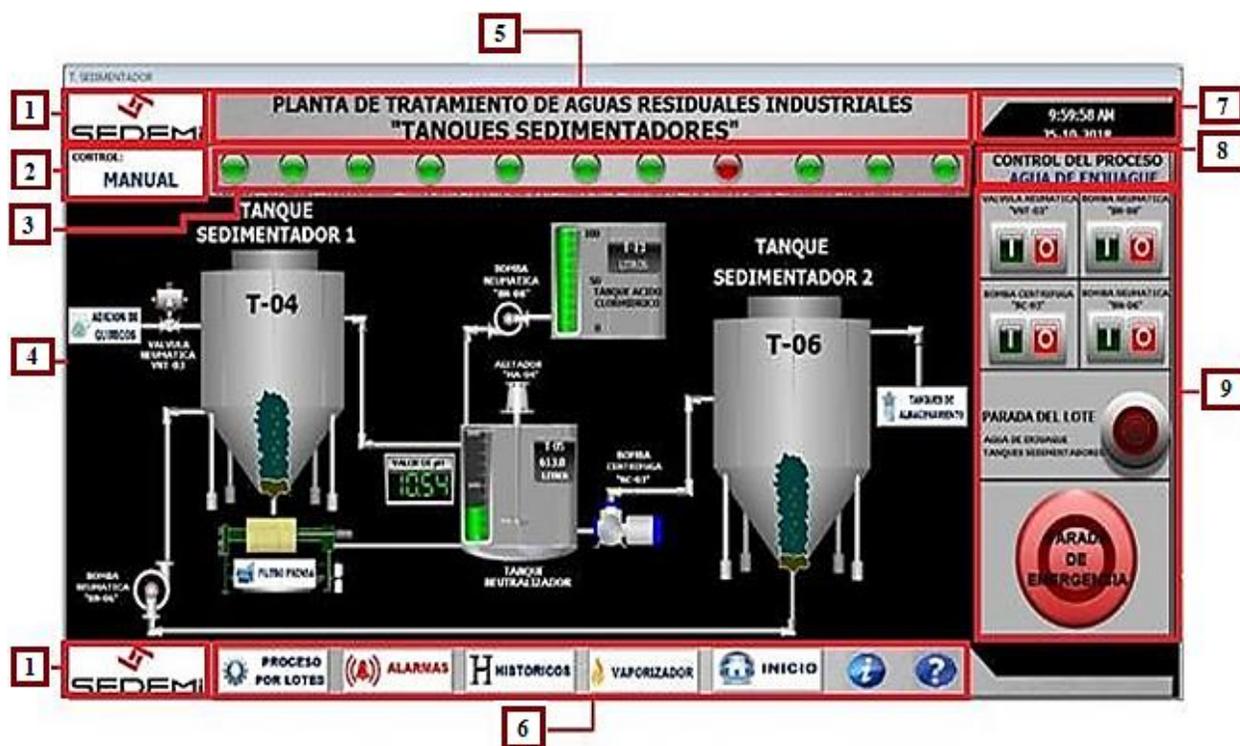
BARRA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática “BN-07” la que permite la succión de los ácidos agotados desde las tinas de tratamiento de la planta de galvanizado para el almacenamiento en el Tanque de Solución Decapante.
	Este botón enciende y apaga la Válvula Neumática “VNT-07” la que permite el paso de la Solución Decapante hacia el Tanque de Mezcla.
	Este botón enciende y apaga la Válvula Motorizada “VMT-06” la que permite el paso de la Solución Decapante directamente del Tanque de Mezcla al Filtro prensa sin pasar por el Tanque de Floculación.

**Tabla 49***Ítems del Área de Control de Proceso en modo Manual de Adición de Químicos de SDEC*

ÁREA DE CONTROL DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Este gráfico muestra el tanque de almacenamiento de la solución Decapante, la cual es trasvasada directamente de las tinas de tratamiento de la planta de galvanizado.
	Este gráfico representa la Bomba Neumática “BN-07” que se encarga de la succión de la Solución Decapante de las tinas de tratamiento al tanque de almacenamiento de Solución Decapante.

**5.9.4. Pantalla de Control Manual ADE y SDEC de “Tanques Sedimentadores”**

En la Tabla 50 muestra la estructura de la Pantalla de “Tanques Sedimentadores” para el tratamiento del Agua de Enjuague “ADE” y la Solución Decapante “SDEC”, en la Figura 122 se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 51 describe cada uno de los botones de control en modo manual de los tanques sedimentadores y la Tabla 52 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.



*Figura 122.* Pantalla de Tanques Sedimentadores de ADE y SDEC.

**Tabla 50**

*Ítems de la Pantalla de Tanques Sedimentadores de ADE y SDEC.*

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Logo
2	Indicador control de proceso: Manual
3	Barra de Alarmas
4	Área de Control de Proceso (Mímico)
5	Título de la Pantalla

CONTINUA →

6	Barra de Navegación
7	Hora y Fecha
8	Selección de Proceso: ADE - SDEC
9	Barra de Control Manual

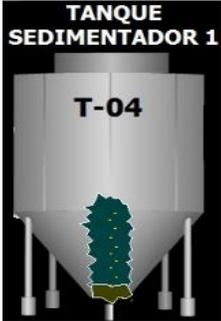
**Tabla 51**

*Ítems de la Barra de Control Pantalla de Tanques Sedimentadores*

BARRA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCION
	Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática "BN-08" la que permite la adición de ácido clorhídrico al Tanque de Neutralización, para regular el pH del agua residual en un rango aceptable de $7 \leq \text{pH} \leq 12$ .
	Este botón enciende y apaga la Bomba Centrífuga "BC-03" la que permite el trasvasé del agua tratada del Tanque de Neutralización al Tanque Sedimentador 2, para que se realice una última sedimentación en el caso de existir residuos sólidos.
	Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática "BN-06" la que permite que los sedimentos generados en el Tanque Sedimentador 2 sean trasvasados al Tanque Sedimentador 1, este proceso es completamente manual ya que los sedimentos en el Sedimentador 2 son muy escasos y queda a criterio del operador.

**Tabla 52**

*Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Tanques Sedimentadores*

AREA DE CONTROL DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCION
	Este grafico representa el Tanque Sedimentador 1, el cual se encarga de la sedimentación primaria de los sólidos del Agua de Enjuague, los cuales empiezan a sedimentarse más rápido por la adición de químicos.

CONTINUA →



Este grafico representa el Tanque Sedimentador 2, el cual se encarga de la sedimentación de los sólidos en suspensión que hayan podido traspasar los lienzos de las placas del Filtro Prensa.



Este grafico representa permite el acceso directo a la pantalla de control del Filtro Prensa.



Este grafico representa el Tanque de Ácido Clorhídrico (HCL), como aditivo químico al tratamiento del agua residual en el Tanque de Neutralización.



Este Grafico representa el Tanque de Neutralización, el cual almacena el agua residual que pasa por el Filtro Prensa ya casi sin sólidos en suspensión.



Este display muestra el valor del pH del Tanque de Neutralización, el cual debe llegar a un valor de  $7 \leq \text{pH} \leq 9$ .

### 5.9.5. Pantalla de Control Manual de la Pantalla del “Filtro Prensa”

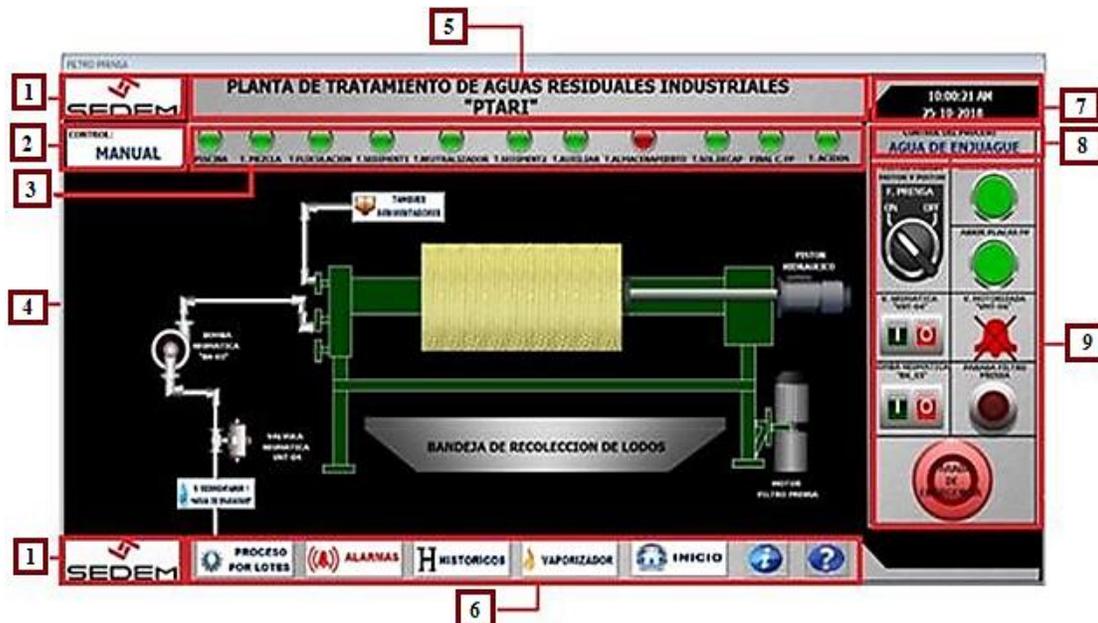
La Tabla 53 corresponde a la estructura de la pantalla de “Filtro Prensa”, en la Figura 123 para Agua de Enjuague “ADE” y en la Figura 123 para la Solución Decapante “SDEC” se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 54 describe cada uno de los botones de control en modo

manual del filtro prensa y la Tabla 55 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.

**Tabla 53**

*Ítems de la Pantalla del Filtro Prensa.*

ITEM	DESCRIPCION
1	Logo
2	Indicador control de proceso: Manual
3	Barra de Alarmas
4	Área de Control (Mímico)
5	Título de la Pantalla
6	Barra de Navegación
7	Hora y Fecha
8	Selección de Proceso: Agua de Enjuague (ADE) y Solución Decapante (SDEC)
9	Barra de Control Manual



*Figura 123.* Pantalla de Filtro Prensa de ADE.

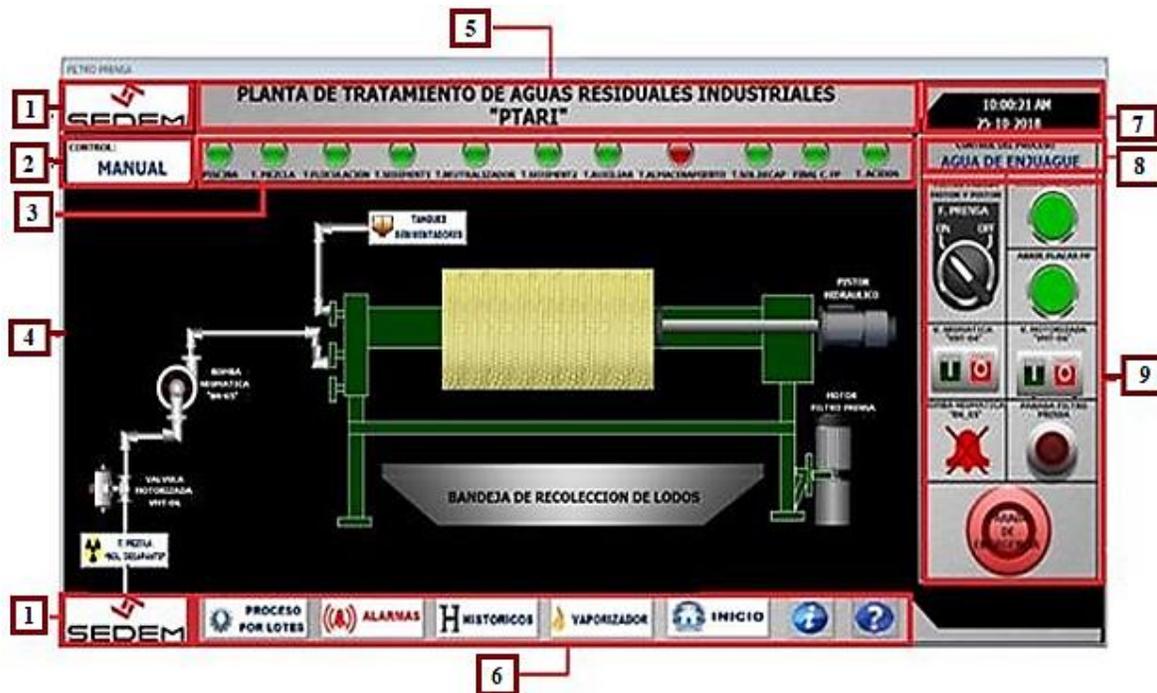


Figura 124. Pantalla de Filtro Prensa de SDEC.

Tabla 54

Ítems de la Barra de Control Pantalla de Filtro Prensa.

BARRA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Este selector enciende y apaga la Bomba Hidráulica “F. PRENSA” la cual permite la circulación del aceite, el cual ejerce la presión necesaria para abrir y cerrar las placas de filtración.
	Este pulsador permite cerrar las placas de filtración del Filtro Prensa para separar los sólidos del agua residual.
	Este pulsador permite abrir las placas de filtración del Filtro Prensa para realizar la extracción de los residuos sólidos y limpiar los lienzos de cada placa.
	Este botón enciende y apaga la Válvula Neumática “VNT-04” la cual permite el paso de los sedimentos contenidos en el fondo del Sedimentador 1 hacia el Filtro Prensa.

CONTINUA →



Este botón enciende y apaga la Bomba Neumática “BN-05” la cual envía los lodos a presión al Filtro Prensa para que se puedan separar el agua residual de los lodos por medio del Filtro Prensa.



Este botón enciende y apaga la Válvula Motorizada “VMT-06” la cual permite el paso de la Solución Decapante con aditivos químicos que se encuentre a un  $\text{pH} \geq 12$  en el Tanque de Mezcla.

**Tabla 55**

*Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla del Filtro Prensa.*

ÁREA DE CONTROL DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCIÓN



Este gráfico representa el diseño del Filtro Prensa en el cual se pueden ver las partes que lo conforman como es el Bomba y el Pistón Hidráulico, el cual con su activación permite el cierre y apertura de las placas de filtración dependiendo del sentido de giro del aceite.

### 5.9.6. Pantalla de Control Manual ADE y SDEC de “Tanques de Almacenamiento”

En la Tabla 56 se muestra la estructura de la pantalla de los “Tanques de Almacenamiento”, en la Figura 125 se representa la ubicación de cada componente, la Tabla 57 describe cada uno de los botones de control en modo manual de los tanques de almacenamiento y la Tabla 58 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.

**Tabla 56**

*Ítems de la Pantalla de Tanques de Almacenamiento de ADE y SDEC.*

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Logo
2	Indicador control de proceso: Manual
3	Barra de Alarmas
4	Área de Control de Proceso (Mímico)
5	Título de la Pantalla

CONTINUA →

- 6 Barra de Navegación
- 7 Hora y Fecha
- 8 Selección de Proceso: ADE - SDEC
- 9 Barra de Control Manual



Figura 125. Pantalla de Tanques de almacenamiento de ADE y SDEC.

Tabla 57

Ítems de la Barra de Control Pantalla de Tanques de Almacenamiento

BARRA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Este botón enciende y apaga la Bomba Sumergible “BS-02” la cual trasvasa el agua tratada que pasa por rebose del Tanque Sedimentador 2 al Tanque Auxiliar y cuando llega al límite permitido envía el agua al Tanque de Almacenamiento.
	Este botón enciende y apaga la Válvula Motorizada “VMT-05” la cual permite el paso del Agua Tratada del Tanque de Almacenamiento para que pueda ser trasvasado a las tinas de tratamiento de galvanizado.
	Este botón enciende y apaga la Bomba Centrifuga “BC-02” la cual se encarga de trasvasar el agua tratada a las tinas de galvanizado para continuar con el proceso.

**Tabla 58**

*Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Tanques de Almacenamiento.*

AREA DE CONTROL DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCION
	<p>Este grafico representa el Tanque Auxiliar el cual recibe el agua tratada por medio de rebose del Tanque Sedimentador 2.</p>
	<p>Este grafico representa el Tanque de Almacenamiento el cual almacena toda el agua tratada de la planta Ptari, para su posterior envi a las tinas de tratamiento galvanizado.</p>
	<p>Este grafico representa las tinas de tratamiento de galvanizado las cuales son las encargadas de realizar la limpieza de las estructuras metálicas, que van a ser sometidas al galvanizado por inmersión.</p>

Corresponde a la estructura de la pantalla de “Control Automático”, en la Figura 126 para Agua de Enjuague “ADE” y en la Figura 127 para Solución Decapante “SDEC” se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 60 muestra cada uno de los botones de control en modo automático y la Tabla 61 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.

**Tabla 59**

*Ítems de la Pantalla de control Automático de ADE y SDEC*

ITEM	DESCRIPCION
1	Logo
2	Indicador control de proceso: Manual
3	Barra de Alarmas

CONTINUA →

4	Área de Control de Proceso (Mímico)
5	Título de la Pantalla
6	Barra de Navegación
7	Hora y Fecha
8	Selección de Proceso: ADE y SDEC
9	Barra de Control Manual

**Tabla 60**

Ítems de la Barra de Control de la Pantalla Automática de ADE y SDEC.

BARRA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCION
	Este botón enciende y apaga el proceso de tratamiento de agua residual ya sea Agua de Enjuague “ADE” o Solución Decapante “SDEC”.
	Este botón permite la selección de Hidróxido de Calcio “Ca(OH) <sub>2</sub> ”, como aditivo químico al tratamiento de Agua de Enjuague en el Tanque de Mezcla.
	Este botón permite la selección de Hidróxido de Sodio “NaOH”, como aditivo químico al tratamiento de Agua de Enjuague en el Tanque de Mezcla.
	Este selector numérico permite ingresar el valor del pH que se requiere que alcance el Tanque de Mezcla y se puede modificar solo cuando el proceso automático se encuentre apagado.
	Este selector numérico permite ingresar el tiempo de adición del floculante en el Tanque de Floculación, para ayudar a la sedimentación de sólidos y se puede modificar solo cuando el proceso automático se encuentre apagado.
	Este selector numérico permite ingresar el valor del pH que se requiere que alcance el Tanque de Neutralización y se puede modificar solo cuando el proceso automático se encuentre apagado.

CONTINUA →



Este botón activa el paro de emergencia general y apaga todos los dispositivos que conforman la planta de tratamiento Ptari y se encuentra en cada una de las pantallas de la interface HMI.

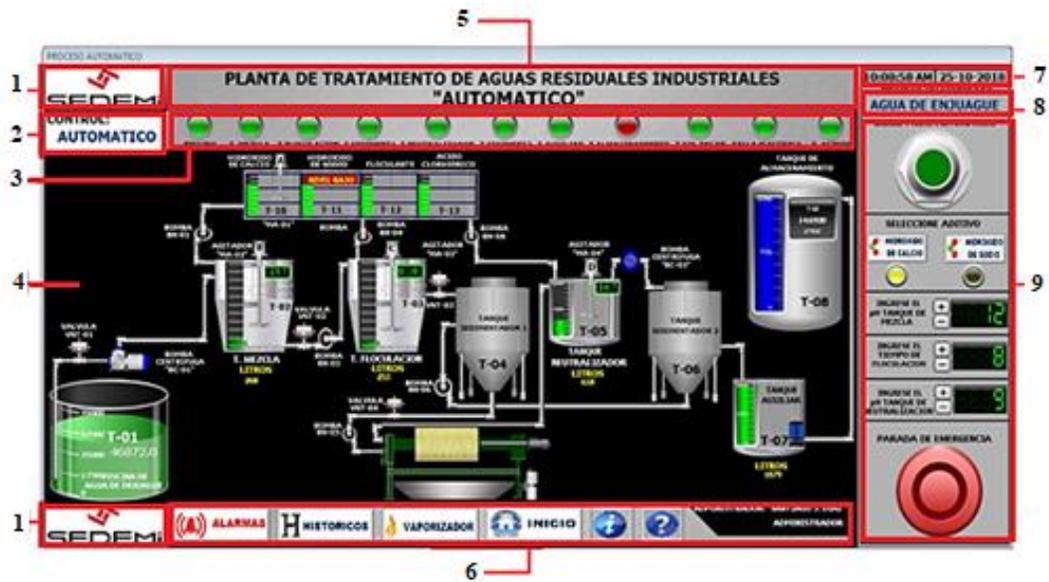


Figura 126. Pantalla de control Automático de “ADE”.

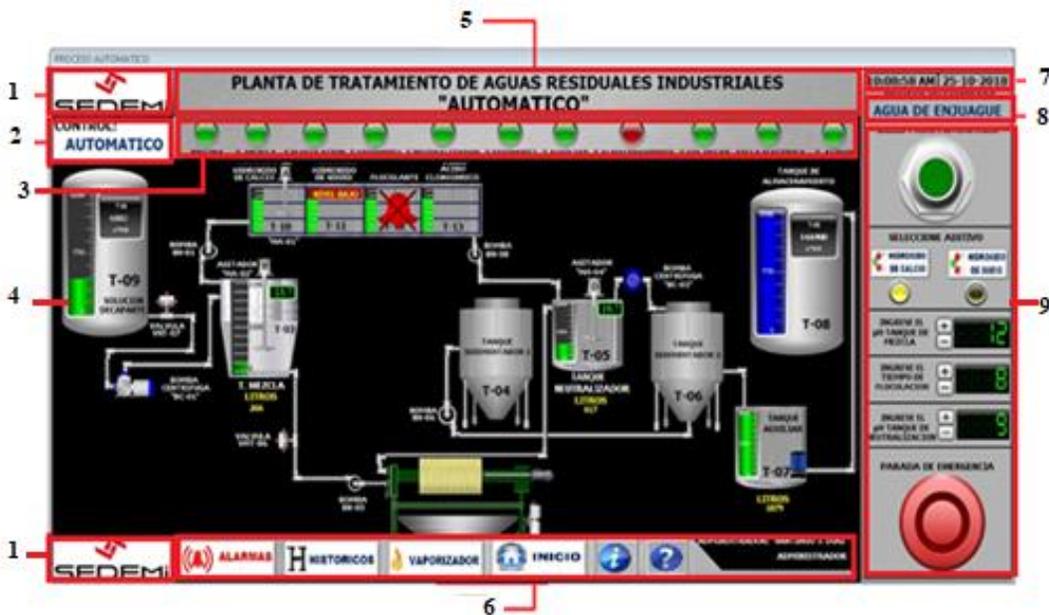
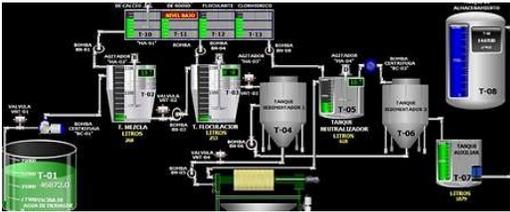
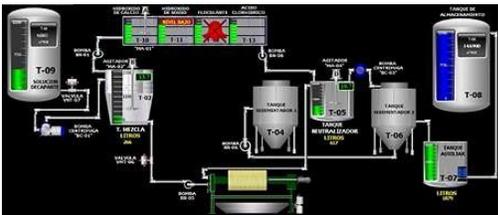


Figura 127. Pantalla de control Automático de “SDEC”.

