



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

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

TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y MEJORA DEL SCADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PUENGASÍ – EPMAPS

**AUTORES: VÁSCONEZ ENDARA GUSTAVO PATRICIO
ZURITA ARMENDÁRIZ DANIEL MAURICIO**

DIRECTOR: ING. VICTOR PROAÑO

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y MEJORA DEL SCADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PUENGASÍ - EPMAPS" realizado por los señores, **Gustavo Patricio Vásconez Endara** y **Daniel Mauricio Zurita Armendáriz**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **Gustavo Patricio Vásconez Endara** y **Daniel Mauricio Zurita Armendáriz** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 22 de Enero del 2016

Ing. Víctor Proaño

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA


CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD


Nosotros, **Gustavo Patricio Vásconez Endara**, con cédula de identidad N° 1803408424, y **Daniel Mauricio Zurita Armendáriz**, con cédula de identidad N° 1720939105, declaramos que este trabajo de titulación "AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y MEJORA DEL SCADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PUENGASÍ - EPMAPS" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de titulación en mención.

Sangolquí, 22 de Enero del 2016



Sr. Patricio Vásconez
C.C. 1803408424



Sr. Daniel Zurita
C.C. 1720939105



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Gustavo Patricio Vásconez Endara**, y **Daniel Mauricio Zurita Armendáriz**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y MEJORA DEL SCADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PUENGASÍ - EPMAPS", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 22 de Enero del 2016

Sr. Patricio Vásconez

C.C. 1803408424

Sr. Daniel Zurita

C.C. 1720939105

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a Dios quien ha sido mi fortaleza durante toda esta etapa, a mis padres quienes me han enseñado el valor del esfuerzo, además los valores y principios que fueron determinantes en cada paso para culminar esta etapa de mi vida.

Patricio Vásquez

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia y de manera especial a mi querido Abuelo José Armendáriz el cual siempre desde pequeño me brindaba su cariño y me guiaba por el camino de la vida. Gracias a él fue que pude descubrir este mundo de la Electrónica y espero que esté feliz de que yo haya seguido sus mismos pasos.

Daniel Zurita

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero antes que nada, a Dios por estar junto a mi cada paso que doy, por haberme enseñado a ser valiente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte durante toda esta etapa.

A mi familia quienes con su apoyo y paciencia me han ayudado durante toda mi carrera estudiantil. A mi novia Daniela quien ha sido una gran compañía y apoyo incondicional en todo momento. A mi amigo y compañero de tesis Daniel, con quien he compartido muchos años de amistad y gran parte de la etapa universitaria.

A mi director de tesis Ing. Victor Proaño, cuyos conocimientos y enseñanzas me han sido de gran apoyo y guía para el desarrollo de este proyecto.

Patricio Vásquez

AGRADECIMIENTO

Cada suceso que nos ocurre tiene un propósito y un fin, y el que yo haya podido concluir una etapa con sus diferentes complicaciones se lo agradezco a Dios ya que me supo guiar y presentar ayuda en situaciones que están fuera del alcance de nuestras manos.

Quiero agradecer a mis queridos padres quienes gracias a su paciencia y comprensión ayudaron a que se haga menos pesada esta tarea, y también a toda mi familia quienes siempre estaban pendientes de los diferentes sucesos.

A mi amigo y compañero de Universidad Patricio Vásconez, que por buena decisión del destino nos puso en frente de un proyecto el cual hemos podido completar gracias a un trabajo en equipo y apoyo mutuo.

A los Ingenieros de esta respetada Universidad que nos brindaron su apoyo y compartieron un poco de sus conocimientos, en especial al Ing. Victor Proaño quien es el hizo posible que este proyecto se haga realidad.

Además deseo agradecer a la empresa EPMAPS y su amable personal, ya que nos proporcionaron esta oportunidad única, de forma especial agradezco al Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Producción y de la Unidad Sistema Puengasí quien en conjunto con todo su personal nos ofrecieron su ayuda en todo el transcurso de este proyecto.

Daniel Zurita

ÍNDICE

ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e Importancia	2
1.3. Alcance del Proyecto	4
1.4. Objetivos	6
1.4.1. General	6
1.4.2. Específicos	6
CAPÍTULO 2.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Tratamiento de Agua.....	7
2.1.1. Pretratamiento.....	9
2.1.2. Coagulación, floculación y sedimentación	9
2.1.3. Intercambio de Ion.....	11
2.1.4. Filtración.....	11
2.1.5. Desinfección	12
2.2. Planta de Tratamiento Puengasí.....	12
2.2.1. Dosificación de Sulfato de Aluminio	15
2.2.2. Dosificación de Polímero	15
2.2.3. Clarificación	17
2.3. Equipos que intervienen en el proceso	18
2.3.1. Válvulas.....	18
2.3.2. Motores Eléctricos	18
2.3.3. Variadores de Frecuencia	20
2.3.4. Sensores de Nivel.....	21
2.3.5. Sensores de Caudal.....	23
2.4. Sistemas de Comunicación.....	23
2.5. Autómata Programable.....	25

	x
2.6. Interfaz Humano Máquina (HMI)	26
2.7. Sistemas SCADA.....	28
2.8. Pirámide de automatización.....	30
2.9. Redes Industriales.....	33
2.9.1. Piramide CIM.....	33
2.9.2. Redes de control.....	35
2.9.3. Redes de datos.....	36
2.10. Estándar ISA 101.....	38
2.10.1. Ciclo de Vida de una HMI.....	39
2.10.2. Jerarquía.....	41
2.10.3. Factores Humanos y Ergonomía.....	41
2.10.4. Navegación.....	42
2.10.5. Colores.....	42
2.11. Servidores para Comunicación Industrial.....	42
2.11.1. Wonderware SIDirect DAServer 3.0.....	42
2.11.2. Wonderware ABCIP DAServer 5.0.....	43
2.11.3. Wonderware MBTCP DAServer 3.0 SP1	43
2.12. Software Wonderware InTouch	43
2.13. Software para Programación	44
2.13.1. RSLogix 500.....	44
2.13.2. STEP 7.....	44
2.13.3. STEP 7-Micro/WIN	46
CAPÍTULO 3.....	47
DISEÑO CONCEPTUAL.....	47
3.1. Análisis del Estado Inicial del Sistema	47
3.1.1. Área de Polímero.....	47
3.1.2. Área de Sulfato de Aluminio.....	54
3.1.3. Área de Clarificadores.....	59
3.2. Problemas en la Operación.....	65
3.3. Requerimientos del SCADA.....	65
3.4. Requerimientos para automatizar los procesos.....	66
3.5. Filosofía de Operación.....	69
CAPÍTULO 4.....	71

	xi
INGENIERÍA BÁSICA.....	71
4.1. Selección de Equipos.....	71
4.2. Selección de actividades	73
4.3. Layout de equipos	75
4.4. Especificaciones de los equipos.....	75
4.6. Filosofía del HMI	87
4.7. Consideración de Seguridad.....	97
CAPÍTULO 5	99
INGENIERÍA DE DETALLE	99
5.1. Diagramas de Lógica	99
5.3. Diagrama de Interconexión	99
5.4. Configuración de los variadores de frecuencia	100
5.4.1. Parámetros para la Configuración.....	100
5.4.2. Cálculos para el Control de los Variadores de Frecuencia.....	102
5.5. Cálculos de medición de nivel en tanques de Polímero.....	106
5.6. Ventanas de la Interfaz HMI.....	110
5.7. Sistema de comunicación.....	135
5.7.1. Layout de la Red Implementada.....	135
5.7.2. Configuración de Servidores para el Sistema de Comunicación	136
5.8. Implementación de Históricos.....	146
5.8.1. Manejo de Históricos en InTouch	146
5.8.2. Configuración de Almacenamiento de Históricos en InTouch	147
5.8.3. Visualización y selección de datos Históricos	149
5.8.4. Exportar Datos en Hojas de Excel.....	152
5.8.5. Creación de los elementos de control en ventana	154
CAPÍTULO 6	156
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	156
6.1. Condiciones normales	157
6.2. Condiciones anormales	163
CAPÍTULO 7	167
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	167
7.1. Conclusiones.....	167
7.2. Recomendaciones.....	169

BIBLIOGRAFÍA.....	xii 170
-------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos del Clarificador de contacto de lodo	11
Tabla 2. Características principales Planta de Tratamiento Puengasí.	13
Tabla 3 Etapas de estándares del sistema.....	39
Tabla 4 Etapas para diseño	40
Tabla 5 Etapas para la implementación	40
Tabla 6 Etapas de operación.....	40
Tabla 7 Niveles de jerarquía	41
Tabla 8 Requerimientos para Automatización y SCADA.....	67
Tabla 9 Equipos requeridos	71
Tabla 10 Avalúo de equipos adquiridos	73
Tabla 11 Procesos y actividades realizadas	74
Tabla 12 Especificaciones de equipos del área de Polímero.....	76
Tabla 13 Especificaciones de equipos del área de Sulfato de Aluminio	80
Tabla 14 Especificaciones de equipos del área de clarificadores	83
Tabla 15 Configuración de valores nominales de los motores	101
Tabla 16 Configuraciones adicionales.....	101
Tabla 17 Valor decimal respecto a la salida 4 a 20 mA.....	102
Tabla 18 Cálculo del error relativo promedio.....	103
Tabla 19 Valor máximo y mínimo de velocidad del motor Impeller	103
Tabla 20 Error entre velocidad del display con la calculada	104
Tabla 21 Valor máximo y mínimo de velocidad del motor Scraper	105
Tabla 22 Error entre velocidad del display con la calculada	105
Tabla 23 Valor máximo y mínimo del nivel de los tanques	106
Tabla 24 Dato decimal respecto a señal de corriente	107
Tabla 25 Relación entre corriente, dato decimal y medición de nivel	108
Tabla 26 Comparación entre nivel medido y calculado	109
Tabla 27 Error relativo entre nivel medido y calculado	109
Tabla 28 Items de la ventana de vista general de la planta Puengasí	111
Tabla 29 Items en la barra de alarmas.....	111
Tabla 30 Items del menú de navegación	112
Tabla 31 Items del mímico de la pantalla de vista general Puengasí	112
Tabla 32 Items de la pantalla de vista general Pita	113
Tabla 33 Items del mímico de la pantalla de vista general Pita.....	113
Tabla 34 Items de la pantalla de vista general de Clarificadores	114
Tabla 35 Items del menú de control en vista general de Clarificadores	114
Tabla 36 Items de indicadores de estado en vista general de Clarificadores.....	115
Tabla 37 Items de la pantalla de control de Clarificadores.....	115
Tabla 38 Items de control y visualización de la pantalla de Clarificadores	116
Tabla 39 Items de la pantalla de tanques de Polímero.....	117
Tabla 40 Items de la zona de control de la pantalla de tanques de Polímero	117
Tabla 41 Items del mímico de la pantalla de tanques de Polímero.....	118
Tabla 42 Items de la pantalla de dosificación de Polímero	119
Tabla 43 Items de alarmas de pantalla de dosificación de Polímero.....	119

Tabla 44	Items de visualización de pantalla de dosificación de Polímero.....	119
Tabla 45	Items del mímico de la pantalla de dosificación de Polímero	120
Tabla 46	Items de la pantalla de tanques de Sulfato de Aluminio.....	121
Tabla 47	Items de alarmas de la pantalla de tanques de Sulfato.....	121
Tabla 48	Items del mímico de la pantalla de tanques de Sulfato de Aluminio.....	121
Tabla 49	Items de la pantalla de dosificación de Sulfato de Aluminio	122
Tabla 50	Items de control y visualización de pantalla de dosificación de Sulfato ...	123
Tabla 51	Items del mímico de la pantalla de dosificación de Sulfato de Aluminio ..	123
Tabla 52	Items de la pantalla de Mezcladores.....	124
Tabla 53	Items de la zona de control de la pantalla de Mezcladores	125
Tabla 54	Items de la zona de visualización de la pantalla de Mezcladores.....	126
Tabla 55	Items de la pantalla de vista general de Retrolavado	127
Tabla 56	Items de alarmas de la pantalla de vista general de Retrolavado	127
Tabla 57	Items de visualización de la pantalla de vista general de Retrolavado	127
Tabla 58	Items del mímico de la pantalla de vista general de Retrolavado.....	128
Tabla 59	Items de la pantalla de bombas de Retrolavado	129
Tabla 60	Items de la zona de control de la pantalla de bombas de Retrolavado....	129
Tabla 61	Items de visualización de la pantalla de bombas de Retrolavado	130
Tabla 62	Items del mímico de la pantalla de bombas de Retrolavado	130
Tabla 63	Items de la pantalla de información de las bombas de Retrolavado	131
Tabla 64	Items de visualización de pantalla de información de Retrolavado	131
Tabla 65	Items de la pantalla de Históricos.....	132
Tabla 66	Items de la zona de control del histórico	132
Tabla 67	Items de la zona de control para exportación de datos del Histórico	133
Tabla 68	Items de la zona de leyendas del Histórico	133
Tabla 69	Items del Histórico	133
Tabla 70	Items de la pantalla de reporte del Histórico.....	134
Tabla 71	Items de la zona de control de la pantalla de reporte del Histórico	134
Tabla 72	Tabla de direcciones IP.....	135
Tabla 73	Tags de históricos.....	151
Tabla 74	Tags de HistData	154
Tabla 75	Pruebas de funcionamiento en condiciones normales	157
Tabla 76	Prueba Falla eléctrica momentánea - Clarificadores	163
Tabla 77	Prueba Falla eléctrica general - Clarificadores	163
Tabla 78	Prueba de Sobretorque - Clarificadores	164
Tabla 79	Prueba Falla de comunicación - Clarificadores	164
Tabla 80	Prueba Falla eléctrica general - Sulfato.....	164
Tabla 81	Prueba Falla en válvula - Sulfato.....	165
Tabla 82	Prueba Falla en variadores - Sulfato.....	165
Tabla 83	Prueba Falla de comunicación - Sulfato	165
Tabla 84	Prueba Falla eléctrica general - Polímero	166
Tabla 85	Prueba Falla en válvula - Polímero	166
Tabla 86	Prueba Falla en variadores - Polímero	166
Tabla 87	Prueba Falla de comunicación - Polímero.....	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Logo EPMAPS.....	1
Figura 2. Tratamiento de Agua.....	8
Figura 3. Clarificador de contacto de lodo.....	10
Figura 4. Planta de Tratamiento Puengasí.....	12
Figura 5. Diagrama Planta de Tratamiento Puengasí.....	14
Figura 6. Tanques y bombas para la dosificación de sulfato de aluminio.....	15
Figura 7. Tanques para elaboración de polímero.....	16
Figura 8. Sistema de Bombas para dosificación de polímero.....	16
Figura 9. Clarificadores rectangulares Planta de Tratamiento Puengasí.....	17
Figura 10. Tipos de sensores de nivel.....	21
Figura 11. Medidor de nivel tipo flotante.....	22
Figura 12. Sensor ultrasónico.....	22
Figura 13. Pirámide de la automatización.....	32
Figura 14. Relación entre ERP, MES y SCADA.....	33
Figura 15. Pirámide CIM.....	33
Figura 16. Redes de comunicación industrial.....	35
Figura 17. Topología de red en bus.....	36
Figura 18. Topología de red en estrella.....	36
Figura 19. Topología de red en estrella jerárquica o árbol.....	37
Figura 20. Topología de red en malla.....	37
Figura 21. Ciclo de vida de una HMI.....	39
Figura 22. Logo InTouch.....	43
Figura 23. Software RSLogix 500.....	44
Figura 24. Software STEP7.....	45
Figura 25. Software STEP 7-Micro/Win.....	46
Figura 26. Diagrama P&ID de Polímero.....	47
Figura 27. Indicador de nivel Vantage 2220 de los tanques de mezcla.....	49
Figura 28. Motor para mezcla de polímero.....	49
Figura 29. Arrancadores de motores para mezcla de polímero.....	49
Figura 30. Electroválvula para llenado de los tanques de mezcla.....	50
Figura 31. Electroválvula de los tanques de dosificación de polímero.....	50
Figura 32. Sistema de bombas para dosificación de polímero.....	51
Figura 33. PLC MicroLogix 1500 del área de polímero.....	51
Figura 34. Interfaz DH485 para comunicación.....	52
Figura 35. Variadores de frecuencia de la dosificación de polímero.....	52
Figura 36. PanelView del área de polímero.....	53
Figura 37. Diagrama de flujo proceso Polímero.....	53
Figura 38. Diagrama P&ID de sulfato.....	54
Figura 39. Sensor tipo boya de los tanques de sulfato.....	55
Figura 40. Electroválvulas para llenado de tanques de sulfato.....	56
Figura 41. Sistema de dosificación de sulfato de aluminio.....	56
Figura 42. Variadores de frecuencia del sistema de dosificación de sulfato.....	56
Figura 43. Caudalímetro del área de sulfato de aluminio.....	57

Figura 44. PLC Siemens S7-200 del área de sulfato de aluminio.....	57
Figura 45. Touch panel para control del área de sulfato de aluminio.	57
Figura 46. Diagrama de flujo proceso sulfato.....	58
Figura 47. Diagrama P&ID de clarificadores cuadrados.....	59
Figura 48. Diagrama P&ID de clarificadores circulares	60
Figura 49. PLC S7-300 del área de clarificadores.....	62
Figura 50. Variador Siemens desconectado del PLC.	63
Figura 51. Botonera del área de clarificadores.	63
Figura 52. Pantalla táctil para control del área de clarificadores.....	64
Figura 53. Diagrama de flujo proceso clarificadores	64
Figura 54. Problemas de Operación.....	65
Figura 55. Requerimientos del SCADA.....	66
Figura 56. Equipos adquiridos instalados.....	75
Figura 57. Plantilla 1	90
Figura 58. Plantilla 2	91
Figura 59. Plantilla 3	91
Figura 60. Navegación de la interfaz HMI.....	92
Figura 61. Navegación de la interfaz HMI.....	92
Figura 62. Jerarquía de las ventanas de la interfaz HMI	93
Figura 63. Ejemplo 1 HMI.	94
Figura 64. Ejemplo 2 HMI.	94
Figura 65. Ejemplo 3 HMI.	94
Figura 66. Ejemplo 4 HMI.	95
Figura 67. Ejemplo 5 HMI.	95
Figura 68. Colores para la interfaz HMI	96
Figura 69. Símbolos y objetos para la interfaz HMI.....	97
Figura 70. Indicadores de caudal y nivel.....	97
Figura 71. Objetos creados en Archestra.	97
Figura 72. Diagrama de conexión cables de control.	99
Figura 73. Diagrama de interconexión señales de control.	100
Figura 74. Relación de conversión Dato decimal - Corriente.....	102
Figura 75. Relación de conversión Corriente – RPM motor Impeller.....	104
Figura 76. Relación de conversión Corriente - RPM motor Scraper.....	105
Figura 77. Relación de conversión Nivel – Corriente.....	107
Figura 78. Relación de conversión Corriente – Dato Decimal.	107
Figura 79. Relación de conversión Dato Decimal – Medida de nivel.....	108
Figura 80. Pantalla de vista general de la planta Puengasí.	111
Figura 81. Pantalla de vista general Pita.	113
Figura 82. Pantalla de vista general de Clarificadores.....	114
Figura 83. Pantalla de control de Clarificadores.....	115
Figura 84. Pantalla de tanques de Polímero.	117
Figura 85. Pantalla de dosificación de Polímero.....	118
Figura 86. Pantalla de tanques de Sulfato de Aluminio.	120
Figura 87. Pantalla de dosificación de Sulfato de Aluminio.	122

Figura 88. Pantalla de Mezcladores.....	124
Figura 89. Pantalla de vista general de Retrolavado.....	126
Figura 90. Pantalla de bombas de Retrolavado.....	128
Figura 91. Pantalla de información de las bombas de Retrolavado.....	131
Figura 92. Pantalla de Históricos.....	132
Figura 93. Pantalla de reporte del Histórico.....	134
Figura 94. Red implementada mediante Ethernet.....	135
Figura 95. Ventana DASSIDirect.....	137
Figura 96. Opciones de configuración del DASSIDirect.....	137
Figura 97. Añadiendo objeto para comunicación con el PLC S7-200.....	138
Figura 98. Configuración del objeto S7CP_200.....	138
Figura 99. Agregar un Topic Name a objeto S7CP_200.....	139
Figura 100. Asignación de un nombre al Topic Name.....	139
Figura 101. Ventana del DASSIDirect.....	140
Figura 102. Opciones de configuración del DASSIDirect.....	140
Figura 103. Añadiendo objeto para comunicación con el PLC S7-300.....	141
Figura 104. Configuración del objeto S7Cp.....	141
Figura 105. Agregar un Topic Name a objeto S7Cp.....	142
Figura 106. Asignación de un nombre al Topic Name.....	142
Figura 107. Ventana del programa RSLinx.....	143
Figura 108. Ventana del software RSLinx.....	143
Figura 109. Añadiendo el tipo de comunicación.....	144
Figura 110. Definiendo el nombre de la comunicación.....	144
Figura 111. Configurando la comunicación con el PLC.....	145
Figura 112. Diagrama de comportamiento Históricos.....	146
Figura 113. Configuración propiedades de almacenamiento.....	147
Figura 114. Configuración de tags para Históricos.....	148
Figura 115. Filtro Deadband.....	148
Figura 116. Visualización de Históricos.....	149
Figura 117. Configuración de fecha de inicio.....	149
Figura 118. Configuración de visualización de Trend.....	150
Figura 119. Botones selección visualización.....	150
Figura 120. Leyenda de Tags.....	151
Figura 121. Diagrama de funcionamiento exportación a hoja de Excel.....	152
Figura 122. Parámetros de Access name.....	153
Figura 123. Elementos de control para exportación.....	154
Figura 124. Diagrama del antiguo sistema.....	156
Figura 125. Diagrama del nuevo sistema.....	156
Figura 126. Pantalla de vista general de Clarificadores.....	158
Figura 127. Pantalla de control y monitoreo de los clarificadores rectangulares.....	159
Figura 128. Pantalla de control y monitoreo de los clarificadores circulares.....	159
Figura 129. Pantalla de control y monitoreo de preparación de polímero.....	160
Figura 130. Pantalla de control y monitoreo para dosificación de polímero.....	161
Figura 131. Pantalla de monitoreo de válvulas y bombas de sulfato.....	161

Figura 132. Pantalla de control y monitoreo de dosificación de sulfato.....162

RESUMEN

La calidad del agua para consumo humano depende de varios factores dentro del tratamiento del agua el cual empieza desde la toma de agua, la cual puede ser desde ríos, lagunas, entre otras fuentes, para luego pasar por varios procesos que permitan la separación de toda clase de partículas y bacterias del agua para garantiza su potabilización y distribución para el consumo de la población. El presente proyecto se realiza sobre varios procesos de la planta de tratamiento Puengasí de la empresa EPMAPS, la cual es la encargada del suministro de agua potable al 35% de la población del Distrito Metropolitano de Quito. Entre los procesos que se intervienen en este proyecto de grado son: proceso de elaboración de polímero, proceso de dosificación de sulfato de aluminio y el proceso de clarificación, los cuales son de gran importancia para que se garantice la calidad del agua producida para el consumo. La automatización de los procesos intervenidos en este proyecto permitirá el control y supervisión de los mismos desde un solo lugar, lo cual permite a los operadores de la planta tener un ahorro de tiempo en el control y supervisión de cada uno de estos procesos, evitando posibles daños en los equipos, causados muchas veces por el incorrecto accionamiento manual de estos. Todos estos procesos intervenidos están reunidos en un solo SCADA, permitiendo el control y supervisión de forma remota desde una interfaz HMI, con datos reales y actuales de cada uno de estos procesos.

Palabras Clave:

AUTOMATIZACIÓN

TRATAMIENTO DE AGUA

SCADA

HMI

SISTEMA DE COMUNICACIÓN.

ABSTRACT

This project is performed on some processes at the Water Treatment Plant Puengasí - EPMAPS, which is responsible for the supply of drinking water to 35% of the population of the Metropolitan District of Quito. Among the processes that are involved in this graduation project they are: development process polymer dosing process of aluminum sulfate and the clarification process, which are of great importance to the quality of water produced for consumption guarantee. The automation of processes operated in this project will enable the monitoring and control them from a single location, which allows plant operators have a time saving in the control and supervision of each of these processes. Likewise this automation allows avoiding equipment damage, often caused by improper manual operation of these. The processes are operated together in one SCADA, so they can be controlled and monitored remotely from an HMI interface, allowing having real and current data on each of these processes.

Keywords:**AUTOMATION****WATER TREATMENT****SCADA****HMI****COMMUNICATION SYSTEM.**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La EPMAPS es una empresa pública que provee servicios de agua potable y saneamiento en el DMQ.



Figura 1. Logo EPMAPS.

Fuente: (EPMAPS, 2015)

Actualmente gracias al esfuerzo mancomunado de todos los integrantes de esta noble empresa es posible que en cada uno de nuestros hogares tengamos un servicio constante y de calidad del líquido vital el cual nos permite desarrollarnos en cada una de nuestras actividades diarias. Para que esto sea posible, la empresa cuenta con varias plantas de tratamiento de agua las cuales brindan servicio a varios sectores del DMQ.

Es así que en este caso la Planta de Tratamiento Puengasí que se encuentra en el Sur Oriente de la ciudad, sector Loma de Puengasí, es la segunda planta de tratamiento más importante que posee la ciudad de Quito.

Una de las áreas que interviene en el proceso de tratamiento de agua es el de sulfato de aluminio líquido el cual es utilizado para formar flóculos de lodo en el agua cruda. De tal forma que se puedan depositar al fondo. En el edificio principal existen 4 tanques de sulfato líquido, además de estos hay bombas para la dosificación, en las cuales existen fallas en su funcionamiento.

Otra área es la de preparación y dosificación de polímero, el cual es una mezcla de polvo con agua, sirve para ayudar al sulfato de aluminio a formar los flóculos de lodo más rápidamente, de tal forma que se vuelvan más pesados y se depositen en el inferior en un menor tiempo. En el piso

superior existen 2 tanques destinados a la elaboración de polímero, los cuales tienen una capacidad de 5000 litros de agua cada uno, donde además se ingresa 12.5 kilos de polvo de polímetro para realizar la mezcla. Una vez obtenida la mezcla se distribuye hacia otros 3 tanques en el piso inferior de la planta desde donde se procede a su dosificación mediante una bomba.

En el área de clarificadores los sedimentos formados gracias a los químicos agregados se los envía al fondo mediante el movimiento de dos aspas, y lo que queda en la superficie es agua más limpia la cual a continuación se envía a los filtros. La planta cuenta con 8 clarificadores, en los cuales existe dos motores para cada uno.

Los problemas que existen actualmente ocasionan que todos los procesos incluyendo la dosificación, apertura o cierre de válvulas, accionamiento de bombas se tengan que realizar manualmente. La verificación de llenado de cada tanque de igual forma se realiza visualmente y esto podría ocasionar que en algún momento exista un derrame.

Todos los procesos que se describieron, actualmente en su mayoría no cuentan con una automatización e integración, a pesar que sí existe un SCADA pero debido a los problemas existentes tales como falta de sensores, fallas en equipos o falta de comunicación con los procesos, no permite tener datos en tiempo real y su respectivo control mediante una HMI unificada.

1.2. Justificación e Importancia

El agua es el principal e imprescindible componente en cualquier ser viviente, es así que los seres humanos lo usamos constantemente para preparar los alimentos que nos nutren cada día, además de realizar las tareas que cotidianamente tenemos que realizar.

La EPMAPS es la empresa pública encargada de realizar esta enorme e importante labor de proveernos cada día agua potable constante y de la mejor calidad en cada uno de nuestros hogares, lugares de trabajo, etc.

La Planta de Tratamiento Puengasí al ser la segunda planta de tratamiento con más capacidad de proceso de agua en el DMQ con 2400 l/s, cualquier tipo de proyecto que se realice en la presente planta, tendrá un gran impacto en el mejoramiento de los procesos que intervienen en el tratamiento de agua de tal forma que los beneficiarios finales más importante de estas mejoras serían los ciudadanos de la capital del Ecuador.

En la actualidad la necesidad de tener procesos automáticos en todo tipo de industria es cada vez más grande ya que estos permiten mejorar todos los procesos industriales, mejorándose así la calidad del producto final.

De momento en la Planta de Tratamiento Puengasí la mayoría de procesos para el tratamiento del agua se los realiza de manera manual, es decir, un operario de la planta se encarga personalmente de encender y apagar los sistemas directamente desde el área de cada proceso, verificar que los niveles sean los correctos, además de realizar pruebas constantes de laboratorio para asegurarse que la calidad del agua que va a llegar a los ciudadanos sea la mejor.

Muchas veces el operador tiene otras actividades que realizar por lo que por un descuido inintencional puede dejar encendidos los sistemas por más tiempo del necesario lo cual ocasionaría que los niveles lleguen a valores críticos o que se desperdicie en gran cantidad los químicos o agua tratada que bien serviría para dar servicio a la ciudad, como también esto ocasionaría desperdicio de energía eléctrica. O en el peor de los casos podría ocasionar accidentes en el área de trabajo con consecuencias catastróficas al personal que labora en la planta y todos sus equipos que actualmente están instalados.

El realizar el presente proyecto permitirá realizar la automatización de algunos de los procesos, de tal forma que se ahorren tiempos y consumo de

productos químicos y se prevenga errores que desencadenarían en accidentes.

Además todos los sistemas intervenidos se los reuniría en un solo sistema SCADA de tal forma que desde un solo sitio se pueda monitorear y realizar el control de forma remota desde una sola HMI unificada. Esto permitirá conocer datos reales y actuales de cada uno de los procesos.

Como también actualmente se está realizando un trabajo de actualización de todo el sistema de control de los filtros, es beneficioso para la empresa mejorar el comportamiento de los demás sistemas de tal forma que la Planta de Tratamiento Puengasí esté a la vanguardia de la tecnología y que tenga un comportamiento igual que las mejores plantas de tratamiento que existe en el mundo, con el único objetivo de mejorar el servicio y calidad de agua que reciben los habitantes de la ciudad de Quito.

1.3. Alcance del Proyecto

La Planta de Tratamiento Puengasí tiene diversos procesos en los cuales se puede intervenir y mejorar su funcionamiento. Pero hay que tener en cuenta que para poder dejarlos en las mejores condiciones las soluciones que se implementen estarán sujetas a la disponibilidad y funcionalidad de los equipos necesarios para su puesta en marcha. Por lo tanto el alcance del presente proyecto de grado se lo delimitara con la culminación de automatización e integración de los sistemas de Sulfato de Aluminio, Polímero y Clarificadores.

En primera instancia se realizará un análisis de cada uno de los sistemas mencionados para conocer el estado en el que se encuentra funcionando y con ello desarrollar soluciones de ingeniería a los problemas encontrados en cada uno de los sistemas.

En el área de sulfato de aluminio se enfocaría en los 4 tanques, válvulas y bombas que se encuentran en el edificio principal, en los cuales se

implementará un control de llenado, apertura y cierre automático de válvulas, además del control de la bomba de dosificación.

En el área de polímero se encuentran 5 tanques, dos en la parte superior de la planta donde se realiza la preparación de polímero. En estos se realizará un control de llenado así como un control de apertura y cierre de válvulas, el cual será iniciado mediante la pulsación de un botón, ya sea físico o en HMI. Además en los tres tanques de la parte inferior de igual forma se realizará la apertura y cierre de válvulas.

En el área de clarificadores se realizará el control de la velocidad de los 16 motores de forma remota.

A continuación se procederá a realizar la integración y automatización de todos los sistemas intervenidos en un SCADA unificado que deberá ser rediseñado de tal forma que facilite el control y monitoreo de los mismos, incluyendo el diseño de una interfaz HMI que posea una funcionalidad de almacenamiento de históricos, en el cual se guarden los datos más relevantes tomados de los sistemas que intervienen en el desarrollo del proyecto.

Se entregará a la empresa los programas e interfaces desarrolladas para la automatización de cada proceso, así como también diagramas, documentos técnicos y manuales de operación. Además de una charla de capacitación al personal de la planta para que conozcan la correcta operación y manejo de todos los sistemas implementados en la Planta de Tratamiento Puengasí.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Automatizar mediante un SCADA diferentes procesos y equipos que cuenta la Planta de Tratamiento Puengasí de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – EPMAPS.

1.4.2. Específicos

- Determinar las necesidades y requerimientos del personal de operación que labora en la Planta relacionadas a la supervisión y control de procesos de tratamiento de agua para dar soluciones pertinentes y que no interfieran en su funcionamiento.
- Analizar el estado en que se encuentran funcionando cada uno de los sistemas intervenidos en este proyecto.
- Desarrollar e implementar la ingeniería de hardware necesaria para dar solución a los problemas encontrados incluyendo planos, documentos técnicos y manuales de operación.
- Diseñar una interfaz HMI para monitorear y controlar los sistemas intervenidos desde una sola máquina, además que permita el almacenamiento de los datos más relevantes de cada proceso.
- Ejecutar una charla de capacitación al personal de la Planta para una correcta operación de todos los sistemas.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Tratamiento de Agua

Para realizar la potabilización del agua primeramente es necesaria la captación de agua cruda la cual puede provenir de aguas subterráneas o agua que se encuentren en la superficie tales como ríos. Debido a que en el Ecuador existen gran cantidad de ríos las empresas de tratamiento de agua potable realizan sus captaciones principalmente desde tomas de estos ríos, para con ello realizar todos los procesos necesarios con el agua captada para potabilizarla.