**Tabla 61**  
*Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla Automática de ADE y SDEC*

ÁREA DE CONTROL DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	<p>El gráfico representa la estructura y la capacidad de los tanques de Hidróxidos y Ácidos de adición a las aguas residuales.</p>
	<p>El gráfico ilustra todo el proceso de control en modo Automático del proceso de Agua de Enjuague “ADE”.</p>
	<p>El gráfico muestra todo el proceso de control en modo Automático del proceso Solución Decapante “SDEC”.</p>

**5.9.7. Pantalla de Control Manual Vaporizador**

En la Tabla 62 se describe la estructura de la pantalla del “Vaporizador”, en la Figura 128 se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 63 detalla cada uno de los botones de control en modo manual del vaporizador y la Tabla 64 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.

**Tabla 62**  
*Ítems de la Pantalla de control del Vaporizador*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Logo
2	Indicador control de proceso: Manual
3	Barra de Alarmas
4	Área de Control de Proceso (Mímico)
5	Título de la Pantalla
6	Barra de Navegación

CONTINUA →

- 7 Hora y Fecha
- 8 Selección de Proceso: ADE y SDEC
- 9 Barra de Control Manual



Figura 128. Pantalla de Control Manual Vaporizador.

Tabla 63  
Ítems de la Barra de Control Manual de la Pantalla Vaporizador

BARRA DE CONTROL	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN
	Este selector enciende y apaga el incinerador del tanque de GLP.

Tabla 64  
Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla Vaporizador.

AREA DE CONTROL DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCION
	Este grafico representa la estructura del Tanque de GLP y el funcionamiento del incinerador.

### 5.9.8. Pantalla de Alarmas

En la Tabla 65 se ilustra la estructura de la pantalla de “Alarmas”, en la Figura 129 se describe la ubicación de cada componente, la Tabla 66 corresponde a cada uno de los botones de control y la Tabla 67 identifica cada uno de los dispositivos que conforman la pantalla.

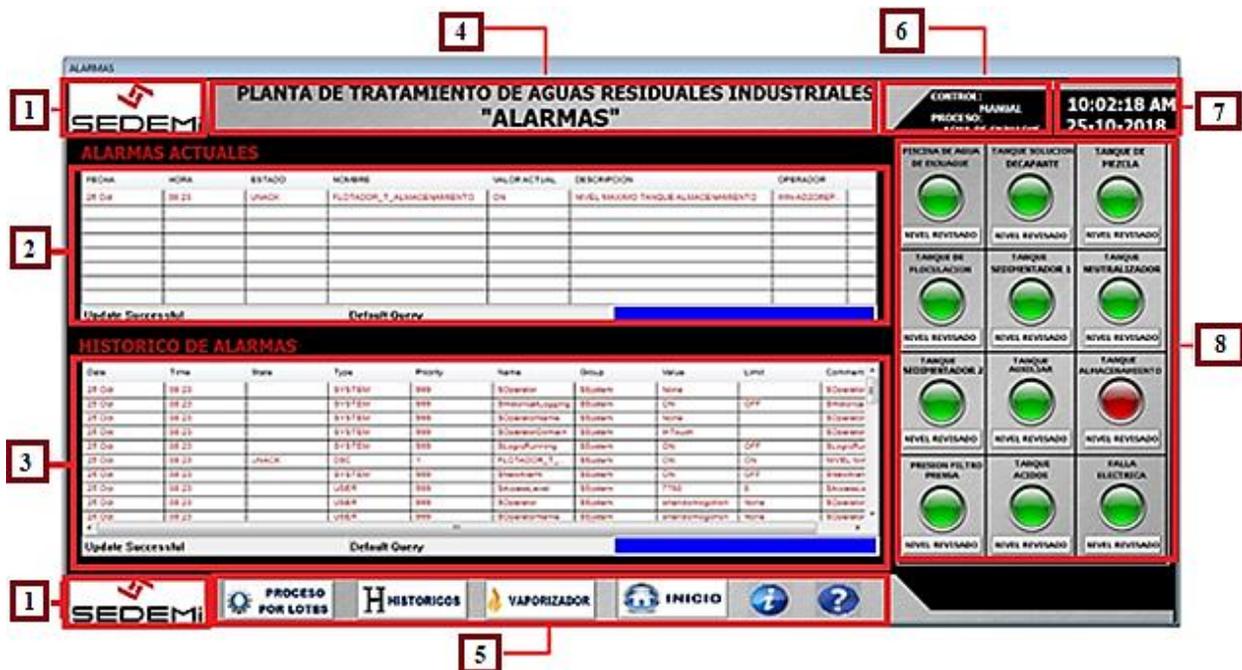


Figura 129. Pantalla de Alarmas.

Tabla 65

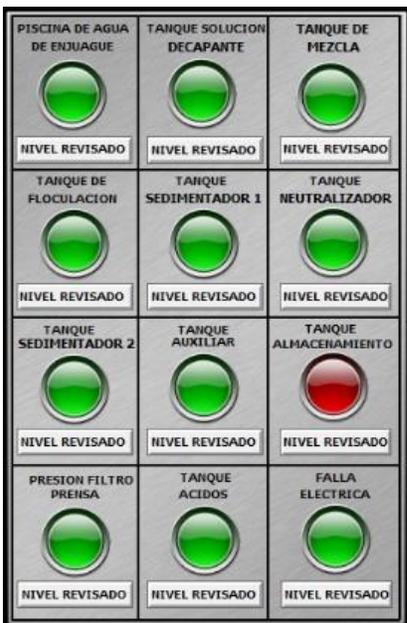
Ítems de la Pantalla de Alarmas

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Logo
2	Indicador de Alarmas Activadas y Detalle
3	Indicador de Alarmas Activadas y Detalle Histórico
4	Título de la Pantalla
5	Barra de Navegación
6	Selección de Proceso y Modo de Control
7	Hora y Fecha
8	Barra Indicadora de alarmas y verificación.

**Tabla 66**  
**Ítems de la Barra de Control de la Pantalla Automática de ADE y SDEC**

**BARRA DE CONTROL**

ITEM	DESCRIPCION
	<p>Esta Luz indicadora muestra el estado de cada uno de los flotadores de emergencia colocados en cada tanque si llegan a activarse se detiene todo tipo de ingreso de agua residual, Hidróxido y Acido ya que corre peligro de derrame.</p>
	<p>Este botón permite que las alarmas activadas las cuales aparecen en el visor de alarmas de color rojo cambie a color negro indicando al sistema que ha sido revisado y que baje la prioridad de Alarma.</p>



Esta Barra de Control y visualización muestra cada una de las alarmas de nivel de los tanques de tratamiento, cada uno de los cuales cuenta con un botón de NIVEL REVISADO el cual permiten apagar la activación de la alarma para continuar con el proceso, además de indicadores para otros puntos críticos del proceso como:

- Caída de presión del Filtro Prensa.
- Tanques de ácidos Vacíos.
- Falla Eléctrica.

Una vez activada la alarma el LED indicador cambia de color a ROJO y al dar CLICK en el led aparecerá una ventana emergente la cual informa las POSIBLES FALLAS y POSIBLES SOLUCIONES:

**Tabla 67**  
*Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Alarmas*

ÁREA DE CONTROL DE PROCESO	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN

ALARMAS ACTUALES						
FECHA	HORA	ESTADO	NOMBRE	VALOR ACTUAL	DESCRIPCION	OPERADOR
25 Oct	08:23	UNACK	FLOTADOR_T_ALMACENAMIENTO	ON	NIVEL MAXIMO TANQUE ALMACENAMIENTO	WIN4020EP...
Update Successful		Default Query				

Este gráfico ilustra las Alarmas que se encuentran activadas con la información puntual de la alarma con hora y fecha.

HISTORICO DE ALARMAS										
Date	Time	Status	Type	Priority	Name	Group	Value	Limit	Comment	Operator
25 Oct	08:23		SYSTEM	999	SDoperator	SSystem	None			SDoperator
25 Oct	08:23		SYSTEM	999	SHistoricalLogging	SSystem	On	OFF		SHistorica
25 Oct	08:23		SYSTEM	999	SDoperatorName	SSystem	None			SDoperator
25 Oct	08:23		SYSTEM	999	SDoperatorSystem	SSystem	InTouch			SDoperator
25 Oct	08:23		SYSTEM	999	SLoggingRuning	SSystem	On	OFF		SLoggingRu
25 Oct	08:23	UNACK	DIAG	1	FLOTADOR_T...	SSystem	On	On	NIVEL MA	
25 Oct	08:23		SYSTEM	999	SHenAlarm	SSystem	On	OFF		SHenAlarm
25 Oct	08:23		USER	999	SAcoveLevel	SSystem	7750	0	SAcoveLe	
25 Oct	08:23		USER	999	SDoperator	SSystem	operatorname	None		SDoperator
25 Oct	08:23		USER	999	SDoperatorName	SSystem	operatorname	None		SDoperator
Update Successful		Default Query								

Este gráfico muestra datos históricos de Ingresos, Alarmas y operadores del sistema, almacena información de las fallas ya sean estas Revisadas o No revisadas.

**5.9.9. Pantalla de Históricos**

En la Tabla 68 se describe la estructura de la Pantalla de “Históricos”, en la Figura 130 representa la ubicación de cada componente, la Tabla 69 detalla a que tanque de proceso pertenece la línea de tendencia y el nivel actual de nivel en litros, la Tabla 70 identificacada las pantallas de visualización de líneas de tendencia y la Tabla 71 identifica el icono de generación del reporte en formato EXCEL de los niveles de cada uno de los tanques de proceso.

**Tabla 68**  
*Ítems de la Pantalla de Históricos.*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Logo
2	Área de Control de Proceso (Mímico)
3	Título de la Pantalla
4	Barra de Navegación

CONTINUA →

- 5 Hora y Fecha
- 6 Barra de Identificación de Datos Históricos

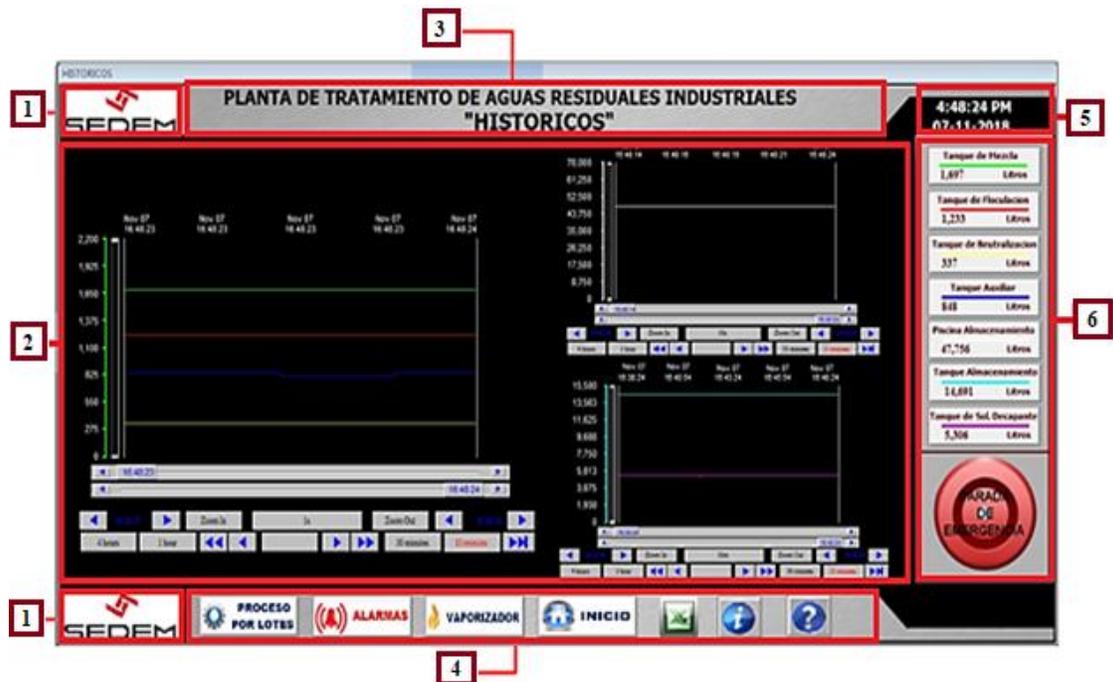
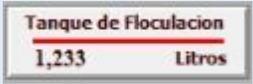
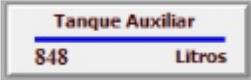


Figura 130. Pantalla de Históricos.

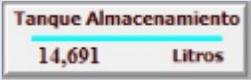
Tabla 69  
Ítems de la Barra de Identificación de Datos Históricos

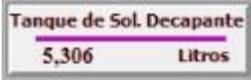
BARRA DE IDENTIFICACIÓN	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN
	Esta etiqueta representa el valor numérico en litros del nivel del Tanque de Mezcla y el color de la línea de tendencia (VERDE) graficada en el primer visor para el almacenamiento de datos históricos de nivel.
	Esta etiqueta muestra el valor numérico en litros del nivel del Tanque de Floculación y el color de la línea de tendencia (ROJA) graficada en el primer visor para el almacenamiento de datos históricos de nivel.
	Esta etiqueta ilustra el valor numérico en litros del nivel del Tanque de Neutralización y el color de la línea de tendencia (AMARRILLA) graficada en el primer visor para el almacenamiento de datos históricos de nivel.

CONTINUA →

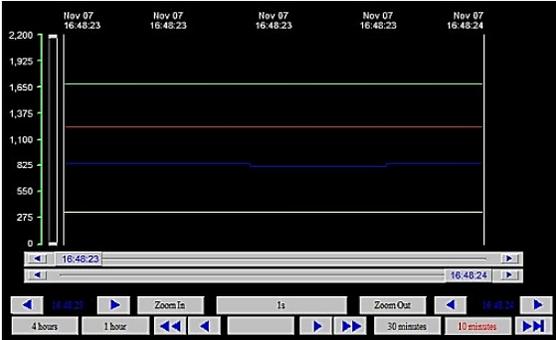
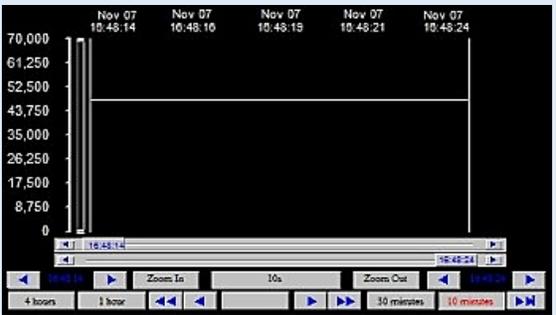
 Esta etiqueta expone el valor numérico en litros del nivel del Tanque Auxiliar y el color de la línea de tendencia (AZUL) graficada en el primer visor para el almacenamiento de datos históricos de nivel.

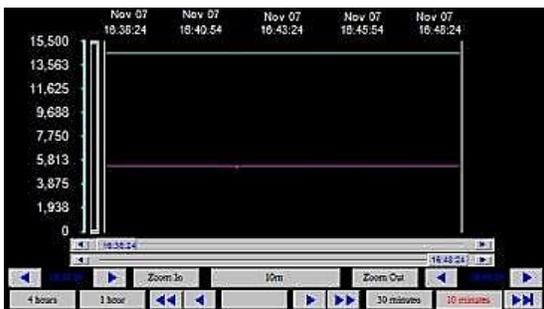
 Esta etiqueta muestra el valor numérico en litros del nivel de la Piscina de Almacenamiento y el color de la línea de tendencia (BLANCA) graficada en el segundo visor para el almacenamiento de datos históricos de nivel.

 Esta etiqueta corresponde el valor numérico en litros del nivel del Tanque de Almacenamiento y el color de la línea de tendencia (TURQUESA) graficada en el primer visor para el almacenamiento de datos históricos de nivel.

 Esta etiqueta ilustra el valor numérico en litros del nivel de Solución Decapante y el color de la línea de tendencia (VIOLETA) graficada en el primer visor para el almacenamiento de datos históricos de nivel.

**Tabla 70**  
*Ítems del Área de Control de Proceso de la Pantalla de Históricos.*

ÁREA DE CONTROL DE PROCESO	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN
	<p>El gráfico muestra la línea de tendencia del nivel de los tanques:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque de Mezcla (Verde).</li> <li>• Tanque de Floculación (Rojo).</li> <li>• Tanque de Neutralización (Amarillo).</li> <li>• Tanque Auxiliar (Azul).</li> </ul> <p>Con un límite máximo de 2200 litros.</p>
	<p>El gráfico ilustra la línea de tendencia del nivel de la Piscina de Almacenamiento (Blanco) con un límite máximo de 70000 litros de capacidad.</p>



El gráfico muestra la línea de tendencia del nivel de los tanques:

- Tanque de Almacenamiento (Turquesa).
- Tanque de Solución Decapante (Violeta).

Con un límite máximo de 15000 litros de capacidad.

**Tabla 71**  
*Ítems de la Barra de Navegación.*

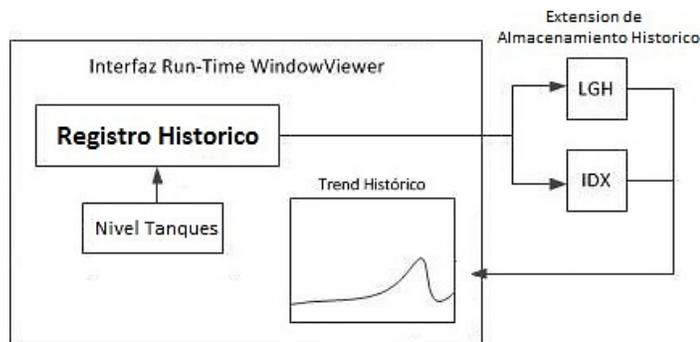
BARRA DE NAVEGACIÓN	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN
	Este Botón permite generar el reporte diario de los niveles de los tanques de tratamiento en formato EXCEL, para el análisis de la cantidad de agua tratada diariamente en una jornada de trabajo.

## 5.10. Implementación de Históricos de Nivel

### 5.10.1. Manejo de Datos Históricos en Intouch

El software Intouch puede manejar dos tipos de datos: de tiempo real y datos históricos dependiendo de la configuración específica que se le dé a cada uno de los tags, estos datos pueden ser guardados por periodos configurables de tiempo y almacenados en la memoria interna de la computadora con dos extensiones específicas. IDX y LGH.

Los dos tipos de extensiones almacenan los datos de forma diferente la extensión. LGH almacena los datos en formato de base de datos y la extensión. IDX las almacena como un índice de los datos. (Invensys System, 2007). El diagrama de manejo de datos históricos se detalla en la Figura 131.



**Figura 131.**Diagrama de Manejo de Datos Históricos.

### 5.10.2. Configuración de Parámetros de Almacenamiento de Datos Históricos

En el programa Intouch para poder almacenar los datos es necesario.

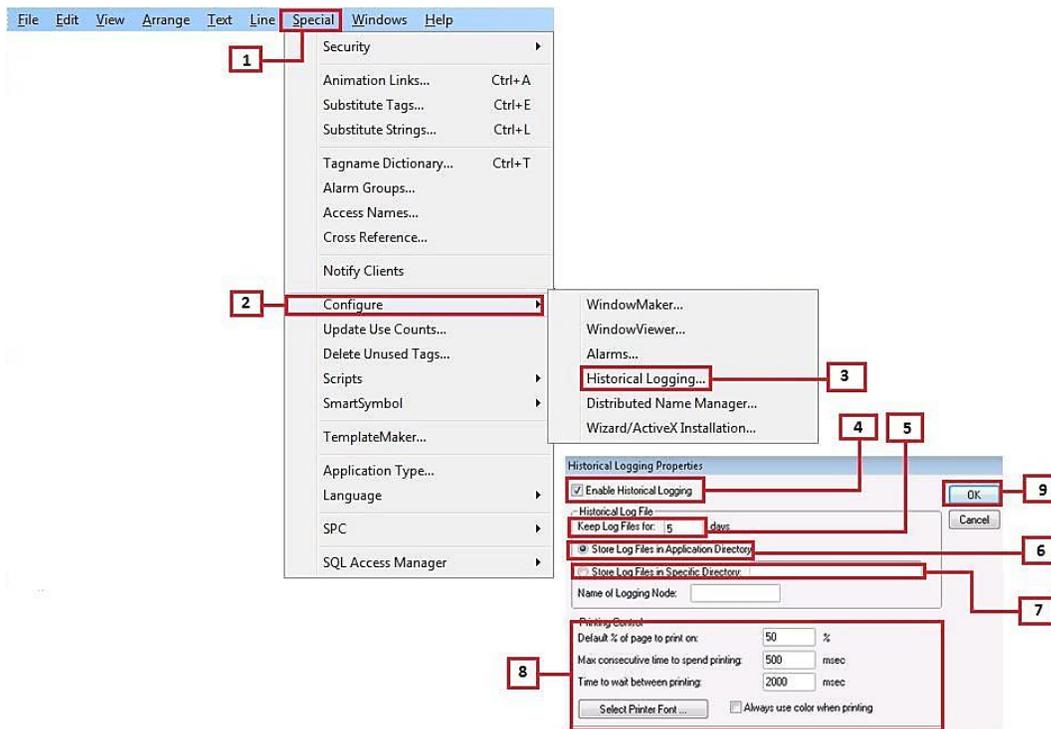
- La configuración de los parámetros de las propiedades generales de almacenamiento, incluidas en la librería Historical Logging como intervalo de tiempo de lectura, carpeta de almacenamiento y periodo de almacenamiento.
- La configuración de los Tags que se van a realizar la lectura continua y almacenamiento de los datos.

Los pasos de configuración del almacenamiento de los datos históricos se detallan a continuación en la Tabla 72 y en la Figura 132.

**Tabla 72**

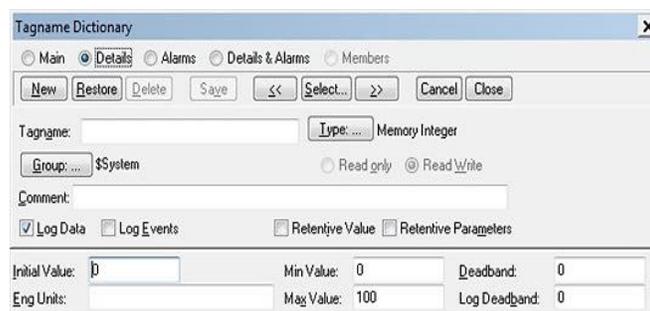
*Pasos de Configuración de Datos Históricos*

PASO	DESCRIPCIÓN
1	Seleccionar de la barra menú "SPECIAL"
2	Seleccionar "CONFIGURE"
3	Seleccionar "HISTORICAL LOGGING"
4	Habilitar la pestaña "HISTORICAL LOGGING"
5	Seleccionar el Número de días de Almacenamiento
6	Seleccionar Ubicación Almacenamiento Predeterminada
7	Seleccionar Ubicación de Almacenamiento "C:\"
8	Parámetros preestablecidos de Impresión
9	Seleccionar "OK" para guardar los cambios



**Figura 132.** Pasos de Configuración de Datos Históricos.

### 5.10.3. Configuración de los Tags de Lectura



**Figura 133.** Pasos de Configuración de Datos Históricos.

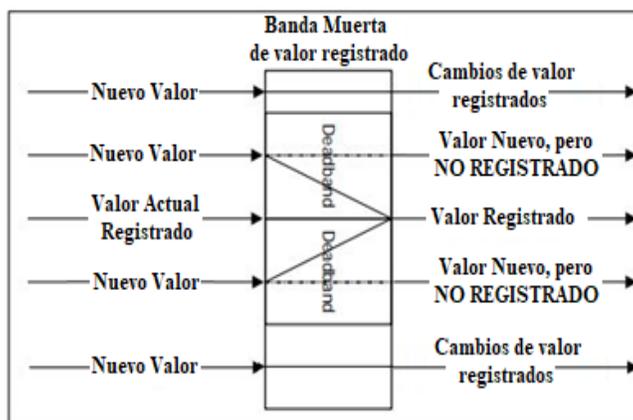
Fuente: (Invensys System, 2007).

Los Tags para poder ser almacenados en forma de datos históricos requieren que cada uno sea configurado activando la pestaña “Log Data”, mediante la configuración en la aplicación “Tagname Dictionary” como se muestra en la Figura 133.

Al activar la pestaña “Log Data” se le indica al programa que debe almacenar la información, dato o carácter que contenga el Tag.

De ser necesario existe la configuración “Log Deadband” la que permite establecer un rango superior o inferior de un dato para ser almacenado, mientras el dato de este Tag no sobrepase o disminuya de este rango el dato no será almacenado.

Para la implementación de este proyecto no es necesario la habilitación del “Log Deadband” basado en la estructura mostrada en la Figura 134.



**Figura 134.**Filtro Deadband.

Fuente: (Invensys System, 2007)

#### 5.10.4. Visualización y Selección de Datos Históricos de Nivel

Los datos configurados para el almacenamiento histórico pueden ser visualizados en tiempo real a través de una ventana denominada Trend Histórico, la que va graficando cada uno de los Tags con un color de identificación seleccionable específico para cada dato de nivel de los tanques de proceso. En este proyecto se graficaron los Tags en 3 Trend Históricos debido a las variaciones de capacidad de cada grupo de tanques los cuales se describen en la Figura 135, Figura136 y Figura 137 a continuación:

### 1. Trend Histórico 1 con un rango de 0 a 2200 Litros.



Figura 135. Trend Histórico 1.

### 2. Trend Histórico 2 con un rango de 0 a 70000 Litros

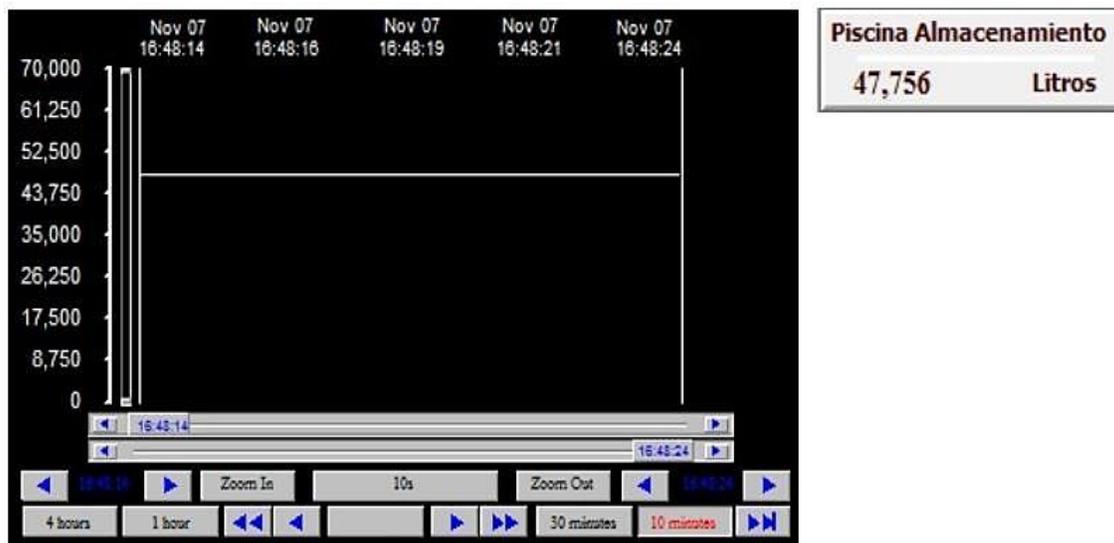


Figura 136. Trend Histórico 2.

3. Trend Histórico 3 con un rango de 0 a 15000 Litros.

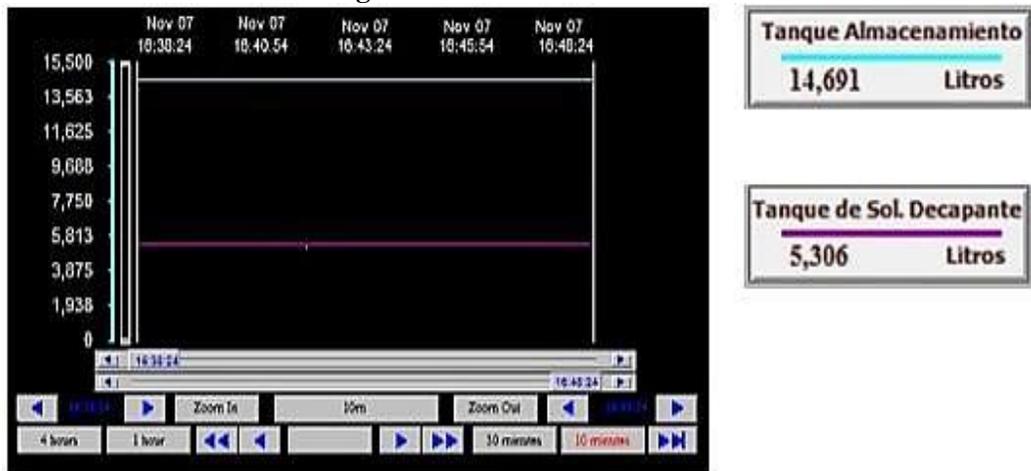


Figura 137. Trend Histórico 3.

Para realizar la configuración y selección de cada uno de los Trends Históricos se debe seguir los siguientes pasos detallados en la Tabla 73 como se indica en la Figura 138.

Tabla 73  
Pasos de Configuración de Trends Históricos.

PASO	DESCRIPCIÓN
1	Seleccionar icono Wizard
2	Seleccionar Trends
3	Dar click en Hist Trend
4	Dar click en Trend Zoom

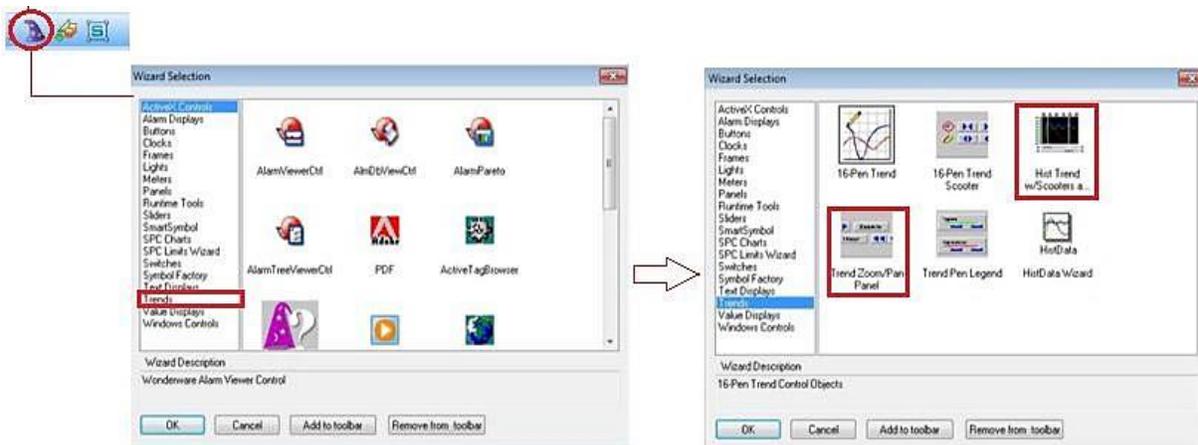
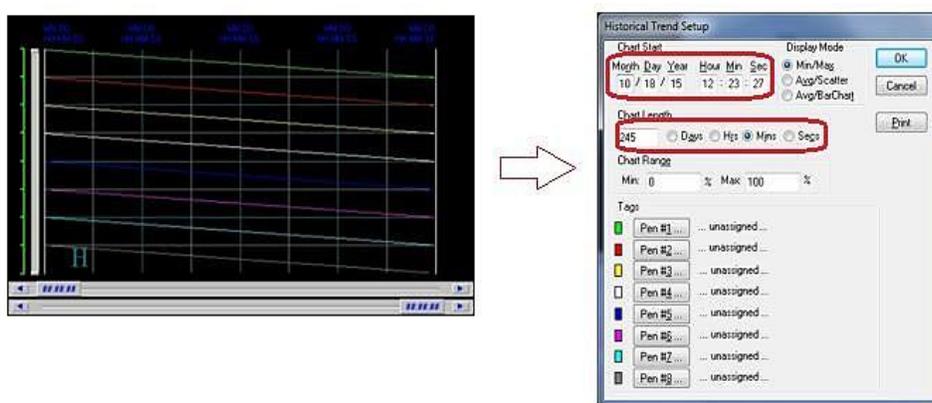


Figura 138. Pasos de selección Trend Histórico.

Una vez que se encuentra el visor de históricos en la pantalla de control se procede a configurar cada uno de los Tags que se van a almacenar, para lo cual una vez ejecutada el sistema HMI se da doble click sobre el visor de Históricos, se ingresan cada uno de los Tags y se configura la fecha y hora de inicio del muestreo y el tiempo de toma de datos ya sea este cada ciertos SEGUNDOS – MINUTOS – HORAS O DIAS como se muestra en la Figura 139 y se detallan en la Tabla 74.



**Figura 139.** Configuración de Tags en Trend Histórico

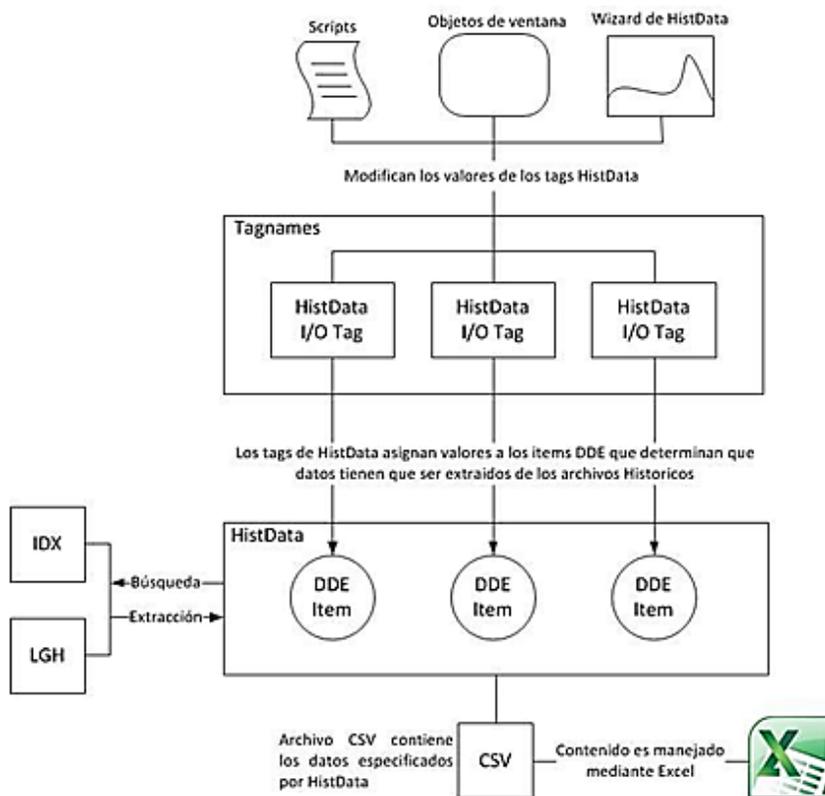
**Tabla 74**

*Selección de Tags para Datos Históricos.*

TAG	DESCRIPCIÓN
NIVEL_PISCINA_HISTÓRICOS	Indica la cantidad de agua almacenada en litros del Agua de Enjuague.
NIVEL_TANQUE_MEZCLA_HISTÓRICOS	Indica la cantidad de agua residual en litros en el Tanque de Mezcla.
NIVEL_TANQUE_FLOCULA_HISTÓRICOS	Indica la cantidad de agua residual en litros en el Tanque de Floculación.
NIVEL_TANQUE_NEUTRA_HISTÓRICOS	Indica la cantidad de agua residual en litros en el Tanque de Neutralización.
NIVEL_TANQUE_AUXILIAR_HISTÓRICOS	Indica la cantidad de agua residual en litros en el Tanque de Auxiliar.
NIVEL_TANQUE_SDEC_HISTÓRICOS	Indica la cantidad de ácidos agotados en litros en el Tanque de Solución Decapante.
NIVEL_TANQUE_AGUATRATADA_HISTÓRICOS	Indica la cantidad de agua tratada en litros en el Tanque de Almacenamiento.

### 5.10.5. Exportar Datos Históricos de Nivel a Excel

Mediante el protocolo de comunicación DDE es posible generar reportes de la información histórica y exportarlos en formato de hoja de cálculo de Excel con extensión **.CSV** para que estos puedan ser analizados por el personal técnico en base al funcionamiento y operatividad del proceso, esto permitirá calcular tiempos del proceso y analizar la producción diaria, para lo cual se tiene un diagrama esquemático el cual detalla todo el proceso de exportar datos a una hoja de Excel el cual esta descrito en la Figura 140.



**Figura 140.** Diagrama de envío de datos de Intouch a Excel.

Fuente: (Invensys System, 2007)

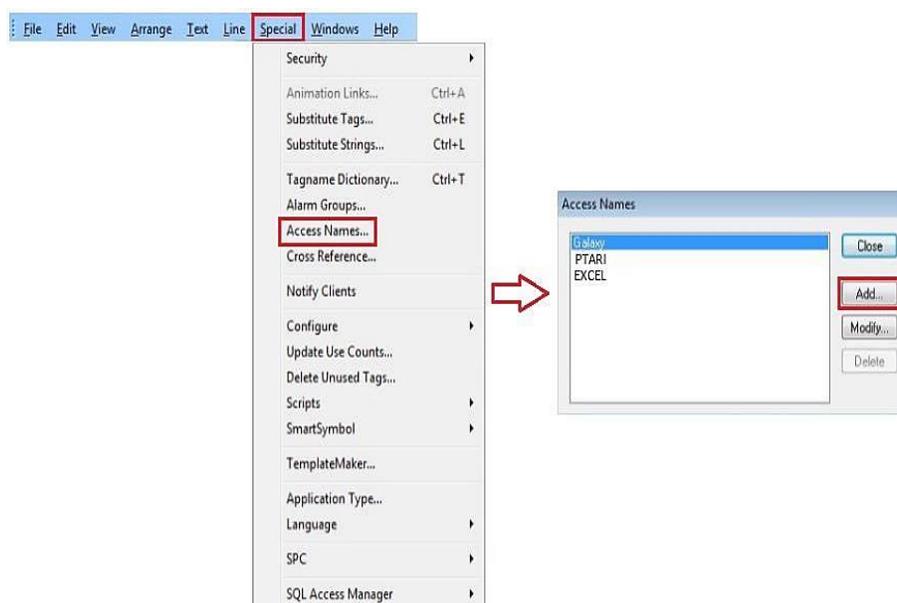
El software Intouch utiliza una aplicación llamada HistData para poder exportar los datos almacenados a formato EXCEL, para lo cual debe ser creado un “Access Name” para poder realizar

la vinculación y seguir los pasos siguientes detallados en la Tabla 75 y en la Figura 141, además de realizar la configuración del “Access Name” como se detalla en la Tabla 76 y en la Figura 142.

**Tabla 75**

*Pasos para la Configuración de Access Name.*

PASO	DESCRIPCIÓN
1	Seleccionar en el menú “SPECIAL”.
2	Seleccionar “ACCESS NAMES”.
3	Seleccionar “ADD”.



**Figura 141.** Configuración de Tags en Access Name.

Fuente: (Invensys System, 2007)

**Tabla 76**

*Pasos de Configuración de la aplicación Modify Access Name*

PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Ingresar el Nombre del ACCESS.
2	Ingresar el nombre del “NODE NAME”.
3	Ingresar el nombre del “APPLICATION NAME” en este caso el nombre del programa Excel.
4	Ingresar el “TOPIC NAME” el cual es el nombre del archivo Excel al cual se le va a enviar los datos históricos.
5	Escoger el tipo de protocolo de comunicación de Datos.
6	Seleccionar cuando avisar al servidor.

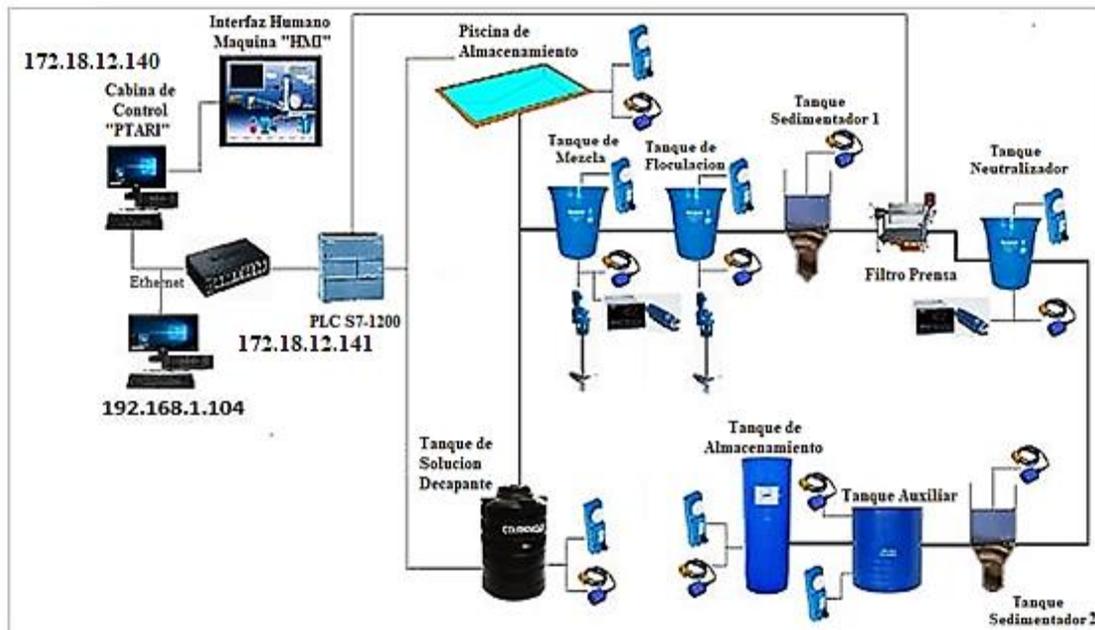


**Figura 142.** Configuración de parámetros Access Name

Fuente: (Invensys System, 2007)

## 5.11. Sistema de Comunicación

### 5.11.1. Layout de la Red Implementada



**Figura 143.** Layout de la Red Ptari.

El detalle de la red de comunicación implementada para realizar el sistema de control y monitoreo se muestra en la Figura 143 y que se detalla en la Tabla 77.