Mediante las tomas en los ríos suele incrementarse la captación del agua cruda con gran cantidad de impurezas por lo cual suelen utilizarse rejillas para detener una gran cantidad de estas impurezas y facilitar así el tratamiento del agua.

El proceso de llevar el agua captada hacia las plantas de tratamiento se lo llama aducción, existen dos tipos:

- **Aducción por gravedad (Acueductos, canales,...)**

En este tipo de conducción es necesario que la toma del agua cruda se encuentre a una mayor altura que el punto de entrada a las plantas, para que el agua circule gracias a la pendiente de conducción.

- **Aducción forzada (Tuberías)**

Para este tipo de conducción son necesarios grupos de bombeo ya que la toma del agua cruda se encuentra a una altura menor que el punto de entrada a las plantas.

Una vez el agua captada llegue a cada una de las plantas, se dará comienzo a los procesos para la potabilización del agua, La Figura 2 representa a los procesos más comunes para el tratamiento del agua.

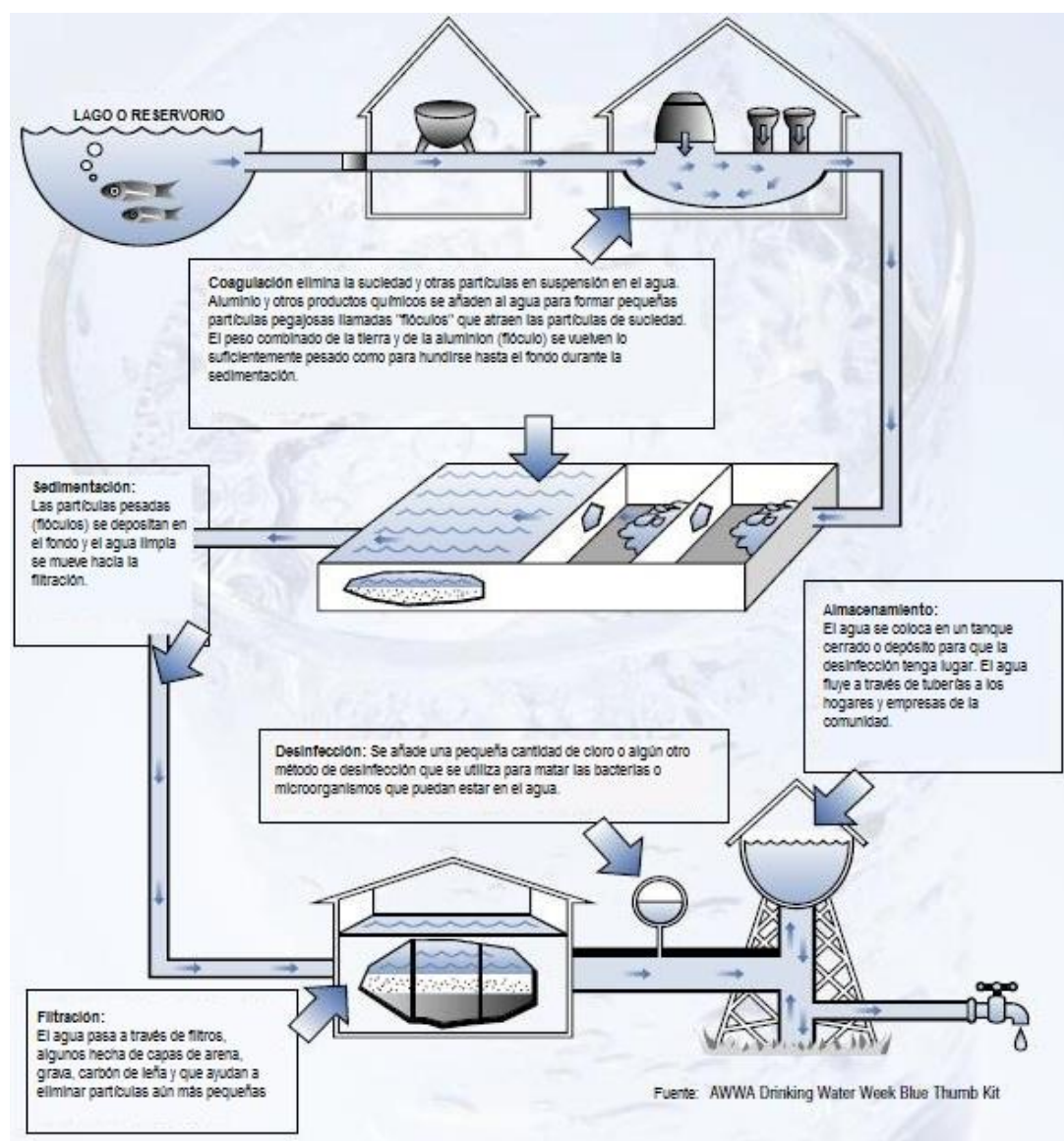


Figura 2. Tratamiento de Agua

Fuente: (Environmental Protection Agency, 2009)

Para la entrada del agua cruda a una planta es necesario colocar la instrumentación que nos permita conocer el estado actual de la misma, entre los cuales podrían ser: el caudal de agua cruda que ingresa a la planta, temperatura, turbiedad, entre otras parámetros las cuales sirven para realizar un tratamiento adecuado del agua.

Entre los procesos comúnmente usados para un adecuado tratamiento de agua potable se encuentran:

- Pretratamiento
- Coagulación, floculación y sedimentación
- Intercambio de Ion
- Filtración
- Desinfección

2.1.1. Pretratamiento

En el pretratamiento pueden ser utilizados algunos procesos entre los cuales están: filtros de desbaste, microcribas (microstrainers), off-stream, y bancos de infiltración, los cuales poseen funciones específicas para mejorar la calidad del agua. Mediante el pretratamiento del agua se pueden obtener buenos resultados removiendo algas, altos niveles de turbiedad, virus y quistes de protozoos.

2.1.2. Coagulación, floculación y sedimentación

Durante este proceso partículas pequeñas interactúan para formar partículas más grandes, las cuales se sedimentan gracias a la ayuda de la fuerza de la gravedad.

Para lograr la coagulación se añade una sustancia que sirve para formar los productos de hidrólisis, esto se lo hace para promover la floculación, este proceso permite la interacción de partículas pequeñas que se encuentran en el agua para formar partículas más grandes llamadas flóculos. Finalmente ocurre la sedimentación el cual es un proceso de separación donde las partículas formadas gracias a la floculación se depositan en el fondo debido a la fuerza de la gravedad.

Existen algunas sustancias que facilitan estos procesos tales como son: sales de aluminio, sales de hierro o polímeros orgánicos sintéticos.

El objetivo de estos tres procesos es la clarificación del agua, los cuales se producen dentro de un clarificador. Los clarificadores utilizados en la Planta de Tratamiento son los del tipo de contacto de lodo.

Clarificadores de contacto de lodo

Estos tipos de clarificadores poseen una zona de reacción, la cual es donde se ponen en contacto el agua de entrada con parte de los lodos existentes, esto permite conseguir que los sólidos que lleva el agua cruda se engrosen y facilite la formación de flóculos.

Para que el proceso de la clarificación se facilite, estos clarificadores suelen tener en la zona de reacción un agitador mecánico, además poseen una rasqueta que barre los lodos del fondo facilitando la acumulación de estos en la parte central del clarificador, en donde estos lodos se harán más densos y se sustraerán con mayor facilidad mediante purgas. En la Figura 3 se puede apreciar un diagrama de este clarificador.

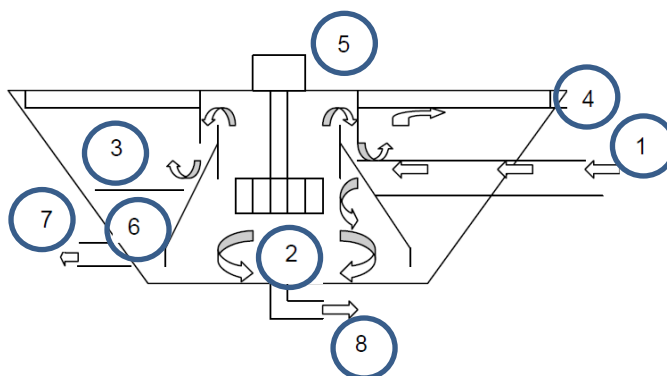


Figura 3. Clarificador de contacto de lodo.

Tabla 1.
Elementos del Clarificador de contacto de lodo.

Número	Elemento
1	Entrada de agua cruda
2	Zona de reacción
3	Zona de clarificación
4	Salida de agua clarificada
5	Mezclador
6	Concentrador de lodos
7	Purga de lodos en exceso
8	Purga de fondo

Fuente: (Grupo TAR. Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla)

2.1.3. Intercambio de Ion

El proceso de intercambio de Ion sirve para remover contaminantes inorgánicos del agua tales como nitrato, arsénico, cromo, etc, los cuales son difícilmente removidos con otro tipo de proceso.

2.1.4. Filtración

Una vez terminado el proceso de clarificación del agua es necesaria una etapa de filtración, la cual actúa como una barrera efectiva para retirar del agua impurezas que no se hayan removido en etapas anteriores.

Este proceso consiste en pasar el agua clarificada a través de una superficie filtrante, es común que esta superficie filtrante sea de arena y grava las cuales tienen distinta granulometría, las cuales van a retener las impurezas en la parte superior de la superficie, logrando obtener en la parte inferior del filtro agua más limpia, dejándola casi lista para su consumo.

Es necesario también realizar comúnmente una limpieza de los filtros para que estos no se saturen y tengan siempre una buena capacidad de filtración, este proceso de limpieza consiste en inyectar temporalmente aire y/o agua en contracorriente, la cual permite ayuda a que se desprendan las impurezas que quedaron retenidas en la superficie filtrante.

2.1.5. Desinfección

Finalmente después de todos los procesos anteriores para que el agua este apta para su consumo es necesario desinfectarla, esta desinfección debe garantizar la eliminación de patógenos potencialmente peligrosos. El desinfectante comúnmente más usado es el cloro en sus formas más comunes como son: cloro gas, hipoclorito cálcico, cloraminas, hipoclorito. Luego de realizar la desinfección, el agua estará lista para su distribución.

2.2. Planta de Tratamiento Puengasí



Figura 4. Planta de Tratamiento Puengasí.

La Planta de Tratamiento Puengasí es una de las tantas plantas que posee la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), la cual se encarga de la potabilización de agua y su distribución a una gran parte de la población de Quito.

Las características principales de la Planta de Tratamiento Puengasí se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2.
Características principales Planta de Tratamiento Puengasí.

Planta de Tratamiento Puengasí		
Dirección	Sur Oriente de la ciudad de Quito, sector Loma de Puengasí camino antiguo a Conocoto.	
Fecha de inicio de operación	18 de mayo de 1977	
Fuentes de captación	Río Pita (Cotopaxi) Canal Q=2700 l/s. Sincholagua – La Mica Quito Sur.	
Longitud de conducción	60 Km.	
Cota de la Planta	2980 m.s.n.m	
Capacidad de tratamiento (diseño) l/s	2400	
Reserva de agua (m³)	Cruda	120000
	Tratada	2 tanques: 14784 y 15000
Sistemas de Dosificación	Sulfato Al. Liq.	2
	Polímeros	2
	Cloración	3
Mezcla Rápida	N° de unidades	2
	Tipo	Agitadores mecánicos
	Potencia	10 HP y 12.5 HP
Clarificación	N° de unidades	4 cuadrados y 4 circulares
	Tipo	Degremont-Accelerator contacto con sólidos
	Área de clarificación	506.25 m ² y 894.6 m ²
	Potencia	4.8 kW y 0.75 kW
Filtración	N° de unidades	8
	Tipo	Filtros rápido de doble cámara de tasa constante
	Área de filtración	(47.05x2) = 94.10 m ² c/u
	Tasa de filtración	261 m ³ /m ² / día
Desinfección	N° de unidades	3 (1 en reserva)
	Tipo	De vacío
	Precloración	1 capacidad: 100 – 2000 lb/24h
	Postcloración	1 capacidad: 100 – 2000 lb/24h
Sistemas complementarios	Gener. de Energía	1 Gen. de 437.5 Kva; 480 V; Trifásico
	Laboratorio	1 (Físico-Químico), 1 Microbiológico
Líneas Primarias de Salida		Monjas (Alma Lojana) d=20"
		Los Pinos d=12"
		Bellavista d=36"
		Chiryacu d=28"
		Sur-Occidente d=48"
	El Placer d=20" (Agua cruda)	

Fuente: (EPMAPS)

La Planta de Tratamiento Puengasí es encargada de producir agua potable para suministrar a varias zonas de la ciudad de Quito. Para la

producción de agua potable esta Planta posee varios procesos entre los cuales constan: Dosificación de Sulfato de Aluminio, Dosificación de Polímero, Clarificadores, Drenaje de Lodos, Filtración y Dosificación de Cloro.

Primeramente el proceso empieza por la obtención de agua cruda es decir sin tratar, la cual es adquirida desde el Rio Pita y el Sincholagua, esta agua cruda se almacena en un reservorio de agua cruda de la Planta. Luego esta agua cruda pasa por un mezclador rápido donde se dosifica de sulfato de aluminio para entonces dirigirse hacia los clarificadores donde también será dosificada con Polímero. Estas dos sustancias son encargadas de formar flóculos de materia orgánica, bacterias, etc, para que se depositen en el fondo de los Clarificadores formándose lodo, el mismo que es extraído mediante el proceso de Drenaje de Lodos.

El agua clarificada es transportada hacia filtros donde se remueven más impurezas, para que finalmente esta agua filtrada sea mezclada con cloro y sea transportada hacia los estanques de agua tratada. En la Figura 5 se puede observar un diagrama de estos procesos.

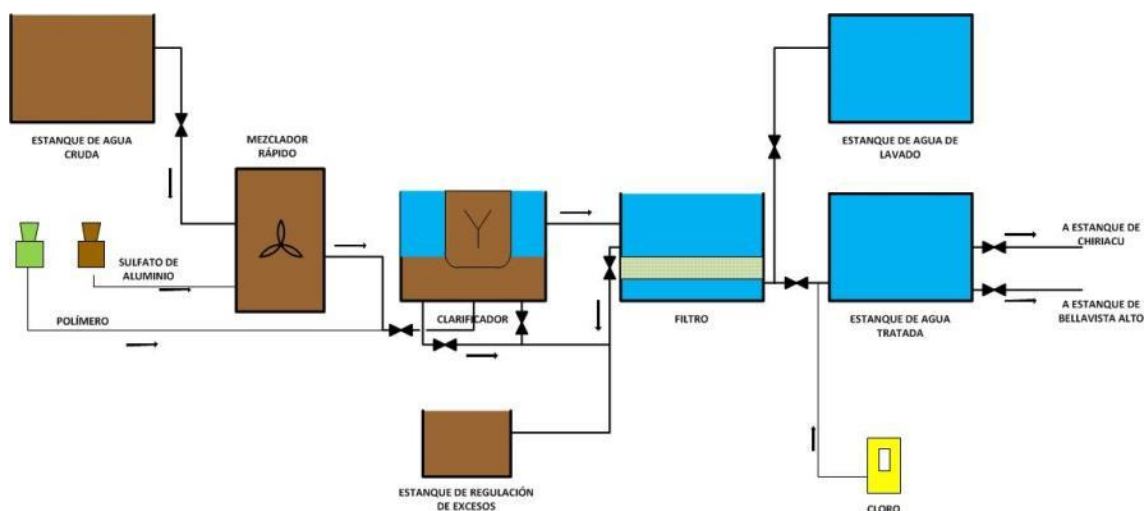


Figura 5. Diagrama Planta de Tratamiento Puengasí.

La presente tesis se enfocará en tres de los procesos los cuales son Dosificación de Sulfato de Aluminio, Dosificación de Polímero y Clarificadores.

2.2.1. Dosificación de Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es un coagulante inorgánico que favorece a la formación de coágulos de mayor densidad, esto permite que la clarificación del agua para su potabilización se la realice con mayor facilidad.

Este coagulante puede ser dosificado directamente o también bombeando el compuesto previamente ya mezclado con agua limpia, la dosis recomendada para el tratamiento de agua potable es de 25 a 30 PPM.

Dentro de la planta Puengasí existen un tanque de recepción de sulfato de aluminio de 18 m^3 y dos tanques de reserva de 80 y de 103.10 m^3 respectivamente. Además esta planta posee 4 tanques que sirven para la dosificación de sulfato. Dos de ellos conjuntamente a dos bombas sirven para dosificar hacia los clarificadores rectangulares y los otros dos conjuntamente a otras dos bombas para dosificar hacia los clarificadores circulares. En la Figura 6 se puede observar una imagen de este proceso.



Figura 6. Tanques y bombas para la dosificación de sulfato de aluminio.

2.2.2. Dosificación de Polímero

Así como el sulfato de aluminio, el polímero también es una sustancia química utilizada como coagulante que se coloca en el agua para que se facilite la formación de flóculos, lo que favorece a la clarificación de la misma.

En el área de polímero de la Planta de Tratamiento Puengasí existen cinco tanques, dos de ellos en el segundo piso del edificio principal que sirven para la elaboración de polímero. La Planta de Tratamiento Puengasí adquiere el polímero en forma de polvo, la cual se coloca 12.5 kg de este polvo en cada uno de los dos tanques de mezcla conjuntamente con agua limpia, obteniéndose aproximadamente 5000 litros de mezcla. La mezcla obtenida se traslada a los otros 3 tanques que se encuentran en el primero piso del edificio principal, desde estos 3 tanques se dosifica mediante un sistema de bombeo tanto a los clarificadores rectangulares como los clarificadores circulares. En la Figura 7 y Figura 8 se pueden observar dos imágenes de este proceso de polímero.



Figura 7. Tanques para elaboración de polímero.



Figura 8. Sistema de Bombas para dosificación de polímero.

2.2.3. Clarificación

La clarificación es un proceso por el cual los flóculos formados gracias a la ayuda de los coagulantes y el mezclado lento se depositan en el fondo de los clarificadores formándose lodos, los cuales son drenados por válvulas hacia un depósito de lodos.

En la Planta de Tratamiento Puengasí existen 8 clarificadores, 4 clarificadores rectangulares y 4 clarificadores circulares, en los cuales se forman los flóculos por acción de los coagulantes dosificados y por el mezclado lento de sus motores. Estos flóculos por acción de la gravedad ya que son partículas más pesadas que el agua son depositadas al fondo de cada uno de los clarificadores. Gracias a este proceso se separa una gran parte de contaminantes en forma de lodo del agua, el agua clarificada queda en la parte superior del clarificador la cual es conducida hacia otros procesos de potabilización del agua, mientras que los lodos se drenan y se dirigen hacia un depósito de lodos. En la Figura 9 se puede apreciar una toma de los clarificadores rectangulares.



Figura 9. Clarificadores rectangulares Planta de Tratamiento Puengasí.

En cada uno de estos procesos descritos existen varios equipos e instrumentos que se describen en la parte de diseño conceptual.

2.3. Equipos que intervienen en el proceso

Los diferentes procesos que permiten la potabilización del agua cruda, están conformados por diversos elementos, entre los cuales se describen brevemente a continuación.

2.3.1. Válvulas

Las válvulas son elementos que pueden ser totalmente mecánicas o bien electromecánicas, permiten regular el paso de fluidos o aire a través de ellas. Poseen un cuerpo y un elemento móvil el cual obstruye o libera el conducto de la misma, permitiendo así el paso o no de los fluidos o a su vez de aire. Una de las clasificaciones de las válvulas es según la naturaleza de accionamiento: accionamiento mecánico, accionamiento manual, accionamiento neumático, accionamiento eléctrico, electroválvulas de acción directa, electroválvulas servoasistidas.

2.3.2. Motores Eléctricos

Esta clase de motores son máquinas eléctricas las cuales transforman la energía eléctrica en movimientos mecánicos debido a la existencia de campos electromagnéticos.

Los motores eléctricos se clasifican en motores de corriente continua y motores de corriente alterna.

Motores de Corriente Continua

El funcionamiento de este tipo de motores es debido a la circulación de corriente eléctrica por sus devanados formándose así un campo magnético, lo cual provoca un movimiento circular que se lo puede observar en el rotor, este movimiento circular se transmite al exterior a través de un elemento del motor denominado eje.

La facilidad con la que se puede controlar a estos motores los convierte en una buena opción para su utilización en aplicaciones de control y automatización de procesos, pero cada vez es menos frecuente su utilización debido a sus altos costos de adquisición y de mantenimiento,

además gracias a la electrónica los motores asíncronos se los puede controlar con facilidad a precios más asequibles.

Motores de Corriente Alterna

El funcionamiento de los motores de corriente alterna se basa en el mismo principio que el de los motores de corriente continua, debido a la existencia de campos magnéticos se produce movimiento del rotor el cual se trasmite al exterior por el eje del motor.

A estos motores se los puede clasificar:

- **Motores síncronos**

En este tipo de motores la velocidad del rotor es igual a la velocidad del campo magnético del estator, es decir funcionan a la velocidad de sincronismo, por lo que la velocidad de rotación está directamente asociada con la frecuencia de la fuente de alimentación. La velocidad en este tipo de motores se mantiene constante independientemente del voltaje de la alimentación o de la carga.

- **Motores asíncronos**

Denominados también como motores de inducción, el funcionamiento de los motores asíncronos está definido por la acción del campo magnético generado en el estator sobre las corrientes que se encuentran circulando sobre los conductores del rotor, en los motores asíncronos la velocidad con la que gira el motor es inferior a la de sincronismo, es decir no está impuesta a la frecuencia de la red.

Dentro de los motores asíncronos existen dos tipos: monofásicos y trifásicos. Los más utilizados en la industria están los motores asíncronos trifásicos. Poseen tres bobinados que se encuentran a 120° entre sí, los cuales para su funcionamiento son alimentados por un sistema trifásico. Para lograr un arranque adecuado de este tipo de motores se pueden emplear diferentes métodos entre los cuales están: Arranque estrella-triángulo, arranque mediante autotransformador, Arranque mediante resistencias en serie con el bobinado del estator.

2.3.3. Variadores de Frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite regular la frecuencia de la red de alimentación aplicada a un motor para de esta manera variar su velocidad, además de variar la frecuencia se debe variar el voltaje que se aplica al motor para evitar una elevación de la corriente que causaría una avería en el motor.

Los variadores de frecuencia poseen varias etapas para lograr su funcionamiento, la primera es la etapa de rectificación, en la cual se transforma la corriente alterna en continua, y la segunda es la etapa intermedia donde se suaviza la tensión rectificada y se reducen los armónicos de la señal, y las etapas de inversión y de control donde se obtiene una corriente alterna con frecuencia y voltaje regulables.

La utilización de variadores de frecuencia permite obtener beneficios entre los cuales están:

- Mejorar el proceso de control de los motores.
- Se puede programar un arranque suave, parada y freno.
- Protección integrada del motor.
- Mejorar el rendimiento del motor.
- Amplio rango de velocidad, par y potencia.

El control de estos dispositivos puede ser de forma manual, mediante botones y un display de operador, o de forma automática, donde se utiliza realimentación para ajustar la velocidad de giro, esto se lo podría realizar por ejemplo mediante un dispositivo lógico programable (PLC).

2.3.4. Sensores de Nivel

Los sensores de nivel son elementos que permiten conocer el nivel de un líquido, sólido o gas en el recipiente que lo contenga. Existe una gran variedad de sensores de nivel, algunos de estos se los puede apreciar en la Figura 10 y entre los cuales se pueden citar los siguientes medidores principales:

- De sonda
- De flotador
- Manométrico
- Por desplazamiento
- Conductivo
- Capacitivo
- Ultrasónico

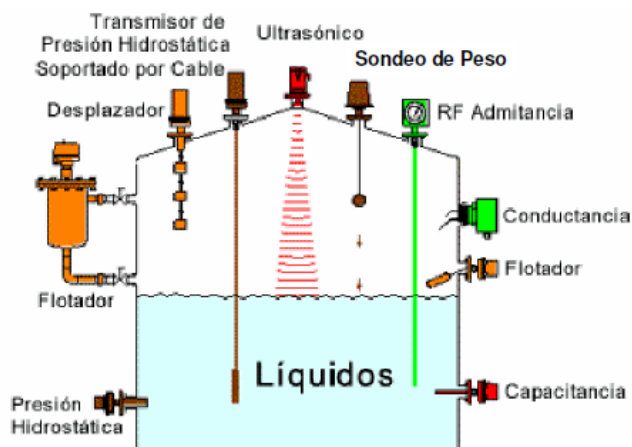


Figura 10. Tipos de sensores de nivel.

Fuente: (Universidad de Buenos Aires)

Medidor de tipo flotante

El funcionamiento de estos sensores está basado en las variaciones de la resistencia del sensor que son producidas por el movimiento ascendente de un flotador. Este flotador puede ser de formas muy variadas, además de ser construido por una gran cantidad de materiales según sea el fluido a medir. Dentro de este tipo de medidores pueden existir sensores que posean

un interruptor los cuales solamente pueden indicar cuando el líquido está en cierta posición en la cual está ubicado este sensor. En la Figura 11 se puede observar un esquema de este medidor.

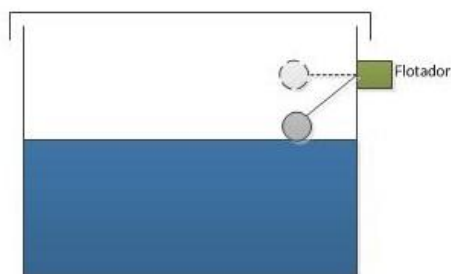


Figura 11. Medidor de nivel tipo flotante.

Medidores ultrasónicos

Estos sensores poseen un emisor y un receptor en un mismo lugar, el emisor es encargado de enviar un impulso ultrasónico hacia la superficie donde se va a reflejar este impulso, por otro lado el receptor se encarga de recibir el impulso reflejado por la superficie. El tiempo que se tarda en emitir y recibir el impulso ultrasónico es inversamente proporcional al nivel.

Por lo general estos sensores trabajan a altas frecuencias entre 20 KHz y 40 KHz. Además estos sensores pueden dar señales erróneas del nivel al momento en que la superficie a medir no sea nítida en caso de los líquidos. En la Figura 12 se puede observar un esquema de este medidor.

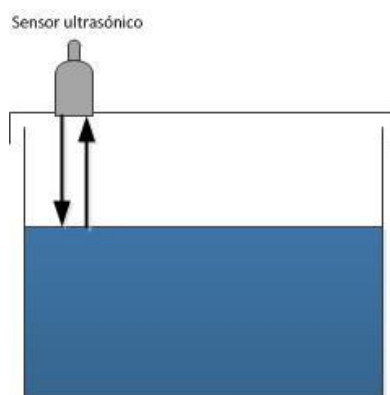


Figura 12. Sensor ultrasónico.

2.3.5. Sensores de Caudal

También llamados caudalímetros, son elementos que permiten conocer la medida de caudal que pasa a través de una tubería u orificio. En la mayoría de los casos son utilizados para determinar el consumo o dosificación de un líquido, por lo cual esta medida debe ser lo más precisa posible.

Entre los principales tipos de sensores de caudal se pueden citar los de presión diferencial, electromagnéticos, turbina, por ultrasonido, de desplazamiento positivo.

2.4. Sistemas de Comunicación

Un sistema de comunicación provee todas las herramientas necesarias para transmitir datos de un lugar a otro y entre distintos dispositivos, para esto estos dispositivos deben comunicarse entre sí formando una red de comunicación donde también intervienen los protocolos de comunicación.

En la industria es muy común tener varios procesos automatizados independientemente, los cuales muchas veces no tiene una comunicación entre ellos. Para tener una buena automatización es necesario integrar todos los procesos automáticos independientes para que se pueda monitorearlos y controlarlos eficientemente desde un solo lugar y en tiempo real, para ello es necesaria la implementación de una red de comunicación industrial.

A las redes industriales se las puede agrupar en dos categorías: buses de campo y redes LAN.

2.4.1. Buses de campo

Un bus de campo es un sistema que permite la transmisión de información a través de la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso. Entre los principales protocolos en los buses de campo se puede citar:

- **HART (High way-Addressable-Remote-Transducer)**

Este protocolo agrupa la información digital obtenida de la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal representa los valores de 1 y 0 que respectivamente usan las frecuencias de 1200 Hz y 2200 Hz, estos valores conjuntamente forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4 a 20 mA.

- **PROFIBUS (Process Field Bus)**

Esta norma de alta velocidad que es utilizada para el control de procesos está normalizada en Europa por EN 50170. El bus de campo Profibus tiene tres perfiles: Profibus DP, está orientado a enlazar procesadores (PLCs) con sensores y/o actuadores, Profibus PA, orientado para el control de procesos, el cual cumple normas especiales de seguridad para la industria química, y Profibus FMS, utilizado para comunicar células de proceso o equipos de automatización.

- **FUNDATION FIELDBUS**

Este protocolo es utilizado principalmente para aplicaciones de control distribuido, permite una comunicación digital que puede manejar grandes volúmenes de información.

- **MODBUS**

Este protocolo de comunicación es utilizado para sistemas SCADA con control centralizado, donde permite controlar y supervisar los procesos que están dentro del sistema. En la interfaz de capa física puede ser configurada en: RS-232, RS-485, RS-422 y sobre IP.

- **DEVICE NET**

Esta red de bajo nivel se utiliza principalmente para conectar dispositivos de alto nivel como PLCs, controladores, HMI, etc, con dispositivos simples como sensores, pulsadores, etc.

2.4.2. Redes LAN

Las redes de área local (LAN) permiten conectar varios dispositivos, lo cual proporciona un medio para el intercambio de información entre los mismos. Estos dispositivos pueden ser: autómatas programables, paneles, computadores, etc. La implementación de una red es muy necesaria cuando se va a realizar una automatización de procesos, donde se debe supervisar y controlar los mismos desde un solo lugar, y las redes LAN son una de ellas.

Dentro de la industria es muy común la utilización de redes LAN de tipo Ethernet, las cuales son sencillas de implementar, además de permitir el control y supervisión de los procesos que se encuentran dentro de esta red en tiempo real.

2.5. Autómata Programable

Son equipos electrónicos que poseen una unidad operativa y una unidad de control programable, que ejecutan una serie de instrucciones controladas por las señales que reciben sus entradas y generar a partir de ellas otras señales para controlar un proceso.

Fuente: (Mandado, Marcos, Fernández, & Armesto, 2009)

Autómatas programables con una unidad lógica

Son equipos electrónicos programables por personal no informático, destinados a realizar tareas no complejas de lógica combinatorial y secuencial en tiempo real en un ambiente industrial. Se encuentra conformado por las siguientes partes:

- Unidad central de entrada (UNE) a través de la cual el autómata programable recibe los diversos datos procedentes del proceso.
- Unidad de salida la cual genera las diversas señales que controlan el proceso al cual está conectado el autómata programable

- Una unidad central la cual está formada por: Una unidad de control constituida por un generador de impulsos, un contador síncrono, una memoria de acceso aleatorio no volátil y un circuito combinacional que genera señales de control. Una unidad operativa constituida por una unidad lógica (UL) y un biestable que memoriza el resultado.

Autómatas programables basados en un computador

Son equipos electrónicos programables capaces controlar cualquier proceso industrial, ejecutando un programa de control mediante una secuencia de instrucciones, con variables de entrada y salida digitales, analógicas e incorporando interfaces o procesadores de comunicaciones. Estos equipos están conformados por las siguientes particularidades:

Unidades de entrada y salida de variables digitales y analógicas, como también entradas y salidas especiales para tareas específicas. Procesadores de comunicaciones para establecer una comunicación con sistemas externos que permitan el desarrollo del programa de control, entradas y salidas distribuidas, entre otras. Unidad de memoria de acceso aleatoria dividida en partes, las cuales pueden ser volátiles y no volátiles.

En esta categoría se presentan los Controladores Lógicos Programables con el acrónimo PLC (Program Logic Controller), los cuales permiten automatizar desde el más sencillo sistema de control de luces hasta el más complejo sistema de fabricación.

2.6. Interfaz Humano Máquina (HMI)

Una HMI es el acrónimo de (Human Machine Interface) y se lo denomina Interfaz Humano Máquina. Es aquel grupo de elementos ya sean estos mecánicos o electrónicos que permiten controlar un proceso mediante la activación de los mismos. Las características de una HMI son las siguientes:

- Modificar parámetros del programa de control y dar órdenes a los actuadores a través de él.

- Recibir información del estado del proceso controlado por el autómatas programable.
- Detectar fallos existentes en el proceso o en el autómatas programable, las cuales pueden dar origen a la generación de alarmas.

Su uso es imprescindible en cualquier tipo de industria o sistema automático para presentar al usuario la situación actual del proceso y facilitar la actuación de los equipos e instrumentos presentes mediante órdenes oportunas. Existen diferentes formas de manejar y presentar una HMI:

Mediante un Touch Panel

Son los equipos conformados por una pantalla gráfica y un conjunto de pulsadores de membrana sobrepuestos en la misma, los cuales pueden asemejarse al manejo de un teclado. Estos equipos son controlados mediante un procesador especializado que maneja la pantalla y el teclado, así mismo este se acopla a los autómatas programables a través de una interfaz especializada.

Mediante un Panel con computador industrial embebido

Son equipos conformados por una pantalla gráfica que una membrana táctil sobrepuesta sobre la misma, un microprocesador de elevada velocidad de cálculo, un sistema operativo embebido y con capacidades físicas ampliables. Son capaces de comunicarse y controlar diversos autómatas programables al mismo tiempo y actuar como un sistema SCADA por sí mismo.

Mediante una computadora con periféricos

Una HMI implementada en un computador es la opción más completa ya que permite realizar diversas funciones adicionales además de las de monitorear y controlar un sistema. Las cuales pueden ser generar reportes,

históricos y controlar diversos sistemas al mismo tiempo. Se lo considera como un sistema SCADA.

2.7. Sistemas SCADA

Un SCADA es el acrónimo de (Supervisory Control And Data Acquisition) se puede definir como una herramienta informática que constituye un programa de computador que tiene como misión facilitar la adquisición de los datos generados por un conjunto de sensores y controladores de un proceso industrial, enviar órdenes a los actuadores de dicho proceso a través de los correspondientes controladores y gestionar la comunicación con el usuario a través de uno o más equipos HMI.

Fuente: (Mandado, Marcos, Fernández, & Armesto, 2009)

Sus características son:

- Representar gráficamente diversos procesos o instalaciones muy complejas que exijan visualizar un gran número de datos de manera clara y precisa
- Almacenar en memoria de un computador una secuencia de informaciones que incluya alarmas, históricos, reportes para que el usuario conozca lo que ha sucedido en diferentes instantes de tiempo durante el funcionamiento del sistema
- Facilitar la mejora o modificaciones de las funciones que realiza un sistema.
- Gestionar un sistema de comunicaciones que permita enlazarse con los autómatas programables, realizar la adquisición de datos y el envío de órdenes de control.

Para que se cumpla las características anteriormente mencionadas se debe contar con una HMI que debe estar asociada a un computador que se encargue de transmitir y recibir toda la información necesaria de la instrumentación existente, controlar los diversos equipos y gestionar la visualización.

Un programa SCADA que se ejecuta en un computador, esta tan ligado a una unidad HMI que en la práctica no se conoce dónde acaba el uno y empieza el otro. Está conformado por diversos módulos o subprogramas:

Módulo de configuración

Permite al usuario definir las características de trabajo del SCADA para adaptarlo a una aplicación en particular.

Módulo de interfaz gráfica del usuario

Proporciona al usuario las funciones de control y supervisión de un sistema o una planta en general. Estos datos son presentados mediante gráficos almacenados en el computador, generados mediante el editor incorporado en el SCADA.

Módulo de proceso

Ejecuta las acciones de control pre-programadas de acuerdo a los diferentes datos actuales de las variables adquiridas.

Módulo de gestión y archivo de datos

Encargado de almacenar y procesar de forma ordenada los datos para que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Módulo de comunicaciones

Se encarga de la transferencia de información existente en los equipos del proceso o sistema al computador en el cual está ejecutándose el SCADA. Además de forma general un sistema SCADA cuenta con los siguientes equipos físicos:

- Computador principal que se lo denomina como unidad terminal principal, cuyo acrónimo es MTU (Master Terminal Unit)

- Conjunto de equipos distribuidos de adquisición de datos, control y actuación, también conocidas con el acrónimo RTU (Remote Terminal Units) conectadas a la computadora principal mediante los respectivos recursos de comunicación
- Conjunto de sensores y actuadores inteligentes denominados con el acrónimo IED (Intelligent Electronic Devices) que están constituidas con un procesador de comunicación para enviar y recibir datos tanto con la computadora principal y los equipos de adquisición de datos.
- Un sistema de comunicaciones capaz de conectar pequeñas o grandes distancias, para enlazar la computadora principal con los equipos de adquisición de datos y los sensores, actuadores inteligentes.

2.8. Pirámide de automatización

La pirámide de automatización representa una forma organizada de las diferentes funciones de automatización que puede tener una empresa de producción. Esta pirámide contiene diferentes niveles con diferentes funciones cada una. En la Figura 13 se puede observar una representación de ésta pirámide.

Nivel de administración

Este nivel está relacionado con tareas administrativas, ya que gestiona toda la información existente, además que automatiza e integra las tareas de negocio, operación y producción de una empresa.

En este nivel se refiere a la implementación de un sistema de manufactura y administración ERP (Enterprise Resource Planning). En el mercado existen diferentes empresas proveedoras de soluciones ERP: Oracle, SAP, SSA, IBM, QAD, PeopleSoft, FouthShift.

Nivel de información y manufactura

El principal objetivo de este nivel es la planeación y control de la producción en tiempo real mediante la optimización de los recursos de la organización. Realiza la conexión de la planeación de recursos empresariales ERP mediante la utilización de sistemas informáticos.

Este nivel se refiere a la implementación de un Sistema de control de piso MES (Manufacturing Execution System) y un Sistema de información de manufactura y calidad. Estas soluciones informáticas están relacionadas con la programación en bases de datos que deben soportar las interfaces, cálculos, reportes, comunicaciones entre otras.

Nivel de Visualización

Este nivel establece una Interfaz Humano Máquina (HMI) que permite al usuario comunicarse con los dispositivos de campo a distancia, para realizar una supervisión y control de las variables de proceso de forma automática.

Se refiere a la implementación de un Sistema de Control y Visualización de Procesos SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Nivel de Control

Este nivel está enfocado en realizar las tareas de control y transformación de señales encontradas en el nivel inferior de tal forma que un proceso se pueda simplificar o realizar de forma automática mediante la utilización de Autómatas Programables.

Es necesario realizar el desarrollo de ingeniería y software de control en cada uno de los equipos.

Nivel de Proceso

Este nivel está conformado con todos los dispositivos de campo (actuadores y sensores) existentes una empresa de tal forma que interactúan directamente con el proceso de producción.

Se refiere a realizar la correcta instalación y suministro de equipos requeridos para un proceso específico.



Figura 13. Pirámide de la automatización.

Relación entre ERP, MES, SCADA

La relación existente entre los tres niveles superiores de la pirámide de automatización está enfocada en los datos del producto que se está produciendo en una empresa.

Tal es así que un SCADA recibe todas las señales del hardware existente y envía al programa MES los resultados de la producción los cuales son utilizados para realizar una administración de la producción, en cambio desde el programa MES es enviada la información de lo que fue producido al ERP para que en este se realicen las proyecciones y planificaciones pertinentes. En la Figura 14 se aprecian estas relaciones.

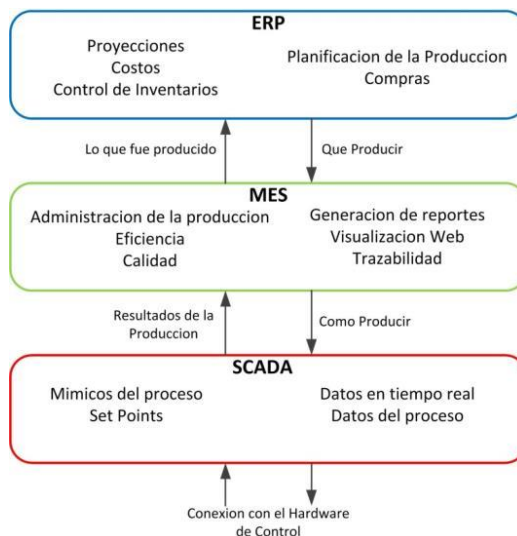


Figura 14. Relación entre ERP, MES y SCADA.

Fuente: (Padilla)

2.9. Redes Industriales

Una red industrial provee una solución a la problemática de transferencia de información entre los equipos de control del mismo nivel y entre niveles contiguos de la pirámide de automatización.

Una red industrial cuenta con diferentes niveles de uso, los cuales se diferencian principalmente en la cantidad de datos que manejan.

Fuente: (Mandado, Marcos, Fernández, & Armesto, 2009)

2.9.1. Pirámide CIM

La Pirámide CIM está conformada por 5 niveles los cuales se puede apreciar en la Figura 15.

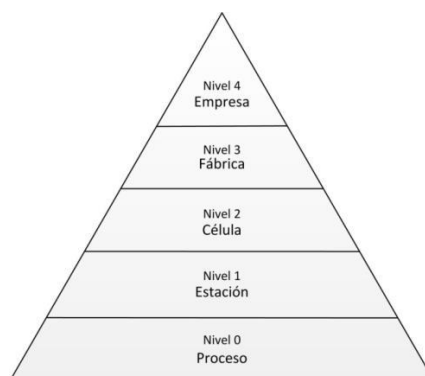


Figura 15. Pirámide CIM.

Nivel de empresa

En este nivel se lleva a cabo la gestión e integración de todos los niveles inferiores. Principalmente son considerados los aspectos de la empresa desde un punto de vista de gestión global las cuales incluyen compras, ventas, investigación, comercialización, planificación, objetivos estratégicos, entre otros.

Nivel de fábrica

En este nivel se realiza el ordenamiento de las tareas y la administración de todos los recursos. Las actividades son centradas en la planificación y control de la producción en las cuales son diseñadas y definidas los procesos de fabricación y su secuencia, gestión del material y recursos necesarios para obtener el producto final.

Nivel de célula

En este nivel se realiza la coordinación de las máquinas pertenecientes a una célula de fabricación. Todas las tareas originadas en un nivel superior se dividen en tareas más sencillas que son enviadas de forma sincronizada hacia los subprocesos del nivel inferior.

Nivel de estación

En este nivel se elabora la información que es recibida del nivel inferior y se informa al usuario de la situación de los datos y alarmas. Están conformados los autómatas programables, los robots, computadoras industriales, etc.

Nivel de proceso

En este nivel se encuentran los sensores los cuales adquieren los datos del proceso y los actuadores quienes son los encargados de actuar en la producción.

Este nivel se encarga de la comunicación de los diferentes dispositivos de campo que interactúan de forma directa con el proceso. Existen dos estrategias en una empresa de producción tal como se puede apreciar en la Figura 16.

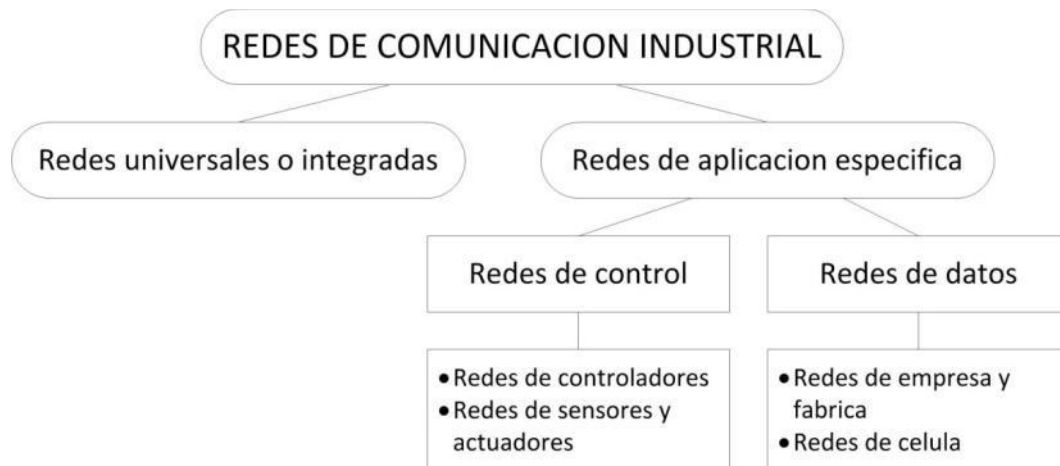


Figura 16. Redes de comunicación industrial.

2.9.2. Redes de control

Es la encargada de resolver los problemas de comunicación en los niveles de estación y proceso de la pirámide CIM.

Se los sabe denominar como buses de campo ya que utilizan la topología de bus de una red de área local y siendo utilizada en una planta.

Está conformado por dos tipos:

Redes de controladores son las diseñadas para establecer la comunicación de varios sistemas de control ya sean estos autómatas programables, controladores numéricos, interfaces HMI, computadoras industriales, entre otras.

Redes de sensores y actuadores denominados también Buses de campo son diseñados para comunicar los sistemas electrónicos de control con los dispositivos de campo. Se suelen utilizar para comunicar los autómatas programables con los sensores y actuadores del sistema.

2.9.3. Redes de datos

Es la encargada de establecer las comunicaciones entre los equipos informáticos que se encuentran en los niveles de empresa, de fábrica y de célula. Está conformado por dos tipos:

- Las redes de empresa y fabrica son las encargadas de comunicar los programas dedicados a la planificación ERP, programas dedicados a la gestión de sistemas de ejecución de la fabricación MES, programas de diseño y fabricación asistidas por computador. La red más utilizada es del tipo Ethernet con una topología basada en árbol mediante switches.
- Las redes de célula son encargadas de dar soporte a la intercomunicación entra las operaciones del nivel de fábrica y funciones de apoyo y gestión de la producción. Las cuales soporten las inclemencias de un ambiente industrial.

Topologías de redes

- **Bus**

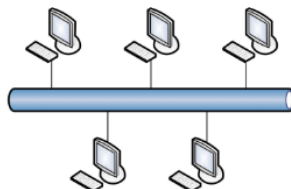


Figura 17. Topología de red en bus.

Red que se caracteriza por tener un único canal de comunicación que se denomina bus o backbone, al cual se conectan todos los dispositivos para comunicarse entre sí. En la Figura 17 se puede observar un diagrama.

- **Estrella**

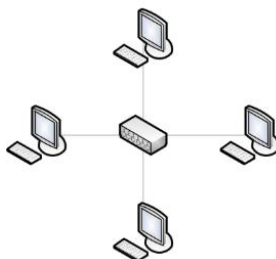


Figura 18. Topología de red en estrella.

Red que se caracteriza por tener conectados todos los equipos directamente a un nodo central y toda la comunicación ha de pasar a través de este. Este nodo puede ser un router, switch o hub. En la Figura 18 se puede observar un diagrama

- **Estrella jerárquica o árbol**

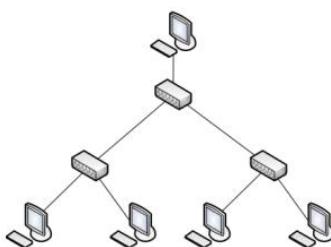


Figura 19. Topología de red en estrella jerárquica o árbol.

Red que se caracteriza por tener una conexión similar a la estrella pero que no cuenta con un nodo central, ya que tiene cuenta con enlace troncal proporcionado por un switch del cual se ramifican otras conexiones. Esta topología es fácilmente escalable. En la Figura 19 se puede observar un diagrama

- **Malla**

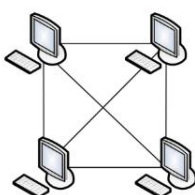


Figura 20. Topología de red en malla.

Red que se caracteriza por tener conexión entre todos los equipos entre sí. El mensaje que se envía de un equipo a otro puede ser transportado por diversos caminos. En la Figura 20 se puede observar un diagrama

2.10. Estándar ISA 101

El estándar ISA101 es una agrupación de documentos definidos para establecer estándares, prácticas recomendadas y reportes técnicos relacionados a interfaces HMI en procesos industriales de manufactura y aplicaciones.

Este estándar está orientado a encaminar a los responsables del diseño, implementación, uso o gestión de aplicaciones HMI. Define terminología y modelos para desarrollar una HMI y los procesos recomendados para gestionar durante su ciclo de vida.

El uso de este estándar permite:

- Proveer una guía de diseño, construcción, operación y mantenimiento efectiva para que el control de un proceso sea más segura y eficiente.
- Mejorar las habilidades del usuario para detectar, diagnosticar y responder de forma adecuada a situaciones fuera de lo común.

Este estándar incluye convenciones de jerarquía de menús, navegación entre ventanas, gráficos y colores, manejo de alarmas, ventanas de ayuda, entre otras.

Como referencia este estándar indica que una HMI es un enlace crítico entre los operadores y los sistemas de automatización. El operador humano depende de los datos mostrados en la HMI para conocer el estado del proceso físico. Una HMI que es fácil de entender y muestra datos de forma clara reduce la cantidad de errores e incrementa la productividad del operador y reduce el estrés. Una HMI bien diseñada puede prevenir significantes pérdidas en una empresa en términos de tiempo y materiales desperdiciados.

Fuente: (Lehmann & Wilkins, 2015) (Fitzpatrick, 2015)

Este estándar maneja un ciclo de vida el cual presenta una guía para el desarrollo de nuevas interfaces y la modificación de las mismas. En la Figura 21 se puede observar un diagrama de éste ciclo.

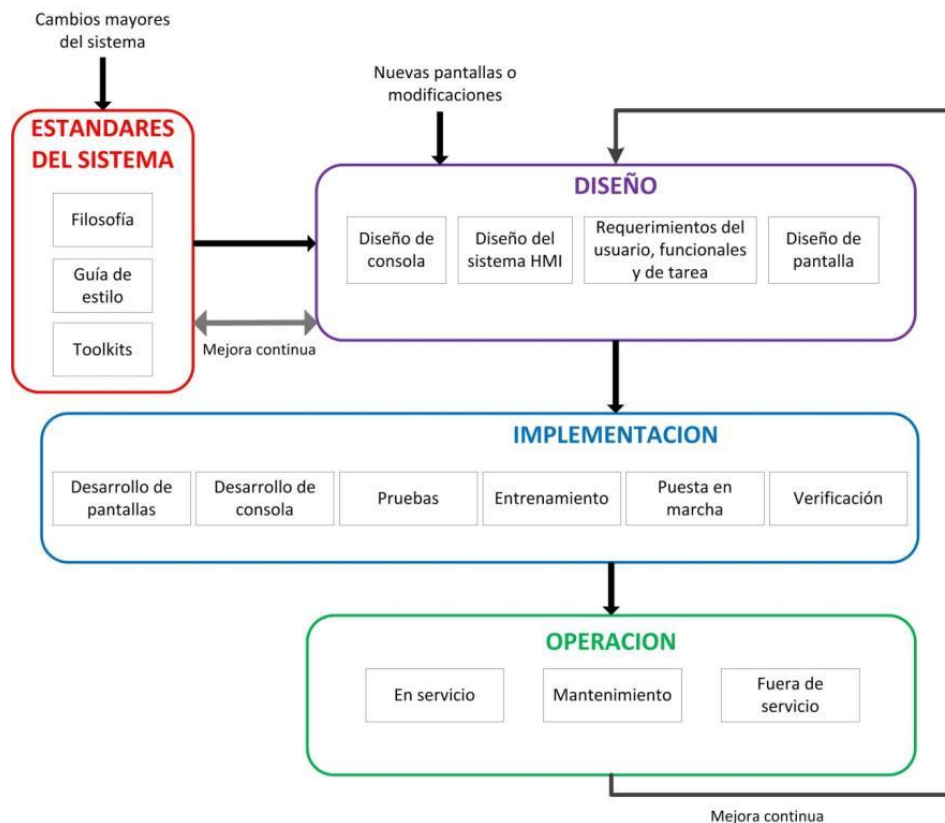


Figura 21. Ciclo de vida de una HMI.

A continuación se realiza una descripción de cada una de las actividades.

2.10.1. Ciclo de Vida de una HMI

En la Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 se puede encontrar una definición de cada uno de los pasos de este ciclo.

Tabla 3
Etapas de estándares del sistema

Actividad	Descripción
Filosofía	Es un documento que provee una serie de principios y fundamentos conceptuales respecto a la posición y selección de elementos que se van a presentar en la HMI. Incluye detalles de cómo la HMI va ser usada y diseñada
Guía de Estilo	Es un documento que sirve como guía para el diseño de las HMI que toma como referencia los principios y recomendaciones de diseño además de los conceptos de la Filosofía para ser utilizados como ejemplos
Toolkit	Son las herramientas, símbolos gráficos y elementos requeridos para diseñar e implementar la HMI. Estas son dependientes de la plataforma en la que se esté trabajando.

Tabla 4
Etapas para diseño

Actividad	Descripción
Diseño de consola	Es el diseño referente a las capacidades y limitaciones que cuenta el software y hardware
Diseño del sistema HMI	Diseño relacionado al sistema operativo, cuentas de usuario, herramientas del sistema, Redes de comunicación, entre otros
Requerimientos del usuario, funcionales y de tarea	Características y funcionalidades que debe tener la HMI de acuerdo a las necesidades del usuario y el tipo de tarea que va a realizar la HMI
Diseño de pantalla	Diseño final de todas las interfaces

Tabla 5
Etapas para la implementación

Actividad	Descripción
Desarrollo de pantallas	Completa implementación y construcción de las pantallas y elementos de soporte
Desarrollo de consola	Completa implementación del hardware y software necesario para poner en funcionamiento la HMI
Pruebas	Pruebas orientadas a descubrir fallas en el sistema y descubrir posibles mejoras
Entrenamiento	Materiales relacionados con la correcta manipulación de la HMI, como también brindar entrenamientos a los usuarios del sistema
Puesta en marcha	Pruebas finales desarrolladas con la HMI funcionando en el sistema o proceso de producción
Verificación	Verificaciones finales para calificar que el sistema esté listo para operar

Tabla 6
Etapas de operación

Actividad	Descripción
En servicio	La interfaz HMI entra en funcionamiento
Mantenimiento	Verificar que la HMI es válida y refleja las condiciones actuales del proceso
Fuera de servicio	Retirar la HMI de su servicio (Fin de su ciclo)

2.10.2. Jerarquía

La jerarquía en una Interfaz HMI hace referencia al tipo de visualización y control de datos que tiene una ventana específica en relación a un sistema de producción. En este estándar se especifica que una HMI debe contener al menos hasta el tercer nivel de jerarquía para asegurarse que exista un eficiente manejo de un proceso. En la Tabla 7 se observa cada uno de estos niveles.

Tabla 7
Niveles de jerarquía

Nivel 1	Visualización en vista general de todo el sistema
Nivel 2	Interfaz de control principal
	Visualización de alarmas
Nivel 3	Visualización detallada de los procesos
	Control específico de cada actividad
	Visualización de todas las alarmas
Nivel 4	Raramente utilizado para diagnóstico y solución de problemas
	Pantallas de ayuda

2.10.3. Factores Humanos y Ergonomía

El manejo de la interfaz HMI debe ser intuitiva para el usuario, es decir que la relación de cada ventana y su funcionalidad debe ser clara para el usuario. La HMI no debe contener información o controles innecesarios, usar ventanas de información separadas de forma ocasional. Las opciones de control deben incluir el rango más comúnmente utilizado por las acciones del usuario.

Está definida como la relación entre el entendimiento que posee el operador de las condiciones de la planta y la condición actual en cualquier instante de tiempo. Los factores que pueden limitar el conocimiento de la situación son: Atención focalizada, poca retención, carga de trabajo, ansiedad, fatiga, miedo.

2.10.4. Navegación

La navegación es uno de los factores más importantes en el diseño de una interfaz HMI, ya que impacta de forma directa la velocidad y precisión con la que el operador interviene y responde ante las necesidades de un proceso.

En la navegación se debe evitar métodos que puedan ocasionar cambios rápidos en la navegación que puedan confundir al operador. Se debe evitar que aparezcan de forma constante mensajes de confirmación, en los cuales pueda suceder que por dar aceptación en los mensajes se pueda activar una operación no deseada.

2.10.5. Colores

Los colores elegidos deben distinguibles uno del otro. De forma general el color debe ser utilizado para resaltar informaciones como alarmas y condiciones anormales. El color puede ser utilizado para dar énfasis o más claridad. Un color debe ser utilizado de forma conservada y consistente

Símbolos que comienzan a destellar debe indicar al operador que se está desarrollando nuevas situaciones. El color de fondo no necesariamente tiene que ser gris, ya que esto dependerá mucho del lugar físico donde vaya a estar localizada la pantalla y de los diferentes diseños que se vayan realizando.

2.11. Servidores para Comunicación Industrial

2.11.1. Wonderware SIDirect DAServer 3.0

Wonderware SIDirect DAServer es una aplicación para Microsoft Windows que actúa como servidor de protocolo de comunicaciones. Provee acceso a los datos existentes en PLCs de la familia Siemens S7 200/300/400/1200 mediante una red Ethernet. Fuente: (Invensys, 2014)

2.11.2. Wonderware ABCIP DAServer 5.0

Wonderware ABCIP DAServer es una aplicación para Microsoft Windows diseñada para proveer comunicación directa e indirecta con la familia de PLCs de Allen Bradley: ControlLogix, CompactLogix, FlexLogix, PLC-5, SLC 500, y MicroLogix.

La interfaz de usuario es un complemento a la interfaz de Microsoft MMC (Microsoft Management Console) la cual forma parte de la suite de utilidades SMC de Orchestra (Orchestra System Management Console). Actúa como un servidor de protocolos de comunicación conectado vía Ethernet que permite acceso a los datos de los PLCs descritos. Fuente: (Invensys, 2014)

2.11.3. Wonderware MBTCP DAServer 3.0 SP1

Wonderware MBTCP DAServer es una aplicación para Microsoft Windows que actúa como un servidor de protocolos de comunicación conectado vía Ethernet. Permite acceder a los datos de la familia de PLCs Modicon de Schneider: TSX Quantum, TSX Momentum, Modicon Micro y Compact. Fuente: (Invensys, 2014)

2.12. Software Wonderware InTouch



Figura 22. Logo InTouch.

Fuente: (Invensys)

El software Wonderware InTouch es una poderosa herramienta HMI para realizar una automatización industrial, control de procesos y supervisión. Permite a los usuarios desarrollar interfaces que permitan monitorear y controlar de forma sencilla procesos industriales.

Fuente: (Invensys, 2005)

2.13. Software para Programación

2.13.1. RSLogix 500

RSLogix 500 es un paquete de software Windows de 32-bits, propiedad de Rockwell Automation Technologies, Inc. para programación en lógica escalera de los procesadores SLC500 y MicroLogix®.

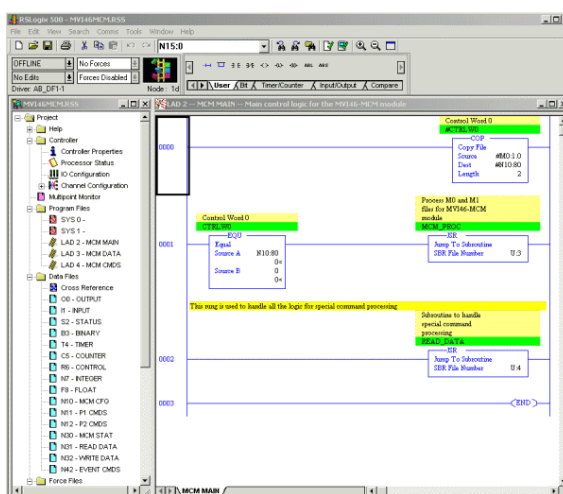


Figura 23. Software RSLogix 500.

Algunas características de este software son las siguientes:

- Editor de lógica en escalera flexible, capaz de permitir al usuario concentrarse en la lógica del programa en vez de la sintaxis.
- Potente verificador que presenta una lista de los posibles errores y capaz de ubicarlos para realizar las correcciones respectivas.
- Edición del tipo arrastrar-soltar para mover datos de una posición a otra.
- Un asistente de direcciones que reduce los errores de escritura.

La versión de este software utilizado es la V 8.10.

Fuente: Ayuda del software.

2.13.2. STEP 7

STEP 7 es el software estándar propiedad de Siemens AG. Para programar y configurar los sistemas de automatización SIMATIC.

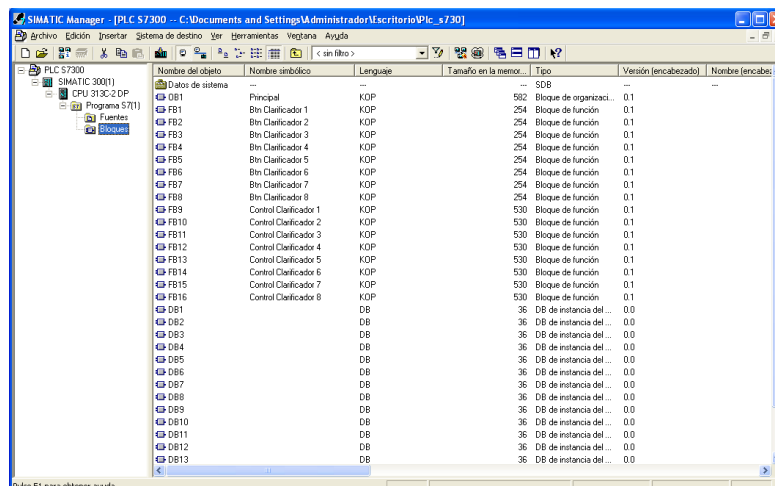


Figura 24. Software STEP7.

Este software comprende de diversas aplicaciones o herramientas que permiten implementar soluciones parciales, como por ejemplo:

- Configurar y parametrizar el hardware
- Crear y comprobar los programas de usuario
- Configurar segmentos y enlaces

A través del Administrador SIMATIC se accede a todas las aplicaciones necesarias para realizar el programa de control, las cuales son agrupadas en un proyecto.

Los proyectos de STEP 7 se subdividen en carpetas y objetos. Las carpetas son aquellos objetos que, a su vez pueden incluir también otras carpetas y objetos, como por ejemplo las carpetas "Bloques" y "Fuentes", así como el objeto "Símbolos".

Este software permite configurar y programar los siguientes sistemas de automatización SIMATIC S7-300/400, SIMATIC M7-300/400 y SIMATIC C7.

Algunas características de este software son las siguientes:

- Posibilidad de parametrizar bloques de función y de comunicación
- Forzado y modo multiprocesador
- Comunicación de datos globales
- Transferencia de datos controlada por eventos con bloques de comunicación y de función

La versión de este software utilizado es la V 5.5

Fuente: Ayuda del software.

2.13.3. STEP 7-Micro/WIN

STEP 7 Micro/Win es un software propiedad de Siemens Industry, Inc. que ofrece potentes herramientas para programar la serie completa de PLCs S7-200.

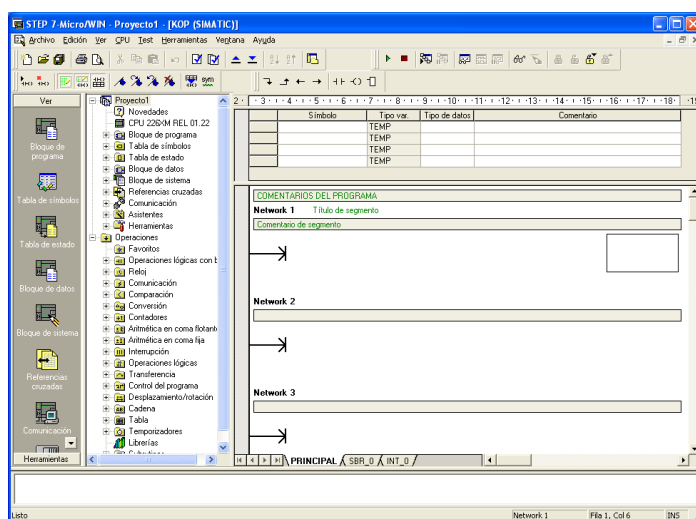


Figura 25. Software STEP 7-Micro/Win.

Algunas características de este software son:

- Manejo eficaz de las estructuras de programas e instrucciones, o funciones de diagnóstico
- Historial de fallos
- Edición en runtime y descarga online.
- Repertorio de instrucciones de gran rendimiento como la programación conforme a la norma IEC 1131.
- Posible conmutación a voluntad entre editores estándar KOP/FUP y AWL.

La versión de este software utilizado es la V 4.0.9.25

Fuente: (Siemens, 2015)

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL

3.1. Análisis del Estado Inicial del Sistema

3.1.1. Área de Polímero

El área de polímero está conformado por 5 tanques distribuidos en dos niveles, además de diversos sensores y equipos tal cual como se aprecia en la Figura 26.