**Tabla 77**  
*Tabla de Direcciones IP.*

ÁREA	EQUIPO	DIRECCIÓN IP	MASCARA
PTARI	Computadora de Control Cabina PTARI	172.18.12.140	255.255.255.0
PTARI	PLC S7-1200	172.18.12.141	255.255.255.0
DEPARTAMENTO “I+D”	Computadora de Programación	192.168.1.104	255.255.255.0

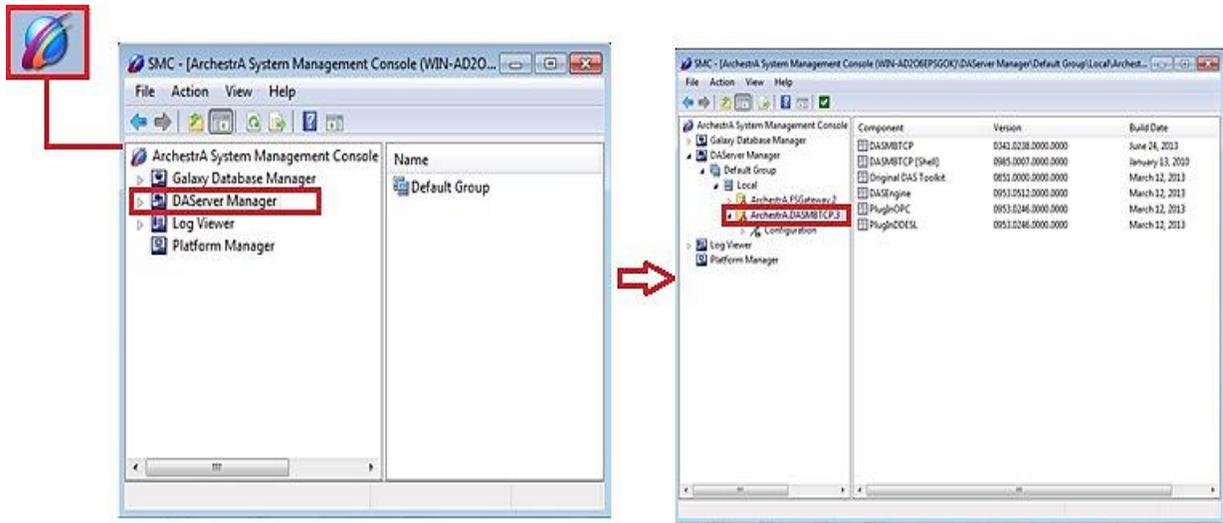
### 5.11.2. Configuración de Servidores para el Sistema de Comunicación

El proceso de comunicación entre el sistema de SCADA con el PLC Siemens S7-1200 de control se realizó mediante la configuración de un servidor nativo de Wonderware, el servidor DASMBTCP DAServer y el medio de comunicación es a través de una conexión Cliente– Servidor por cable ethernet.

Para poder generar la comunicación del servidor DASMBTCP con el Plc se tiene que configurar los parámetros de comunicación e información específica del PLC que se desea controlar, permitiendo de esta manera la creación de un puente entre el sistema HMI y el sistema de control los pasos de configuración se detallan a continuación en la tabla 78 y en la Figura 144.

**Tabla 78**  
*Configuración del Servidor DAServer*

PASO	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
1	Abrir el programa “Archestra System Management Console”.	
2	Seleccionar la pestaña de “DAServer Manager”.	
3	Desplegar las pestañas hasta Seleccionar “Archestra.DASMBTCP.3”	



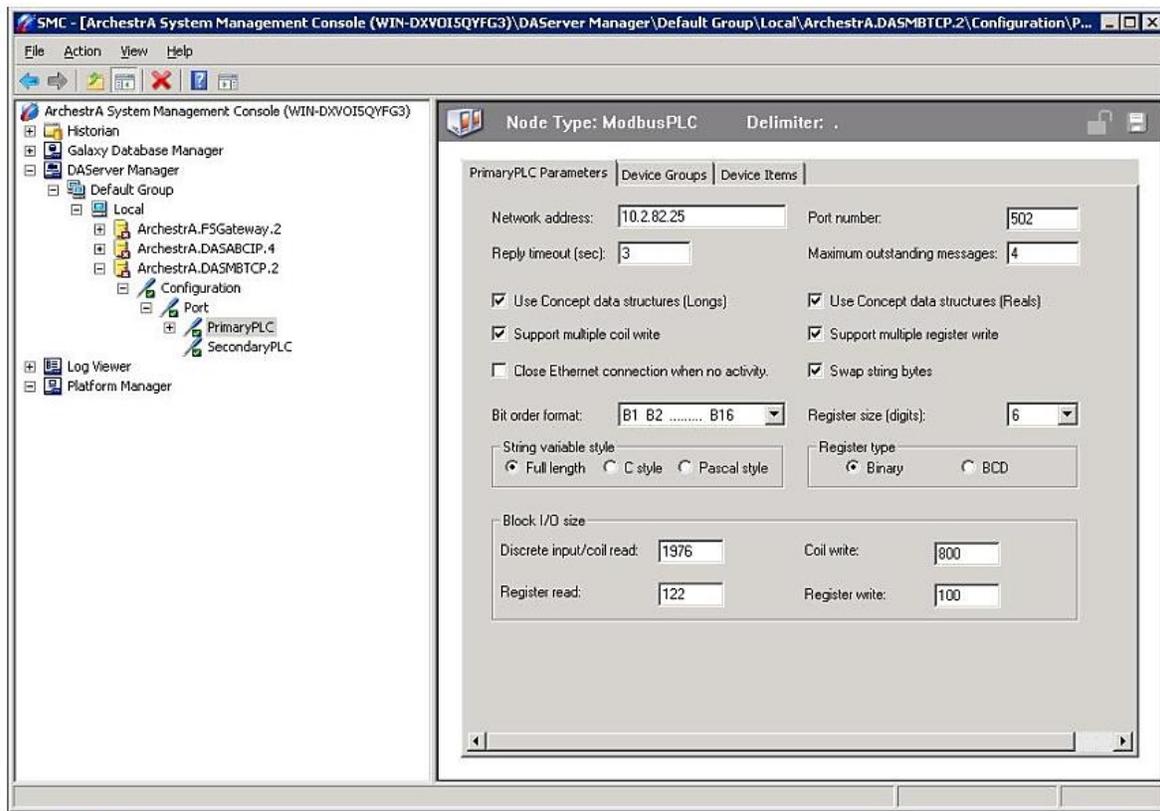
**Figura 144.** Configuración del Servidor DAServer.

Fuente: (Invensys System, 2007)

Una vez en la pestaña DASMBTCP seleccionar la pestaña Configuración y realizar los pasos detallados en la Tabla 79 y mostrados en la Figura 145.

**Tabla 79**  
*Configuración del Servidor Configuración DASMBTCP*

PASO	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
1	Seleccionamos la pestaña “CONFIGURACION” dejamos los parámetros establecidos y damos click derecho y escogemos la opción “ADD”	
2	Ingresamos el nombre del nodo, damos click derecho sobre el nodo y seleccionamos la opción “Add ModbusPLC Object”	
3	Creamos en nuevo nodo de comunicación MODBUS y configuramos los parámetros de comunicación e identificación con el PLC.	

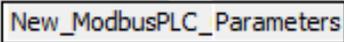
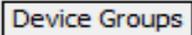


**Figura 145.** Configuración del Servidor Configuración DASMBTCP.

Fuente: ( (Invensys System, 2007)

Una vez creado el objeto de comunicación Modbus se procede con la configuración de los parámetros específicos del Plc como: direcciones IP, número de puerto, tipo de registro, intervalo de actualización y todos los Tags de comunicación como se detallan en la Tabla 80 y en la Figura 146 y en la Figura 147.

**Tabla 80**  
*Configuración del Servidor Configuración DASMBTCP.*

PASO	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
1	Configuramos los parámetros de comunicación Modbus, detallada en la Figura 126.	
2	Configuramos los parámetros de actualización de datos de la pestaña “DEVICE GROUPS”, detallado en la Figura 127.	

CONTINUA →

3

Ingresamos los Tags de control configurados en el WindowsMaker de Intouch. Detallado en la Figura 128.

Device Items

**Figura 146.** Configuración de los Parámetros de Comunicación Modbus.

Fuente: (Invensys System, 2007)

Name	Item Reference
APERTURA_PLACAS_FP	00075
ARRANQUE_MOTOR_FP	00108
BC_01	00003
BC_02	00073
BC_03	00069
BN_01	00005
BN_02	00006
BN_03	00009
BN_04	00010
BN_05	00079
BN_06	00070
BN_07	00067
BN_08	00097
BS_02	00071
CIERRE_PLACAS_FP	00076
CONT_MIN_ENTEROS	400010
CONT_MIN_PLC	400018
CONT_SEG_ENTEROS	400016
CONT_SEG_PLC	400017
EV_FP1	00075
EV_FP2	00076
FALLA_ELECTRICA	100006
FINAL_CARRERA_FILTRO_PRENSA	100013
FLOTADOR_PISCINA	100065
FLOTADOR_T_ALMACENAMIENTO	100075
FLOTADOR_T_AUXILIAR	100073

**Figura 147.** Configuración de los Tags de Control del Sistema HMI.

Fuente: (Invensys System, 2007)

Se debe ingresar cada uno de los Tags creados para el sistema HMI de forma manual en esta tabla la que irá acompañada del número de registro para cada salida o entrada, ya sea booleana o análoga. Cada una de las salidas o entradas cuentan con un número de registro único los que se describen en la Tabla 81 y las ubicaciones de cada una de las entradas y salidas se muestran en la Figura 148.

**Tabla 81**

*Configuración de entradas y salidas con el registro de Modbus*

MODULO	DESCRIPCIÓN	REGISTRO
<b>S7-1200</b>	Salidas Digitales	1
		10
	Entrada Digital	10001
		10010
<b>Módulo de Expansión 1</b>	Salidas Digital	65
		78
	Entrada Digital	10065
		10078
<b>Módulo de Expansión 2</b>	Salidas Digital	97
		110
	Entrada Digital	10097
		10110
<b>Módulo de Expansión de Entradas Analógicas</b>	Entradas	40001
		40018

Una vez ingresados cada uno de los Tags y su respectivo registro, para terminar la configuración del servidor se guarda la información y sobre la pestaña DASMBTCP se da click derecho, se selecciona el servicio como Servicio Automático y finalmente se activa el servidor. Dichos pasos se describen en la Figura 149.

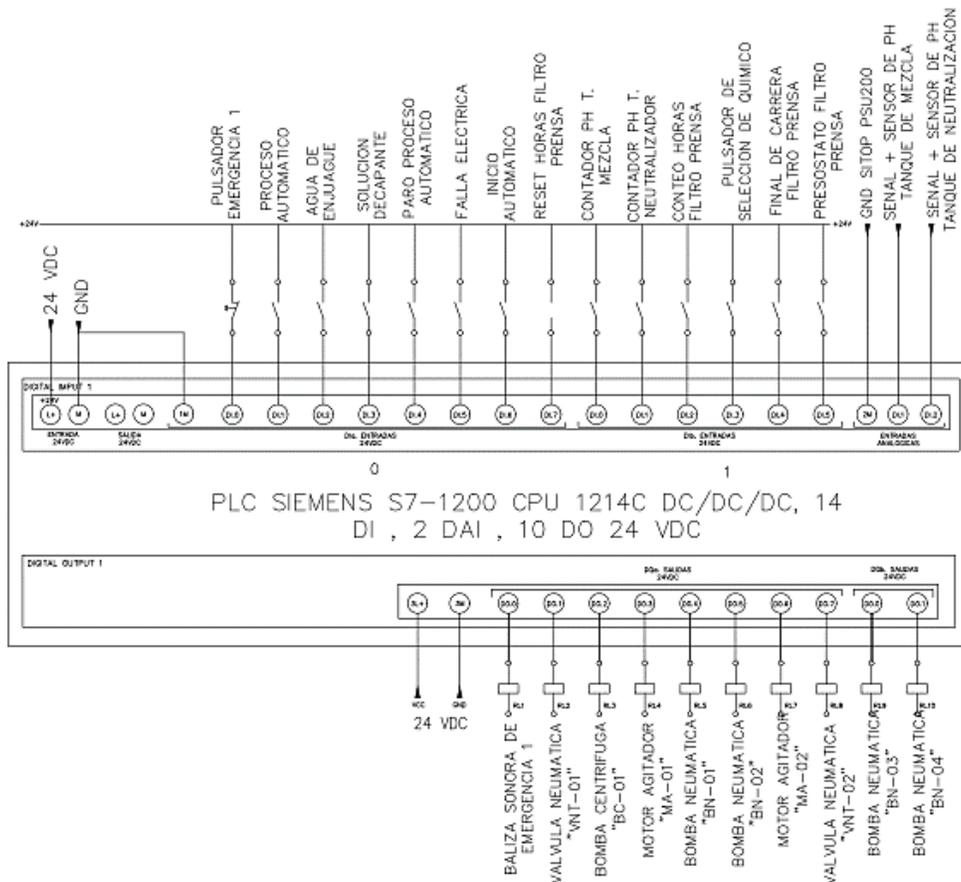


Figura 148. Configuración de entradas y salidas digitales y analógicas por módulos.

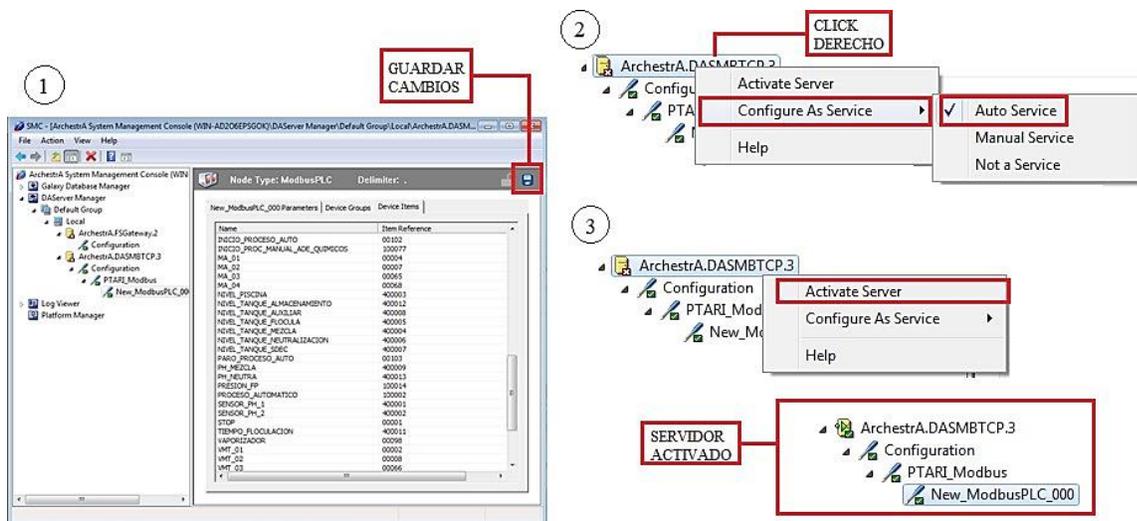


Figura 149. Activación del servidor DASMBTCP.

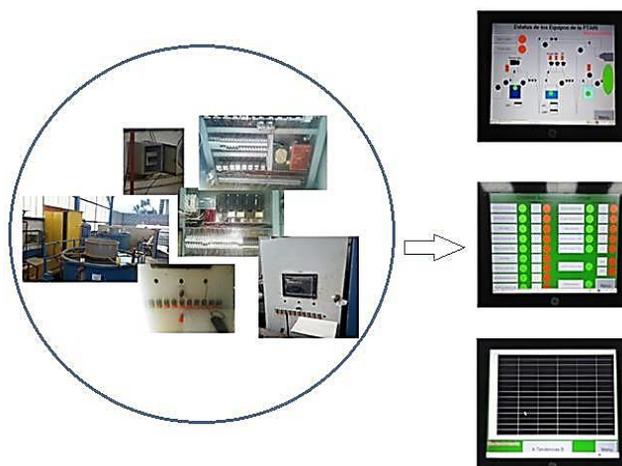
Fuente: (Invensys System, 2007)

## CAPÍTULO 6

### 6. PRUEBAS Y RESULTADOS

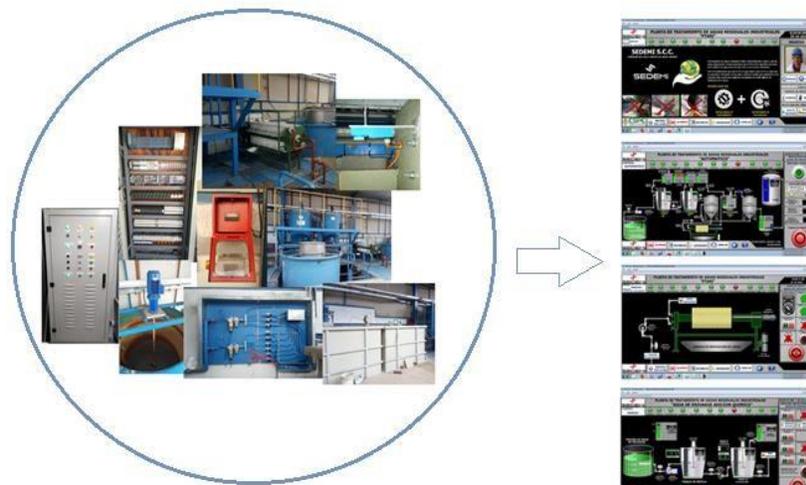
Para analizar las pruebas y resultados, es necesario exponer que antes de la realización del presente proyecto de repotenciación de la planta de tratamiento de agua Ptari, esta era controlada por un Touch Panel el que permitía manipular por medio de pulsadores el encendido y apagado de los dispositivos debido a falla en las salidas digitales del PLC. El sistema HMI no permitía visualizar de forma clara el proceso de tratamiento, ni la medición de los niveles de los tanques, el tablero de control se encontraba expuesto a la contaminación resultando dañado en la sensibilidad de la pantalla Touch y se manejaba el proceso de forma manual a través de un mouse que permitía la navegación del HMI.

Por su lado, la mezcla de los aditivos químicos en los tanques de tratamiento se realizaba mediante el ingreso de mangueras de aire al tanque para producir turbulencia, los dispositivos de maniobra del tablero de control presentaban recalentamiento y quemaduras por motivo de sobretensión en los terminales. El sistema de control antiguo se muestra en la Figura 150.



**Figura 150.**Diagrama del Antigo Sistema de Control.

Después de finalizar el proyecto, los procesos tratamiento de agua contaminada son visualizados en pantallas estructuralmente parecidas a la planta Ptari, pudiéndose visualizar los niveles de cada tanque de tratamiento. Se construyó una cabina de control en la cual se encuentra la computadora y el tablero de control para ser protegidos de la contaminación producida por la misma planta de tratamiento y por los demás procesos que se realizan en la empresa. Igualmente se instalaron agitadores en los tanques, a los que se le adicionan químicos para poder tener una mezcla más rápida y homogénea, el sistema HMI permite el registro de los usuarios y el seccionamiento de diferentes procesos de tratamiento residual. El sistema de control nuevo se muestra en la Figura 151.



*Figura 151.* Diagrama de Nuevo Sistema de Control.

## **6.1. Pruebas de Funcionamiento**

### **6.1.1. Encendido y Apagado de Equipos**

Una vez puesta en marcha la planta de tratamiento de agua Ptari, conformada por el sistema de control y el sistema HMI se realizaron pruebas de funcionamiento de los diferentes procesos de todo el sistema SCADA, para verificar el correcto encendido y apagado de cada

uno de los dispositivos de maniobra que conforman la planta, además de la lectura de los valores analógicos de los sensores de pH y sensores ultrasónicos. Para el efecto se diseñó el formulario (Checklist) mostrado en la Tabla 82.

**Tabla 82**  
*Pruebas de Funcionamiento de Equipos*

<b>ACTA DE REVISION DE EQUIPOS</b>			
<b>Proyecto:</b>	Repotenciación de la planta de tratamiento de agua "PTARI"		
<b>1. Actividades Ejecutadas</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de claves de Ingreso.</li> <li>• Revisión de selección de Proceso.</li> <li>• Revisión de tipo de Agua Residual.</li> <li>• Revisión de la lectura de los sensores de nivel.</li> <li>• Revisión de funcionamiento de Bombas neumáticas.</li> <li>• Revisión de funcionamiento de Bombas Centrifugas y Sumergibles.</li> <li>• Revisión de la lectura de sensores de pH.</li> <li>• Revisión de la lectura de los Flotadores de Nivel.</li> <li>• Revisión de funcionamiento de Bombas Dosificadoras.</li> <li>• Revisión de funcionamiento de Motores Agitadores.</li> <li>• Revisión de funcionamiento de pulsadores de Emergencia.</li> <li>• Revisión de luces Indicadoras de proceso.</li> <li>• Generación de Reporte de nivel de los tanques de proceso.</li> </ul>			
<b>2. Planta de Tratamiento de Agua "Ptari"</b>			
<b>Claves de Ingreso</b>			
Detalle	Ingreso	Validación	Observaciones
Sistema de Ingreso y seguridad HMI.			
Validación de usuarios.			
<b>Selección de Proceso</b>			
Detalle	Ingreso	Validación	Observaciones
Selección de Proceso Manual.			
Selección de Proceso Automático.			
<b>Selección de Tipo de Agua Residual</b>			
Detalle	Ingreso	Validación	Observaciones
Selección de Agua de Enjuague "ADE".			
Selección de Solución Decapante "SDEC".			
<b>Lectura de los Sensores de Nivel</b>			
Detalle	Lectura de nivel	Observaciones	

CONTINUA →

Sensor de Nivel Piscina de Almacenamiento.		
Sensor de Nivel Tanque de Mezcla.		
Sensor de Nivel Tanque de Flocculación.		
Sensor de Nivel Tanque de Neutralización.		
Sensor de Nivel Tanque Auxiliar.		
Sensor de Nivel Tanque de Solución Decapante.		
Sensor de Nivel Tanque de Almacenamiento.		

### Funcionamiento Bombas Neumáticas

Detalle	Encendido	Apagado	Observaciones
Bomba Neumática "BN-03".			
Bomba Neumática "BN-04".			
Bomba Neumática "BN-05".			
Bomba Neumática "BN-06".			
Bomba Neumática "BN-07".			

### Funcionamiento Bombas Centrifugas y Sumergibles.

Detalle	Encendido	Apagado	Observaciones
Bomba Centrifuga "BC-01".			
Bomba Centrifuga "BC-02".			
Bomba Centrifuga "BC-03".			
Bomba Sumergible "BS-02".			

### Lectura de los Sensores de pH.

Detalle	Lectura de pH	Observaciones
Sensor de pH Tanque de Mezcla "pH-01".		
Sensor de pH Tanque Neutralizador "pH-02".		

### Lectura de los Flotadores de Nivel

Detalle	Lectura de nivel	Observaciones
Flotador de Nivel Piscina de Almacenamiento.		
Flotador de Nivel Tanque de Mezcla.		
Flotador de Nivel Tanque de Flocculación.		
Flotador de Nivel Tanque de Neutralización.		
Flotador de Nivel Tanque Auxiliar.		
Flotador de Nivel Tanque de Solución Decapante.		
Flotador de Nivel Tanque de Almacenamiento.		
Flotador de Nivel Tanque Sedimentador 1.		
Flotador de Nivel Tanque Sedimentador 2.		