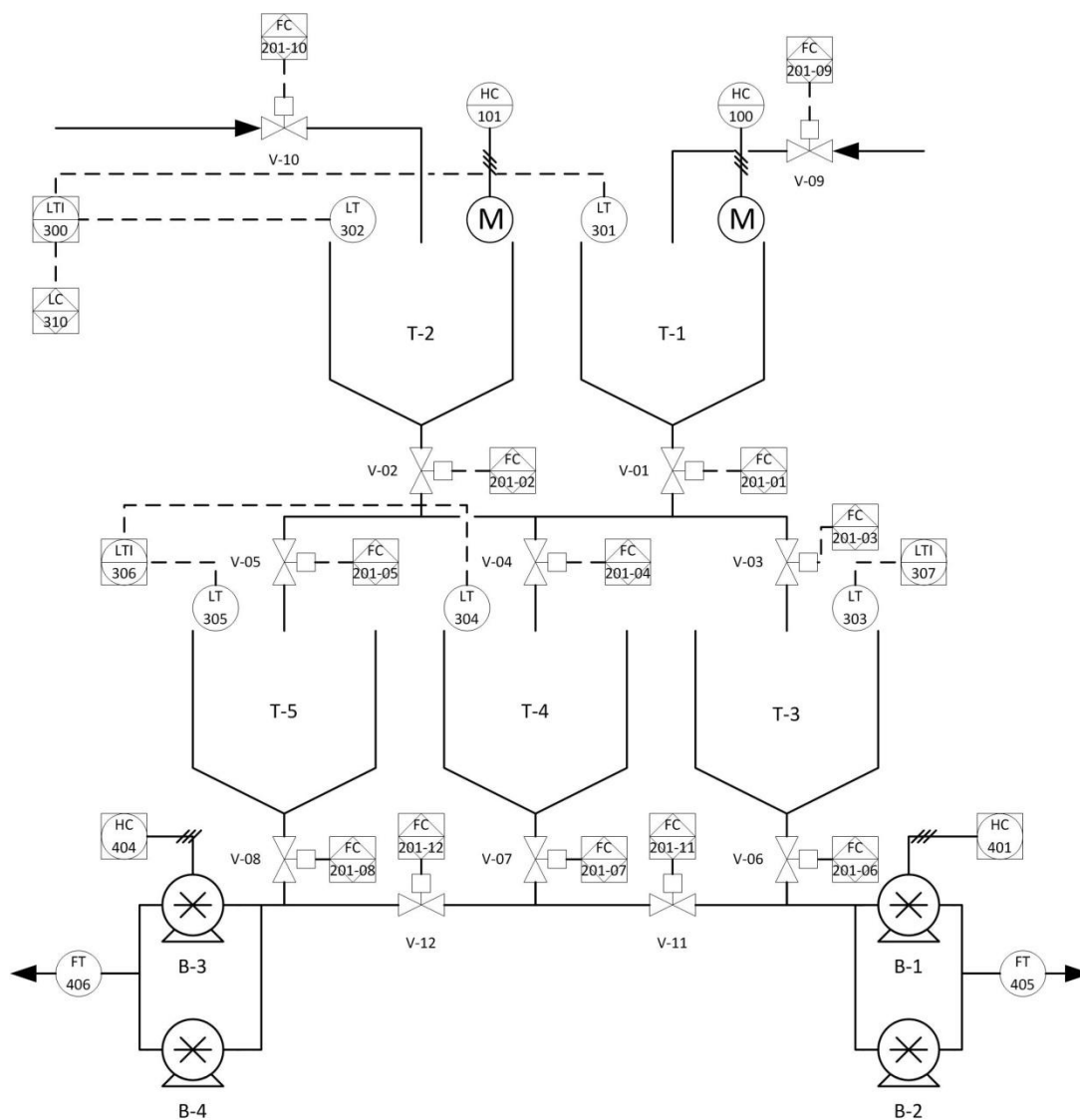


Figura 26. Diagrama P&ID de Polímero

Descripción general

- Válvulas: Todas las válvulas funcionan y están conectadas a un PLC
- Motores: Los dos motores de los tanques 1 y 2 funcionan con normalidad y son activados de forma manual mediante arrancadores suaves.
- Sensores de nivel: los sensores de nivel 301 y 302 están funcionando pero indican una medición errónea. Los tres sensores restantes no están operativos. Adicionalmente cuenta con una señal del caudal de agua cruda que llega a los clarificadores rectangulares, el caudalímetro de los clarificadores circulares está dañado.
- Bombas: Las bombas 1 y 3 están funcionando mediante variadores de frecuencia, las otras dos bombas no funcionan debido a que no cuentan con variador de frecuencia.
- Variadores de frecuencia: Los dos variadores de frecuencia 401 y 404 están controlando los motores de forma local, debido a que la interfaz de señales de control digitales y analógicas se encuentra dañada.
- Sensores de flujo: Los dos sensores de flujo 405 y 406 funcionan correctamente.
- PLC: Micrologix 1500 es el encargado de controlar y monitorear todos estos equipos. No cuenta con interfaz Ethernet para comunicación remota. Además debido al mal funcionamiento de los equipos el sistema de llenado automático de los tanques 1 y 2 no funciona correctamente.

Descripción detallada

Planta superior

Los dos sensores de nivel ubicados en la parte superior que son utilizados para medición del nivel de los tanques están en buen estado y están conectados a un indicador VANTAGE 2220 que se aprecia en la Figura 27 el cual muestra el nivel de sustancia respectivo a cada tanque, La señal de los sensores de nivel es enviada al PLC a través de una señal de 4-20 [mA]. Estos datos de nivel si están reflejados en el PLC pero es necesario realizar un ajuste del valor en metros que se observa.



Figura 27. Indicador de nivel Vantage 2220 de los tanques de mezcla.

Por otro lado los dos motores que sirven para realizar la mezcla de polímero se encuentran funcionando de manera manual por medio de un arrancador para cada motor los cuales se los puede observar en la Figura 28 y Figura 29.



Figura 28. Motor para mezcla de polímero.



Figura 29. Arrancadores de motores para mezcla de polímero.

En este piso existen 3 electroválvulas de las cuales 2 sirven de ingreso de agua y la otra para desfogue de la mezcla de polímero del tanque 1. Las dos electroválvulas que son para el llenado de los tanques pueden ser activadas mediante dos pulsadores los cuales mandan una señal al PLC para que inicie el llenado. En la Figura 30 se aprecia la Electroválvula utilizada para el llenado.



Figura 30. Electroválvula para llenado de los tanques de mezcla.

Planta inferior

En este piso existen 3 sensores de nivel y 2 indicadores VANTAGE 2220, cada tanque posee un sensor pero ninguno de ellos indica el valor real o inclusive no indica ningún valor, tal es así que ni al indicador ni al PLC les llega un dato válido.

Existen también 9 electroválvulas, 1 para desfogue del tanque 2 de la mezcla de polímero, otros 3 para selección de ingreso a los tanques 3, 4 y 5, y las 5 restantes son utilizadas para desfogue y direccionamiento de la mezcla hacia uno de los 2 dosificadores. En la Figura 31 se observa una de las electroválvulas mencionadas. Todas estas electroválvulas son controladas para abertura y cierre mediante la pantalla táctil de forma manual.



Figura 31. Electroválvula de los tanques de dosificación de polímero.

Esta área cuenta con 2 sistemas de dosificación, los cuales están compuestos de 2 motores, 1 flujómetro y 1 electroválvula cada uno. En la Figura 32 se observa este sistema.



Figura 32. Sistema de bombas para dosificación de polímero.

En el gabinete de control se encuentran instalados: 1 PLC Allen Bradley MicroLogix 1500, el cual se encarga de todo el proceso de polímero pero debido a fallas en equipos o en conexión solo funciona para ciertas partes del proceso. Este PLC además de contar con módulos analógicos 1769-IF4XOF2, 1769-IF4, digitales 1769-OW16, 1769-IQ16, cuenta con un módulo 1761-NET-AIC convertidor de interface DH485 para comunicarse con las HMI's que de momento no están siendo usadas por falla en la comunicación. En la Figura 33 se observa el PLC Micrologix y en la Figura 34 la interfaz de comunicación.



Figura 33. PLC MicroLogix 1500 del área de polímero.



Figura 34. Interfaz DH485 para comunicación.

En el gabinete de control también encontramos 4 protectores de circuito para motor y 8 contactores, para activación y desactivación.

Para el funcionamiento de los motores de las bombas de dosificación de polímero existen 3 variadores de frecuencia instalados de los cuales 2 son Allen Bradley y 1 es de marca Parker. Uno de los variadores Allen Bradley se encuentra dañado. La frecuencia de estos variadores no se controla mediante el PLC sino todo manejado de forma manual, al igual que el encendido y apagado. En la Figura 35 se observa el estado de estos variadores.



Figura 35. Variadores de frecuencia de la dosificación de polímero.

Finalmente en el gabinete se puede encontrar un PanelView que se puede apreciar en la Figura 36, en donde se muestra un esquema del proceso de polímero y en el cual activan y desactivan las electroválvulas, además se observa de forma correcta los niveles de polímero de los tanques 1 y 2 que se encuentran en la parte superior de la planta. Las demás funcionalidades del PanelView están averiadas.



Figura 36. PanelView del área de polímero.

Diagrama de flujo del proceso de polímero

El proceso de polímero funciona de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 37.

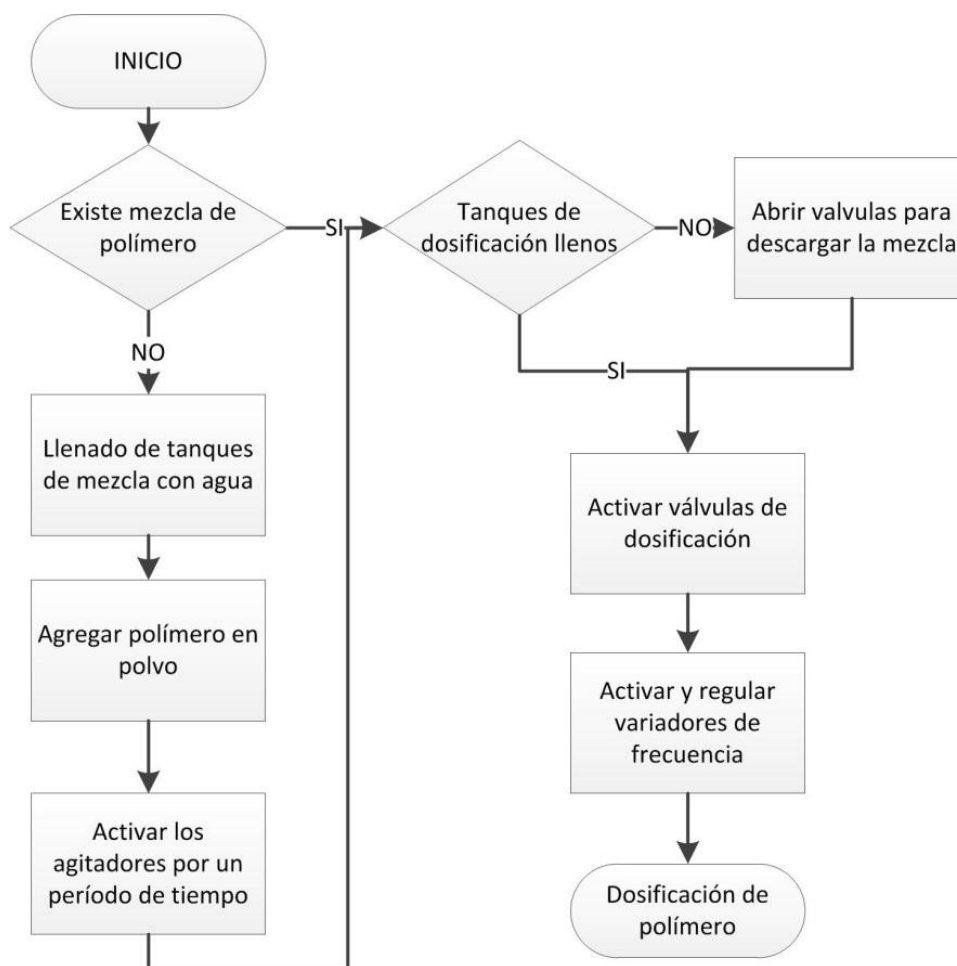


Figura 37. Diagrama de flujo proceso Polímero

3.1.2. Área de Sulfato de Aluminio

El área de sulfato de aluminio está conformado por 4 tanques, además de diversos sensores y equipos tal cual como se aprecia en la Figura 38.

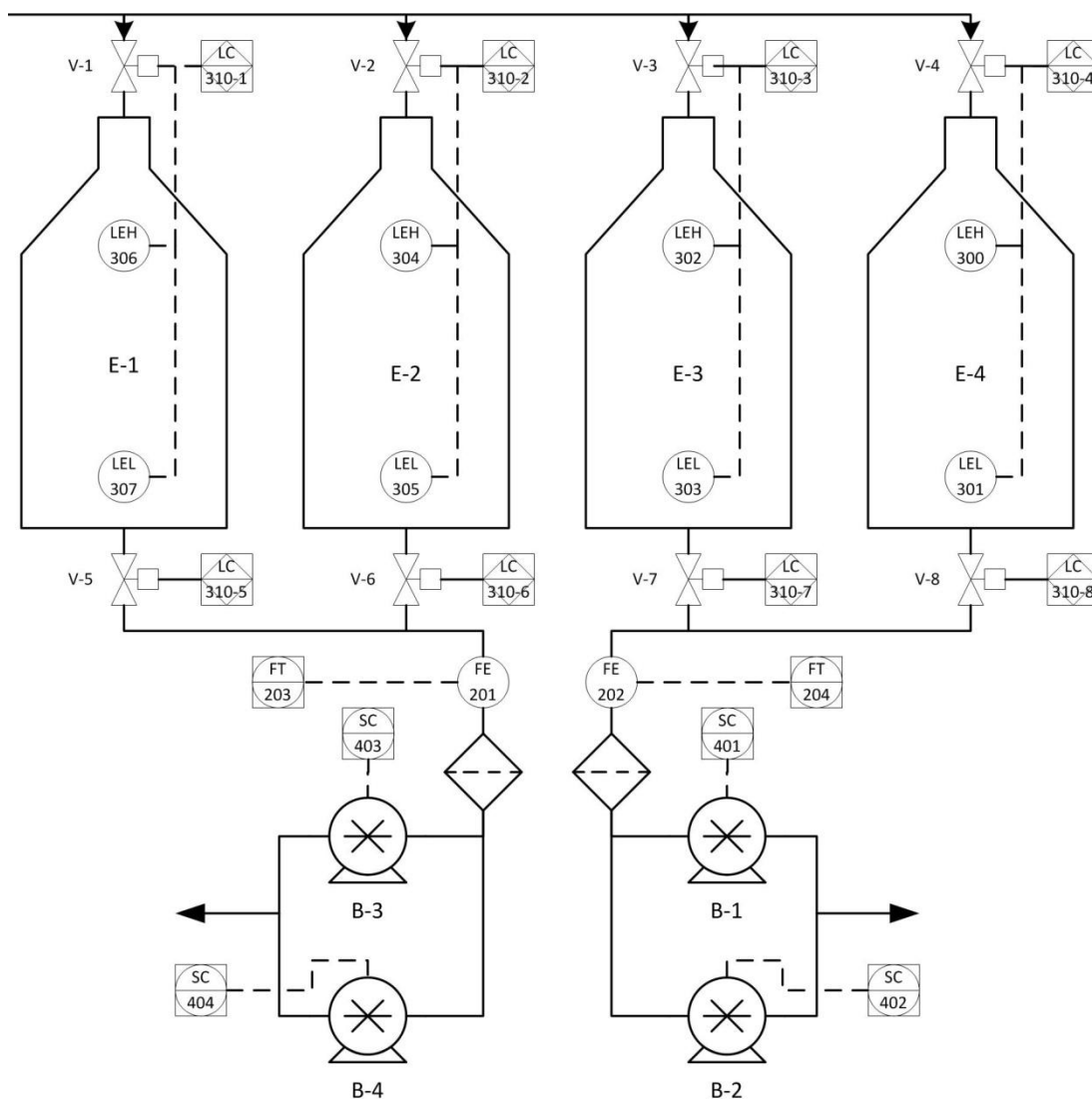


Figura 38. Diagrama P&ID de sulfato

Descripción General

- **Válvulas:** Todas las válvulas funcionan y están conectadas a un PLC
- **Bombas:** Las cuatro bombas son activadas mediante variadores de frecuencia, pero solo dos son utilizadas para realizar la dosificación.
- **Sensores de nivel:** Los cuatro tanques poseen boyas para indicar un nivel bajo y alto de sulfato, estas boyas no presentan fallas.
- **Variadores de frecuencia:** Los cuatro variadores de frecuencia tienen conexión con el PLC pero se las controla de forma local mediante botoneras.

- Sensores de flujo: Los dos sensores de flujo 203 y 204 están funcionando correctamente pero con errores en la medición. Adicionalmente cuenta con una señal del caudal de agua cruda que llega a los clarificadores rectangulares, el caudalímetro de los clarificadores circulares está dañado.
- PLC: Siemens S7-200 es el encargado de controlar y monitorear todos estos equipos. Cuenta con interfaz Ethernet para comunicación remota que requiere ser reconfigurada para el SCADA, además es necesario realizar una mejora en el sistema de control debido a que cada cierto tiempo las válvulas se bloquean y se es obligado a reiniciar el sistema.

Descripción detallada

El área de Sulfato de Aluminio cuenta con 4 tanques, cada uno de estos tanques poseen 2 boyas como sensores de nivel, uno para nivel alto y otro para nivel bajo, los mismos que se encuentran en funcionamiento en malas condiciones. Estas boyas se aprecia en la Figura 39.



Figura 39. Sensor tipo boya de los tanques de sulfato.

Cada tanque posee también 1 electroválvula para entrada de sulfato y 1 solenoide para salida del mismo, estas electroválvulas están energizadas pero debido al mal funcionamiento del sistema de control, en ocasiones estas electroválvulas se bloquean por lo que para abrirlas y cerrarlas utilizan una barra para manipularla manualmente. Estas electroválvulas se pueden apreciar en la Figura 40.



Figura 40. Electroválvulas para llenado de tanques de sulfato.

El área de sulfato cuenta con 2 sistemas de dosificación, los cuales cuentan con 2 motores cada uno. Para el funcionamiento de los 4 motores existen 4 variadores de frecuencia de la marca LEESON de los cuales 2 están siendo utilizados mediante los botones incorporados. Los sistemas de dosificación se puede observar en la Figura 41 y los variadores en la Figura 42.



Figura 41. Sistema de dosificación de sulfato de aluminio.



Figura 42. Variadores de frecuencia del sistema de dosificación de sulfato.

Para cada 2 tanques hay un caudalímetro, los cuales están mal calibrados y con errores en la comunicación, se puede observar en la Figura 43 éste caudalímetro.



Figura 43. Caudalímetro del área de sulfato de aluminio.

El PLC para este proceso es el modelo S7-200 de marca Siemens, este posee los siguientes módulos: digitales EM223, analógicos EM235, EM231, EM232 y un módulo de comunicación Ethernet CP-243-1. En la Figura 44 se aprecia este PLC.

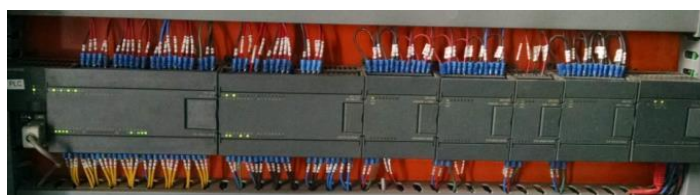


Figura 44. PLC Siemens S7-200 del área de sulfato de aluminio.

En la sala de operadores se encuentra un panel táctil de marca Siemens que inicialmente controlaba todo el proceso de sulfato pero actualmente debido a las fallas presentadas este solo se lo utiliza para lecturas del proceso. En la Figura 45 se observa el Touch panel.



Figura 45. Touch panel para control del área de sulfato de aluminio.

Diagrama de flujo del proceso de sulfato

El proceso de sulfato funciona de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 46.

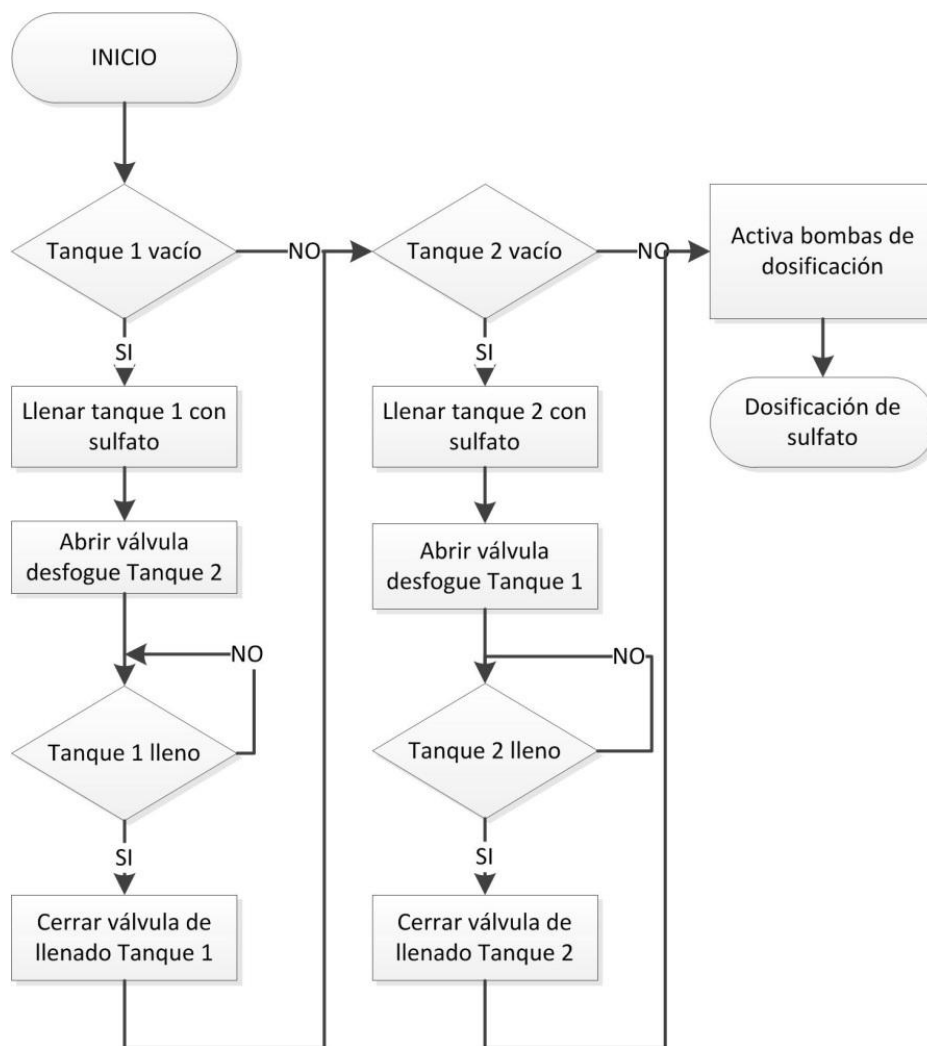


Figura 46. Diagrama de flujo proceso sulfato

3.1.3. Área de Clarificadores

El área de clarificadores está compuesta por cuatro clarificadores cuadrados y cuatro circulares, en cada uno se hallan dos motores encargados de facilitar el proceso de clarificación del agua, los cuales son activados mediante variadores de frecuencia. El diagrama se aprecia en la Figura 47 y Figura 48.

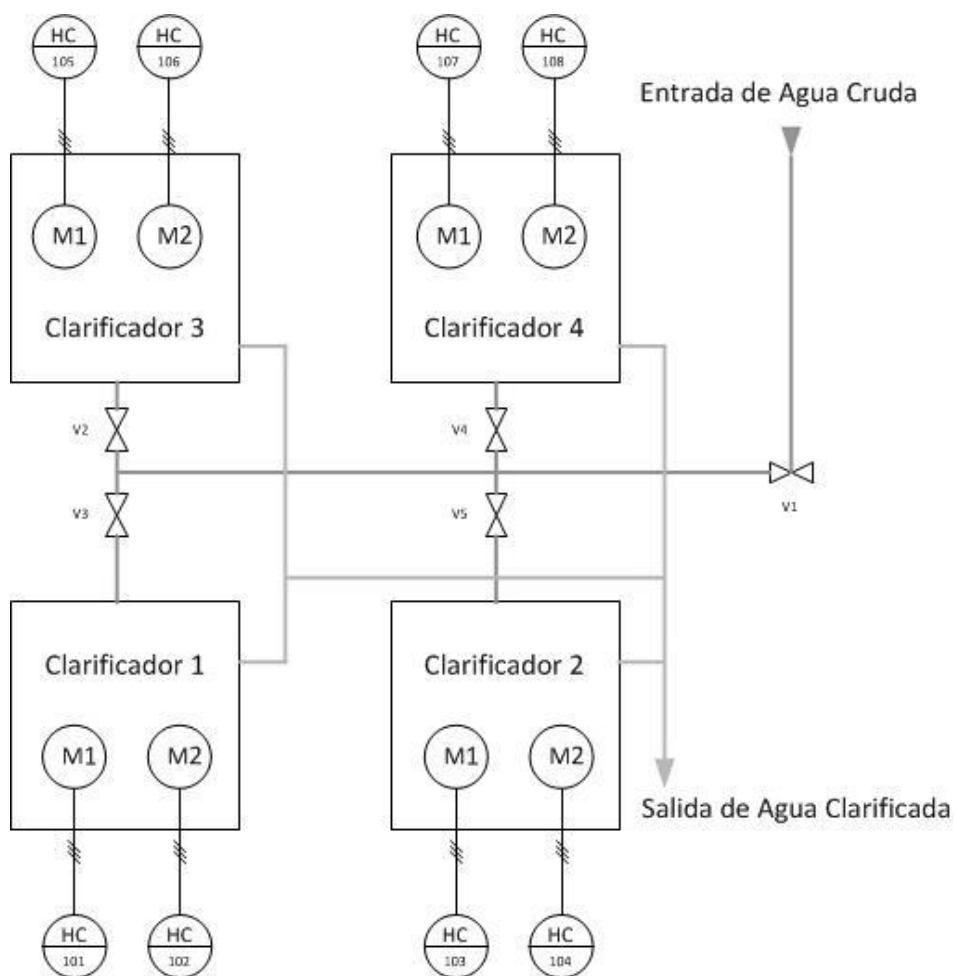


Figura 47. Diagrama P&ID de clarificadores cuadrados

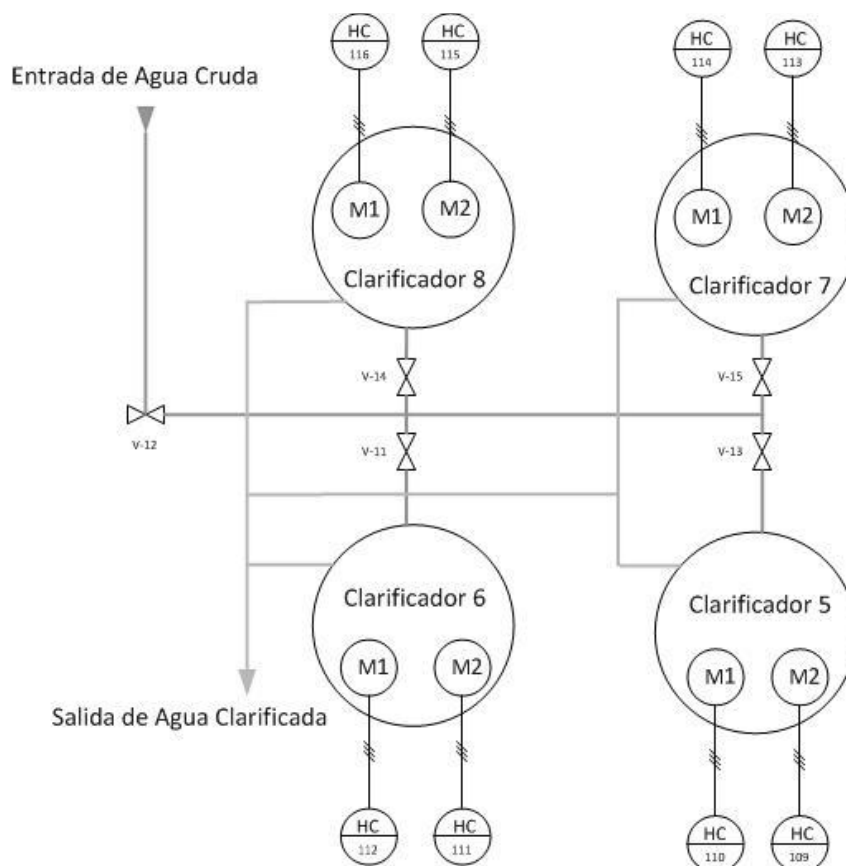


Figura 48. Diagrama P&ID de clarificadores circulares

Descripción General

- **Motores:** En total existen 16 motores los cuales son activados mediante variadores de frecuencia. Cada clarificador cuenta con dos motores los cuales se denomina Impeller y Scraper.
- **Variadores de frecuencia:** Estos variadores se encuentran en buenas condiciones pero su velocidad y activación se realiza de forma manual debido a que no hay conexión con el PLC.
- **PLC:** Siemens S7-300 se encuentra deshabilitado, debido a que el sistema de control está obsoleto y las señales de control no están conectadas a los variadores de frecuencia.

Descripción detallada

Para el proceso de clarificación del agua existen ocho clarificadores, cuatro clarificadores rectangulares y cuatro circulares, cada uno de ellos posee dos motores los cuales se denominan Impeller y Scraper. Debido a la acción de los motores, conjuntamente con las sustancias de sulfato de aluminio y polímero se obtiene el agua clarificada.

En el gabinete de control del área de clarificadores se encuentra instalado un PLC Siemens S7-300 conjuntamente instalados con los módulos digitales SM-321, SM-322, módulos analógicos SM-331, SM-332. Esto significa que en total existen 16 entradas y 16 salidas analógicas, una para cada variador. Este PLC únicamente posee comunicación RS485 MPI, del cual salen dos cables AWG 24 sin ningún recubrimiento para comunicación con la sala de operadores. La pantalla táctil que anteriormente se utilizaba para control de los motores no está en funcionamiento, además que la señal RS-485 MPI utilizada para comunicación esta también dañada. En la Figura 49 se observa el PLC y todos sus módulos.



Figura 49. PLC S7-300 del área de clarificadores.

En el gabinete de control también están instalados 16 variadores de frecuencia para los motores de los clarificadores, estos son de marca Siemens, modelo PM240 y se encuentran en buen estado. Cada uno de los variadores cuenta con un interruptor de circuito de marca ABB y adicionalmente con 3 contactores y 1 relé de sobrecarga para protección de los motores.

Los cables que sirven para realizar el control de los variadores por medio del PLC están desconectados por lo que el encendido y apagado se los realiza de forma manual con los botones incorporados en los variadores. En la Figura 50 se aprecia un variador.



Figura 50. Variador Siemens desconectado del PLC.

En la puerta del gabinete de control existen un gran número de pulsadores que están inutilizados y que representa una carga visual para cualquier persona que requiera operar. En la Figura 51 se puede observar la cantidad de pulsadores.

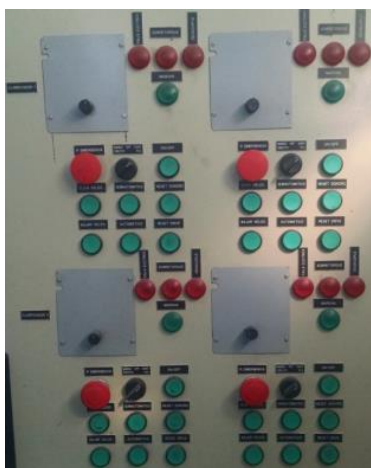


Figura 51. Botonera del área de clarificadores.

En la sala de operadores se encuentra un panel de terminal de operación con pantalla táctil marca ESA y modelo VT565W que se observa en la Figura 52 que en inicio servía para el control del proceso pero actualmente es obsoleto, por lo que es imposible utilizarlo.



Figura 52. Pantalla táctil para control del área de clarificadores.

Diagrama de flujo del proceso de clarificación

El proceso realizado por los clarificadores se lo indica en la Figura 53.

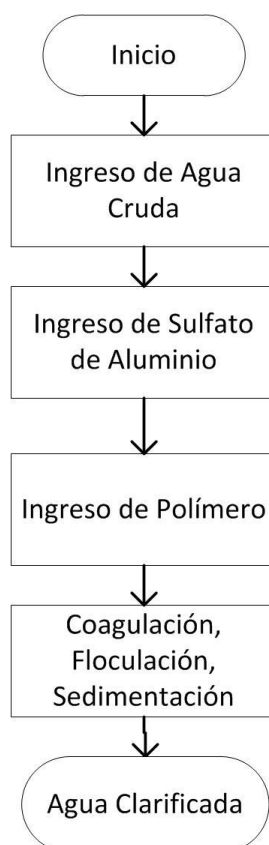


Figura 53. Diagrama de flujo proceso clarificadores

3.2. Problemas en la Operación

En la operación de los diversos sistemas pueden presentarse problemas causados por varios aspectos, los cuales se describen en la Figura 54. Problemas de Operación. La identificación de estos problemas es útil para determinar los requerimientos del proyecto.



Figura 54. Problemas de Operación.

3.3. Requerimientos del SCADA

En base a los requerimientos de la empresa EPMAPS tanto administrativos, como por parte de los operadores de la Planta de Tratamiento Puengasí, se pudieron plantear los objetivos que debe cumplir el SCADA, lo cual permite determinar las actividades que son necesarias para una adecuada mejora de los procesos intervenidos con la realización de este proyecto. El SCADA planteado en el presente proyecto está elaborado de acuerdo a los requerimientos observados en la Figura 55.

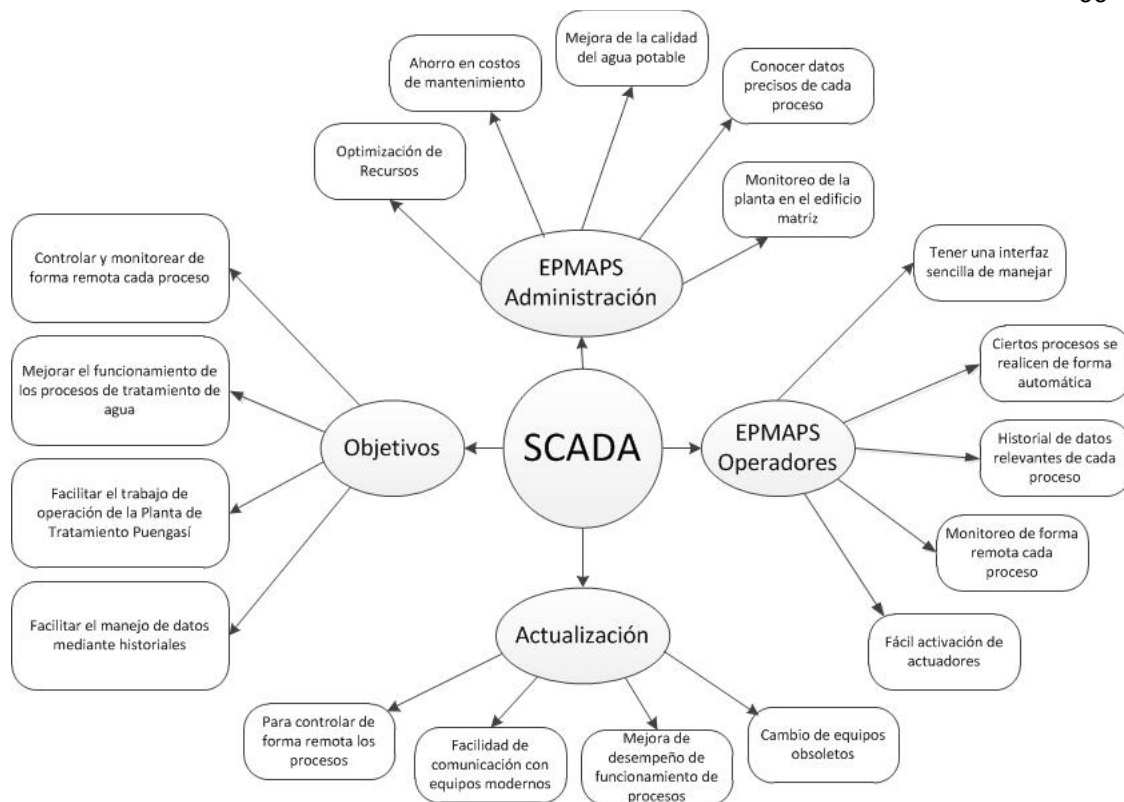


Figura 55. Requerimientos del SCADA.

3.4. Requerimientos para automatizar los procesos

Los procesos de polímero, sulfato y clarificadores debido al estado en el que se encuentran, requieren de diversas actividades y equipos que deben adquirirse para realizar una automatización completa. En la Tabla 8. Se indican estos requerimientos.

Tabla 8
Requerimientos para Automatización y SCADA

Proceso	Funcionamiento	Automatizable	Requerimientos para la Automatización	Requerimientos para el SCADA
SULFATO DE ALUMINIO				
1. Recepción de sulfato líquido	Manual	NO	NA	NA
2. Medición de nivel	Manual	SI	Adquisición de antena y sensores de nivel	Adquisición de antena para comunicación y diseño HMI
3. Apertura de válvulas de desfogue	Manual	SI	Adquisición de antena y reprogramación y activación del PLC	Adquisición de antena para comunicación y diseño HMI
4. Medición de caudal	Manual	SI	Adquisición de antena y reprogramación y activación del PLC	Adquisición de antena para comunicación y diseño HMI
5. Medición de nivel en tanques de dosificación	Manual	SI	Sensores de nivel	Comunicación con el PLC y diseño HMI
6. Selección de tanques de dosificación a llenar	Manual	SI	Reprogramación y activación del PLC	Comunicación con el PLC y diseño HMI
7. Apertura de válvulas de llenado	Manual	SI	Cambio o mantenimiento de válvulas y reprogramación y activación del PLC	Comunicación con el PLC y diseño HMI
8. Selección de tanques para la dosificación	Manual	SI	Reprogramación y activación del PLC	Comunicación con el PLC y diseño HMI
9. Apertura de válvulas de desfogue	Manual	SI	Cambio o mantenimiento de válvulas y reprogramación y activación del PLC	Comunicación con el PLC y diseño HMI
10. Activación de bombas para dosificación	Semi-Auto	SI	Reprogramación de variadores de frecuencia y activación del PLC	Comunicación con el PLC y diseño HMI
11. Medición de la dosificación	Semi-Auto	SI	Mantenimiento del sensor y reprogramación y activación del PLC	Comunicación con el PLC y diseño HMI
POLÍMERO				
1. Apertura de válvulas para llenado de tanques de preparación con agua	Semi-Auto	SI	Reprogramación del PLC	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
2. Medición de nivel de los tanques de preparación	Semi-Auto	SI	Mantenimiento de los sensores de nivel y reprogramación del PLC	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI

Continúa →

3. Ingreso de polímero en polvo	Manual	NO	NA	NA
4. Activación de agitadores	Manual	SI	Adquisición de variadores de frecuencia	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
5. Apertura de válvulas de desfogue	Semi-Auto	SI	Reprogramación del PLC	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
6. Medición de nivel de los tanques de dosificación	Manual	SI	Cambio o mantenimiento de sensores de nivel	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
7. Apertura de válvulas de llenado	Semi-Auto	SI	Reprogramación del PLC	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
8. Selección de tanques para la dosificación	Manual	SI	Reprogramación del PLC	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
9. Apertura de válvulas de desfogue	Semi-Auto	SI	Reprogramación del PLC	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
10. Activación de bombas para dosificación	Manual	SI	Adquisición de variadores de frecuencia	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
11. Medición de la dosificación	Manual	SI	Reprogramación del PLC	Adquisición de modulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
CLARIFICADORES				
1. Ingreso de agua con sulfato de aluminio	Manual	NA	NA	NA
2. Ingreso de polímero	Manual	NA	NA	NA
3. Activación y control de motores Impeller	Manual	SI	Reprogramación de variadores y PLC	Adquisición módulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
4. Activación y control de motores Scraper	Manual	SI	Reprogramación de variadores y PLC	Adquisición módulo Ethernet, comunicación con el PLC y diseño HMI
5. Salida de agua clarificada hacia los filtros	Manual	NO	NA	NA

3.5. Filosofía de Operación

El proceso de tratamiento de agua se lo realiza mediante la acción de varios subprocesos, entre los cuales este proyecto mejorará los sistemas de tres de ellos, estos son: dosificación de sulfato de aluminio, preparación y dosificación de polímero y clarificadores. Una vez realizado el proyecto se logrará controlar y monitorear estos tres procesos de manera remota.

El proceso de dosificación de sulfato de aluminio comienza por el llenado de cuatro tanques con la sustancia mencionada, el contenido de dos de los tanques servirá para la dosificación de sulfato de aluminio en los clarificadores rectangulares y el contenido de los otros dos tanques para la dosificación en los clarificadores circulares.

Esta sustancia es bombeada desde el tanque 1 hasta que se vacíe, mientras el tanque 2 permanece lleno, cuando se acabe la sustancia del tanque 1 del cual se estaba dosificando, el tanque 2 será el que dosifica mientras el tanque 1 se llena nuevamente, de la misma forma funcionan los tanques 3 y 4.

Se podrá tener un monitoreo del sistema para saber cuál tanque está dosificando, la bomba que se encuentra encendida, el aforo de la sustancia, controlar el encendido y apagado, y velocidad de las bombas de dosificación, además conocer si se ha producido alguna falla en el proceso mediante el HMI que se implementará.

Por otro lado en el proceso de preparación de polímero se tienen dos tanques los cuales se podrán llenar con agua limpia de manera automática a la altura que ingresen los operadores por medio de la ventana HMI correspondiente a este proceso, una vez llenado los tanques los operadores se encargan de colocar el polvo de polímero y encender los mezcladores de manera manual.

Se espera un mínimo de dos horas para que la mezcla esté lista, cuando esto ocurra se podrá controlar la apertura y cierre de las válvulas de desfogue de estos dos tanques, así como también de las válvulas para llenar otros tres tanques que sirven para la dosificación de la sustancia hacia los

clarificadores. De igual manera que en la dosificación de sulfato de aluminio, el polímero es bombeado desde un tanque hacia los clarificadores rectangulares y desde otro tanque hacia los clarificadores circulares. Desde el HMI se podrá monitorear y controlar la apertura y cierre de todas las válvulas del proceso, monitorear las bombas de dosificación, monitorear datos del proceso, además de conocer si se ha producido alguna falla en el proceso.

Finalmente en el proceso de clarificadores se posee ocho clarificadores, cada uno con dos motores, mediante su funcionamiento, y conjuntamente a las sustancias mencionadas anteriormente facilitan la clarificación del agua. Cada uno de los motores está conectado a su respectivo variadores de frecuencia, los cuales son controlados desde un PLC. Se podrá controlar y monitorear a cada uno de los motores de forma remota a través del HMI, esto que implica que el control de encendido y apagado, la velocidad de cada uno de estos.

CAPÍTULO 4

INGENIERÍA BÁSICA

4.1. Selección de Equipos

La mayoría de procesos en la Planta de Tratamiento Puengasí, no presentaban un control y monitoreo remoto, debido a malfuncionamiento o falta de equipos. Por esta razón para dar cumplimiento con la presente tesis fue necesario realizar la compra de diversos equipos que permitan comunicar y corregir los errores presentes.

De los diferentes requerimientos existentes en la Tabla 8 para realizar una automatización o implementación en un SCADA se ha seleccionado algunos equipos que permitan y habiliten la mayor cantidad de procesos y se puede observar en la Tabla 9.

Estos equipos fueron adquiridos con fondos personales, ya que si se planteaba que la empresa realice la adquisición los equipos habrían tardado varios meses e inclusive podría darse el caso que sea negado la adquisición.

Debido a los motivos anteriores se vio la obligación a priorizarlos, es decir que se realizó la adquisición de los equipos que mayor impacto tengan.

Tabla 9
Equipos requeridos

Cant.	Equipos	Adquisición	Justificación
1	Switch (comercial de 8 puertos)	SI	Permite la comunicación entre los Equipos y el SCADA
CLARIFICADORES			
1	Cable de programación	SI	Permite reprogramar el PLC S7-300, debido que en un comienzo no se tenía el módulo Ethernet
1	Módulo de comunicación Ethernet	SI	Brinda comunicación remota al PLC S7-300
60 m	Cable UTP (categoría 5E)	SI	Establece el enlace Ethernet con el SCADA

Continúa →

SULFATO			
Cant.	Equipos	Adquisición	Justificación
2	Antena para comunicación Ethernet de mediano alcance	NO	Precio superior a los \$ 3000
4	Sensores de nivel ultrasónicos	NO	Precio por cada sensor \$ 1500
4	Electroválvulas para químicos	NO	Solo requiere mantenimiento
1	Cable de programación	SI	Permite reprogramar el PLC S7-200
30 m	Cable UTP	SI	Establece el enlace Ethernet con el SCADA
POLÍMERO			
3	Sensores de nivel ultrasónicos	NO	Precio por cada sensor \$ 1500
4	Variadores de frecuencia	NO	Precio por cada variador \$ 600
1	Módulo de comunicación Ethernet	NO	Precio superior a los \$ 2000
1	Convertor Serial - Ethernet	SI	En reemplazo del módulo Ethernet
1	Cable de programación	SI	Permite reprogramar el PLC Micrologix 1500
30 m	Cable UTP	SI	Establece el enlace Ethernet con el SCADA

Los equipos adquiridos fueron los siguientes:

- Modulo Ethernet CP343-1 de marca Siemens:

Este módulo permite la comunicación vía Ethernet del PLC S7-300 del área de clarificadores. Permite habilitar el monitoreo y control de forma remota de toda el área de clarificadores.

- Convertor Serial-Ethernet:

Este equipo permite la comunicación vía Ethernet del PLC MicroLogix 1500 del área de polímero. Permite habilitar el monitoreo y control de forma remota de toda el área de polímero.

- Cable USB-MPI:

Cable de programación para PLC S7-300. Permite desarrollar el sistema de control de todo el área de clarificadores.

- Cable USB-PPI:

Cable de programación para PLC S7-200. Permite realizar correcciones y mejoras del sistema de control del área de dosificación de sulfato.

- Cable MicroLogix DB9:

Cable de programación para PLC MicroLogix 1500. Permite realizar correcciones y mejoras del sistema de control del área de dosificación de polímero.

- Cable UTP Cat 5E:

Se utilizó aproximadamente 130 metros de cable, el cual permite la comunicación Ethernet con las área de clarificadores, polímero y sulfato.

- Switch de 8 puertos:

Switch que permite comunicar la computadora mediante Ethernet, con los diversos procesos de la Planta de Tratamiento. A continuación en la Tabla 10 se listan los diversos equipos adquiridos y el precio avaluado.

Tabla 10
Avaluó de equipos adquiridos

Equipo	Avaluó USD
Modulo Ethernet CP343-1 Lean	1300
Conversor Serial-Ethernet	200
Cable USB-MPI Siemens	200
Cable USB-PPI Siemens	140
Cable MicroLogix DB9	80
Cable UTP Cat 5e	60
Switch de 8 puertos	30
Total	\$ 2010

4.2. Selección de actividades

En el presente proyecto se han realizado la mayor cantidad de actividades para utilizar los equipos que están instalados, y que mediante la

adquisición de los equipos mencionados en la Tabla 10 casi en su totalidad un proceso. Estos resultados se aprecian en la Tabla 11.

Tabla 11
Procesos y actividades realizadas

Proceso	Actividad
Sulfato de aluminio	
Medición de nivel en tanques de dosificación	Ajuste de boyas de nivel
Selección de tanques de dosificación a llenar	Reprogramación del PLC
Apertura de válvulas de llenado	Reprogramación del PLC
Selección de tanques para la dosificación	Reprogramación del PLC
Apertura de válvulas de desfogue	Reprogramación del PLC
Activación de bombas para dosificación	Reprogramación del PLC
Medición de la dosificación	Ajuste de caudalímetro
Comunicación remota	Trazado de cable Ethernet y reprogramación del PLC
Visualización y control remoto	Desarrollo de interfaz HMI
Polímero	
Apertura de válvulas para llenado de tanques de preparación con agua	Reprogramación del PLC
Medición de nivel de los tanques de preparación	Ajuste en sensores de nivel
Apertura de válvulas de desfogue	Reprogramación del PLC
Medición de la dosificación	Ajuste de caudalímetro
Comunicación remota	Adquisición de conversor Serial-Ethernet, Trazado de cable Ethernet y reprogramación del PLC
Visualización y control remoto	Desarrollo de interfaz HMI
Clarificadores	
Activación de motores Impeller	Conexión de señales de control, configuración de variadores y reprogramación del PLC
Activación de motores Scraper	Conexión de señales de control, configuración de variadores y reprogramación del PLC
Manejo de velocidad de motores	Conexión de señales de control, configuración de variadores y reprogramación del PLC
Comunicación remota	Adquisición de módulo Ethernet, Trazado de cable Ethernet y reprogramación del PLC
Visualización y control remoto	Desarrollo de interfaz HMI

4.3. Layout de equipos

En la Figura 56 se observan los equipos e instrumentos de cada uno de los procesos intervenidos con el proyecto, así como los equipos adquiridos para la automatización de los procesos.

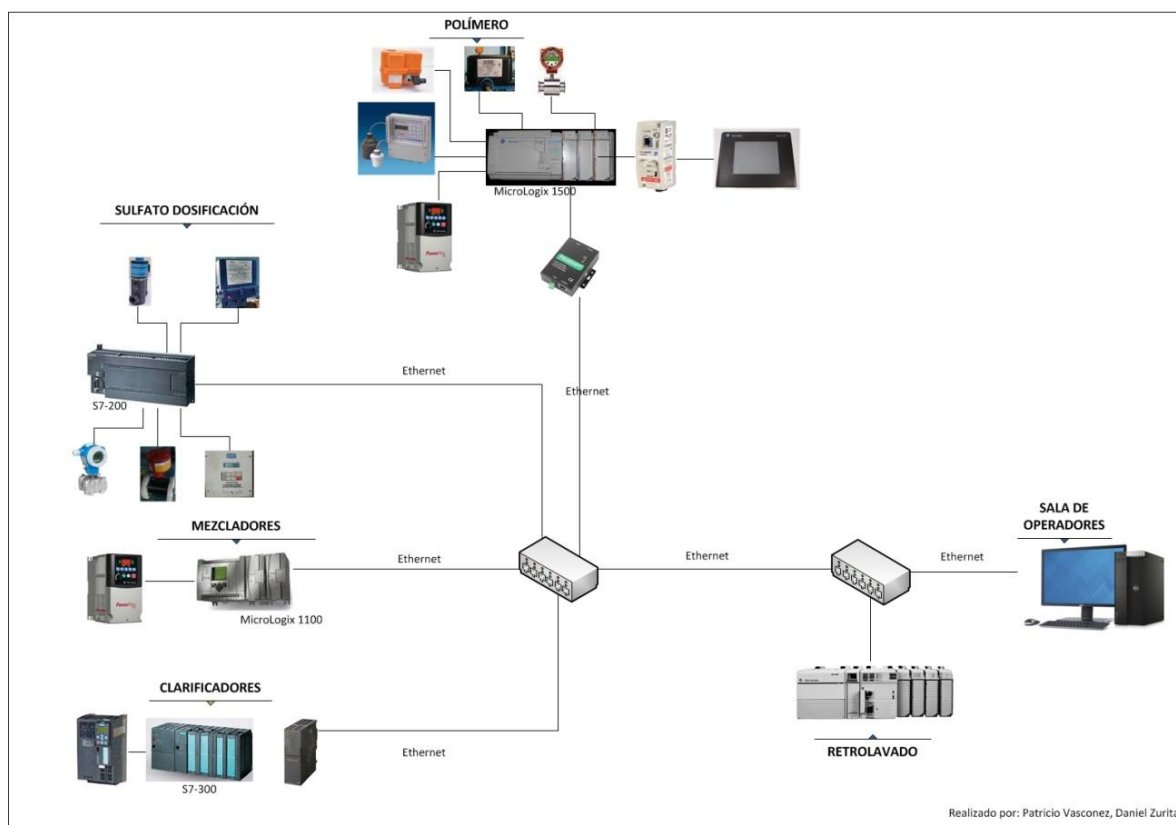






Figura 56. Equipos adquiridos instalados.

4.4. Especificaciones de los equipos

Todos los equipos que están instalados en las diferentes áreas cuentan con sus especificaciones dadas por el fabricante. Estas especificaciones se indican en la Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14.

Tabla 12
Especificaciones de equipos del área de Polímero

ÁREA DE POLÍMERO		
PLC ALLEN BRADLEY		
	Descripción	PLC MicroLogix 1500
	Marca	Allen-Bradley
	Especificaciones	
	Modelo Procesador	1764-LPS
	Capacidad Procesador	7 [Kb] para programa de usuario
	Software de Programación	RSLogix 500 versión 5.10.00 o posterior
	Número de E/S	12 entradas a 24 [V _{DC}] y 12 salidas a relé
	Voltaje alimentación	120/240 [V _{AC}]
	Frecuencia	47- 63 [Hz]
	Temperatura de Operación	0 [°C] a 55 [°C]
MÓDULO DE E/S ANALÓGICAS		
	Descripción	Módulo de expansión del PLC para entradas y salidas analógicas.
	Marca	Allen-Bradley
	Especificaciones	
	Modelo	1769-IF4XOF2
	Voltaje alimentación	24 [V _{DC}]
	Consumo de Corriente	160 [mA]
	Temperatura de Funcionamiento	0 [°C] a 60 [°C]
	Dimensiones	Largo: 8.7 [cm], Ancho: 3.5 [cm] Alto: 11.8 [cm]
MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS		
	Descripción	Módulo de expansión del PLC para entradas analógicas.
	Marca	Allen-Bradley
	Especificaciones	
	Modelo	1769-IF4
	Alimentación	24 [V _{DC}]
	Temperatura de operación	0 [°C] a 60 [°C]
	Disipación de Calor	2.52 [W]
	Consumo de corriente	60 [mA]
Dimensiones	Largo: 8.7 [cm], Ancho: 3.5 [cm] Alto: 11.8 [cm]	
MÓDULO DE SALIDAS A RELÉ AC/DC		
	Descripción	Módulo de expansión del PLC para salidas a relé
	Marca	Allen-Bradley
	Especificaciones	
	Modelo	1769-OW16
	Alimentación	24 [V _{DC}]
	Temperatura de operación	0 [°C] a 60 [°C]
	Disipación de potencia	4.75 [W]
	Consumo de corriente	180 [mA]
Dimensiones	Largo: 8.7 [cm], Ancho: 5.2 [cm] Alto: 11.8 [cm]	

Continúa →

MÓDULO DE ENTRADAS 24 V_{CC}		
	Descripción	Módulo de expansión del PLC para entradas 24 V _{CC}
	Marca	Allen Bradley
	Especificaciones	
	Modelo	1769-IQ16
	Alimentación	24 [V _{DC}]
	Temperatura de operación	0 [°C] a 60 [°C]
	Disipación de potencia	3.55 [W]
	Dimensiones	Largo: 8.7 [cm] Ancho: 3.5 [cm] Alto: 11.8 [cm]
MÓDULO AVANZADO CONVERTIDOR DE INTERFACE		
	Descripción	Módulo convertidor de interface.
	Marca	Allen Bradley
	Especificaciones	
	Modelo	1761-NET-AIC
	Alimentación	24 [V _{DC}]
	Temperatura de operación	0 [°C] a 60 [°C]
	Disipación de potencia	3.55 [W]
	Dimensiones	Ancho: 5.2 [cm] Alto: 11.8 [cm]
SENSOR ULTRASÓNICO		
	Descripción	Sensor ultrasónico para nivel en los tanques de polímero.
	Marca	Eastech Badger
	Especificaciones	
	Modelo	FB2
	Rango de Operación	0 [cm] a 457 [cm]
	Temperatura de Operación	-40 [°C] a 70 [°C]
	Exactitud	+/- 0.02
	Frecuencia de Operación	51 [KHz]
INDICADOR VANTAGE 2220		
	Descripción	Indicador de los niveles de los tanques de polímero, mediante la conexión con los sensores ultrasónicos FB2.
	Marca	Eastech Badger
	Especificaciones	
	Modelo	Vantage 2220
	Salida	4 - 20 [mA]
	Temperatura de Operación	-20 [°C] a 70 [°C]
	Alimentación	90/240 [V _{AC}] 50/60 [Hz] ó 12 [V _{DC}]
	Display	4 líneas 20 caracteres por línea

Continúa →

MOTOR AC RELIANCE

Descripción	Motor trifásico para la mezcla de polímero.
Marca	Reliance Electric
Especificaciones	
Potencia	1.5 [HP]
Velocidad	1725 [rpm]
Voltaje	230/460 [V _{AC}]
Corriente	5.2/2.6 [A]
Frecuencia	60 [Hz]

ELECTROVÁLVULA EVR2 K

Descripción	Electroválvula para llenado de los tanques de polímero.
Marca	Hayward
Especificaciones	
Modelo	EVR2 K
Ciclo de Trabajo	25%
Voltaje	115 [V _{AC}]
Corriente	1 [A]
Torque	16-18 [in-lbs]
Tubería	2 [pulg]

ELECTROVÁLVULA EA20

Descripción	Electroválvula para llenado y desfogue de los tanques de polímero.
Marca	George Fischer
Especificaciones	
Modelo	EA20
Alimentación	115/230 [V _{AC}]
Frecuencia	50-60 [Hz]
Consumo de Potencia	12 [W]
Ciclo de Trabajo	100% a 25 [°C] 70% a 50 [°C]
Tubería	2 [pulg]
Torque	12 [Nm]
Temperatura de Operación	-10 a 50 [°C]

CAUDALÍMETRO SPARLING

Descripción	Caudalímetro para visualización de caudal en los dosificadores de polímero.
Marca	TIGERMAG
Especificaciones	
Modelo	FM626
Alimentación	77-265 [V _{AC}]
Corriente	1 [A]
Consumo de Potencia	Menor a 20 [VA]
Temperatura de Operación	-30 a 60 [°C]

MOTOR EMERSON

Descripción	Motor para la dosificación de polímero.
Marca	Emerson
Especificaciones	
Modelo	LL01
Voltaje	230/460 [V _{AC}]
Potencia	1 [HP]
Frecuencia	50/60 [Hz]
Velocidad	1755 [rpm]

Continúa →

VARIADOR DE FRECUENCIA ALLEN BRADLEY



Descripción	Variador de frecuencia para motor de dosificación de polímero.
Marca	Allen Bradley
Especificaciones	
Modelo	PowerFlex4
Alimentación	380-480 [V _{AC}], 3 fases
Frecuencia de entrada	48-63 [Hz]
Corriente de entrada	3.2 [A]
Temperatura de Operación	-10 [°C] a 40 [°C]
Puerto	RS485
Voltaje de salida	0-460 [V _{AC}], 3 fases
Corriente de salida	2.3 [A]
Características de motor	0.75 [kW] / 1 [HP]
Frecuencia de salida	0-240 [Hz] (Programable)

VARIADOR DE FRECUENCIA PARKER



Descripción	Variador de frecuencia para motor de dosificación de polímero.
Marca	Parker
Especificaciones	
Modelo	650-43145020
Alimentación	380-460 [V _{AC}], 3 fases
Temperatura de Operación	0 [°C] a 40 [°C]
Puerto	RS232
Corriente de entrada	7.5 [A]
Frecuencia de entrada	50-60 [Hz]
Voltaje de salida	0..380-460 [V _{AC}], 3 fases
Frecuencia de salida	4.5 [A]
Frecuencia de salida	0-240 [Hz]

PANELVIEW ALLEN BRADLEY



Descripción	Panel para control y monitoreo del proceso de polímero.
Marca	Allen Bradley
Especificaciones	
Modelo	2711-T6C2L1
Voltaje de entrada DC	24 [V _{DC}]
Voltaje de entrada AC	85-264 [V _{AC}]
Consumo de Potencia	24 [W]
Memoria de aplicación	190 [KB]
Frecuencia de entrada	47-63 [Hz]
Resolución	320x240
Software	PanelBuilder 32
Peso aproximado	1 [Kg]

Tabla 13
Especificaciones de equipos del área de Sulfato de Aluminio

ÁREA DE SULFATO DE ALUMINIO		
PLC SIEMENS S7-200		
	Descripción	Controlador lógico programable para el área de sulfato.
	Marca	Siemens
	Especificaciones	
	Modelo Procesador	CPU 226
	Alimentación	85-264 [V _{AC}]
	Frecuencia de entrada	47-63 [Hz]
	Número de E/S digitales	24 entradas y 16 salidas digitales
	Memoria de Programa de usuario	16384 [Bytes]
	Capacidad de expansión	7 módulos
	Contadores/ Temporizadores	256/256 +6 contadores rápidos
	Software de Programación	Step 7 – Micro/WIN, versión 2.2 o posteriores.
	Puertos	2 puertos RS485
MÓDULO DE E/S DIGITALES		
	Descripción	Módulo de expansión de E/S digitales para el PLC S7-200.
	Marca	Siemens
	Especificaciones	
	Modelo	EM223
	Alimentación	24 [V _{DC}]
	Número de E/S digitales	16 entradas y 16 salidas digitales
	Consumo de Potencia	6 [W]
	Entrada de corriente por señal	4 [mA]
	Peso aproximado	0.4 [Kg]
	MÓDULO DE E/S ANALÓGICAS	
	Descripción	Módulo de expansión de E/S analógicas para el PLC S7-200.
	Marca	Siemens
	Especificaciones	
	Modelo	EM235
	Alimentación	24 [V _{DC}]
	Número de E/S	4 entradas y 1 salida
	Voltaje de salida	±10 [V _{AC}]
Salida de corriente	0-20 [mA]	
Consumo de Potencia	2 [W]	
MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS		
	Descripción	Módulo de expansión de entradas analógicas para el PLC S7-200.
	Marca	Siemens
	Especificaciones	
	Modelo	EM231
	Alimentación	24 [V _{DC}]
Número de E/S	4 entradas	
Consumo de Potencia	2 [W]	

Continúa →

MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS

Descripción	Módulo de expansión de salidas analógicas para el PLC S7-200.
Marca	Siemens
Especificaciones	
Modelo	EM232
Alimentación	24 [V _{DC}]
Número de E/S	2 salidas
Voltaje de salida	±10 [V _{AC}]
Salida de corriente	0-20 [mA]
Consumo de Potencia	2 [W]

PROCESADOR DE COMUNICACIONES SIEMENS

Descripción	Módulo de expansión para comunicaciones industriales Ethernet.
Marca	Siemens
Especificaciones	
Modelo	CP-243-1
Alimentación	24 [V _{DC}]
Tasa de transmisión	10 [Mbps] y 100 [Mbps]
Interfaces de conexión para Ethernet industrial	8 pin RJ-45 jack
Consumo de corriente	60 [mA]
Consumo de Potencia	1.5 [W]
Temperatura de operación	0 [°C] a 55 [°C]

ELECTROVÁLVULA TRUE BLUE

Descripción	Electroválvula para llenado de los tanques de sulfato de aluminio.
Marca	True Blue
Especificaciones	
Modelo	EBV-104
Alimentación	120 [V _{AC}]
Frecuencia	60 [Hz]
Corriente	2 [A]
Torque	11.36 [J]
Ciclo de trabajo	20% a 21 [°C]
Tiempo de ciclo	5 [s]
Peso aproximado	3.16 [Kg]

VÁLVULA SOLENOIDE PLAST-MATIC

Descripción	Válvula solenoide para desfogue de los tanques de sulfato de aluminio.
Marca	True Blue
Especificaciones	
Número de parte	EBASMD6EP22W20
Alimentación	120 [V _{AC}]
Frecuencia	60 [Hz]
Ciclo de trabajo	50% a 50 [°C]
Potencia	20 [w]
Presión máxima de entrada	20 [PSI]
Presión máxima de retorno	12 [PSI]
Tamaño de la tubería	1 [pulg]

Continúa →

MOTOR AC RELIANCE

Descripción	Motor AC para dosificación de sulfato de aluminio.
Marca	Reliance Electric
Especificaciones	
Modelo	P14X3256W
Alimentación	230/460 [V _{AC}], 3 fases
Frecuencia	60 [Hz]
Potencia	2 [HP]
Velocidad	1725 [rpm]
Corriente	5.4/2.7 [A]

VARIADOR DE FRECUENCIA PARA CONTROL DE MOTORES AC

Descripción	Variador de frecuencia para los motores de dosificación de sulfato de aluminio.
Marca	LEESON
Especificaciones	
Modelo	Micro Series tipo 4
Alimentación	400/480 [V _{AC}]
Frecuencia de entrada	50-60 [Hz]
Corriente de entrada	4.7/4.1 [A]
Voltaje de salida	0-400/460 [V _{AC}]
Frecuencia de salida	0-120 [Hz]
Corriente de salida	3.9/3.4 [A]
Potencia	2 [HP]

VARIADOR DE FRECUENCIA PARA CONTROL DE MOTORES AC

Descripción	Variador de frecuencia para los motores de dosificación de sulfato de aluminio.
Marca	LEESON
Especificaciones	
Modelo	Micro Series tipo 4
Alimentación	400/480 [V _{AC}]
Frecuencia de entrada	50-60 [Hz]
Corriente de entrada	2.8/2.4 [A]
Voltaje de salida	0-400/460 [V _{AC}]
Frecuencia de salida	0-120 [Hz]
Corriente de salida	2.3/2.0 [A]
Potencia	1 [HP]

CAUDALÍMETRO SPARLING

Descripción	Caudalímetro para medición de caudal en los dosificadores de sulfato de aluminio.
Marca	TIGERMAG
Especificaciones	
Modelo	FM626
Alimentación	77-265 [V _{AC}]
Corriente	1 [A]
Temperatura de Operación	-30 a 60 [°C]