### Funcionamiento Bombas Dosificadoras

Detalle	Encendido	Apagado	Observaciones
Bomba Dosificadora "BD-01".			

CONTINUA →

Bomba Dosificadora “BD-02”.			
Bomba Dosificadora “BD-04”.			
Bomba Dosificadora “BD-08”.			

<b>Funcionamiento Motores Agitadores</b>			
Detalle	Encendido	Apagado	Observaciones
Motor Agitador “MA-01”.			
Motor Agitador “MA-02”.			
Motor Agitador “MA-03”.			
Motor Agitador “MA-04”.			

<b>Funcionamiento Pulsadores de Emergencia</b>			
Detalle	Encendido	Apagado	Observaciones
Pulsador de Emergencia Tanque de Mezcla.			
Pulsador de Emergencia Cabina de Control.			
Pulsador de Emergencia “HMI”.			

<b>Funcionamiento de Luces Indicadoras</b>			
Detalle	Encendido	Apagado	Observaciones
Luz Indicadoras de proceso “Manual”.			
Luz Indicadoras de proceso “Automático”.			
Luz Indicadoras selección “ADE”.			
Luz Indicadoras selección “SDEC”.			
Luz Indicadoras “Falla Eléctrica”.			
Luz Indicadoras selección “NaOH”.			
Luz Indicadoras selección “Ca(OH) <sub>2</sub> ”.			

<b>Generación de Reporte de Nivel</b>			
Detalle	Ingreso	Validación	Observaciones
Crear reporte de niveles de los tanques de tratamiento de agua mediante el sistema “HMI”.			

<b>3. Firmas</b>	
..... Santiago J. Díaz Flores <b>Asistente Técnico de “I+D”</b>	..... Ing. Hugo Loya Msc. <b>Analista de “I+D”</b>
<b>Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa “SEDEMI SCC”.</b>	

Los resultados obtenidos se muestran en los anexos como Acta de revisión de Equipos. Una vez realizadas las pruebas de activación desde el tablero de control y por medio de la interface HMI se comprobó el correcto funcionamiento de cada uno de los dispositivos que

conforman la planta, posteriormente se procedió a realizar las pruebas de control y monitoreo de cada uno de los tanques de proceso detallados más adelante, interactuando con cada una de las pantallas HMI diseñadas.

### 6.1.2. Prueba y Resultados de Funcionamiento “Adición de Químicos”.

A continuación, se detallan las pruebas realizadas en cada uno de los tanques de proceso que conforman la pantalla de control, las condiciones de funcionamiento implementadas y las seguridades diseñadas para garantizar un tratamiento eficiente, la pantalla de “Adición de Químicos” se muestra en la Figura 152.



Figura 152. Pantalla Adición de Químicos de ADE.

#### 6.1.2.1. PISCINA DE ALMACENAMIENTO

En la Piscina de Almacenamiento de Agua de Enjuague “ADE” se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua almacenada, debido a que el trasvase de agua residual de las tinas de tratamiento galvanizado es

de forma manual, no se puede controlar la cantidad de agua que ingresa, mediante los dispositivos de control de nivel permiten informar al operador de forma visual y sonora, si los niveles máximos de almacenamiento han sido alcanzados. Las pruebas realizadas se detallan a continuación.

## 1. Prueba de Medición de Nivel

### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis de la variación de la cantidad volumétrica de la piscina de almacenamiento en base a la altura medida por el sensor ultrasónico EGE 3500 GI, activación de avisos de emergencia en valores establecidos.

### b. Resultado

En la “Piscina de Almacenamiento” se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua residual.



*Figura 153.* Aviso de nivel Máximo “Piscina de Almacenamiento”.

La medición de nivel de la piscina de almacenamiento determina que si el valor volumétrico en litros supera los 65000 litros envía un aviso al sistema HMI, el mismo que informa que se ha alcanzado su capacidad máxima como se muestra en la Figura 154 y el operador debe cerrar la válvula de paso manual para detener el ingreso de agua de enjuague.

En las mediciones de nivel realizadas se analizaron diez muestras del nivel calculado, comparadas con el nivel medido, obteniendo como resultado el error generado entre los valores antes mencionados los mismos que se detalla en la Tabla 82.

**Tabla 83**

*Calculo error Absoluto*

<b>Nivel Medido en Litros</b>	<b>Nivel Calculado en Litros</b>	<b>Calculo de Error</b>
36850	37107,38	0,7 %
40200	39352,63	2,1 %
43550	43884,65	0,8 %
46900	46173,38	1,54 %
50250	50801,23	1,1 %
53600	53142,32	0,85 %
56950	57883,74	1,6 %
60300	60286,06	0,02 %
63650	62710,75	1,4 %
67000	67631,21	0.94 %

Una vez obtenidos los valores porcentuales de cada una de las mediciones se puede obtener un error promedio de 1.1 %, el cual no supera el rango de tolerancia de 5 % lo que demuestra que la ecuación de cálculo de nivel entrega valores reales de medición.

## **2. Sistema Antiderrame**

### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel, active la sirena de emergencia y muestre un aviso en la pantalla HMI que describa los puntos de revisión de fallas más comunes del sensor ultrasónico y del flotador de nivel.

## b. Resultado

Como sistema antiderrame se realizó la instalación de flotadores de nivel en cada uno de los tanques, los cuales detienen cualquier ingreso de agua residual o de químicos a los tanques de tratamiento los cuales puedan ocasionar que se derrame el agua contaminada y enviar la orden de activación de la sirena de emergencia.

En el caso de la piscina de almacenamiento al ser un ingreso manual del agua residual, el flotador cumplió la función de activar la alarma para alertar a los operadores que se tiene el riesgo de derrame y envió un aviso a la pantalla HMI que describe los puntos de revisión del sensor ultrasónico y del flotador de nivel, como se muestra en la Figura 154.

ALARMA DE NIVEL PISCINA ENJUAGUE

ALARMA DE NIVEL PISCINA AGUA DE ENJUAGUE  
 "ACTIVADA"

POSIBLES FALLAS DE LA MEDICION DE NIVEL	SOLUCIONES PARA FALLA DE MEDICION DE NIVEL
<p><b>1. DESCONEXION O DAÑO DEL SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL.</b></p> 	<p><b>1. VERIFICAR QUE EL SENSOR ULTRASONICO SE ENCUENTRE EN BUEN ESTADO Y COLOCADO EN SU POSICION CORRECTA.</b></p>
<p><b>2. FALLA DEL CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO DEL FLOTADOR DE NIVEL.</b></p> 	<p><b>2. VERIFICAR QUE EL CABLE DE ALIMENTACION Y COMUNICACION DEL SENSOR NO PRESENTE DAÑO COMO REMORDIMIENTO O CORTADURAS.</b></p> <p><b>3. VERIFICAR QUE EL CABLE DEL SENSOR DE NIVEL FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATRAPADO O ATASCADO EN EL BORDE DEL TANQUE.</b></p> <p><b>4. VERIFICAR QUE EL CONTACTO "NO" DEL SENSOR FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATASCADO O DAÑADO. (MANTENIMIENTO)</b></p> <p><b>5. VERIFICAR QUE LA CONEXION AL "PLC" NO SE ENCUENTRE SUELTA O FLOJA EN LOS TERMINALES DE SALIDA. (MANTENIMIENTO)</b></p>



*Figura 154.* Aviso de riesgo de derrame de la “Piscina de Almacenamiento”.

### **6.1.2.2. TANQUE DE MEZCLA**

En el “Tanque de Mezcla” se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua residual, un sensor de pH que realice la medición constante y limita el exceso de adición de químicos reguladores de pH, un motor agitador realiza la mezcla homogénea del agua residual y del químico regulador.

Cada uno de los cuales cumplen con condiciones de trabajo preestablecidas para garantizar el correcto funcionamiento y optimización de los procesos de tratamiento. Mediante las siguientes pruebas de funcionamiento se pudo valorar su correcto desempeño:

#### **1. Prueba de Medición de Nivel**

##### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis de la variación de la cantidad volumétrica de la Tanque de Mezcla, en base a la altura medida por el sensor ultrasónico EGE 3500 GI, activación de avisos de emergencia en valores establecidos y desactivación de equipos.

##### **b. Resultado**

La medición de nivel del tanque determina que si el tanque supera los 1600 litros para el tratamiento de agua de enjuague “ADE” o los 1400 litros para solución decapante “SDEC”, bloquea el ingreso de cualquier tipo de líquido al tanque evitando que pueda derramarse el agua residual, además para cualquiera de los dos tipos de agua residual una vez que el nivel volumétrico sea inferior a los 350 litros apaga la bomba de succión para evitar que trabaje en vacío.

En el modo de control automático al llegar a su capacidad máxima de 1800 litros, y no

haber obtenido el pH requerido, el sistema se autocorrigue y descarga un 10% de su capacidad al siguiente tanque de tratamiento y continua con la adición de químicos requeridos para alcanzar el valor de pH ingresado mediante la interfaz gráfica HMI, como se muestra en la Figura 155.



*Figura 155.* Display de visualización de pH modo “MANUAL”

En el modo de control manual al llegar a su capacidad máxima de 1800 litros, y no haber obtenido el pH requerido de 12 pH, bloquea las bombas de adición de químicos y la bomba de llenado, la medición de nivel se realiza en cada tanque mediante un display como se muestra en la Figura 156.



*Figura 156.* Selector de pH modo “Automático”.

En las mediciones de nivel realizadas se analizaron diez muestras del nivel calculado, comparadas con el nivel medido, obteniendo como resultado el error generado entre los valores antes mencionados los mismos que se detalla en la Tabla 84.

**Tabla 84***Calculo error Absoluto*

Nivel Medido en Litros	Nivel Calculado en Litros	Calculo de Error
750,83	739,12	1,56 %
872,63	887,04	1,65 %
998,34	974,34	2,4 %
1127,94	1155,61	2,45 %
1261,49	1249,58	0,94 %
1399,04	1444,19	3,22 %
1540,67	1544,84	0,27 %
1686,42	1647,71	2,3 %
1836,36	1860,13	1,3 %
1990,55	1969,67	1,04 %

Una vez obtenidos los valores porcentuales de cada una de las mediciones se puede obtener un error promedio de 1.71 %, el cual no supera el rango de tolerancia de 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de nivel entrega valores reales de medición.

## 2. Sistema Antiderrame

### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel instalado, active la sirena de emergencia, detenga todos los equipos de adición de agua residual o aditivos químicos y muestre un aviso en la pantalla HMI que describa los puntos de revisión de fallas más comunes del sensor ultrasónico y del flotador de nivel.

### b. Resultado

En el caso del tanque de mezcla, el ingreso del agua residual de ADE o SDEC es mediante la activación de una bomba centrífuga y válvulas de paso de selección, las cuales evitan que el agua de enjuague se mezcle con la solución decapante.

Al activarse el flotador de nivel activo la sirena de emergencia, apagó la bomba de ingreso de agua, las bombas de adición de químicos y envió un aviso a la pantalla que describe los puntos de revisión del sensor ultrasónico y del flotador de nivel, como se muestra en la Figura 157.

ALARMA DE NIVEL TANQUE DE MEZCLA

ALARMA DE NIVEL TANQUE DE MEZCLA  
 "ACTIVADA"

<b>POSIBLES FALLAS DE LA MEDICION DE NIVEL</b>	<b>SOLUCIONES PARA FALLA DE MEDICION DE NIVEL</b>
<p><b>1. DESCONEXION O DAÑO DEL SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL.</b></p> 	<p><b>1. VERIFICAR QUE EL SENSOR ULTRASONICO SE ENCUENTRE EN BUEN ESTADO Y COLOCADO EN SU POSICION CORRECTA.</b></p>
<p><b>2. FALLA DEL CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO DEL FLOTADOR DE NIVEL.</b></p> 	<p><b>2. VERIFICAR QUE EL CABLE DE ALIMENTACION Y COMUNICACION DEL SENSOR NO PRESENTE DAÑO COMO REMORDIMIENTO O CORTADURAS.</b></p> <p><b>3. VERIFICAR QUE EL CABLE DEL SENSOR DE NIVEL FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATRAPADO O ATASCADO EN EL BORDE DEL TANQUE.</b></p> <p><b>4. VERIFICAR QUE EL CONTACTO "NO" DEL SENSOR FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATASCADO O DAÑADO. (MANTENIMIENTO)</b></p> <p><b>5. VERIFICAR QUE LA CONEXION AL "PLC" NO SE ENCUENTRE SUELTA O FLOJA EN LOS TERMINALES DE SALIDA. (MANTENIMIENTO)</b></p>
	

*Figura 157.* Aviso de riesgo de derrame de la “Tanque de Mezcla”.

### 3. Sistema de Medición de pH

#### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis del valor de pH del Tanque de Mezcla por medio sensor de la marca omega PHCN-37, el cual debe alcanzar un valor mínimo de 12 pH para seguir con el proceso de tratamiento, si el valor de pH es alcanzado no debe permitir la activación de las bombas dosificadoras para evitar gasto innecesario de productos químicos.

## b. Resultado

La medición de pH del tanque de mezcla se realizada por el sensor PHCN-37, el cual permite configurar rangos de activación de salidas digitales tipo relé y al mismo tiempo permite configurar salidas analógicas de voltaje de “0 a 10 Vdc” o de corriente de “0 a 20 mA” o de “4 a 20 mA”, como se muestra en la Tabla 85.

**Tabla 85**

*Rangos de medición de sensor de pH omega PHCN-37*

Rango de Medición	Rango de Voltaje	Rango de Corriente 1
-2 pH	0 Vdc	0 mA
3 pH	1.6 Vdc	3.3 mA
5 pH	2.7 Vdc	5.5 mA
7 pH	3.8 Vdc	7.7. mA
9 pH	5 Vdc	10 mA
10 pH	5.6 Vdc	11.1 mA
12 pH	6.7 Vdc	13.3 mA
14 pH	7.8 Vdc	15.5 mA
15 pH	8.3 Vdc	17.6 mA
16 pH	10 Vdc	20 mA

Los valores de pH entregados se encuentran acorde a los valores calculado y esperados, presentando un error promedio de 0.65 % el cual no supera el margen de tolerancia del 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de pH entrega valores reales de medición, como se muestra en la Tabla 86.

**Tabla 86**

*Calculo de error Absoluto en la medición pH del Tanque de Mezcla*

Medición de pH Sensor Omega	Medición de pH HMI	Calculo del Error Absoluto
4.1 pH	3.96 pH	3.4 %
7.2 pH	7.16 pH	0.6 %
10.1 pH	10.03 pH	0.7 %
4,10 pH	4,10 pH	0 %

CONTINUA →

4,20 pH	4,20 pH	0%
4,30 pH	4,32 pH	0,46 %
7 pH	6,93 pH	1 %
7,10 pH	7,10 pH	0%
7,20 pH	7,21 pH	0,13 %
10,4 pH	10,42 pH	0,2 %

#### 4. Sistema de Mezcla Homogénea

Para mejorar la mezcla del agua residual con los aditivos químicos se realizó la instalación de un motor agitador, el cual disminuye el tiempo de homogenización y la mezcla del agua residual con los hidróxidos de calcio o de sodio. La planta de tratamiento de agua implementada en el año 2011 realizaba la mezcla por medio de una tubería de aire, la cual tardaba mucho tiempo en conseguir una mezcla homogénea entre agua residual e hidróxidos.

##### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis y comparación del tiempo de mezcla del agua residual ya sea esta “ADE” o “SDEC” con los hidróxidos de calcio o sodio por medio del motor agitador, comparado con el tiempo que era necesario para realizar una mezcla homogénea por medio de una tubería de aire utilizado en la planta de tratamiento antigua.

##### b. Resultado

Para determinar el tiempo necesario para realizar una mezcla homogénea por medio del motor agitador, se tomaron varios puntos en consideración los cuales se deben cumplir para garantizar una homogenización total los cuales se muestran en la tabla 87.

**Tabla 87***Verificación de Mezcla Homogénea*

<b>Análisis de Homogenización Total</b>	<b>Tiempo de Proceso Promedio</b>
Eliminación total de grumos	14 minutos
pH constante en el tanque de mezcla	16 minutos
Reducción de formación de espuma	17 minutos
Reducción de turbulencia	13 minutos
<b>TIEMPO DE PROCESAMIENTO PROMEDIO</b>	<b>15 minutos</b>

Comparado el tiempo de homogenización actual con el utilizado anteriormente se puede determinar que el proceso ha disminuido un 57% el tiempo de mezcla, mejorando así la eficiencia en el proceso, como se muestra en la Tabla 88.

**Tabla 88***Tiempo de Homogenización del Tanque de Mezcla*

<b>Tubería de aire Antigua PTARI</b>	<b>Motor Agitador Nueva PTARI</b>
35 Minutos	15 minutos

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = \frac{\text{Motor Agitador}}{\text{Tubería de Aire}} * 100\%$$

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = \frac{15}{35} * 100\%$$

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = 42.8 \% \approx 43 \%$$

**6.1.2.3. TANQUE DE FLOCULACIÓN**

En el “Tanque de Floculación” se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua residual, un cronómetro digital diseñado en el sistema HMI que inicia al activar la bomba dosificadora de floculante, un motor agitador para realizar la mezcla homogénea del agua residual y del floculante, cada uno de los cuales cumplen

con condiciones de trabajo preestablecidas para garantizar el correcto funcionamiento y optimización de los procesos de tratamiento. Mediante las siguientes pruebas de funcionamiento se pudo valorar su correcto desempeño:

## **1. Prueba de Medición de Nivel**

### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis de la variación de la cantidad volumétrica de la Tanque de Floculación, en base a la altura medida por el sensor ultrasónico EGE 3500 GI, activación de avisos de emergencia en valores establecidos y desactivación de equipos.

### **b. Resultado**

La medición de nivel del tanque determina que si el tanque supera los 1700 litros para el tratamiento de agua de residual ya sea esta “ADE” o “SDEC”, bloquea el ingreso de cualquier tipo de líquido al tanque evitando que pueda derramarse el agua residual, además para cualquiera de los dos tipos de agua residual una vez que el nivel volumétrico sea inferior a los 350 litros apaga la bomba de succión para evitar que trabaje en vacío.

En el modo de control manual al llegar a su capacidad máxima nivel de 1700 litros, detuvo el trasvase del agua residual apagando la válvula de paso, la bomba de succión y queda a la espera que el operador ingrese el tiempo de floculación y de la orden de encendido de la bomba de adición de floculante, una vez completado el tiempo ingresado de floculación apago la bomba de adición de floculante, como se muestra en la Figura 158.



**Figura 158.** Display y selector de tiempo en modo “MANUAL”

En el modo de control automático al llegar a su capacidad máxima de 1700 litros, detuvo el trasvase del agua residual, inicio el proceso de floculación con el tiempo ingresado y permitió la descarga automática del agua residual al tanque sedimentador 1 una vez cumplido las condiciones previas, como se muestra en la Figura 159.



**Figura 159.** Selector de tiempo en modo “Automático”.

Tomando en cuenta que los tanques de mezcla y floculación son de la misma forma y dimensiones, en las mediciones de nivel realizadas se analizaron diez muestras del nivel calculado, comparadas con el nivel medido, obteniendo como resultado el error generado entre los valores antes mencionados los mismos que se detalla en la Tabla 89.

**Tabla 89***Calculo error Absoluto*

Nivel Medido	Nivel Calculado	Calculo de Error
750,83	739,12	1,56 %
872,63	887,04	1,65 %
998,34	974,34	2,4 %
1127,94	1155,61	2,45 %
1261,49	1249,58	0,94 %
1399,04	1444,19	3,22 %
1540,67	1544,84	0,27 %
1686,42	1647,71	2,3 %
1836,36	1860,13	1,3 %
1990,55	1969,67	1,04 %

Una vez obtenidos los valores porcentuales de cada una de las mediciones se puede obtener un error promedio de 1,71 %, el cual no supera el rango de tolerancia de 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de nivel entrega valores reales de medición.

## 2. Sistema Antiderrame

### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel instalado, active la sirena de emergencia, detenga todos los equipos de adición de agua residual o aditivos floculantes y muestre un aviso en la pantalla HMI que describa los puntos de revisión de fallas más comunes del sensor ultrasónico y del flotador de nivel.

### b. Resultado

En el caso del tanque de floculación, el ingreso del agua residual de ADE o SDEC es mediante la activación de una bomba neumática, una válvula de paso y la adición de floculante por medio de una bomba dosificadora neumática.

ALARMA DE NIVEL T. FLOCULACION

## ALARMA DE NIVEL TANQUE DE FLOCULACION "ACTIVADA"

POSIBLES FALLAS DE LA MEDICION DE NIVEL	SOLUCIONES PARA FALLA DE MEDICION DE NIVEL
<p>1. DESCONEXION O DAÑO DEL SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL.</p> 	<p>1. VERIFICAR QUE EL SENSOR ULTRASONICO SE ENCUENTRE EN BUEN ESTADO Y COLOCADO EN SU POSICION CORRECTA.</p>
<p>2. FALLA DEL CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO DEL FLOTADOR DE NIVEL.</p> 	<p>2. VERIFICAR QUE EL CABLE DE ALIMENTACION Y COMUNICACION DEL SENSOR NO PRESENTE DAÑO COMO REMORDIMIENTO O CORTADURAS.</p> <p>3. VERIFICAR QUE EL CABLE DEL SENSOR DE NIVEL FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATRAPADO O ATASCADO EN EL BORDE DEL TANQUE.</p> <p>4. VERIFICAR QUE EL CONTACTO "NO" DEL SENSOR FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATASCADO O DAÑADO. (MANTENIMIENTO)</p> <p>5. VERIFICAR QUE LA CONEXION AL "PLC" NO SE ENCUENTRE SUELTA O FLOJA EN LOS TERMINALES DE SALIDA. (MANTENIMIENTO)</p>



*Figura 160.* Aviso de riesgo de derrame de la “Tanque de Floculación”.

Al activarse el flotador de nivel activo la sirena de emergencia, apagó la bomba de ingreso de agua, la bomba de adición de químico y envió un aviso a la pantalla que describe los puntos de revisión del sensor ultrasónico y del flotador de nivel, como se muestra en la Figura 161 a continuación.