Tabla 14
Especificaciones de equipos del área de clarificadores

ÁREA DE CLARIFICADORES																			
PLC SIEMENS S7-300																			
	<table border="1"> <tr> <td>Descripción</td> <td>PLC Siemens S7-300 para clarificadores</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>Siemens</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Especificaciones</td> </tr> <tr> <td>Modelo Procesador</td> <td>313C- 2 DP</td> </tr> <tr> <td>Capacidad memoria principal</td> <td>128 [KB]</td> </tr> <tr> <td>Software de Programación</td> <td>STEP 7</td> </tr> <tr> <td>Alimentación</td> <td>24 [V_{DC}]</td> </tr> <tr> <td>Número de Contadores / Temporizadores</td> <td>256 /256</td> </tr> <tr> <td>Consumo de corriente</td> <td>800 [mA]</td> </tr> </table>	Descripción	PLC Siemens S7-300 para clarificadores	Marca	Siemens	Especificaciones		Modelo Procesador	313C- 2 DP	Capacidad memoria principal	128 [KB]	Software de Programación	STEP 7	Alimentación	24 [V _{DC}]	Número de Contadores / Temporizadores	256 /256	Consumo de corriente	800 [mA]
	Descripción	PLC Siemens S7-300 para clarificadores																	
	Marca	Siemens																	
	Especificaciones																		
	Modelo Procesador	313C- 2 DP																	
	Capacidad memoria principal	128 [KB]																	
	Software de Programación	STEP 7																	
	Alimentación	24 [V _{DC}]																	
	Número de Contadores / Temporizadores	256 /256																	
	Consumo de corriente	800 [mA]																	
MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES SM321																			
	<table border="1"> <tr> <td>Descripción</td> <td>Módulo de expansión de entradas digitales para PLC S7-300</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>Siemens</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Especificaciones</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>SM-321</td> </tr> <tr> <td>Alimentación</td> <td>24 [V_{DC}]</td> </tr> <tr> <td>Número de E/S</td> <td>32 entradas</td> </tr> </table>	Descripción	Módulo de expansión de entradas digitales para PLC S7-300	Marca	Siemens	Especificaciones		Modelo	SM-321	Alimentación	24 [V _{DC}]	Número de E/S	32 entradas						
	Descripción	Módulo de expansión de entradas digitales para PLC S7-300																	
	Marca	Siemens																	
	Especificaciones																		
	Modelo	SM-321																	
Alimentación	24 [V _{DC}]																		
Número de E/S	32 entradas																		
MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES SM322																			
	<table border="1"> <tr> <td>Descripción</td> <td>Módulo de expansión de salidas digitales para PLC S7-300</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>Siemens</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Especificaciones</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>SM-322</td> </tr> <tr> <td>Alimentación</td> <td>24 [V_{DC}]</td> </tr> <tr> <td>Corrientes de salida</td> <td>0.5 [A]</td> </tr> <tr> <td>Número de E/S</td> <td>32 salidas</td> </tr> </table>	Descripción	Módulo de expansión de salidas digitales para PLC S7-300	Marca	Siemens	Especificaciones		Modelo	SM-322	Alimentación	24 [V _{DC}]	Corrientes de salida	0.5 [A]	Número de E/S	32 salidas				
	Descripción	Módulo de expansión de salidas digitales para PLC S7-300																	
	Marca	Siemens																	
	Especificaciones																		
	Modelo	SM-322																	
	Alimentación	24 [V _{DC}]																	
Corrientes de salida	0.5 [A]																		
Número de E/S	32 salidas																		
MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS SM331																			
	<table border="1"> <tr> <td>Descripción</td> <td>Módulo de expansión de entradas analógicas para PLC S7-300</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td>Siemens</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Especificaciones</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>SM-331</td> </tr> <tr> <td>Alimentación</td> <td>24 [V_{DC}]</td> </tr> <tr> <td>Resolución</td> <td>Programable para cada grupo de canal: 9 [bits], 12 [bits] y 14 [bits] + sign</td> </tr> <tr> <td>Tipo de medición</td> <td>Programable para grupo de canal: voltaje, corriente, resistencia y temperatura.</td> </tr> <tr> <td>Número de E/S</td> <td>8 entradas en 4 grupos de canal</td> </tr> </table>	Descripción	Módulo de expansión de entradas analógicas para PLC S7-300	Marca	Siemens	Especificaciones		Modelo	SM-331	Alimentación	24 [V _{DC}]	Resolución	Programable para cada grupo de canal: 9 [bits], 12 [bits] y 14 [bits] + sign	Tipo de medición	Programable para grupo de canal: voltaje, corriente, resistencia y temperatura.	Número de E/S	8 entradas en 4 grupos de canal		
	Descripción	Módulo de expansión de entradas analógicas para PLC S7-300																	
	Marca	Siemens																	
	Especificaciones																		
	Modelo	SM-331																	
	Alimentación	24 [V _{DC}]																	
	Resolución	Programable para cada grupo de canal: 9 [bits], 12 [bits] y 14 [bits] + sign																	
Tipo de medición	Programable para grupo de canal: voltaje, corriente, resistencia y temperatura.																		
Número de E/S	8 entradas en 4 grupos de canal																		

Continúa →

MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS SM332

Descripción	Módulo de expansión de salidas analógicas para PLC S7-300
Marca	Siemens
Especificaciones	
Modelo	SM-332
Alimentación	24 [V _{DC}]
Resolución	12 [bits]
Tipo de salida	Por canal: voltaje, corriente
Número de E/S	4 canales de salida

FUENTE DE PODER SIEMENS

Descripción	Módulo de fuente de poder.
Marca	Siemens
Especificaciones	
Modelo	6EP1333-3BA00
Alimentación	120-230/230-500 [V _{AC}]
Frecuencia	50-60 [Hz]
Salida de voltaje	24 [V _{DC}]
Salida de corriente	5 [A]
Temperatura de operación	0 a 60 [°C]
Peso aproximado	1.2 [Kg]
Eficiencia	87%



VARIADOR DE FRECUENCIA SIEMENS

Descripción	Variador de frecuencia para los motores del área de clarificadores.
Marca	Siemens
Especificaciones	
Modelo	PM240-0BE24
Alimentación	380-480 [V _{AC}]
Frecuencia	50/60 [Hz]
Factor de potencia	0.7-0.85
Temperatura de operación	0 a 40 [°C]
Potencia del motor	5 [HP]
Peso aproximado	4.3 [kg]

VARIADOR DE FRECUENCIA SIEMENS

Descripción	Variador de frecuencia para los motores del área de clarificadores.
Marca	Siemens
Especificaciones	
Modelo	PM240-0BE17
Alimentación	380-480 [V _{AC}]
Frecuencia	50/60 [Hz]
Factor de potencia	0.7-0.85
Temperatura de operación	0 a 40 [°C]
Potencia del motor	1 [HP]
Peso aproximado	1.2 [kg]

Continúa →

MOTOR ATB		
	Descripción	Motor trifásico ubicado en el área de clarificadores.
	Marca	ATB
Especificaciones		
Modelo	AF 112M/4K-11	
Alimentación	Δ 440-480 [V _{AC}], 3 fases	
Frecuencia	60 [Hz]	
Factor de potencia	0.85	
Corriente	8.8-8.4 [A]	
Velocidad	1730 [rpm]	
MOTOR ATB		
	Descripción	Motor trifásico ubicado en el área de clarificadores.
	Marca	ATB
Especificaciones		
Modelo	NF80/4B-11	
Alimentación	Y Δ 400/230 [V _{AC}]	
Corriente	2.2/3.8 [A]	
Frecuencia	50 [Hz]	
Factor de potencia	0.70	
Potencia del motor	1 [HP]	
Velocidad	1410 [rpm]	

4.5. Consideraciones de programación de los PLC

Área de clarificadores

En ésta área se encuentra un PLC S7-300 de marca SIEMENS el cual antes de iniciar el proyecto no cumplía con ninguna función y estaba desconectado de las señales del proceso.

Debido a esto fue necesario realizar el programa de control desde cero para que funcionen de acuerdo a las condiciones de hardware actuales y requerimientos del personal de operación.

Las condiciones de funcionamiento en las cuales nos basamos fueron:

- Arranque y paro de los variadores de frecuencia de forma individual y general utilizando los elementos locales y remotos.
- Selección de diferentes opciones de velocidad de funcionamiento de forma individual para los variadores de frecuencia tanto de forma local como remota.
- Detección de fallas de energía, sobretorque y fallas en variadores de frecuencia.
- Reconocimiento de fallas de forma local y remota.

- Monitoreo del estado de cada variador de frecuencia y velocidad actual de forma remota.

Área de Polímero

En esta área se encuentra un PLC Micrologix 1500 de marca Allen Bradley el cual antes de iniciar el proyecto si funcionaba y controlaba ciertos sectores del proceso. Pero algunos puntos que requerían intervención eran mejorar el sistema de llenado de los tanques y controlar el proceso de forma remota.

El programa de control se optó por modificar las rutinas que estén involucradas sin que afecte el proceso de funcionamiento normal y que no se vean perjudicadas con las limitaciones de equipos existentes.

Debido a esto las modificaciones en este sistema fueron:

- Corregir la medición de nivel de los tanques de mezcla
- Mejorar el sistema de llenado de los tanques de mezcla.
- Permitir el llenado automático de los tanques de mezcla de forma local y remota
- Permitir la apertura y cierre de las válvulas de forma local y remota.
- Monitorear los diferentes datos de nivel, caudal y dosificación de forma local y remota.

Área de Sulfato

En ésta área se encuentra un PLC S7-200 de marca SIEMENS el cual funciona de forma correcta pero presentaba problemas en el sistema de llenado automático de los tanques de dosificación.

El programa de control se orientó a realizar las modificaciones necesarias para corregir los problemas que nos fueron indicados por los operadores.

Las modificaciones en este sistema fueron:

- Corregir bloqueos en válvulas al realizar el llenado en los tanques.
- Corregir la correcta apertura de válvulas de desfogue.
- Monitorear el estado de las válvulas y demás equipos presentes de forma remota.
- Permitir el control remoto de velocidad en variadores de frecuencia.

4.6. Filosofía del HMI

- **Factores Humanos**

Una interfaz HMI es una herramienta que permite a un usuario monitorear y controlar uno o varios procesos para lo cual en el diseño de una HMI hay que tomar en cuenta quienes son las personas que van a interactuar con ellas. Es necesario saber qué nivel de conocimiento tienen los usuarios de cada uno de los procesos que se incluirían en el diseño de la interfaz HMI, este conocimiento está definido como la relación entre el entendimiento que posee el usuario de las condiciones de la planta y la condición actual en cualquier instante de tiempo. Los factores que pueden limitar el conocimiento de la situación son: atención focalizada, poca retención, carga de trabajo, ansiedad, fatiga, miedo.

El manejo de la interfaz HMI debe ser intuitiva para el usuario, es decir que la relación de cada ventana y su funcionalidad debe ser clara para el usuario.

La HMI no debe contener información o controles innecesarios, usar ventanas de información separadas de forma ocasional. Se debe tomar en cuenta que el usuario tiene que detectar, diagnosticar y responder en caso de que se presente cualquier tipo de situación.

Factores que influyen en la detección:

- Experiencia
- Entrenamiento
- Fatiga
- Codificación redundante
- Efectividad de las alarmas
- Mecanismos de detección
- Factores ambientales
- Densidad de la interfaz
- Efectividad de la interfaz

Factores que influncian en la diagnostico:

- Organización y navegación de la interfaz
- Niveles de la interfaz
- Experiencia y entrenamiento
- Capacidad de retención
- Fatiga
- Frecuencia de actualización de la interfaz

Factores que influncian en la respuesta:

- Procedimientos
- Entrenamiento
- Fatiga
- Mensajes de ayuda
- Expertos en el sistema
- Respuesta del sistema
- Factores ambientales

Además de todo lo dicho anteriormente se debe saber si el usuario está o no familiarizado con algún tipo de interfaz de este tipo ya que en caso de no estarlo puede ser dificultoso e incómodo manejar una de estas. En caso de ser necesario se debe dar capacitación sobre el manejo de la HMI a diseñar.

- **Requerimientos del usuario**

Antes de comenzar el diseño se debe tomar en cuenta: ¿Quién es el usuario?, ¿Cómo aprende el usuario? y ¿Qué espera el usuario del sistema?

Es necesario conocer los requerimientos y necesidades del usuario, tales como: qué parte de cada proceso necesita observar en la interfaz, que variables necesita controlar, que variables necesita monitorear, entre otras cosas.

En respuesta a las preguntas anteriormente planteadas se define como el usuario a los 9 operadores de la planta quienes son los que interactuarán

con la interfaz HMI a diseñarse. La forma en que los operadores se familiaricen a esta nueva interfaz está relacionada a experiencias anteriores con interfaces HMI similares y en caso de ser necesario de algún requerimiento específico se pueden solventar sus dudas mediante una capacitación.

Los operadores esperan que la interfaz HMI en lo posible muestre la mayor cantidad de información en una sola ventana con el objetivo de evitar cambios molestos entre muchas ventanas, lo cual ha ocurrido con anteriores interfaces, además esperan que la interfaz presente información clara y fácil de interpretar y un control simplificado de los procesos. Esto se realiza con el objetivo de facilitar el manejo de la HMI por parte del usuario sin que haya confusiones y disgustos.

Estándares de diseño

Para realizar un diseño eficiente se debe tomar en cuenta varios aspectos entre los cuales están:

Hardware

Pantalla:

- Resolución de la pantalla: 1280 x 1024 pixeles
- Tamaño de la pantalla: 19 pulgadas

CPU:

- Procesador: Intel Xeon E5-2687W
- Memoria RAM: 16 Gb
- Disco duro: 2 TB
- Tarjeta de red, tarjeta de video

Software

- Sistema Operativo: Windows 8 PRO 64 bits
- Paquete: Wonderware System Platform 2014
- Versión InTouch: 11.0.04

Plantillas

Se definió la ubicación de los elementos que se van a mostrar en las diferentes ventanas de la interfaz HMI, se tomó en cuenta varios aspectos como la ubicación para que la hora y fecha del sistema esté acorde a lo que la mayoría de personas está acostumbrada la cual está en la esquina inferior derecha de la pantalla, la navegación solamente se ubica en la parte inferior de la pantalla para evitar confusión con botones que pertenezcan a otra funcionalidad. En la esquina superior izquierda se ubica el nombre del área o proceso a la cual pertenece la ventana, el título de cada ventana se ubica en la parte superior y en la esquina superior derecha se ubica el logo de la empresa.

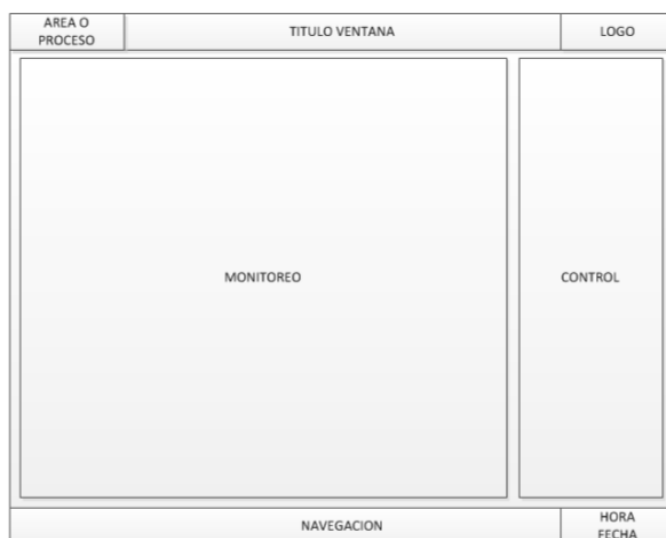


Figura 57. Plantilla 1

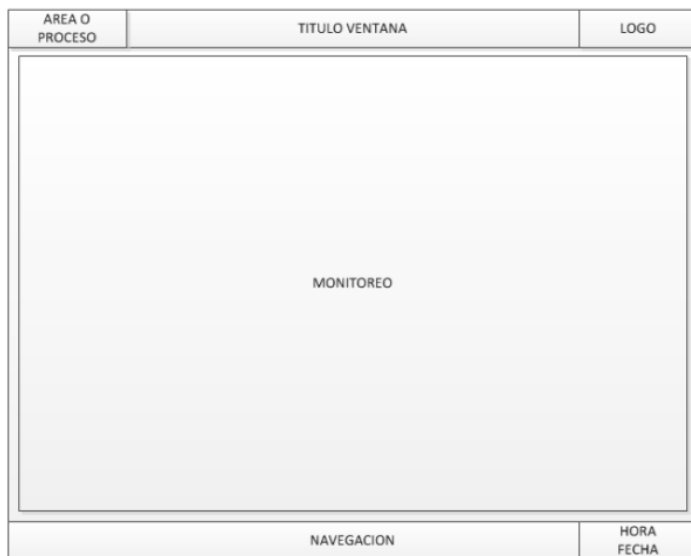


Figura 58. Plantilla 2

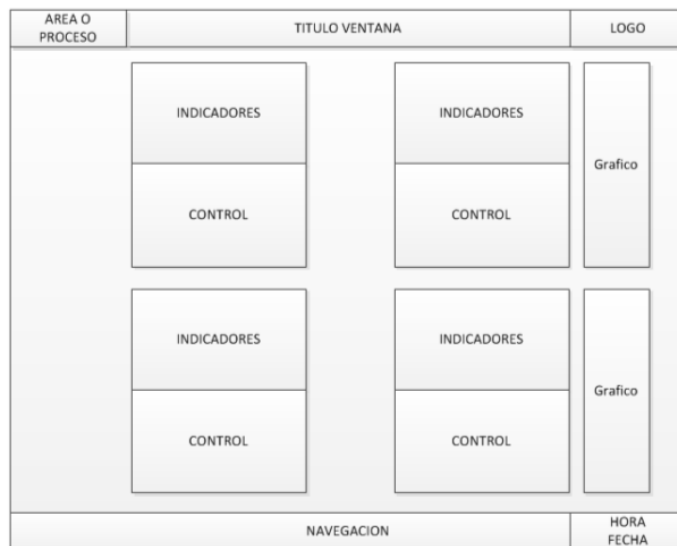


Figura 59. Plantilla 3

- **Navegación**

La navegación está diseñada para que el usuario tenga a la vista las áreas a las que se puede acceder y cada una de estas indica las diferentes ventanas de cada proceso. Esto para evitar confusiones al momento de moverse de una ventana a otra.



Figura 60. Navegación de la interfaz HMI.

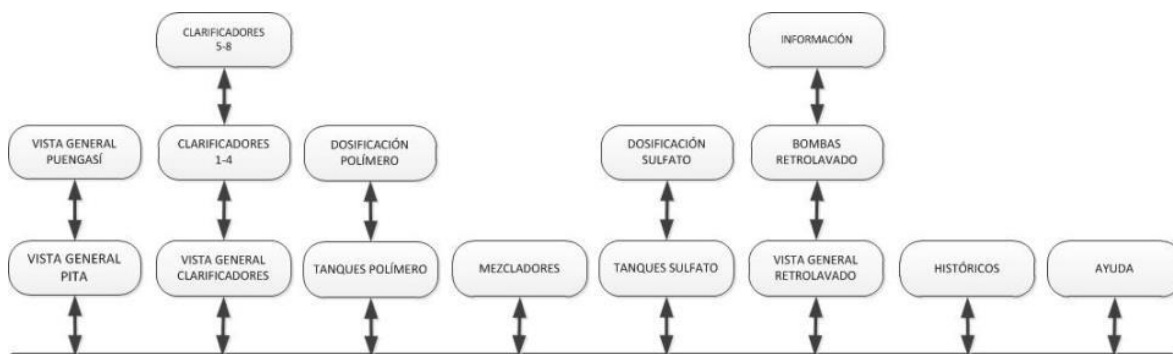


Figura 61. Navegación de la interfaz HMI.

La navegación entre ventanas se lo puede realizar desde cualquier proceso.

- **Jerarquía de la interfaz**

En el diseño se han considerado que en el nivel 1 existan ventanas que solamente sirvan para monitoreo de los datos más relevantes que maneja la planta, para el siguiente nivel existen ventanas que sirvan para un monitoreo específico y un control general y por último en un siguiente nivel se permite un control individual para cada elemento de los diferentes procesos.

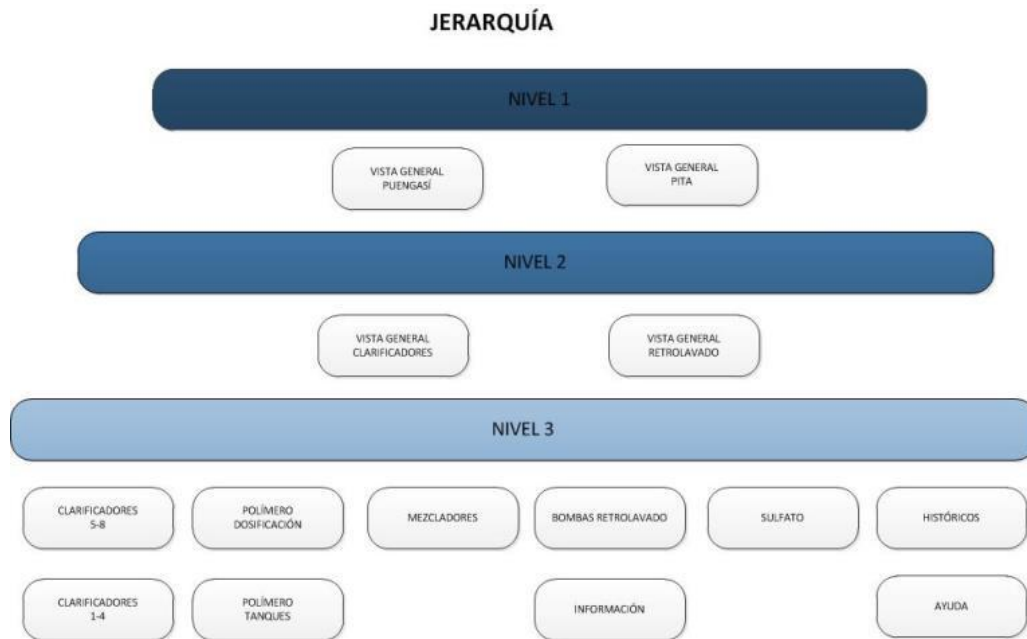


Figura 62. Jerarquía de las ventanas de la interfaz HMI

Guía de Estilo

Ejemplos de HMI antiguos

Para el diseño de las nuevas interfaces HMI se ha tomado como referencia las HMI que se encuentran parcialmente funcionando en la sala de operadores, las cuales conocen y manejan todos los operadores a la perfección. Para que al momento de operar las nuevas interfaces no les resulte complicado y muy diferente la visualización y el control de los diferentes procesos. Estas interfaces se pueden observar en la Figura 63, Figura 64, Figura 65, Figura 66 y Figura 67.



Figura 63. Ejemplo 1 HMI.



Figura 64. Ejemplo 2 HMI.

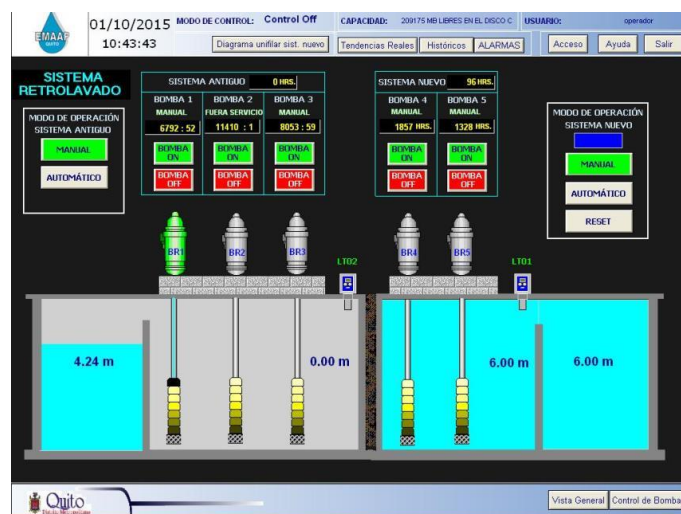


Figura 65. Ejemplo 3 HMI.

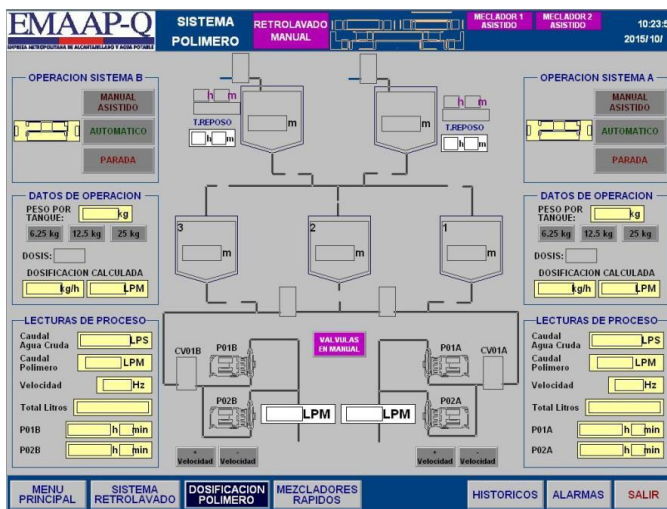


Figura 66. Ejemplo 4 HMI.

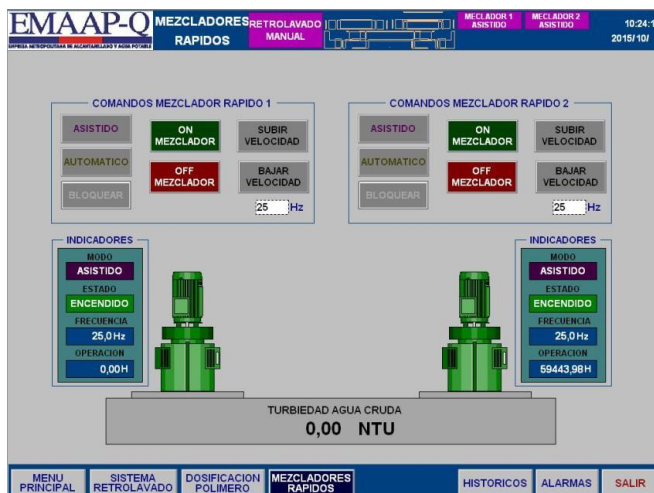


Figura 67. Ejemplo 5 HMI.

Colores

Para definir los colores de fondo y paneles se tomó en cuenta que esta interfaz será utilizada en horario nocturno en el cual una interfaz muy iluminada afectaría vista de los operadores ocasionando que puedan cometer errores por lo que se ha decidido establecer un color de fondo gris oscuro con paneles grises claro. La selección del color de fondo se aprecia en la Figura 68.

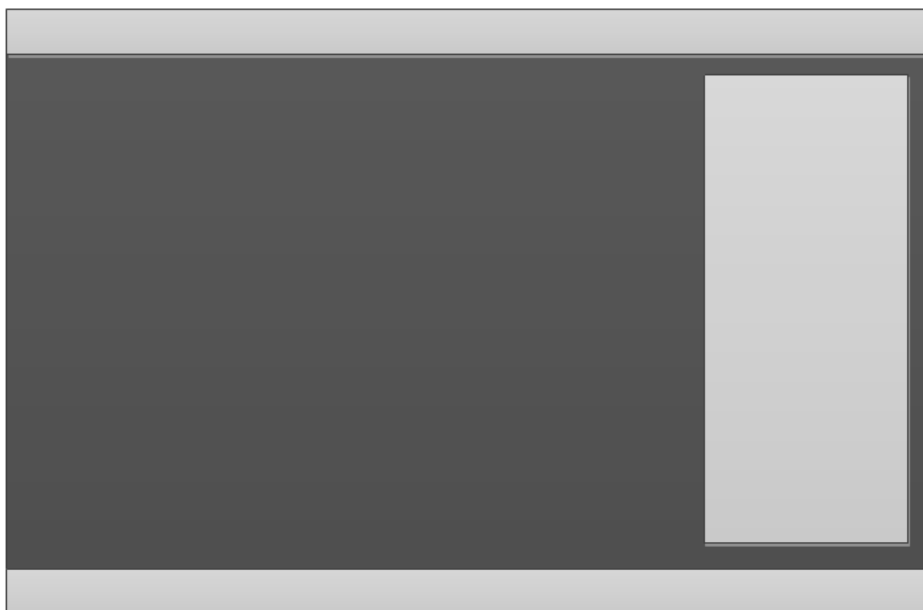


Figura 68. Colores para la interfaz HMI

Teniendo en cuenta que existen varios indicadores de diferente unidad se ha establecido colores que sean fáciles de identificar tales como: celeste para datos que tienen relación con caudal y anaranjado para los datos que se relacionan con nivel.

Toolkit

Símbolos y objetos

Para los símbolos y objetos se utiliza la librería de Archestra y Symbol Factory de InTouch los cuales están estandarizados para ser utilizados en una interfaz y se puede apreciar en la Figura 69. Adicionalmente es necesario crear nuevos símbolos que ayuden a familiarizarse a los operadores con la interfaz HMI.



Figura 69. Símbolos y objetos para la interfaz HMI

La Figura 70 representa los indicadores de datos de caudal y nivel, los cuales al ser datos importantes se los identifica a primera vista.



Figura 70. Indicadores de caudal y nivel

La Figura 71 representa los objetos que se desarrollaron mediante la herramienta Archestra y están orientados para que luzcan más parecidos a su forma real y facilite la familiarización de los operadores a la interfaz.

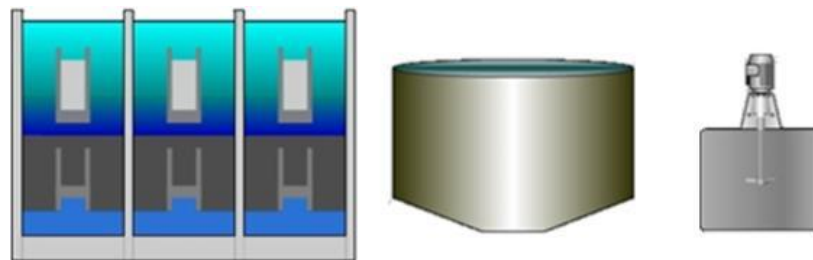


Figura 71. Objetos creados en Archestra.

4.7. Consideración de Seguridad

El sistema SCADA implementado permite tener acceso al control y monitoreo de distintos procesos de la Planta entre los que se encuentran: Sulfato de Aluminio, Polímero, Clarificadores, Retrolavado, Mezcladores y Captaciones. Los datos de cada proceso son monitoreados por los operadores de la Planta, los cuales tienen acceso completo al computador donde se encuentra implementado el SCADA, esta computadora está protegida con una contraseña, la cual tienen conocimiento todos los operadores.

En caso de que el sistema SCADA presente alguna falla en su funcionamiento y no permita el control ni monitoreo de los procesos, los operadores tienen acceso a los equipos de campo, los mismos que permiten controlar cada uno de los procesos. Además de ellos el personal de mantenimiento de la empresa también tiene acceso a estos equipos de campo, debido a que ellos son los encargados de reparar estos equipos en caso de ser necesario.

El SCADA implementado está instalado en la computadora de tal forma que el personal de la Planta solo pueda acceder al WindowViewer, es decir, el personal de la Planta no pueden realizar ninguna modificación a la aplicación desarrollada. Si la empresa decidiera realizar alguna modificación en la aplicación del SCADA, solo el personal de mantenimiento tiene acceso a esta aplicación para realizar los cambios requeridos.

CAPÍTULO 5

INGENIERÍA DE DETALLE

5.1. Diagramas de Lógica

Los diagramas de lógica se los representa con Grafcet, se los puede encontrar en Anexos.

5.2. Listas de Tags

Las diferentes listas de tags correspondientes a las interfaces HMI y de los programas de los PLCs se los encuentran en Anexos.

5.3. Diagrama de Interconexión

Los diferentes diagramas de interconexión de cada proceso se los puede encontrar en Anexos.

5.3.1. Interconexión de cables de control en Variadores de Frecuencia de Clarificadores

Para realizar el control de cada uno de los variadores de frecuencia marca Siemens del área de clarificadores se estableció un patrón de interconexión el cual se puede observar en la Figura 72 y Figura 73.

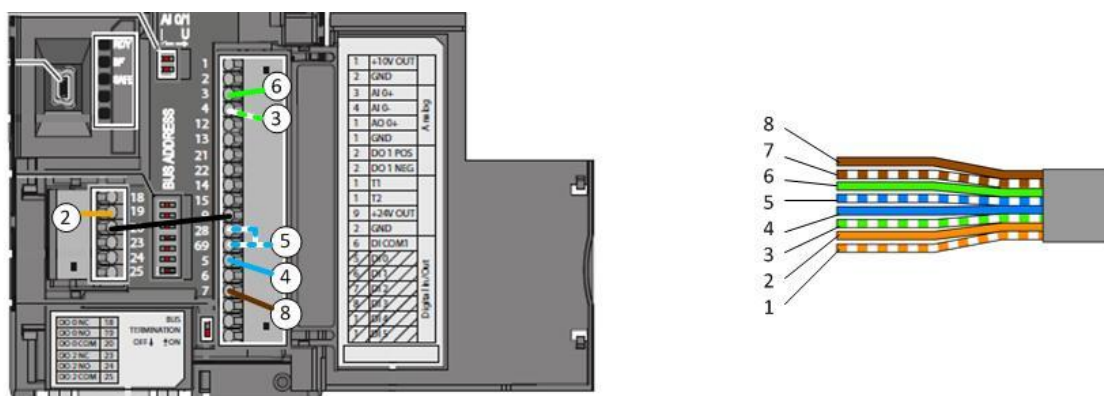


Figura 72. Diagrama de conexión cables de control.

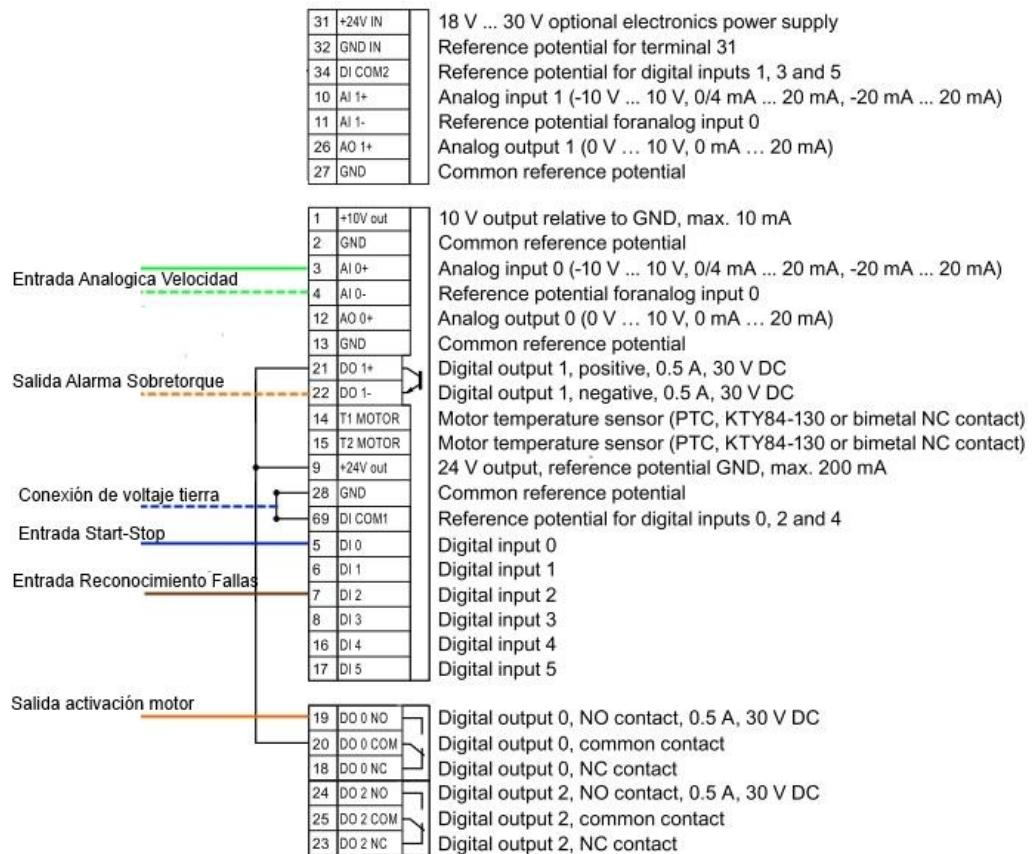


Figura 73. Diagrama de interconexión señales de control.

5.4. Configuración de los variadores de frecuencia

5.4.1. Parámetros para la Configuración

Para realizar la configuración de los variadores de frecuencia, primeramente es necesario realizar un reseteo de ellos. Luego de realizar el reseteo se debe ingresar los parámetros que se indican en la Tabla 15, los cuales están relacionados con las especificaciones de cada motor.

Tabla 15
Configuración de valores nominales de los motores en el variador de frecuencia marca Siemens, modelo PM240

Descripción	IMPELLER		SCRAPER	
	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Motor Control Mode	P1300	VF LIN (0)	P1300	VF LIN (0)
Standard IEC o NEMA	P100	HP 60 Hz	P100	HP 60 Hz
Voltaje del motor	P304	460	P304	460
Corriente del motor	P305	8,6	P305	2,1
Potencia del motor	P307	5	P307	1
Velocidad Nominal	P311	1730	P311	1705
Mot ID	P1900	OFF (0)	P1900	OFF (0)
Configuración de comportamiento de señales de control	P15	12	P15	12
Velocidad mínima	P1080	0	P1080	0
Tiempo de aceleración desde 0 a máxima velocidad	P1120	10	P1120	10
Tiempo de aceleración desde máxima velocidad a 0	P1121	10	P1121	10

Además se debe realizar la configuración del comportamiento ante señales de control, para el control por medio del PLC. Para esto se ingresan parámetros adicionales, los cuales se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16
Configuraciones adicionales en el variador de frecuencia marca Siemens, modelo PM240

Descripción	IMPELLER		SCRAPER	
	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Entrada Analógica AI 0 (0-20 mA)	P756 [00]	2	P756 [00]	2
Corriente min para escalamiento	P757	4	P757	4
Porcentaje de velocidad min	P758	0	P758	0
Corriente max para escalamiento	P759	20	P759	20
Porcentaje de velocidad max	P760	90	P760	-60
Salida a relé DO 0 (drive running)	P730	r0052.2	P730	r0052.2
Reinicio automático si esta activada la entrada digital	P1210	6	P1210	6
Corrección de error (A1920)	P2030	0	P2030	0

5.4.2. Cálculos para el Control de los Variadores de Frecuencia

Conversión de Dato Decimal del PLC a Corriente

Los módulos de salidas analógicas 332-5HD01-0AB0, están configurados para entregar una señal analógica de corriente de 4 a 20 mA. El número decimal que define el valor de corriente tiene el siguiente rango.

Tabla 17

Valor decimal respecto a la salida 4 a 20 mA

Dato Decimal PLC	Salida de Corriente
0	4 mA
27648	20 mA

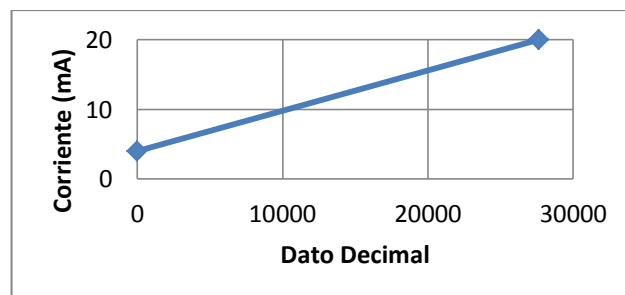


Figura 74. Relación de conversión Dato decimal - Corriente.

Por medio de la Figura 74 obtenida, se procede a obtener la ecuación característica de la recta.

$$y = \frac{x}{1728} + 4 (mA)$$

Realizando mediciones con el multímetro se obtuvo los siguientes valores de corriente, los cuales se los compara con la corriente calculada mediante la ecuación.

Tabla 18
Cálculo del error relativo promedio

Dato PLC	Corriente Medida (mA)	Corriente Calculada (mA)	Error Relativo (%)
10300	9,83	9,96	1,33
11000	10,23	10,37	1,33
12000	10,80	10,94	1,34
13000	11,38	11,52	1,26
14000	11,95	12,10	1,27
15000	12,52	12,68	1,28
18000	14,24	14,42	1,24
19000	14,81	15,00	1,25
20000	15,38	15,57	1,26
21000	15,95	16,15	1,27
22000	16,53	16,73	1,22
23000	17,10	17,31	1,23

Error relativo promedio: 1,27 %

El error que existe entre el valor medido y calculado es pequeño por lo que se puede despreciar.

Conversión de Corriente de entrada a RPM en Variador de Frecuencia Impeller

Para que el variador de frecuencia sea posible controlar de forma remota, fue necesario configurar los parámetros en cada uno de los variadores de frecuencia. Por lo que los valores máximos y mínimos establecidos de acuerdo a las características del motor y velocidad necesaria, se ven en la Tabla 19.

Tabla 19
Valor máximo y mínimo de velocidad del motor Impeller

Impeller	
Entrada de Corriente	RPM
4 mA	0
20 mA	1610

Ecuación característica de la recta:

$$y = 101,1 * x - 410 \text{ (RPM)}$$

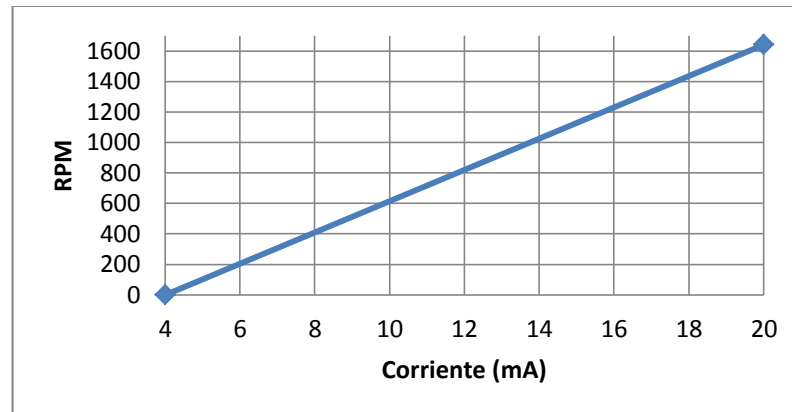


Figura 75. Relación de conversión Corriente – RPM motor Impeller.

Tabla 20
Error entre velocidad del display con la calculada

Corriente de Entrada	Velocidad en display (RPM)	Velocidad calculada (RPM)	Error Relativo (%)
14,24	1032	1029,6	0,22
14,81	1091	1087,2	0,34
15,38	1148	1144,9	0,26
15,95	1207	1202,5	0,37
16,53	1272	1261,1	0,85
17,10	1324	1318,8	0,39

Error relativo promedio: 0,4 %

El error que existe entre el valor en display y calculado es mínimo por lo que se puede despreciar.

Conversión de Dato Decimal de PLC a RPM en Variador de Frecuencia Impeller

Utilizando las ecuaciones obtenidas anteriormente, donde se reemplaza la primera ecuación.

$$y = 101,1 * \left(\frac{x}{1728} + 4 \right) - 410$$

$$y = 0,0585 * x + 410 - 410$$

$$y = 0,0585 * x$$

Se obtiene la ecuación de conversión final, en donde:

x = Dato decimal en PLC

y = Velocidad en RPM del motor Impeller

Conversión de Corriente de entrada a RPM en Variador de Frecuencia Scraper

Los valores máximos y mínimos establecidos de acuerdo a las características del motor y velocidad necesaria se observan en la Tabla 21.

Tabla 21
Valor máximo y mínimo de velocidad del motor Scraper

Scraper	
Entrada de Corriente	RPM
4 mA	0
20 mA	1100

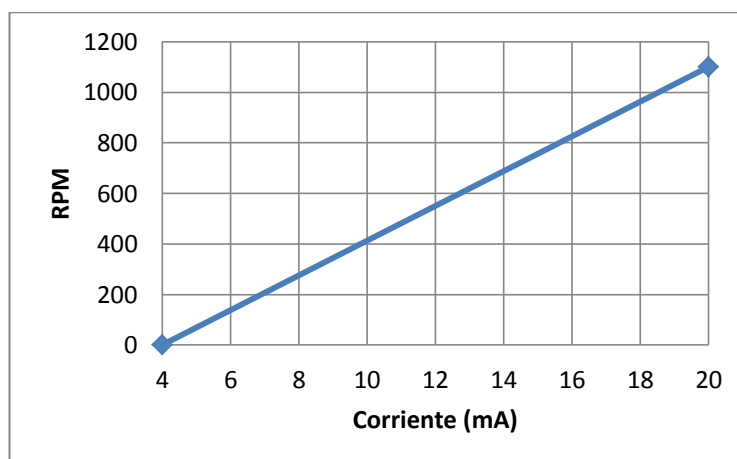


Figura 76. Relación de conversión Corriente - RPM motor Scraper.

Ecuación característica de la recta:

$$y = 68,75 * x - 275 \text{ (RPM)}$$

Tabla 22
Error entre velocidad del display con la calculada

Corriente de entrada	Velocidad en display	Velocidad Calculada	Error relativo (%)
9,83	400	400,8	0,20
10,23	425	428,3	0,77
10,80	465	467,5	0,53
11,38	505	507,3	0,47
11,95	545	546,5	0,29
12,52	585	585,7	0,13

Error relativo promedio: 0.26 %

El error que existe entre el valor en display y calculado es mínimo por lo que se puede despreciar.

Conversión de Dato Decimal de PLC a RPM en Variador de Frecuencia Scraper

Utilizando las ecuaciones obtenidas anteriormente, donde se reemplaza la primera ecuación.

$$y = 68,75 * \left(\frac{x}{1728} + 4 \right) - 275$$

$$y = 0,0389 * x + 275 - 275$$

$$y = 0,0389 * x$$

Se obtiene la ecuación de conversión final, en donde:

x = Dato decimal en PLC

y = Velocidad en RPM del motor Scraper

5.5. Cálculos de medición de nivel en tanques de Polímero

Comportamiento sensores de nivel

Los sensores de nivel del tipo Vantage 2220 utilizados para medición de nivel en los tanques de mezcla del área de polímero se encuentran configurados para entregar una señal lineal de corriente de 4 – 20 mA.

Esta señal de corriente contiene la información de nivel actual en un tanque y que de acuerdo a los parámetros de configuración puede realizar una medición de nivel desde 0 cm hasta 115 cm, los cuales corresponden al nivel mínimo y máximo respectivo de los tanques.

Tabla 23
Valor máximo y mínimo del nivel de los tanques

Nivel	Salida de Corriente
0 cm	4 mA
115 cm	20 mA

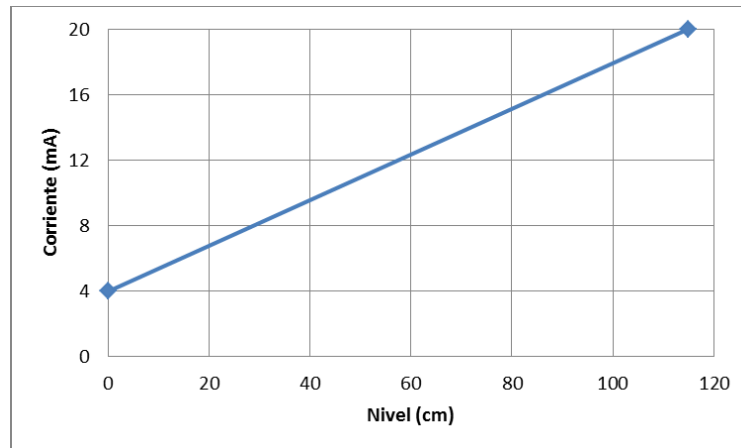


Figura 77. Relación de conversión Nivel – Corriente.

Conversión de Corriente a Dato decimal PLC

Los sensores de nivel están conectados a módulos de entradas analógicas 1769-IF4XOF2 los cuales convierten la señal de corriente de entrada en datos Decimales de forma predefinida. Este dato decimal que define el valor de corriente tiene un comportamiento como se observa en la Tabla 24.

Tabla 24
Dato decimal respecto a señal de corriente

Entrada Corriente	Dato decimal
4 mA	6242
20 mA	31208

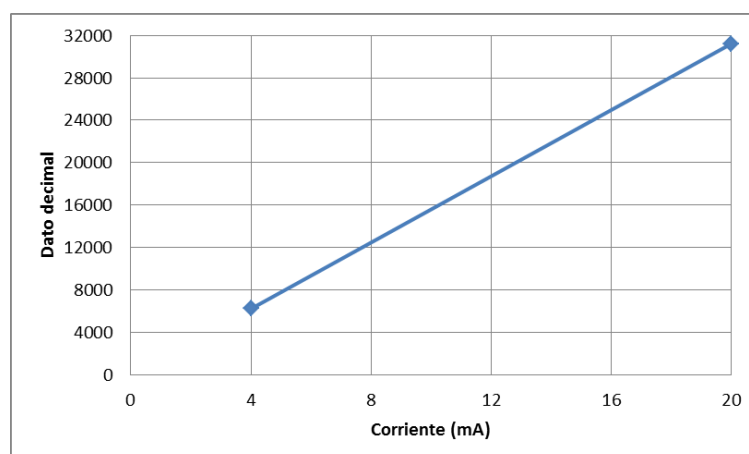


Figura 78. Relación de conversión Corriente – Dato Decimal.

Conversión de Dato decimal a Medida de nivel

El dato decimal que recibe el PLC MicroLogix 1500 tiene que ser convertido en una medida de nivel en unidades de ingeniería para que se pueda utilizar en el control de llenado de los tanques.

Debido a que el PLC maneja datos enteros, el nivel que se maneja en cm tiene que ser transformado a mm para que no se pierda información.

Como todas las señales manejadas son lineales y tienen una relación directamente proporcional, la conversión y cálculo se lo puede realizar utilizando solamente el dato decimal y la medida de nivel correspondiente tal como se observa en la Tabla 25.

Tabla 25
Relación entre corriente, dato decimal y medición de nivel

Entrada Corriente	Dato decimal	Medida Nivel
4 mA	6242	0 mm
20 mA	31208	1150 mm

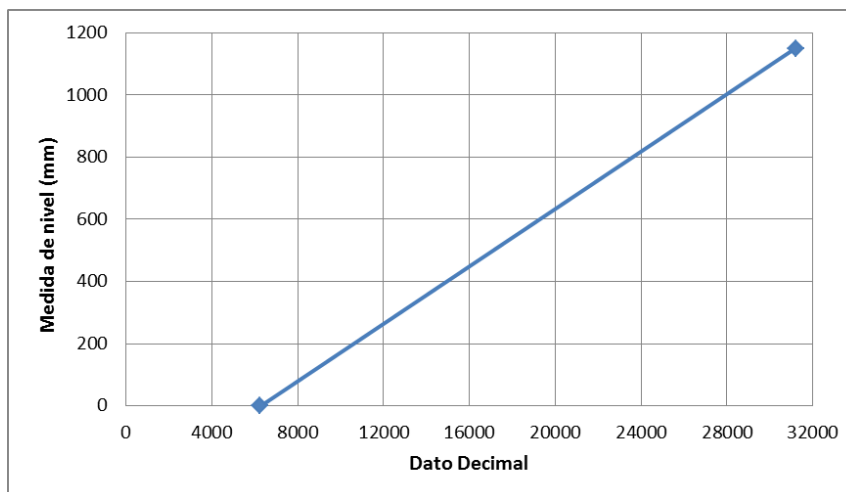


Figura 79. Relación de conversión Dato Decimal – Medida de nivel.

Con la figura obtenida, se procede a obtener la ecuación característica de la recta.

$$y = 0.0461 * x - 287.5 \text{ (mm)}$$

Realizando mediciones con un flexómetro se obtuvo los siguientes valores de nivel, los cuales se los compara con el nivel calculado el cual esta implementado en el PLC. El resultado de la medición está en diferentes unidades, por lo que se procede a transformarlo en centímetros.

Tabla 26
Comparación entre nivel medido y calculado

Nivel medido (cm)	Nivel calculado (mm)
80	791
90	895
100	994
110	1091
115	1148

Con las diversas mediciones se obtiene un error relativo para comprobar que no existe una gran diferencia.

Tabla 27
Error relativo entre nivel medido y calculado

Nivel medido (cm)	Nivel calculado (cm)	Error relativo
80	79.1	1.1
90	89.5	0.6
100	99.4	0.6
110	109.1	0.8
115	114.8	0.2

Error relativo promedio: 0,7 %

El error que existe entre el valor medido y calculado es pequeño debido a que la diferencia de volumen de agua promedio equivale a 5000 *litros* * 0.7% = 35 *litros* por lo que se el nivel calculado se puede considerar como el correcto.

5.6. Ventanas de la Interfaz HMI

Las pantallas se las ha diseñado tomando en cuenta principalmente los requerimientos de los operadores de la planta, así como también se tomó en cuenta interfaces que utilizaban antiguamente los operadores, para de esta manera facilitar el manejo de las nuevas interfaces. Además se han diseñado e implementado interfaces de otros procesos los cuales nos fueron solicitados por la jefatura de la Planta de Tratamiento para que los operadores tengan la información concentrada en un solo terminal.

Las diferentes ventanas están agrupadas de acuerdo al área a la que pertenecen.

- Vista general: Sistema Puengasí, Sistema Pita.
- Clarificadores: Control General, Clarificadores 1-4, Clarificadores 5-8
- Polímero: Tanques, Dosificación
- Sulfato: Tanques, Dosificación
- Retrolavado: Vista general, Bombas, información
- Mezcladores
- Históricos: Histórico, Reporte
- Ayuda: Vista General, Clarificadores, Polímero, Sulfato, Retrolavado, Mezcladores, Histórico, Acerca de.

El diseño de las interfaces se detalla a continuación:

Vista General - Sistema Puengasí

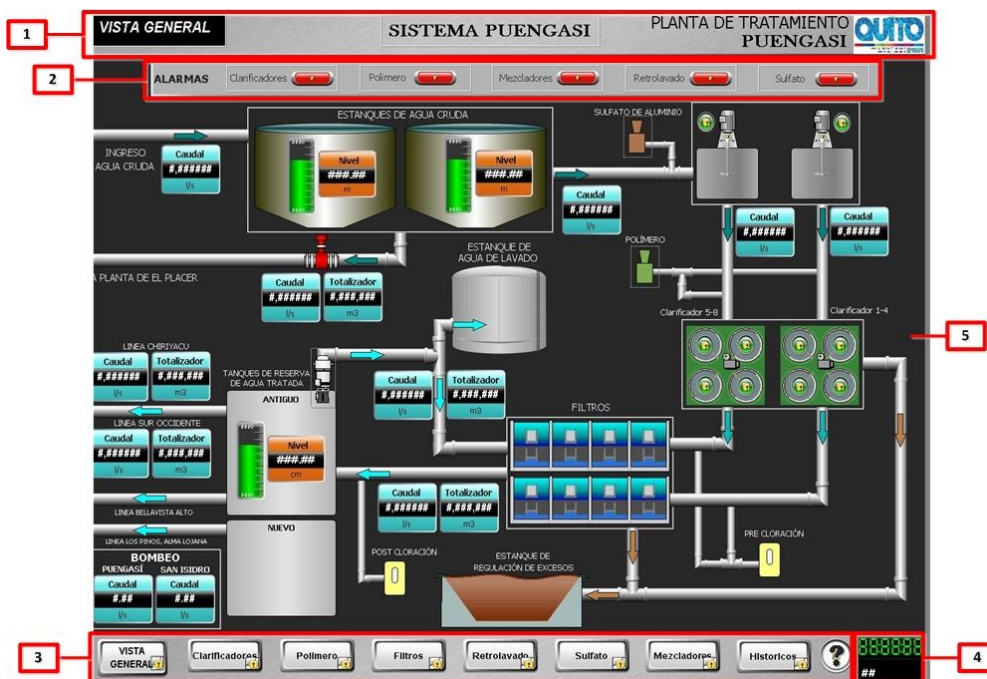


Figura 80. Pantalla de vista general de la planta Puengasí.

Tabla 28

Ítems de la ventana de vista general de la planta Puengasí

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Barra de alarmas
3	Menú de navegación
4	Fecha y hora
5	Mímico

Tabla 29

Ítems en la barra de alarmas


BARRA DE ALARMAS	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica la existencia de alarma en alguna de las áreas intervenidas con el SCADA de la planta Puengasí.

Tabla 30
Items del menú de navegación





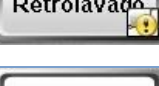
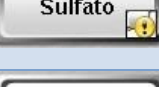
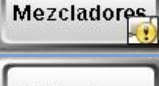







MENÚ DE NAVEGACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Abre un menú donde se elige el despliegue de la pantalla de Vista General Puengasí o Vista General Pita.
	Abre un menú donde se elige el despliegue de la pantalla de Vista General Clarificadores, Clarificadores del 1-4 o Clarificadores del 5-8.
	Abre un menú donde se elige el despliegue de la pantalla de Tanques de Polímero o Dosificación de Polímero.
	Abre un menú donde se elige el despliegue de la pantalla de Vista General de Filtros o Compresores.
	Abre un menú donde se elige el despliegue de la pantalla de Vista General Retrolavado, Bombas de Retrolavado o Información Bombas del sistema nuevo.
	Abre un menú donde se elige el despliegue de la pantalla de Tanques de Sulfato de Aluminio o Dosificación de Sulfato de Aluminio.
	Despliega la pantalla de Mezcladores.
	Abre un menú donde se elige el despliegue de la pantalla de Históricos o Reportes.
	Despliega la pantalla de ayuda.

Tabla 31
Items del mímico de la pantalla de vista general Puengasí

MÍMICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica el caudal de agua que está circulando.
	Indica el total de agua que ha circulado.
	Indica el nivel de agua en los tanques.
	Indica si alguna bomba de Retrolavado está encendida, cuando esta está parpadeando.
	Luz indicadora que está verde cuando los motores están encendidos y roja cuando están apagados.

Vista General - Sistema Pita

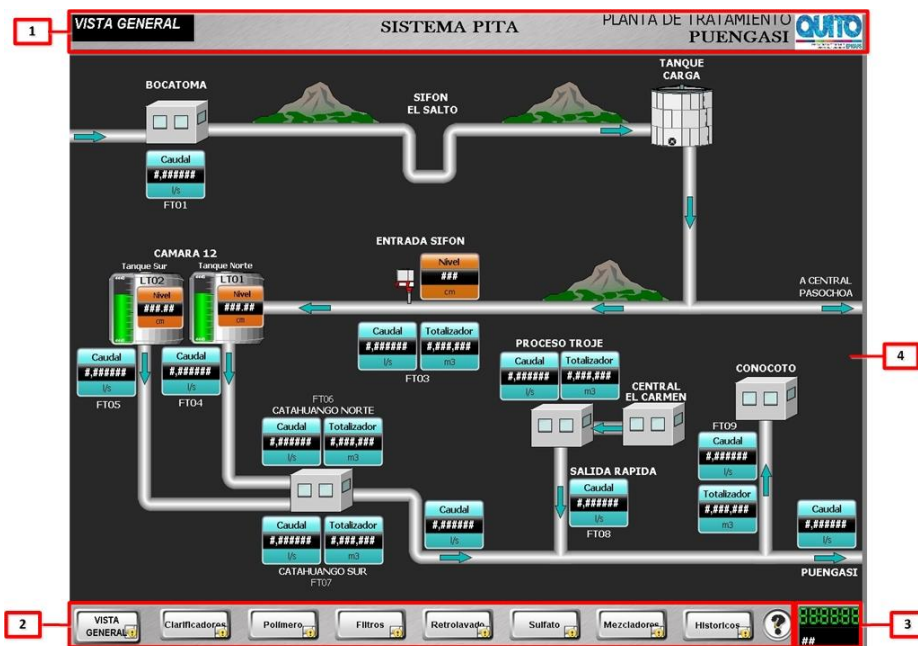


Figura 81. Pantalla de vista general Pita.

Tabla 32
Ítems de la pantalla de vista general Pita

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Mímico

Tabla 33
Ítems del mímico de la pantalla de vista general Pita

MÍMICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica el caudal de agua que está circulando.
	Indica el total de agua que ha circulado.
	Indica el nivel de agua en los tanques.
	Indica el nivel de agua en el sifón.

Clarificadores - Control General

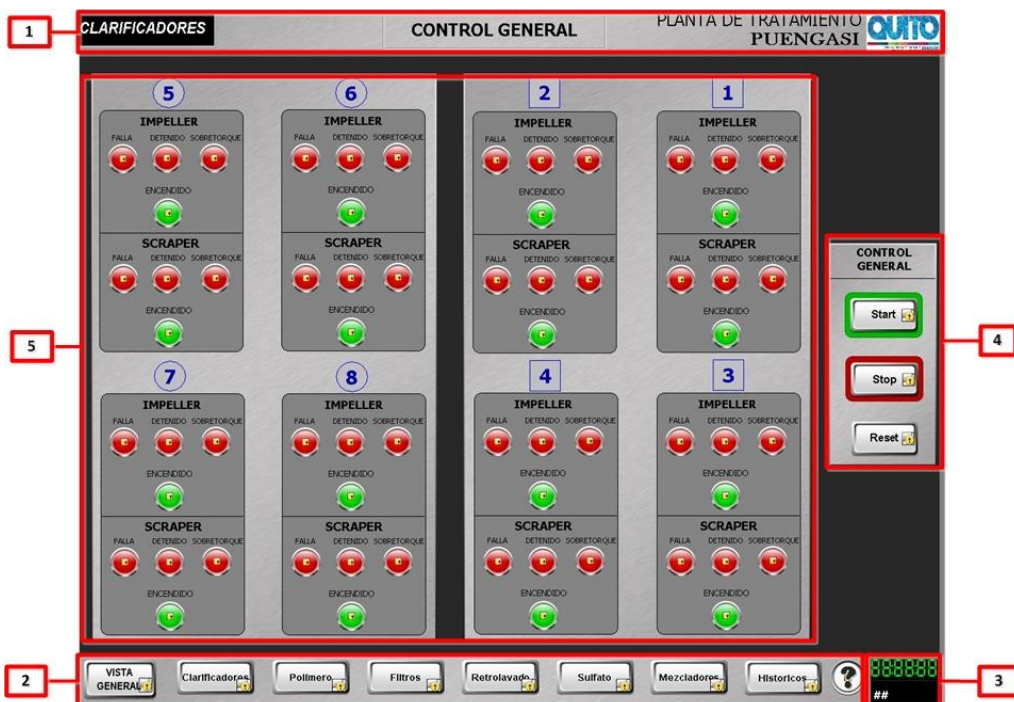


Figura 82. Pantalla de vista general de Clarificadores.

Tabla 34

Items de la pantalla de vista general de Clarificadores

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Menú de control
5	Indicadores de estado del proceso



Tabla 35

Items del menú de control en vista general de Clarificadores

MENÚ DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite encender los motores de los 8 clarificadores.
	Detiene los motores de los 8 clarificadores.
	Permite resetear las fallas en todos los motores.

Tabla 36

Items de indicadores de estado en vista general de Clarificadores

INDICADORES DE ESTADO DE PROCESO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica si el motor está encendido.
	Indica que el motor está detenido, si se produjo alguna falla o si se produjo un sobretorque.

Clarificadores – Control Individual

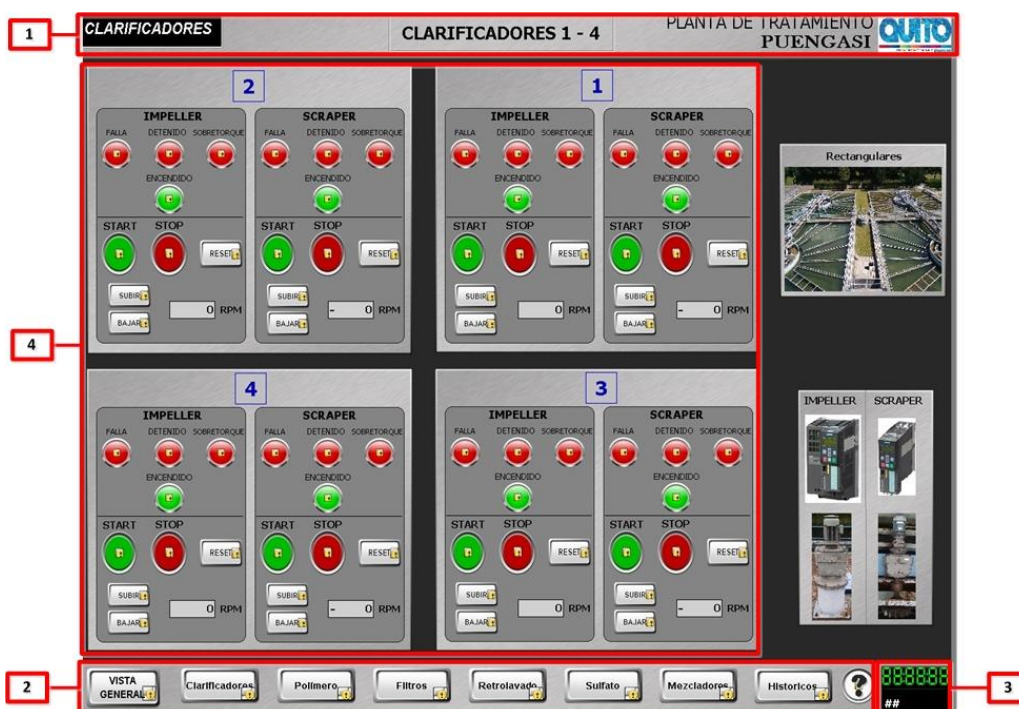


Figura 83. Pantalla de control de Clarificadores.