### 3. Sistema de Medición del Tiempo de Floculación

#### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste en ingresar un valor de tiempo en el cual la bomba dosificadora de floculante debe permanecer activada, una vez cumplido el tiempo establecido, se procede a apagar la bomba dosificadora hasta que descargue el contenido del agua residual floculada y permita iniciar otra vez el tiempo de floculación y la activación de la bomba dosificadora.

## b. Resultado

El valor numérico ingresado por medio del selector es el tiempo establecido en un rango de minutos, tiempo que mantuvo activada la bomba de adición de floculante, ya que no se puede medir cual es la cantidad de sólidos sedimentados, el rango de tiempo establecido de adición permitido es de 0 a 25 minutos

Una vez completado el tiempo ingresado el cual se puede verificar mediante el display de conteo apaga la bomba de dosificación y resetea el contador al tener un nivel volumétrico inferior a 350 litros, en la Tabla 90 se detalla el tiempo estimado de floculación para cada uno de los procesos de agua residual.

**Tabla 90**

*Tiempo de Floculación estimada para cada proceso de tratamiento*

<b>Rango de Tiempo permitido</b>	<b>ADE con Ca(OH)<sub>2</sub></b>	<b>ADE con NaOH</b>	<b>SDEC con Ca(OH)<sub>2</sub></b>	<b>SDEC con NaOH</b>
0 a 25 minutos	10 min	8 min	24 min	20 min
<b>Rango de Tiempo permitido Ptari 2011</b>	<b>ADE con Ca(OH)<sub>2</sub></b>	<b>ADE con NaOH</b>	<b>SDEC con Ca(OH)<sub>2</sub></b>	<b>SDEC con NaOH</b>
Sin Control	35 min	35 min	35 min	35 min
<b>Tiempo Excedente de Mezcla</b>	25 min	27 min	11 min	15 min
<b>Porcentaje de Tiempo Reducido en el Proceso de Mezcla</b>	<b>71 %</b>	<b>77 %</b>	<b>31 %</b>	<b>42 %</b>

## 4. Sistema de Mezcla Homogénea

Para mejorar la mezcla del agua residual con los aditivos químicos se realizó la instalación de un motor agitador, el cual disminuye el tiempo de homogenización y la mezcla del agua residual con el floculante. La planta de tratamiento de agua implementada en el año

2011 realizaba la mezcla por medio de una tubería de aire, la cual tardaba mucho tiempo en conseguir una mezcla homogénea entre agua residual y floculantes.

#### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis y comparación del tiempo de mezcla del agua residual ya sea esta “ADE” o “SDEC” con el aditivo floculante por medio del motor agitador, comparado con el tiempo que era necesario para realizar una mezcla homogénea por medio de una tubería de aire utilizado en la planta de tratamiento antigua.

#### b. Resultado

Para determinar el tiempo necesario para realizar una mezcla homogénea por medio del motor agitador, se tomaron varios puntos en consideración los cuales se deben cumplir para garantizar una homogenización total los cuales se muestran en la tabla 91.

**Tabla 91**

*Verificación de Mezcla Homogénea*

Tipo de Agua Residual	Caudal de la Bomba Dosificadora	Tiempo de Floculación	Cantidad de Floculante Dosificado
ADE con Ca(OH) <sub>2</sub>	1,5 Litros/Minuto	10 minutos	15 Litros
ADE con NaOH	1,5 Litros/Minuto	8 minutos	12 Litros
SDEC con Ca(OH) <sub>2</sub>	1,5 Litros/Minuto	24 minutos	36 Litros
SDEC con NaOH	1,5 Litros/Minuto	20 minutos	30 Litros

Comparado el tiempo de homogenización actual con el utilizado anteriormente se puede determinar que el proceso ha disminuido un 80% el tiempo de mezcla, mejorando así la eficiencia en el proceso, como se muestra en la Tabla 92.

**Tabla 92***Tiempo de Homogenización del Tanque de Mezcla*

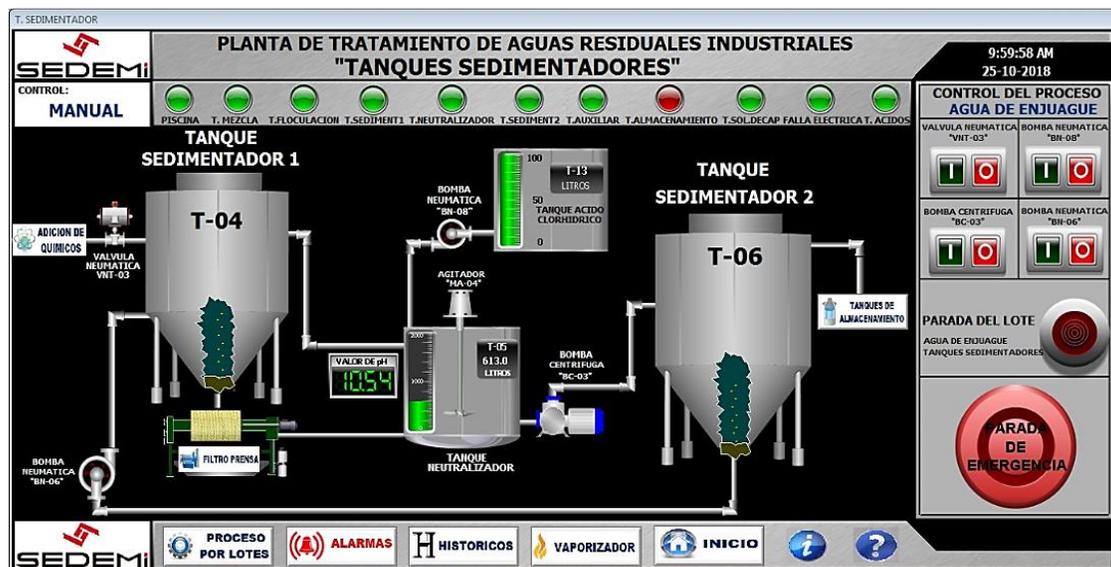
Promedio de Mezcla con Tubería de aire “PTARI 2011”	Promedio de Mezcla con Motor Agitador “ACTUAL”
10 Minutos	2 minutos

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = \frac{\text{Motor Agitador}}{\text{Tubería de Aire}} * 100\%$$

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = \frac{2}{10} * 100\%$$

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = 20 \%$$

### 6.1.3. Pruebas y Resultados de Funcionamiento “Tanques Sedimentadores”.



**Figura 161.** Pantalla Tanques Sedimentadores

A continuación, se detallan las pruebas realizadas en cada uno de los tanques de proceso que conforman la pantalla de control, las condiciones de funcionamiento implementadas y las seguridades diseñadas para garantizar un tratamiento eficiente. La pantalla de “Tanques Sedimentadores” se muestra en la Figura 162.

### **6.1.3.1. TANQUE SEDIMENTADOR 1**

En el “Tanque Sedimentador 1” se instaló solo un flotador de nivel para enviar la información de que el tanque se encuentra lleno y que el agua residual que contiene puede ser filtrada por medio del filtro prensa. Mediante las siguientes pruebas de funcionamiento se pudo valorar su correcto desempeño:

#### **1. Sistema Antiderrame**

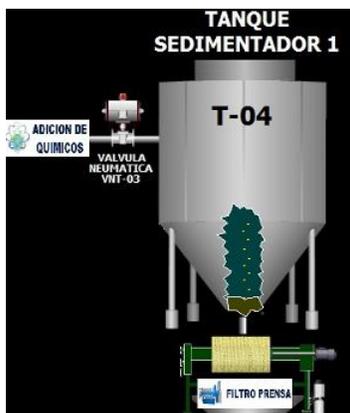
##### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel instalado, detenga todos los equipos de adición de agua residual y permita el envío del agua residual con sólidos sedimentados al Filtro prensa.

##### **b. Resultado**

En el caso del tanque Sedimentador 1, el ingreso del agua residual es mediante la activación de una válvula de paso y por medio de gravedad. Ya que el tanque se encuentra tres metros más abajo del nivel de referencia no era necesario la instalación de una bomba de trasvase.

Al activarse el flotador de nivel activó la válvula neumática de salida y la bomba neumática de succión, apagó la válvula de ingreso de agua y envió los sólidos sedimentados a ser filtrados por el filtro prensa para ser separados de agua, hasta que el flotador de nivel se desactivó y suspendió el envío al filtro, como se muestra en la Figura 162.



*Figura 162.* Pantalla Tanques Sedimentadores.

Una vez implementado el nuevo sistema de filtración se pudo analizar que las condiciones de desempeño habían mejorado tomando los siguientes puntos en consideración detallados en la Tabla 93.

**Tabla 93**

*Condiciones de mejoradas de desempeño de la planta de tratamiento*

Descripción de las Condiciones Mejoradas de Tratamiento de Agua Residual	Cumple con la Actividad Solicitada
Mayor cantidad de sólidos sedimentados en menor tiempo.	SI
Menor tiempo de sedimentación de sólidos en suspensión.	SI
Menor tiempo de Filtración y compactación de residuos sólidos.	SI
Residuos sólidos más secos y fáciles de manejar.	SI
Bloqueo de ingreso de agua residual si el tanque está a máxima capacidad.	SI

Todas estas actividades mejoradas influyen en una mejor calidad de agua tratada, menor tiempo de tratamiento de agua residual y la reducción del uso de aditivos químicos en el proceso de tratamiento los cuales significan una reducción de costos para la empresa Sedemi.

### **6.1.3.2. TANQUE DE NEUTRALIZACION**

En el “Tanque de Neutralización” se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua residual, un sensor de pH que realice la medición constante y limite el exceso de adición de químicos reguladores de pH, un motor agitador para realizar la mezcla homogénea del agua residual y del químico regulador, cada uno de los cuales cumplen con condiciones de trabajo preestablecidas para garantizar el correcto funcionamiento y optimización de los procesos de tratamiento. Mediante las siguientes pruebas de funcionamiento se pudo valorar su correcto desempeño:

#### **1. Prueba de Medición de Nivel**

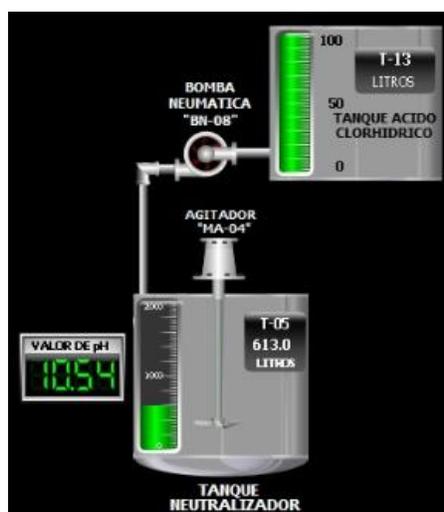
##### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis de la variación de la cantidad volumétrica del Tanque de Neutralización, en base a la altura medida por el sensor ultrasónico EGE 3500 GI, activación de avisos de emergencia en valores establecidos y desactivación de equipos.

##### **b. Resultado**

La medición de nivel del tanque determina que si el tanque supera los 1600 litros para el tratamiento de agua de “ADE” o “SDEC”, bloquea el ingreso de cualquier tipo de líquido al tanque evitando que pueda derramarse el agua residual, además para cualquiera de los dos tipos de agua residual una vez que el nivel volumétrico sea inferior a los 350 litros apaga la bomba de succión para evitar que trabaje en vacío.

En el modo de control manual al llegar a su capacidad máxima de 1700 litros, y no haber obtenido el pH establecido entre el rango de 7 a 9 pH, permite que el operador trasvase la cantidad de agua residual que el considere necesario al siguiente tanque de proceso, para poder continuar con la adición de Ácido Clorhídrico como regulador de pH, como se muestra en la Figura 163.



**Figura 163.** Display de visualización de pH modo “MANUAL”

En el modo de control automático al llegar a su capacidad máxima de 1700 litros, y no haber obtenido el pH requerido establecido entre el rango de 7 a 9 pH, el sistema se autocorrigue y descarga un 10% de su capacidad al siguiente tanque de tratamiento y continua con la adición de químicos requeridos para alcanzar el valor de pH ingresado mediante la interfaz gráfica HMI, como se muestra en la Figura 164.



**Figura 164.** Selector de pH Tanque Neutralizador modo “Automático”.

En las mediciones de nivel realizadas se analizaron diez muestras del nivel calculado, comparadas con el nivel medido, obteniendo como resultado el error generado entre los valores antes mencionados los mismos que se detalla en la Tabla 94.

**Tabla 94**  
*Calculo error Absoluto*

Nivel Medido en Litros	Nivel Calculado en Litros	Calculo de Error
196,85	201,48	2,35 %
872,63	887,04	1.65 %
1836,36	1860,12	1.3 %
1127,94	1155,61	2.45 %
1261,49	1249,58	0.94 %
1399,04	1444,19	3.22 %
1540,67	1544,84	0.27 %
1686,42	1647,71	2,29 %
1836,36	1860,12	1,29 %
1990,55	1969,67	1,04 %

Una vez obtenidos los valores porcentuales de cada una de las mediciones se puede obtener un error promedio de 1.68 %, el cual no supera el rango de tolerancia de 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de nivel entrega valores reales de medición.

## 2. Sistema Antiderrame

### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste que, al momento de la activación del flotador de nivel instalado, active la sirena de emergencia, detenga todos los equipos de adición de agua residual o aditivos químicos y muestre un aviso en la pantalla HMI que describa los puntos de revisión de fallas más comunes del sensor ultrasónico y del flotador de nivel.

## b. Resultado

En el caso del tanque de neutralización, el ingreso del agua residual de ADE o SDEC es mediante la activación de una bomba neumática, una válvula de paso y la adición de Ácido Clorhídrico por medio de una bomba dosificadora neumática.

Al activarse el flotador de nivel, activó la sirena de emergencia, apagó la bomba de ingreso de agua, apagó la bomba de adición de químico y envió un aviso a la pantalla que describe los puntos de revisión del sensor ultrasónico y del flotador de nivel, como se muestra en la Figura 165.

ALARMA DE NIVEL T. NEUTRALIZADOR

ALARMA DE NIVEL TANQUE NEUTRALIZADOR  
 "ACTIVADA"

POSIBLES FALLAS DE LA MEDICION DE NIVEL	SOLUCIONES PARA FALLA DE MEDICION DE NIVEL
<p>1. DESCONEXION O DAÑO DEL SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL.</p> 	<p>1. VERIFICAR QUE EL SENSOR ULTRASONICO SE ENCUENTRE EN BUEN ESTADO Y COLOCADO EN SU POSICION CORRECTA.</p>
<p>2. FALLA DEL CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO DEL FLOTADOR DE NIVEL.</p> 	<p>2. VERIFICAR QUE EL CABLE DE ALIMENTACION Y COMUNICACION DEL SENSOR NO PRESENTE DAÑO COMO REMORDIMIENTO O CORTADURAS.</p> <p>3. VERIFICAR QUE EL CABLE DEL SENSOR DE NIVEL FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATRAPADO O ATASCADO EN EL BORDE DEL TANQUE.</p> <p>4. VERIFICAR QUE EL CONTACTO "NO" DEL SENSOR FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATASCADO O DAÑADO. (MANTENIMIENTO)</p> <p>5. VERIFICAR QUE LA CONEXION AL "PLC" NO SE ENCUENTRE SUELTA O FLOJA EN LOS TERMINALES DE SALIDA. (MANTENIMIENTO)</p>



*Figura 165.* Aviso de riesgo de derrame de la “Tanque Neutralizador

## 3. Sistema de Medición de pH

### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis del valor de pH del Tanque de

Neutralización por medio sensor de la marca Omega PHCN-37, el cual debe alcanzar un valor establecido en el rango de 7 a 9 pH para seguir con el proceso de tratamiento, si el valor de pH es alcanzado no debe permitir la activación de las bombas dosificadoras para evitar gasto innecesario de productos químicos.

**b. Resultado**

La medición de pH del tanque de mezcla es realizada por el sensor PHCN-37, el cual permite configurar rangos de activación de salidas digitales tipo relé y al mismo tiempo permite configurar salidas analógicas de voltaje de “0 a 10 Vdc” o de corriente de “0 a 20 mA”, como se muestra en la Tabla 95.

**Tabla 95**

*Rangos de medición de sensor de pH omega PHCN-37*

Rango de Medición	Rango de Voltaje	Rango de Corriente 1
-2 pH	0 Vdc	0 mA
3 pH	1.6 Vdc	3.3 mA
5 pH	2.7 Vdc	5.5 mA
7 pH	3.8 Vdc	7.7. mA
9 pH	5 Vdc	10 mA
10 pH	5.6 Vdc	11.1 mA
12 pH	6.7 Vdc	13.3 mA
14 pH	7.8 Vdc	15.5 mA
15 pH	8.3 Vdc	17.6 mA
16 pH	10 Vdc	20 mA

Los valores de pH entregados se encuentran acorde a los valores calculado y esperados, presentando un error promedio de 0.50 % el cual no supera el margen de tolerancia del 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de pH entrega valores reales de medición, como se muestra en la Tabla 96.

**Tabla 96***Calculo de error Absoluto en la medición pH del Tanque de Neutralización*

Medición de pH Sensor Omega	Medición de pH HMI	Calculo del Error Absoluto
4.2 pH	4.15 pH	1.2 %
6.9 pH	6.86 pH	0.6 %
10.3 pH	10.22 pH	0.8 %
3,90 pH	3,89 pH	0.25 %
4 pH	4,01 pH	0.25 %
6,70 pH	6,73 pH	0.44 %
9,70 pH	9,77 pH	0.72 %
9,90 pH	9,88 pH	0.2 %
10,10 pH	10,07 pH	0.29 %
10,20 pH	10,18 pH	0.19 %

#### 4. Sistema de Mezcla Homogénea

Para mejorar la mezcla del agua residual con el aditivo químico se realizó la instalación de un motor agitador, el cual disminuye el tiempo de homogenización y la mezcla del agua residual con el Ácido Clorhídrico. La planta de tratamiento de agua implementada en el año 2011 realizaba la mezcla por medio de una tubería de aire la que retrasaba considerablemente el proceso de tratamiento de agua.

##### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis y comparación del tiempo de mezcla del agua residual ya sea esta “ADE” o “SDEC” con el Ácido Clorhídrico por medio del motor agitador, comparado con el tiempo que era necesario para realizar una mezcla homogénea por medio de una tubería de aire utilizado en la planta de tratamiento antigua.

b. **Resultado**

Para determinar el tiempo necesario para realizar una mezcla homogénea por medio del motor agitador, se tomaron varios puntos en consideración los cuales se deben cumplir para garantizar una homogenización total los cuales se muestran en la tabla 97.

**Tabla 97**  
*Verificación de Mezcla Homogénea*

<b>Análisis de Homogenización Total</b>	<b>Tiempo de Proceso Promedio</b>
pH constante en el tanque de mezcla	5 minutos
Reducción de formación de espuma	6 minutos
Reducción de turbulencia	4 minutos
<b>TIEMPO DE PROCESAMIENTO PROMEDIO</b>	<b>5 minutos</b>

Comparado el tiempo de homogenización actual con el utilizado anteriormente se puede determinar que el proceso ha disminuido un 58% el tiempo de mezcla, mejorando así la eficiencia en el proceso, como se muestra en la Tabla 98.

**Tabla 98**  
*Tiempo de Homogenización del Tanque de Mezcla*

<b>Tubería de aire Antigua PTARI</b>	<b>Motor Agitador Nueva PTARI</b>
12 minutos	5 minutos

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = \frac{\text{Motor Agitador}}{\text{Tubería de Aire}} * 100\%$$

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = \frac{5}{12} * 100\%$$

$$\% \text{ Tiempo Utilizado} = 41.6 \% \approx 42 \%$$

### **6.1.3.3. TANQUE SEDIMENTADOR 2**

En el “Tanque Sedimentador 2” se instaló solo un flotador de nivel para enviar la información de que el tanque se encuentra lleno y no permite el trasvase de agua hacia el tanque mientras el flotador de nivel no se desactive, mediante las siguientes pruebas de funcionamiento se pudo valorar su correcto desempeño.

## **2. Sistema Antiderrame**

### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel instalado, detenga todos los equipos de adición de agua tratada.

### **b. Resultado**

En el caso del tanque Sedimentador 2, el ingreso del agua tratada es mediante la activación de una bomba centrífuga la cual trasvasa el agua del tanque de neutralización.

Al activarse el flotador de nivel, apagó la bomba centrífuga de ingreso y envió un aviso al sistema HMI como se muestra en la Figura 166, para informar a los operadores que no se permite el ingreso de agua residual hasta que el nivel del tanque descienda.



Figura 166. Aviso de riesgo de derrame del “Tanque Sedimentador 2

6.1.4. Pruebas y Resultados de Funcionamiento “Tanques de Almacenamiento”.

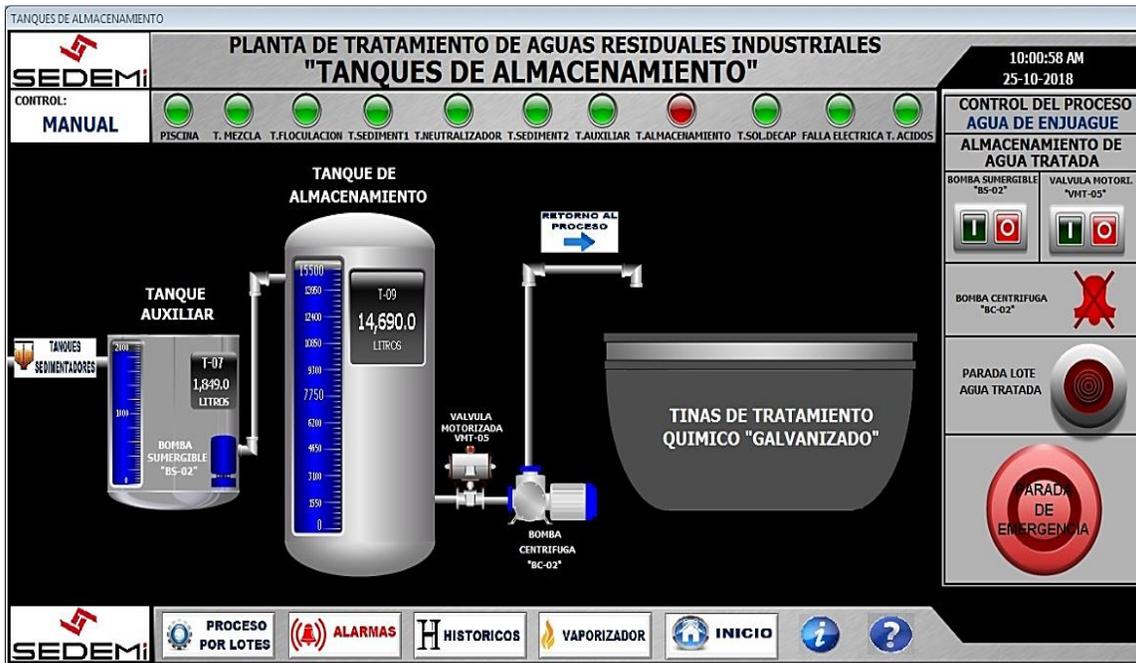


Figura 167. Pantalla Tanques de Almacenamiento.

A continuación, se detallan las pruebas realizadas en cada uno de los tanques de proceso que conforman la pantalla de control, las condiciones de funcionamiento implementadas y las seguridades diseñadas para garantizar un tratamiento eficiente, la pantalla de “Tanques de Almacenamiento” se muestra en la Figura 167.

#### **6.1.4.1. TANQUE AUXILIAR**

En el Tanque Auxiliar se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua almacenada, este tanque recibe mediante rebose el agua excedente que se encuentra en el tanque sedimentador 2, este tanque sirve de apoyo para trasladar el agua tratada al tanque de almacenamiento final. Para comprobar su correcto funcionamiento se realizaron las siguientes pruebas:

##### **1. Prueba de Medición de Nivel**

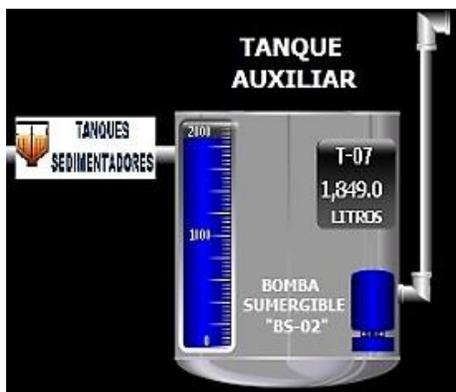
###### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis de la variación de la cantidad volumétrica de la Tanque Auxiliar, en base a la altura medida por el sensor ultrasónico EGE 3500 GI, activación de avisos de emergencia en valores establecidos y desactivación de equipos.

###### **b. Resultado**

La medición de nivel del tanque determina que si el tanque supera los 1600 litros de agua tratada bloquea el ingreso de cualquier tipo de líquido al tanque sedimentador 1 ya que el agua pasa por rebose al tanque auxiliar, para evitar un posible derrame se debe controlar el nivel del tanque sedimentador 1.

En el modo de control manual al llegar a su capacidad máxima de 1700 litros, permite que el operador trasvase la cantidad de agua residual que el considere necesario al siguiente tanque, activó la bomba sumergible y envió el agua tratada al tanque de almacenamiento hasta que el nivel del tanque auxiliar sea inferior a 350 litros el cual es el límite inferior de succión para que la bomba no trabaje en vacío, como se muestra en la Figura 163.



*Figura 168.* Tanque Auxiliar

En el modo de control automático al llegar a su capacidad máxima de nivel de 1700 litros, el sistema activó la bomba sumergible hasta que el nivel del tanque sea inferior a 350 litros y espera que el nivel sea superior a 1700 litros para repetir la acción, tomando en cuenta que para realizar esta acción debe recibir información que el flotador del tanque de almacenamiento se encuentra desactivado.

En las mediciones de nivel realizadas se analizaron 3 muestras del nivel calculado, comparadas con el nivel medido, obteniendo como resultado el error generado entre los valores antes mencionados los mismos que se detalla en la Tabla 99.

**Tabla 99**

*Calculo error Absoluto*

Nivel Medido en Litros	Nivel Calculado en Litros	Calculo de Error
196,85	201,48	2,35 %
872,63	887,04	1,65 %
1836,36	1860,12	1,3 %
750,83	739,12	1,56 %
872,63	887,04	1,65 %
998,34	974,33	2,4 %
1127,94	1155,60	2,45 %
1261,49	1249,57	0,94 %
1399,04	1444,19	3,2 %
1540,67	1544,84	0,27 %

Una vez obtenidos los valores porcentuales de cada una de las mediciones se puede obtener un error promedio de 1.78%, el cual no supera el rango de tolerancia de 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de nivel entrega valores reales de medición.

### 3. Sistema Antiderrame

#### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel instalado, active la sirena de emergencia, detenga todos los equipos de adición de agua residual y muestre un aviso en la pantalla HMI que describa los puntos de revisión de fallas más comunes del sensor ultrasónico y del flotador de nivel.

#### b. Resultado

En el caso del tanque de auxiliar, el ingreso del agua tratada es mediante la activación de una bomba centrífuga y por medio de rebose desde el tanque sedimentador 1.



Figura 169. Aviso de riesgo de derrame del “Tanque Auxiliar”.

Al activarse el flotador de nivel, activó la sirena de emergencia, apagó la bomba de ingreso de agua, y envió un aviso a la pantalla que describe los puntos de revisión del sensor ultrasónico y del flotador de nivel, como se muestra en la Figura 169.

### **6.1.5. TANQUE ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA**

En el Tanque Almacenamiento de agua tratada se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua almacenada, este tanque recibe agua tratada que se encuentra en el tanque auxiliar, este tanque sirve de almacenamiento general del agua tratada hasta que una tina del proceso de galvanizado necesite el cambio de agua contaminada por agua limpia. Para comprobar su correcto funcionamiento se realizaron las siguientes pruebas:

#### **1. Prueba de Medición de Nivel**

La medición de nivel del tanque de almacenamiento se realiza mediante una señal entregada del sensor laser EFECTOR 01D100, el cual cumple que si el valor volumétrico en litros supera los 14500 litros envíe un aviso al sistema HMI que informe que ha alcanzado su capacidad máxima.

##### **a. Prueba**

La prueba de funcionamiento consiste en el análisis de la variación de la cantidad volumétrica de la Tanque de Almacenamiento, en base a la altura medida por el sensor laser EFECTOR, activación de avisos de emergencia en valores establecidos y desactivación de equipos.

## b. Resultado

La medición de nivel del tanque determina que si el tanque supera los 14500 litros de agua tratada bloquea el ingreso de cualquier de líquido, y apagó la bomba sumergible del tanque auxiliar para evitar riesgo de derrame y si detecta que el nivel del tanque auxiliar ha alcanzado su máxima capacidad apagó la bomba centrífuga de trasvase de agua al sedimentador 2.

En el modo de funcionamiento es el mismo en modo automático y manual, para realizar el trasvase del agua tratada hacia las tinajas de tratamiento de galvanizado se activó la válvula motorizada de paso y la bomba centrífuga que realiza el retorno del agua tratada, hasta que el nivel del tanque sea inferior a 1000 litros y apagó la bomba y la válvula para evitar que trabajen en vacío, los dispositivos de retorno del agua tratada a las tinajas de tratamiento se pueden observar en la Figura 170.



*Figura 170.* Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada

En las mediciones de nivel realizadas se analizaron tres muestras del nivel calculado, comparadas con el nivel medido, obteniendo como resultado el error generado entre los valores antes mencionados los mismos que se detalla en la Tabla 100.

**Tabla 100***Calculo error Absoluto*

Nivel Medido	Nivel Calculado	Calculo de Error
3875	3840,77	0.9 %
8525	8640,36	1.35 %
13950	13857,93	0.66 %
10850	10838,60	0.1 %
11625	11556,09	0.6 %
12400	12299,51	0.81 %
13175	13063,29	0.84 %
6200	6277,04	1.24 %
6975	7093,14	1.69 %
7750	7844,45	1.21 %

Una vez obtenidos los valores porcentuales de cada una de las mediciones se puede obtener un error promedio de 0.94 %, el cual no supera el rango de tolerancia de 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de nivel entrega valores reales de medición.

## 2. Sistema Antiderrame

### a. Prueba

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel instalado, active la sirena de emergencia, detenga todos los equipos de adición de agua residual y muestre un aviso en la pantalla HMI que describa los puntos de revisión de fallas más comunes del sensor ultrasónico y del flotador de nivel.



**Figura 171.** Aviso de riesgo de derrame del “Tanque de Almacenamiento”.

## b. Resultado

En el caso del tanque de almacenamiento, el ingreso del agua tratada es mediante la activación de una bomba sumergible desde el tanque auxiliar.

Al activarse el flotador de nivel, activó la sirena de emergencia, apagó la bomba de ingreso de agua, y envió un aviso a la pantalla que describe los puntos de revisión del sensor ultrasónico y del flotador de nivel, como se muestra en la Figura 171.

### 6.1.6. Pruebas de Funcionamiento “Adición de Químicos de SDEC”.

A continuación, se detallan las pruebas realizadas en el Tanque de almacenamiento de solución decapante, las condiciones de funcionamiento implementadas y las seguridades diseñadas para garantizar un tratamiento eficiente, la pantalla de “Adición de Químicos de SDEC” se muestra en la Figura 172. Para comprobar su correcto funcionamiento se realizaron las siguientes pruebas:

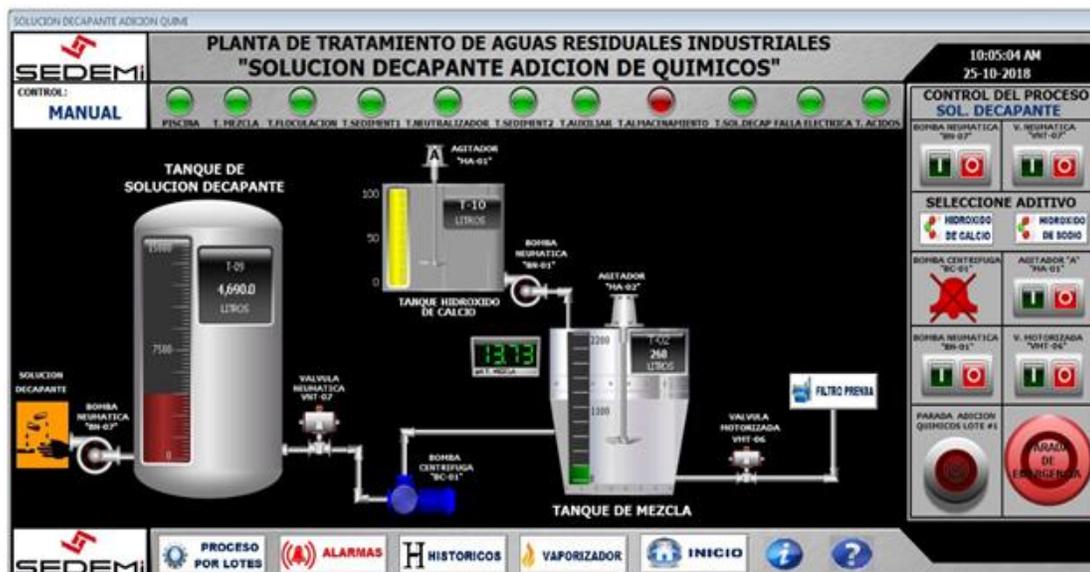


Figura 172. Pantalla Adición de Químicos de SDEC

## **1. Prueba de Medición de Nivel**

En el Tanque Almacenamiento de agua tratada se instaló dos dispositivos de control de nivel para obtener datos en tiempo real de la cantidad de agua almacenada, este tanque recibe agua tratada que se encuentra en el tanque auxiliar, este tanque sirve de almacenamiento general del agua tratada hasta que una tina del proceso de galvanizado necesite el cambio de agua contaminada por agua limpia. Para comprobar su correcto funcionamiento se realizaron las siguientes pruebas:

## **2. Prueba de Medición de Nivel**

La medición de nivel del tanque de almacenamiento de solución decapante SDEC se realiza mediante una señal entregada del sensor laser EGE 350 GI, el cual determina que si el valor volumétrico en litros supera los 14000 litros envíe un aviso al sistema HMI que informe que ha alcanzado su capacidad máxima.

### **a. Prueba**

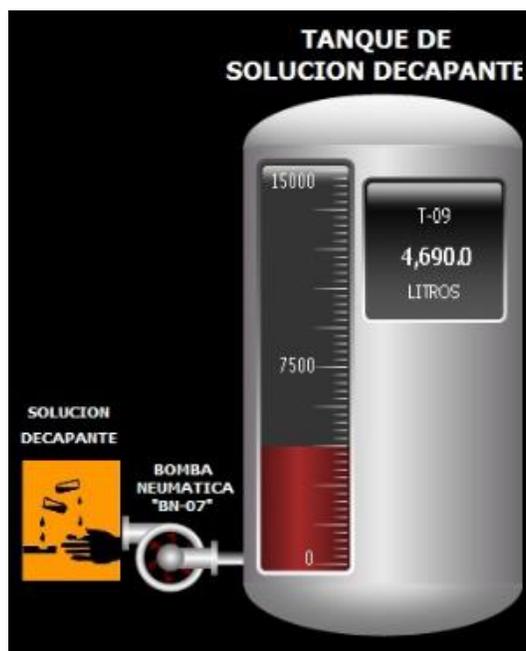
La prueba de funcionamiento consiste en el análisis de la variación de la cantidad volumétrica del Tanque de Almacenamiento de solución decapante SDEC, en base a la altura medida por el sensor ultrasónico EGE, activación de avisos de emergencia en valores establecidos y desactivación de equipos.

### **b. Resultado**

La medición de nivel del tanque cumple que si el tanque supera los 14000 litros de agua tratada bloquea el ingreso de cualquier de líquido, y apagó la bomba neumática instalada desde

las tinas de tratamiento de galvanizado para evitar riesgo de derrame.

Solo se permite trabajar en modo manual para adicionar solución decapante al tanque debido a que esta sustancia es muy contaminante y con mucho riesgo para el personal operativo por lo tanto esta acción siempre se encuentra vigilada por el técnico de la planta de tratamiento, se realizó la activación de la bomba neumática, y una vez que llegó al rango máximo de almacenamiento la apagó y no permite encenderla hasta que el nivel baje de los valores máximos. La bomba de succión de ácidos se puede observar en la Figura 173.



*Figura 173.* Tanque Almacenamiento de Solución Decapante

En las mediciones de nivel realizadas se analizaron diez muestras del nivel calculado, comparadas con el nivel medido, obteniendo como resultado el error generado entre los valores antes mencionados los mismos que se detalla en la Tabla 101.

**Tabla 101***Calculo error Absoluto*

Nivel Medido	Nivel Calculado	Calculo de Error
2320	2352,92	1.41 %
8700	8791,44	1.05 %
13340	13286,88	0.95 %
4060	4240,83	4.45 %
4640	4616,19	0.51 %
5220	4991,42	4.3 %
5800	5742,44	1 %
6380	6495,92	1.8 %
6960	6874,22	1.23 %
7540	7635,20	1.26 %

Una vez obtenidos los valores porcentuales de cada una de las mediciones se puede obtener un error promedio de 1.77 %, el cual no supera el rango de tolerancia de 5 %, lo que demuestra que la ecuación de cálculo de nivel entrega valores reales de medición.

### 3. Sistema Antiderrame

#### a. Prueba

ALARMA DE NIVEL TANQUE AUXILIAR

ALARMA DE NIVEL TANQUE AUXILIAR  
"ACTIVADA"

POSIBLES FALLAS DE LA MEDICION DE NIVEL	SOLUCIONES PARA FALLA DE MEDICION DE NIVEL
<p>1. DESCONEXION O DAÑO DEL SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL.</p> 	<p>1. VERIFICAR QUE EL SENSOR ULTRASONICO SE ENCUENTRE EN BUEN ESTADO Y COLOCADO EN SU POSICION CORRECTA.</p>
<p>2. FALLA DEL CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO DEL FLOTADOR DE NIVEL.</p> 	<p>2. VERIFICAR QUE EL CABLE DE ALIMENTACION Y COMUNICACION DEL SENSOR NO PRESENTE DAÑO COMO REMORDIMIENTO O CORTADURAS.</p> <p>3. VERIFICAR QUE EL CABLE DEL SENSOR DE NIVEL FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATRAPADO O ATASCADO EN EL BORDE DEL TANQUE.</p> <p>4. VERIFICAR QUE EL CONTACTO "NO" DEL SENSOR FLOTADOR NO SE ENCUENTRE ATASCADO O DAÑADO. (MANTENIMIENTO)</p> <p>5. VERIFICAR QUE LA CONEXION AL "PLC" NO SE ENCUENTRE SUELTA O FLOJA EN LOS TERMINALES DE SALIDA. (MANTENIMIENTO)</p>



**Figura 174.** Aviso de riesgo de derrame del “Tanque de Almacenamiento de SDEC”.

La prueba de funcionamiento consiste que al momento de la activación del flotador de nivel instalado, active la sirena de emergencia, detenga todos los equipos de adición de agua residual y muestre un aviso en la pantalla HMI que describa los puntos de revisión de fallas más comunes del sensor ultrasónico y del flotador de nivel.

## b. Resultado

En el caso del tanque de almacenamiento de solución decapante, el ingreso del agua tratada es mediante la activación de una bomba neumática desde las piscinas de tratamiento de galvanizado.

Al activarse el flotador de nivel, activó la sirena de emergencia, apagó la bomba de ingreso de agua, y envió un aviso a la pantalla que describe los puntos de revisión del sensor ultrasónico y del flotador de nivel, como se muestra en la Figura 174.

### 6.1.7. Filtro Prensa

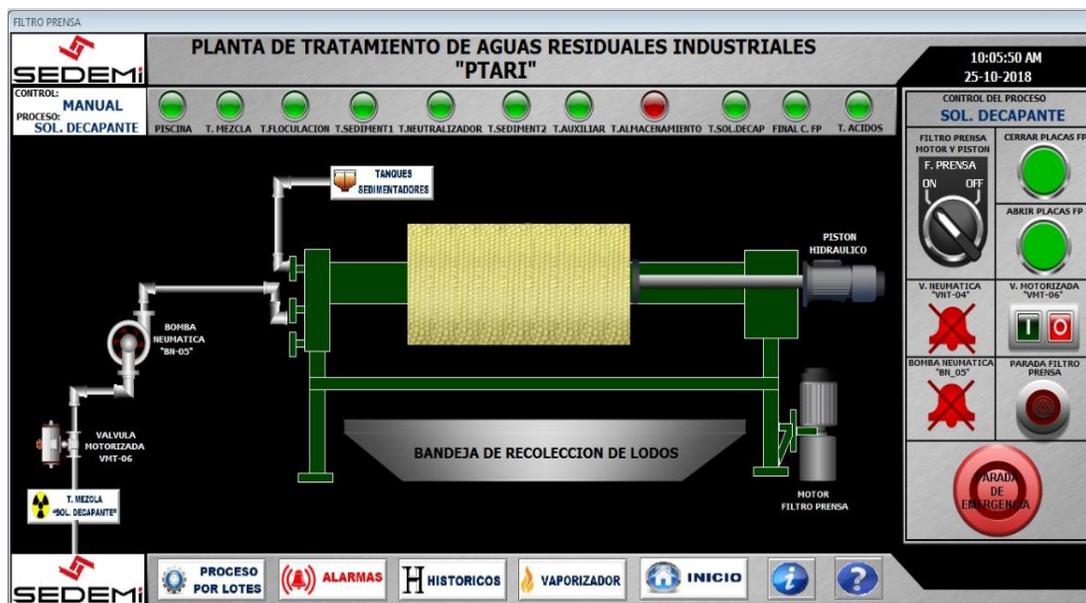


Figura 175. Pantalla Filtro Prensa de SDEC.

La pantalla de control del Filtro Prensa permite que los sedimentos que se encuentran en el fondo del Sedimentador 1 para el tratamiento del Agua de Enjuague “ADE” y Solución Decapante “SDEC”, sean filtrados para la extracción de los sólidos en suspensión y la separación del agua residual. Al realizar las pruebas de funcionamiento se procedió a la activación en modo manual de cada uno de los dispositivos controlados en esta pantalla, así como la lectura de datos como se muestra en la Figura 175 y en la Figura 176, detallados en la Tabla 102.

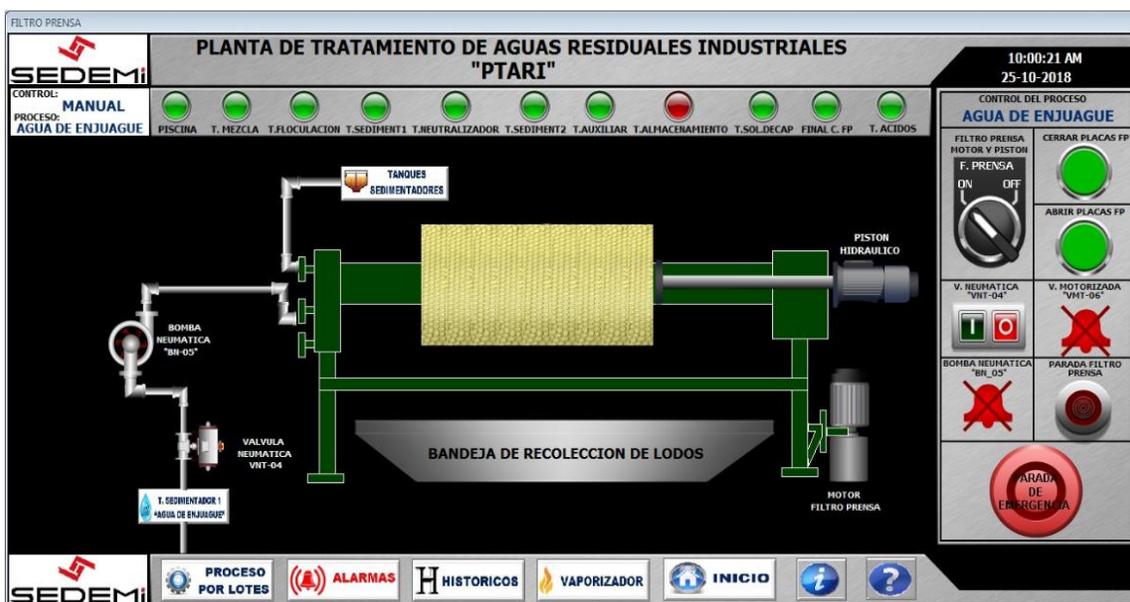


Figura 176. Pantalla Filtro Prensa de ADE.

Tabla 102

Pruebas de Funcionamiento de los Equipos del Filtro Prensa de ADE y SDEC

Descripción del Equipo	Encendido	Apagado
Arranque de la Bomba Hidráulica “F.PRENSA” de ADE y SDEC.	SI	SI
Pulsador de Cierre de Placas de ADE y SDEC.	SI	SI
Pulsador de Apertura de Placas de ADE y SDEC.	SI	SI
Activación Válvula Neumática “VNT-04” de ADE.	SI	SI
Activación Válvula Motorizada “VMT-06” de SDEC.	SI	SI
Activación Bomba Neumática “BN-05” de ADE y SDEC.	SI	SI

Parada de lote Filtro Prensa de ADE y SDEC.	SI	SI
Parada de Emergencia General de ADE y SDEC	SI	SI

### 6.1.8. Tablero de Control

El sistema de control y selección de procesos del tablero fue diseñado para garantizar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de agua en caso que la comunicación entre el PLC y el sistema HMI falle, permitiendo el control del proceso de tratamiento de agua y mediante las luces indicadoras informe del estado de la planta. Al realizar las pruebas de funcionamiento se procedió a la activación de los pulsadores y luces indicadoras para la selección y activación del proceso automático como se muestra en la Figura 177, y se detalla en la Tabla 103.

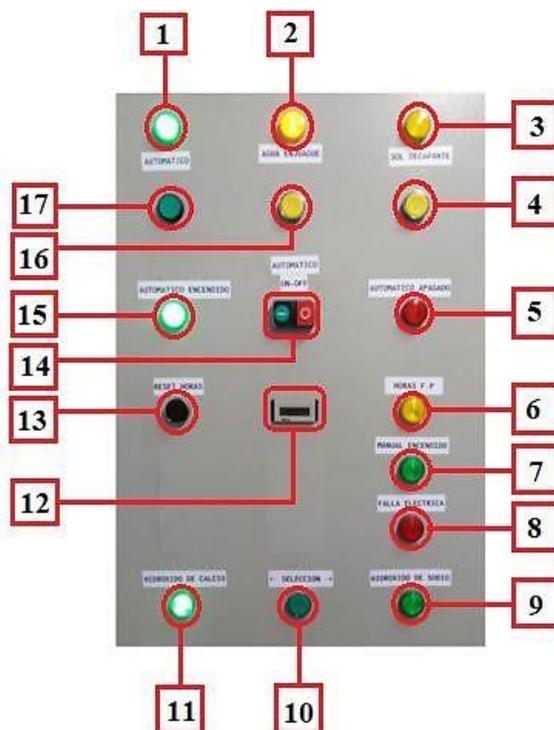


Figura 177. Tablero de control

**Tabla 103***Pruebas de Funcionamiento de los Equipos del Filtro Prensa de ADE y SDEC*

	<b>Descripción del Equipo</b>	<b>Reconocimiento Digital PLC</b>
1	Activación de luz indicadora de proceso “AUTOMÁTICO”.	SI
2	Activación de luz indicadora de “AGUA DE ENJUAGUE”.	SI
3	Activación de luz indicadora de “SOLUCIÓN DECAPANTE”.	SI
4	Pulsador de selección de “SOLUCION DECAPANTE”.	SI
5	Activación de luz indicadora de proceso “AUTOMÁTICO APAGADO”.	SI
6	Activación de luz indicadora de horas de trabajo “HORAS F.P”.	SI
7	Activación de luz indicadora de proceso “MANUAL ENCENDIDO”.	SI
8	Activación de luz indicadora de “FALLA ELECTRICA”.	SI
9	Activación de luz indicadora de “HIDROXIDO DE SODIO”.	SI
10	Pulsador de selección de “Ca(OH):” o “NaOH.	SI
11	Activación de luz indicadora de “HIDROXIDO DE CALCIO”.	SI
12	Horómetro de horas de trabajo del “FILTRO PRENSA”	SI
13	Reseteo de horas de trabajo del “FILTRO PRENSA”	SI
14	Pulsador de encendido y apagado del proceso “AUTOMATICO”	SI
15	Activación de luz indicadora de proceso “AUTOMÁTICO ENCENDIDO”.	SI
16	Pulsador de selección de “AGUA DE ENJUAGUE”.	SI
17	Pulsador de selección de proceso “AUTOMATICO”.	SI

### 6.1.9. Flotadores de Emergencia Antiderrame

Los flotadores de nivel instalados en cada uno de los tanques del proceso de tratamiento de agua tienen como objetivo principal evitar el derrame del agua contaminada, en caso de que el sensor de nivel ultrasónico falle en su lectura, el flotador de nivel al momento de su activación prohíbe el ingreso de cualquier tipo de agua residual y de cualquier aditivo químico al tanque que se encuentre con riesgo de derrame, en el momento de realizar las pruebas de funcionamiento se procedió a la activación de cada uno de los flotadores de nivel comprobando que no permita el ingreso de ninguna tipo de líquido y que permita la visualización mediante el sistema HMI de las luces indicadoras de nivel máximo de cada uno de los tanques se muestra

en la Figura 178, detallados en la Tabla 104.



**Figura 178.**Luces Indicadoras de Nivel Máximo Antiderrame

**Tabla 104**

*Pruebas de Funcionamiento de los Flotadores de Nivel*

Descripción del Equipo	Reconocimiento Digital PLC
Flotador de Nivel de la “Piscina de Almacenamiento”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque de Mezcla”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque de Flocculación”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque Sedimentador 1”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque de Neutralización”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque Sedimentador 2”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque Auxiliar”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque Almacenamiento”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque de Solución Decapante”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque Hidróxido de Calcio (Ca(OH) <sub>2</sub> )”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque Hidróxido de Calcio (NaOH)”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque de Flocculante”.	SI
Flotador de Nivel del “Tanque Ácido Clorhídrico (HCl)”.	SI

### 6.1.10. Falla Eléctrica

La red eléctrica es monitoreada mediante un seguidor de fases instalado en el tablero de control el cual tiene dos contactos, uno normalmente abierto “NO” y un normalmente cerrado “NC”.

Para la identificación de una falla eléctrica este dispositivo muestra una secuencia de luces indicadoras las cuales son detalladas en la Tabla 99 y se utilizó el contacto “NO” para que al momento de la identificación de una falla eléctrica se active la bobina del relé y permita la

continuidad de una señal de 24 Vdc hacia una entrada del PLC, el cual de la indicación al sistema HMI que apague todos los dispositivos de la planta de tratamiento para protegerlos de daños eléctricos se muestra en la Figura 179 y en la Figura 180.

**Tabla 105**

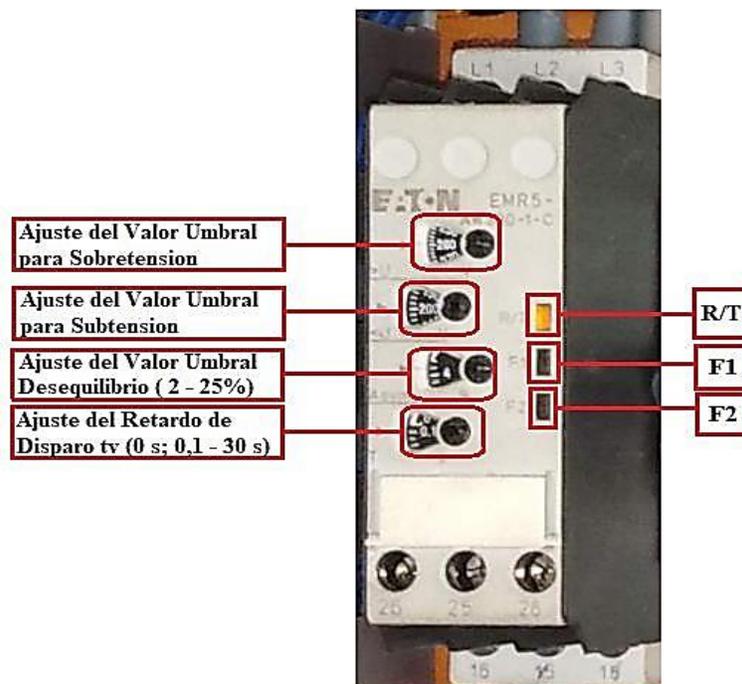
*Pruebas de Funcionamiento Seguidor de Fase.*

Descripción del Seguidor de Fase	Mensaje de Error
Sobretensión	F1 encendido
Subtensión	F2 encendido
Desequilibrio de Fase	F1 y F2 encendidos
Perdida de Fase	F1 encendido y F2 parpadeante
Secuencia de Fase	F1 y F2 parpadeantes de forma alternada
Corte del Neutro	F1 encendido y F2 parpadeante
Solapado de Valores Umbrales	R/T, F1 Y F2 parpadeantes



**Figura 179.** Etiqueta de Alarma de Falla Eléctrica.

Al finalizar con las pruebas se pudo comprobar que todos los dispositivos se encuentran en las condiciones óptimas de funcionamiento y se evidencia que la comunicación entre el sistema HMI y el PLC de control está establecida de forma correcta y lista para el arranque del proceso de tratamiento del agua residual industrial.



**Figura 180.**Seguidor de Fase.

Fuente: (EATON Powering Business Worldwide, 2013).

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

- El sistema SCADA permite el control de todos los dispositivos que conforman la planta de tratamiento de agua PTARI en dos modos: manual y automático. El modo manual permite la activación de cada uno de los dispositivos de maniobra de forma independiente, además del control de los niveles de los tanques y rangos de pH. El modo automático permite el ingreso de rangos de pH de los tanques y el tiempo de floculación como parámetros de funcionamiento. El control de cada uno de los dispositivos se realiza de manera automática en base a la lectura de los sensores que tienen instalados cada uno de los tanques.
- Las pantallas del sistema HMI fueron diseñadas bajo las especificaciones del estándar ISA101, en base a la selección de colores y diseño estructural de las pantallas teniendo en cuenta la facilidad de entendimiento de los operadores utilizando dispositivos de control similares a los que han manipulado para un mejor entendimiento.
- Los históricos permiten obtener datos de los niveles de cada uno de los tanques en tiempo real al momento que sea generado un informe de proceso, el cual permitirá analizar la cantidad de agua tratada en cada turno de trabajo y el tiempo de procesamiento necesario.
- El sistema SCADA implementado facilita el control y la supervisión del proceso de tratamiento de agua residual industrial mediante la visualización en tiempo real de los

valores de nivel de cada uno de los tanques y el valor de pH del agua, disminuyendo el gasto innecesario de aditivos químicos.

- El sistema HMI permite la visualización y control de los equipos de maniobra de cada uno de los tanques de proceso instalados en áreas específicas y agrupados para su monitoreo por medio de pantallas de interfaz gráfica, denominadas Adición de Químicos de ADE, Adición de Químicos de SDEC, Tanques Sedimentadores, Tanques de almacenamiento, con 2 modos de control Manual y Automático dependiendo de la necesidad del operador y todo controlado desde la cabina de control general de la Ptari.
- El programa de control de los motores agitadores se programó de forma independiente para ser manejados en modo manual y automático considerando las características de proceso de cada uno de los tanques y el tipo de aditivo químico al adicionar al agua residual.
- Los planos eléctricos unifilares muestran la conexión de cada uno de los dispositivos de maniobra, para un posterior mantenimiento de los equipos y del tablero de control o en caso de ocasionarse fallas eléctricas se realice la corrección de las mismas en el menor tiempo posible.
- Cada uno de los tanques de proceso cuenta con un sensor de nivel ultrasónico, por medio del cual se obtiene valores en tiempo real. En el caso de los tanques donde se adicionan productos químicos y se forma cantidad considerable de espuma, se construyeron tanques rectangulares auxiliares para la medición de nivel, en los cuales se colocaron flotadores para evitar que cuando el haz sonoro ingrese a la espuma no retorne y produzca errores en la medición.

- El sistema de control de la planta de tratamiento PTARI fue desarrollado en base a un diseño totalmente nuevo para la supervisión y control del proceso de regulación de pH, cumpliendo así con los objetivos y alcance planteados al inicio del proyecto.
- El sistema SCADA permite la fácil manipulación y el control intuitivo de la planta mediante la visualización de los procesos secuenciales de tratamiento, disminuyendo el tiempo de procesamiento, controlando el uso de aditivos químicos para la regulación de pH y regulando la capacidad máxima de cada tanque, evitando de esta manera derrames de agua contaminada y posibles daños de los equipos de maniobra.
- El Filtro Prensa permite la filtración de los sólidos en suspensión del agua residual con un tiempo de procesamiento corto el cual permite tener un proceso secuencial desde el tanque de sedimentación principal atravesando el filtro prensa hacia el tanque de neutralización.

## RECOMENDACIONES

- El Filtro Prensa necesita la implementación de un sistema de medición y aviso de saturación de las placas de filtración por medio de un medidor de caudal y un subprograma de comparación de ingreso y salida de agua comunicado con el sistema HMI.
- Los sensores ultrasónicos no permiten la medición directa de nivel en los tanques que producen espuma ya que al enviar la señal sonora no permite su retorno, para garantizar la correcta medición se crearon tres tanques auxiliares, es necesario cambiar los sensores de nivel ultrasónicos por sensores de nivel tipo radar a los cuales no les afecta la espuma producida en los tanques.
- La bomba de Ácido Clorhídrico “HCl” es neumática, por lo que no permite un control muy preciso de la cantidad de ácido inyectado en el tanque para la reducción de pH, se debe cambiar por una bomba dosificadora que permita controlar exactamente la cantidad de ácido adicionado.
- La malla de tierra en la que está aterrizado el tablero de control de la planta de tratamiento Ptari es compartida con la planta de tratamiento galvanizado, la cual produce grandes descargas a tierra continuamente. Esto puede producir remanencia de corrientes parasitas que pueden afectar a equipos sensibles de la planta. Se recomienda diseñar e implementar una malla de tierra independiente con el objetivo de alargar la vida útil de los equipos.

- Se recomienda la instalación de sensores ultrasónicos o de tipo radar para la medición de nivel de los hidróxidos y ácidos utilizados en la regulación de pH y de esta manera poder llevar una estadística de rangos de utilización, así como tener información en tiempo real de cuánto ha sido utilizado y cuánto queda de cada uno de ellos.
- Se recomienda la construcción de hélices de los motores agitadores con una mayor dimensión de las paletas para mejorar la mezcla del agua residual y disminuir el tiempo de homogenización con los aditivos químicos.
- La recolección de los ácidos agotados llamada solución decapante se realiza por medio de una sola bomba neumática la cual es colocada de forma manual en cada una de las tinas de tratamiento galvanizado. Se recomienda la instalación de una bomba y una válvula de paso ya sea neumática o eléctrica para cada tina de tratamiento permitiendo la recolección de los ácidos de forma automática, mediante el sistema HMI.
- El tanque de HCL debe ser hermético para evitar que los vapores generados por ese ácido afecten a los operadores de la planta y a los dispositivos a su alrededor.
- Se recomienda la instalación de una válvula de paso para la Piscina de Almacenamiento la cual permita controlar el ingreso de agua residual y evitar que el nivel sobrepase el rango máximo permitido.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AAI NAgant. (2009). *Dossier de trabajo de la Planta Ptari*. Quito .
- Almirón, E. (2006). *El Agua como Elemento Vital en el Desarrollo del Hombre*. Obtenido de [http://www.observatoriomercosur.org.uy/libro/el\\_agua\\_como\\_elemento\\_vital\\_en\\_el\\_desarrollo\\_de\\_l\\_hombre\\_17.php](http://www.observatoriomercosur.org.uy/libro/el_agua_como_elemento_vital_en_el_desarrollo_de_l_hombre_17.php).
- ALTEC. (2018). *Tipos de electroválvulas* . Obtenido de <https://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>.
- Automation Instruments, S. (2017). *El principio de funcionamiento del sensor de nivel ultrasónico*. Obtenido de <http://es.silverinstruments.com/blog/the-working-principle-of-ultrasonic-level-sensor.html>.
- Banco Mundial. (2013). *Aguas residuales de Latinoamérica*. Obtenido de *Contaminacion Hidrica*. Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>.
- Carpio, N., & Vidalón, M. (2016). *Evaluación tecnológica para la inhibición de la acción corrosiva en el agua potable utilizando parámetros de control y seguridad*. Arequipa. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3226>: Universidad Nacional de San Agustín .
- Castro, J., & Vargas, M. (2014). La aplicación de interfaces humano-máquina (HMI), en la industria Tijuanaense . *Universidad Tecnológica de Tijuana*, Ciencias de Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN. Valle de Santiago, Guanajuato. Disponible en: <http://ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20T-VI/ARTICULO%2021.pdf>.

- Gorostidi, L. (2013). *Planta de depuración de aguas residuales procedentes del galvanizado*. Universidad de Cantabria .
- Hawrylo, M. (2015). *Wilmingtonisa.org*. Obtenido de ISA 101, Human Machine Interface: [http://wilmingtonisa.org/files/Download/ISA-Applying-ISA101-to-Existing-HMIs\\_MikeHawrylo.pdf](http://wilmingtonisa.org/files/Download/ISA-Applying-ISA101-to-Existing-HMIs_MikeHawrylo.pdf).
- Hurtado, T. (2013). *Introducción a las Redes de Comunicación Industrial*. Obtenido de [http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC\\_net\\_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf).
- Instruments, N. (2014). *Información Detallada sobre el Protocolo Modbus*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>.
- Invensys System, I. (2007). *InTouch HMI Data Management Guide*. Obtenido de: <https://www.logic-control.com/datasheets/1/InTouch/ITDataManagement.pdf>.
- Lehmann, G., & Wikins, M. (2014). ISA 101 hmi standar nears completion. Obtenido de ISA Setting the Standar for Automation . web site: <https://www.isa.org/intech/20140805/?fbclid=IwAR3tmv->.
- Lizarazo, J. (s.f.). *Sistemas de Plantas Residuales en Colombia*. Bogotá :: Universidad Nacional de Colombia .
- Maldonado, V. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de: Sedimentación: <https://es.slideshare.net/glodita/siete-7582612>.
- Meichsner, K. (2018). *El Protocolo HART*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=95&edi=36&xit=el-protocolo-hart>.
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Reforma del libro VI del texto unificado de legislación*

*secundaria. Calidad Ambiental. Quito. Disponible en:*

<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA++R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>: Ministerio de Ambiente.

Morales, N., & Acosta, G. (2010). Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(1), 33-44. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91114807003>.

OMEGA, E. (2018). *Sensor de Nivel*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>.

OMEGA, M. (2018). *Sensor de pH PHCN-37*. Obtenido de <https://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M1570.pdf>.

Ospino, I, & Agámez, A. (2015). *Diseño y montaje a escala piloto de un sistema de filtración*. Disponible en: [https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2793/1/Dise%C3%B1o%20y%20montaje%20a%20escala%20piloto%20de%20un%20sistema\\_Isamar%20Ospino\\_USBCTG\\_2015.pdf](https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2793/1/Dise%C3%B1o%20y%20montaje%20a%20escala%20piloto%20de%20un%20sistema_Isamar%20Ospino_USBCTG_2015.pdf).

Pérez, E. (2014). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, 28(4), 3-14.

Polanco y Villarruel. (2009). *Diseño y construcción de un módulo didáctico con controladores programables; para el laboratorio de automatización industrial de procesos mecánicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. Disponible en:* <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1616>: Escuela Politécnica Nacional.

Rajeshwar, K., & Ibanez, J. (1997). *Environmental electrochemistry : fundamentals and*

*applications in pollution abatement*. San Diego (Calif.): Academic press.

Ramalho, R. (1993). *Pretratamientos y Tratamientos primarios*. Disponible en: [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/pretratamientos\\_tratamientos\\_primarios.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/pretratamientos_tratamientos_primarios.pdf).

Ramírez, R. (1997). *La Coagulación. Floculación el en proceso de Tratamiento*. Obtenido de Floculación: <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>.

Rodriguez. (2016). *Gestion de Aguas Residuales*. Madrid.: Creative Commons.

Rodriguez, M. (2012). *Redes de comunicación industriales y buses de campo*. Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/redes-de-comunicacion-industriales-y-buses-de-campo/>.

Roldán, J. (2005). *Motores Electricos y Accionamiento de Maquinas 30 tipos de Motores*. Madrid: Thomson.

SEDEMI. (2005). *Soluciones en Estucutura Metalica*. Quito. Disponible en: <http://www.sedemi.com/>.

Sensoren, E. (2018). *Special - Sensor for Automation.GmbH, EGE*. Obtenido de Ultrasonic Sensors: <http://www.pantron.com/us/datasheets/ege-ultrasonic-sensors.pdf>.

SIEMENS. (2012). Obtenido de Módulo TIA Portal 010-090: [https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC\\_net\\_SCE\\_ES\\_010-090\\_R1209\\_Startup+S7-SCL\\_S71200.pdf](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC_net_SCE_ES_010-090_R1209_Startup+S7-SCL_S71200.pdf).

Siemens. (2017). *Controlador programable s7-1200*. Obtenido de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>.

Standard. (18 de marzo de 2015). *www.google.com*. Obtenido de *www.google.com*:

- <https://www.google.com/search?q=Tabla+de+Selección+de+calibre+AWG+par>
- TELÉGRAFO. (2014). *Estricto control de químicos en lucha contra narcotráfico*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/judicial/12/estricto-control-de-quimicos-en-lucha-contra-narcotrafico-infografia>.
- Torres, A. (2015). *Análisis de aguas residuales*. Granada. Disponible en: [http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion\\_ANTONIO.pdf](http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf): Laboratorio Medio Ambiente .
- Vargas, L. (2015). *Detalles del Proceso de Floculación*. Obtenido de Procesos Unitarios y Plantas de Tratamiento: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>.
- Wika, X. (2018). *Qué es y cómo funciona un interruptor de flotador*. Obtenido de INSTRUMENTACIÓN: <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/caudal/qu-cmo-funciona-interruptor-flotador/>.
- Wonderware. (2018). *Wonderware Spain*. Obtenido de IN TOUCH: <http://www.wonderware.es/hmi-scada/intouch/>.