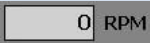
Tabla 37

Items de la pantalla de control de Clarificadores

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Zona de control y visualización

Tabla 38

Items de control y visualización de la pantalla de Clarificadores

ZONA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica si el motor está encendido.
	Indica que el motor está detenido, si se produjo alguna falla o si se produjo un sobretorque.
	Permite incrementar la velocidad del motor.
	Permite reducir la velocidad del motor.
	Permite resetear las fallas en los variadores de frecuencia.
	Indica la velocidad a la que el motor está girando.

Polímero - Tanques

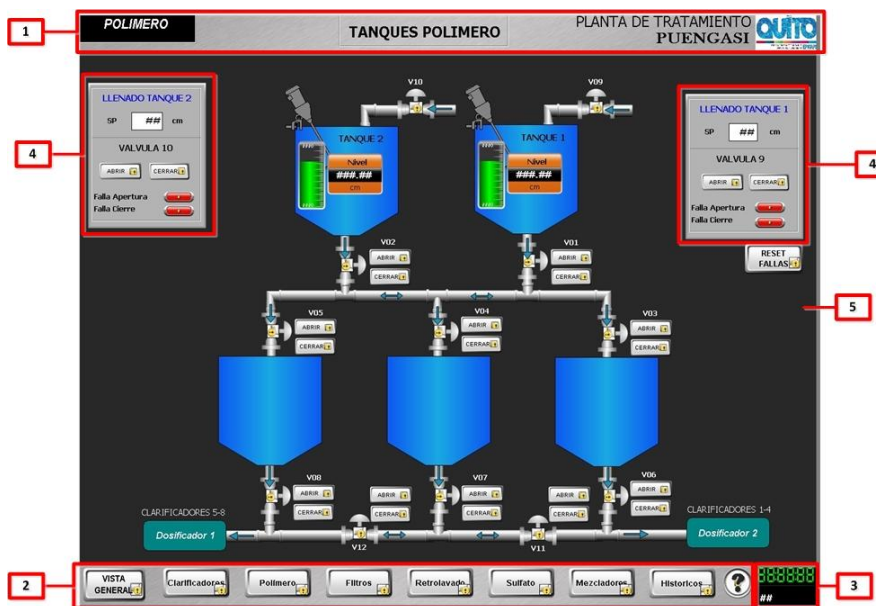


Figura 84. Pantalla de tanques de Polímero.

Tabla 39
Items de la pantalla de tanques de Polímero

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Zona de control
5	Mímico

Tabla 40
Items de la zona de control de la pantalla de tanques de Polímero









ZONA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite ingresar el set point para llenar el tanque de mezcla de polímero.
	Permite abrir la válvula.
	Permite cerrar la válvula
	Indica si hay una falla en la apertura o cierre de la válvula.

Tabla 41
Items del mímico de la pantalla de tanques de Polímero

MÍMICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la válvula está abierta.
	Permite abrir la válvula.
	Permite cerrar la válvula.
	Indica el nivel de fluido en los tanques.

Polímero - Dosificación

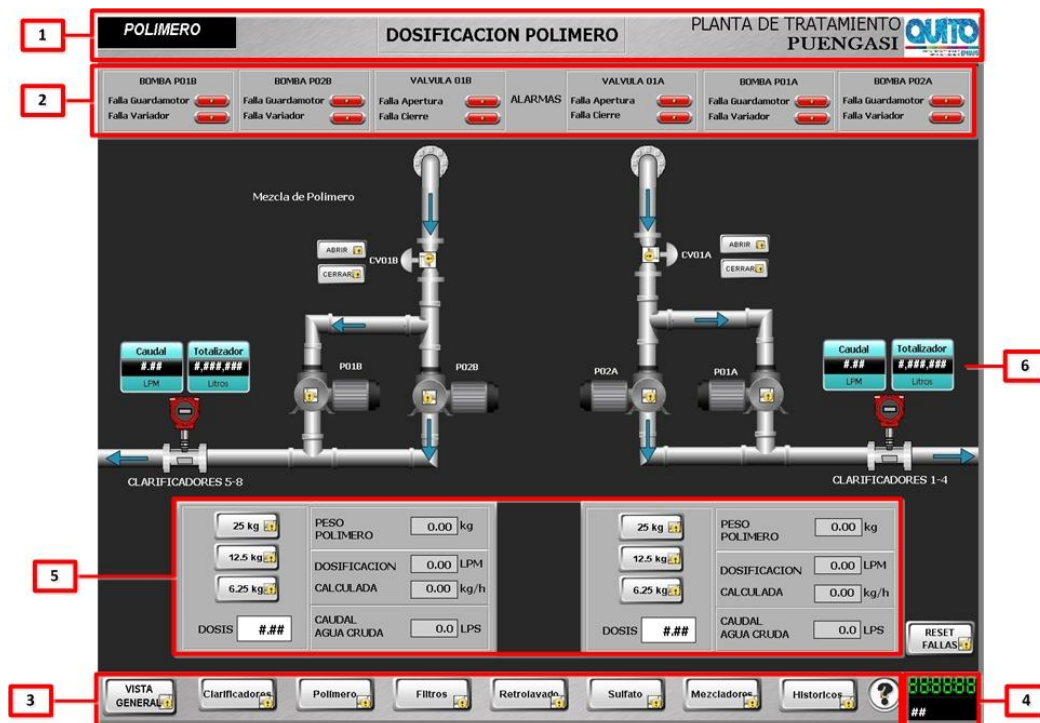


Figura 85. Pantalla de dosificación de Polímero.

Tabla 42
Items de la pantalla de dosificación de Polímero

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Barra de alarmas
3	Menú de navegación
4	Fecha y hora
5	Zona de visualización
6	Mímico

Tabla 43
Items de alarmas de pantalla de dosificación de Polímero


BARRA DE ALARMAS	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica la existencia de alguna falla dentro del proceso, tanto en las bombas como en las válvulas.

Tabla 44
Items de visualización de pantalla de dosificación de Polímero




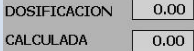


ZONA DE VISUALIZACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite elegir el peso de polvo de Polímero ingresado a los tanques de mezcla para calcular la dosis de Polímero.
	Permite ingresar la dosis deseada para comparación con la calculada.
	Indica el peso de polvo de Polímero ingresado a los tanques de mezcla.
	Indica la dosis de Polímero calculada.
	Indica el caudal de agua cruda que ingresa hacia los clarificadores.
	Permite resetear las fallas existentes dentro del proceso.

Tabla 45
Items del mímico de la pantalla de dosificación de Polímero

MÍMICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la válvula está abierta.
	Permite abrir la válvula.
	Permite cerrar la válvula.
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la bomba esta activada.
	Indica el caudal de mezcla de Polímero que está circulando.
	Indica el total de mezcla de Polímero que ha circulado.

Sulfato - Tanques

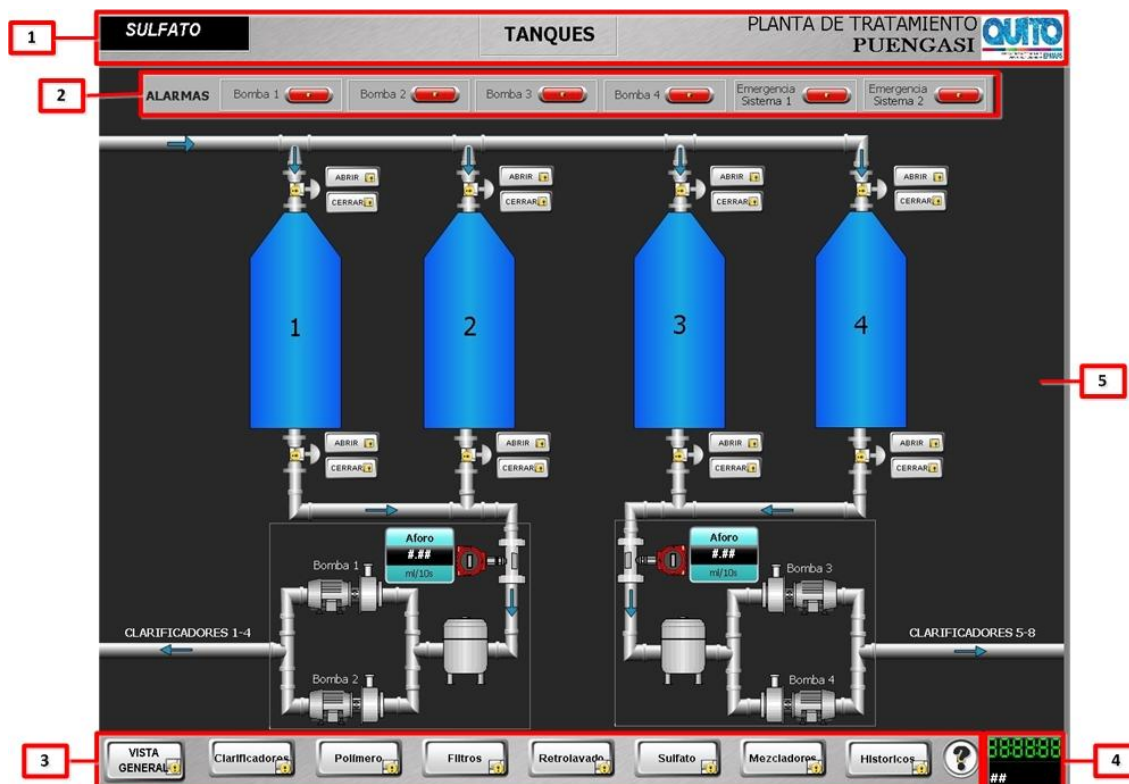


Figura 86. Pantalla de tanques de Sulfato de Aluminio.

Tabla 46
Items de la pantalla de tanques de Sulfato de Aluminio

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Barra de alarmas
3	Menú de navegación
4	Fecha y hora
5	Mímico

Tabla 47
Items de alarmas de la pantalla de tanques de Sulfato






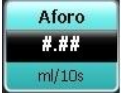
BARRA DE ALARMAS	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica la existencia de alguna falla o emergencia dentro del proceso.

Tabla 48

Items del mímico de la pantalla de tanques de Sulfato de Aluminio

MÍMICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la válvula está abierta.
	Permite abrir la válvula.
	Permite cerrar la válvula.
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la bomba esta activada.
	Indica el aforo de sulfato de aluminio que se dirige hacia los Clarificadores.

Sulfato – Dosificación

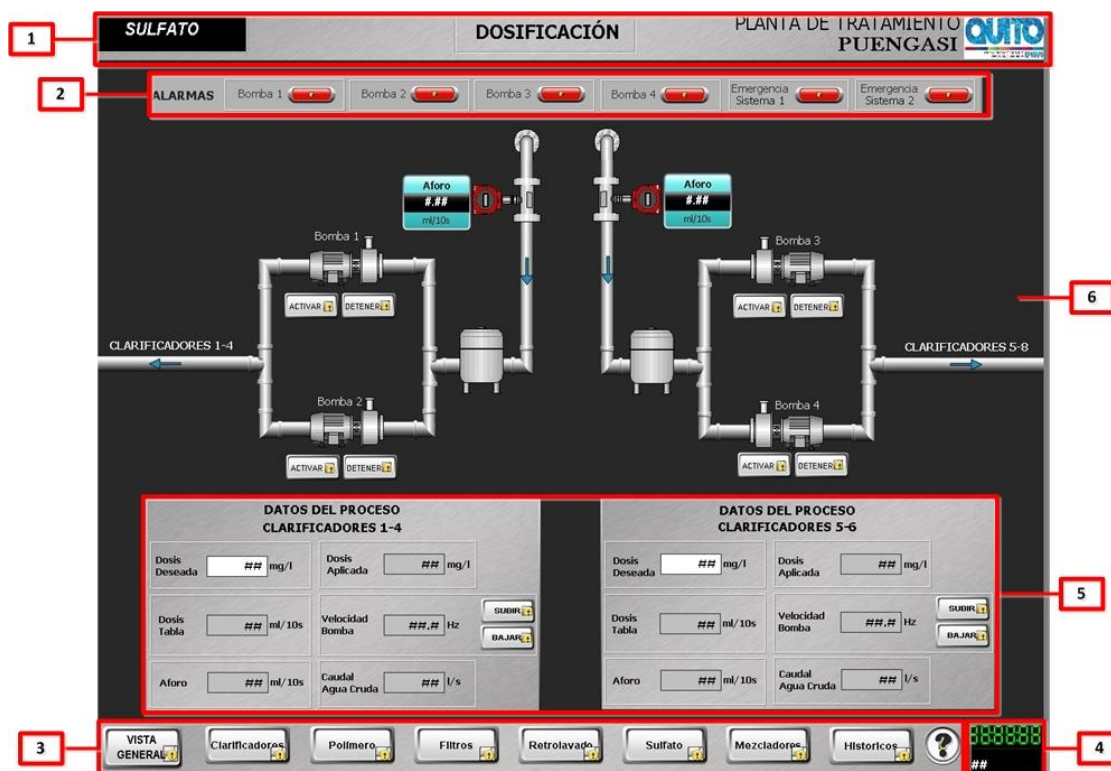


Figura 87. Pantalla de dosificación de Sulfato de Aluminio.

Tabla 49

Items de la pantalla de dosificación de Sulfato de Aluminio

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Barra de alarmas
3	Menú de navegación
4	Fecha y hora
5	Zona de control y visualización

Tabla 50

Items de control y visualización de pantalla de dosificación de Sulfato

ZONA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite ingresar el valor de la dosis que se requiere en el proceso.
	Indica la dosis de acuerdo a cálculos.
	Indica el aforo de sulfato de aluminio que se dirige hacia los Clarificadores.
	Indica la dosis que se aplicó en el proceso.
	Indica la velocidad a la que la bomba está girando.
	Permite incrementar la velocidad de la bomba.
	Permite reducir la velocidad de la bomba.
	Indica el caudal de agua cruda que ingresa hacia los clarificadores.

Tabla 51

Items del mímico de la pantalla de dosificación de Sulfato de Aluminio

MÍMICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite activar la bomba.
	Permite detener la bomba.
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la bomba esta activada.
	Indica el aforo de sulfato de aluminio que se dirige hacia los Clarificadores.

Mezcladores

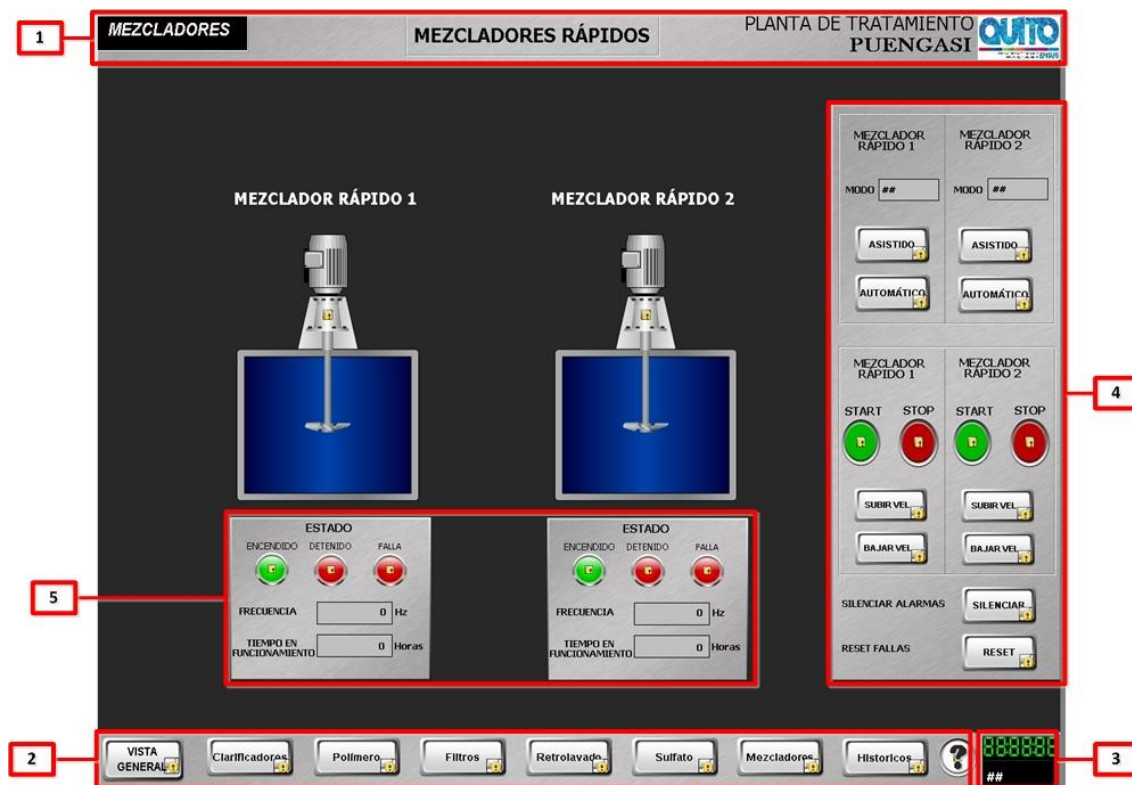


Figura 88. Pantalla de Mezcladores.

Tabla 52
Ítems de la pantalla de Mezcladores

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Zona de control
5	Zona de visualización

Tabla 53
Items de la zona de control de la pantalla de Mezcladores












ZONA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica el modo de operación del proceso.
	Permite poner en modo asistido al proceso.
	Permite poner en modo automático al proceso.
	Permite poner en marcha el mezclador.
	Permite detener el mezclador.
	Permite incrementar la velocidad del mezclador.
	Permite reducir la velocidad del mezclador.
	Permite silenciar las alarmas ocurridas en el proceso.
	Permite resetear las fallas del proceso.

Tabla 54

Items de la zona de visualización de la pantalla de Mezcladores

ZONA DE VISUALIZACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica si el mezclador se encuentra encendido.
	Indica si el mezclador está detenido o en falla.
FRECUENCIA <input type="text"/>	Indica la frecuencia a la que se encuentra funcionando el mezclador.
TIEMPO EN FUNCIONAMIENTO <input type="text"/>	Indica el tiempo en horas que se encuentra funcionando el mezclador.

Retrolavado – Vista General

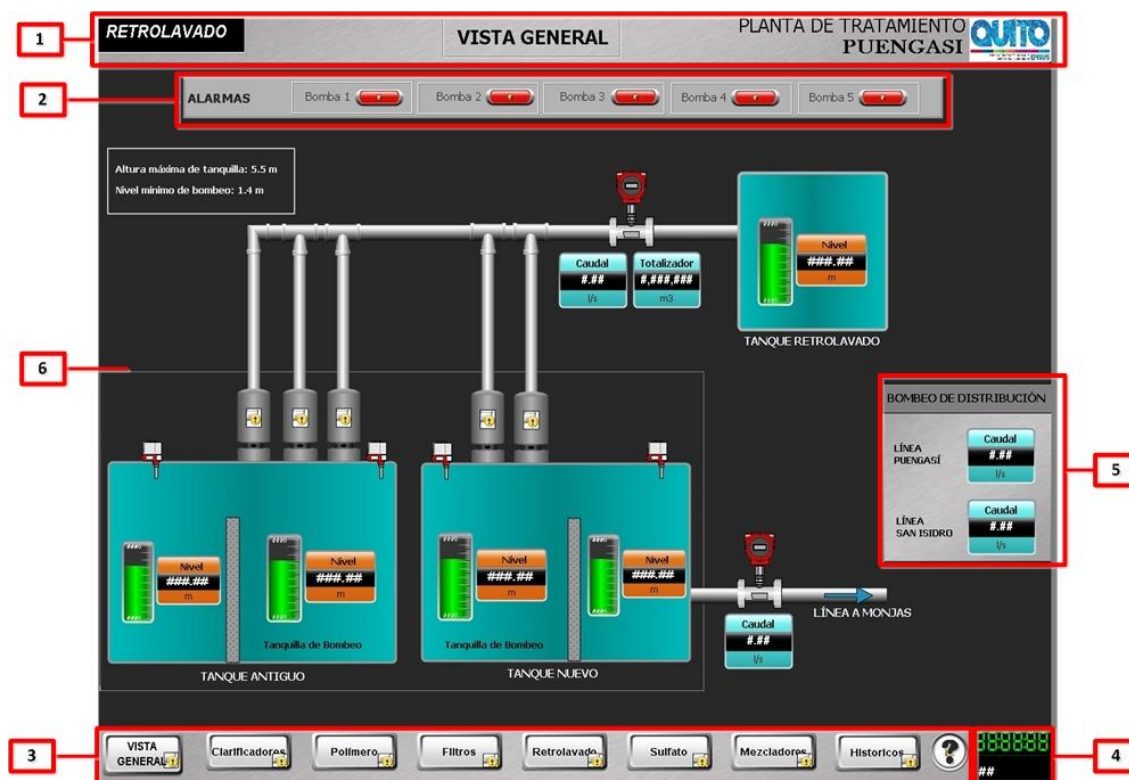


Figura 89. Pantalla de vista general de Retrolavado.

Tabla 55
Items de la pantalla de vista general de Retrolavado

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Barra de alarmas
3	Menú de navegación
4	Fecha y hora
5	Zona de visualización
6	Mímico

Tabla 56

Items de alarmas de la pantalla de vista general de Retrolavado


BARRA DE ALARMAS	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica la existencia de alguna falla o emergencia dentro del proceso.

Tabla 57

Items de visualización de la pantalla de vista general de Retrolavado






ZONA DE VISUALIZACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica el caudal de la línea a Puengasí y de la línea a San Isidro.

Tabla 58

Items del mímico de la pantalla de vista general de Retrolavado

Mímico	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica el nivel de agua en los tanques.
	Indica el caudal de Retrolavado y de la línea a Monjas.
	Indica el total agua a circulado.
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la bomba esta activada.

Retrolavado – Sistema Bombas

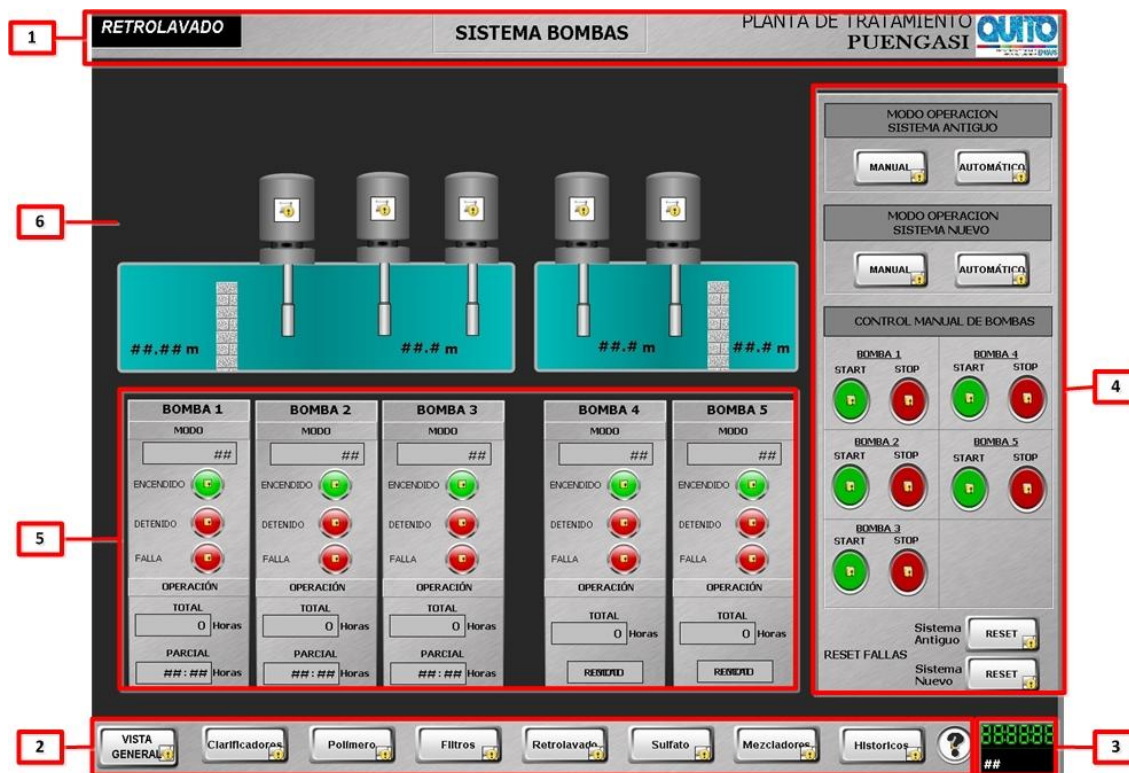


Figura 90. Pantalla de bombas de Retrolavado.

Tabla 59
Items de la pantalla de bombas de Retrolavado

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Zona de control
5	Zona de visualización
6	Mímico

Tabla 60

Items de la zona de control de la pantalla de bombas de Retrolavado






ZONA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite cambiar a modo de operación manual el sistema de Retrolavado tanto el sistema nuevo como el sistema antiguo.
	Permite cambiar a modo de operación automático tanto el sistema nuevo como el sistema antiguo.
	Permite poner en marcha la bomba.
	Permite detener la bomba.
	Permite resetear las fallas tanto del sistema nuevo como del sistema antiguo.

Tabla 61

Items de visualización de la pantalla de bombas de Retrolavado

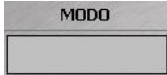



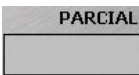

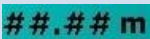
ZONA DE VISUALIZACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica el modo de operación del proceso.
	Indica si la bomba se encuentra encendida.
	Indica si la bomba se encuentra detenida o en falla.
	Indica el tiempo total en horas que ha funcionado la bomba.
	Indica el tiempo parcial que ha funcionado la bomba.

Tabla 62

Items del mímico de la pantalla de bombas de Retrolavado

MÍMICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indicador que se vuelve de color verde cuando la bomba esta activada.
	Indica el nivel de agua en el tanque.

Retrolavado – Información sistema nuevo



Figura 91. Pantalla de información de las bombas de Retrolavado.

Tabla 63

Items de la pantalla de información de las bombas de Retrolavado

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Zona de visualización

Tabla 64

Items de visualización de pantalla de información de Retrolavado

ZONA DE VISUALIZACIÓN	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica la existencia de alguna falla o emergencia dentro del proceso cuando se encuentra de color rojo.
	Indica valores de voltaje, corriente y potencia de las bombas del sistema nuevo de Retrolavado.

Históricos - Histórico

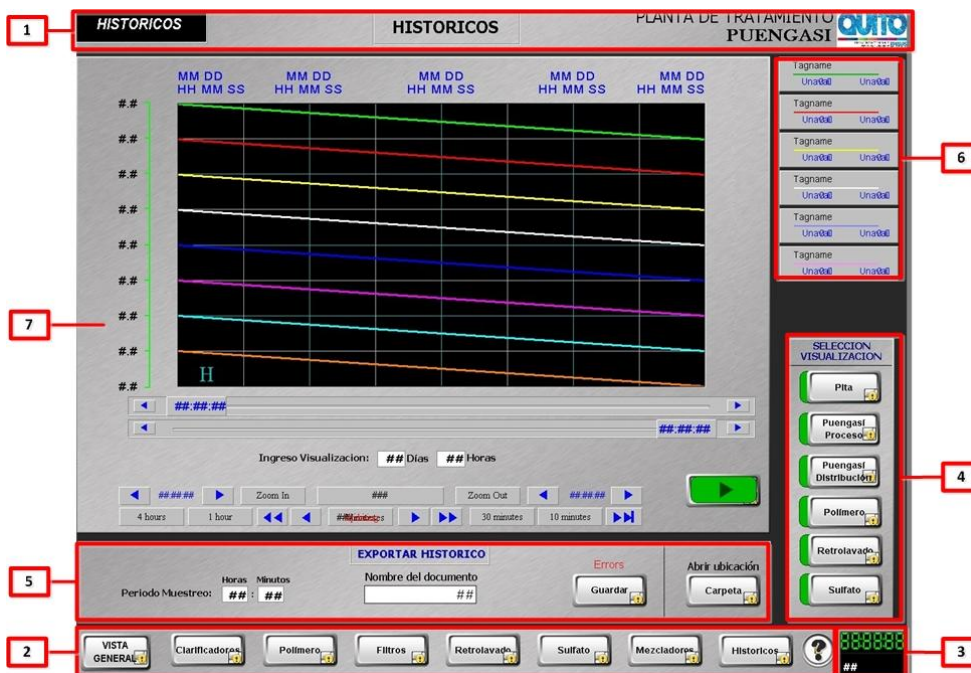


Figura 92. Pantalla de Históricos.

Tabla 65
Items de la pantalla de Históricos

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Zona de control del histórico
5	Zona de control para la exportación de datos
6	Zona de leyendas
7	Histórico

Tabla 66
Items de la zona de control del histórico


ZONA DE CONTROL DEL HISTÓRICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	<p>Permiten elegir el proceso del cual se graficarán las señales.</p>

Tabla 67

Items de la zona de control para exportación de datos del Histórico

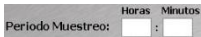
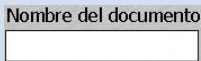


ZONA DE CONTROL PARA LA EXPORTACIÓN DE DATOS	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite ingresar la frecuencia con la que se requiere que se tomen los datos.
	Permite ingresar el nombre del documento a exportar.
	Permite guardar los datos del histórico en un documento de nombre especificado.
	Permite abrir la carpeta donde se encuentra guardado el documento que se exportó.

Tabla 68

Items de la zona de leyendas del Histórico

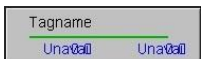


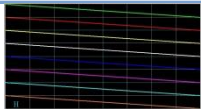
ZONA DE LEYENDAS	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Indica el nombre del dato mostrado en el histórico y su valor actual.

Tabla 69

Items del Histórico

HISTÓRICO	
ITEM	DESCRIPCIÓN
	Permite ingresar el tiempo en el que se requiere observar los datos dentro del Trend del histórico.
	Permite activar la visualización de los datos en tiempo real dentro del Trend del histórico.
	Trend de histórico donde se grafican los datos

Históricos - Reporte

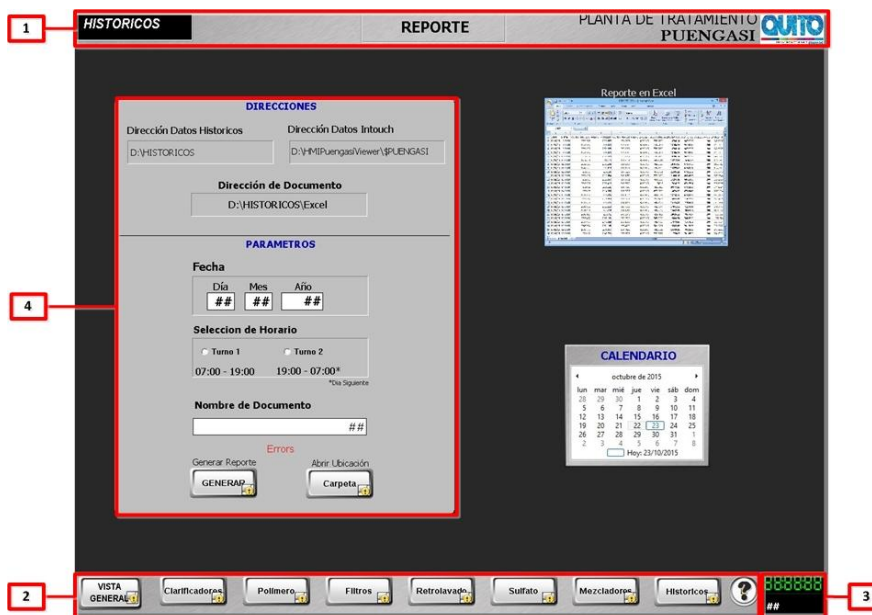


Figura 93. Pantalla de reporte del Histórico.

Tabla 70
Items de la pantalla de reporte del Histórico

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Título de la ventana
2	Menú de navegación
3	Fecha y hora
4	Zona de control

Tabla 71
Items de la zona de control de la pantalla de reporte del Histórico

ZONA DE CONTROL	
ITEM	DESCRIPCIÓN
Fecha Día Mes Año <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Permite ingresar la fecha de la que se requieren tomar los datos.
Selección de Horario <input type="radio"/> Turno 1 <input type="radio"/> Turno 2 07:00 - 19:00 19:00 - 07:00	Permite seleccionar el turno en el que se requiere generar el reporte.
Nombre del documento <input type="text"/>	Permite ingresar el nombre del documento a generar.
<input type="button" value="GENERAR"/>	Permite generar el documento con los datos del histórico.
<input type="button" value="Carpeta"/>	Permite abrir la carpeta donde se generó el reporte.

5.7. Sistema de comunicación

5.7.1. Layout de la Red Implementada

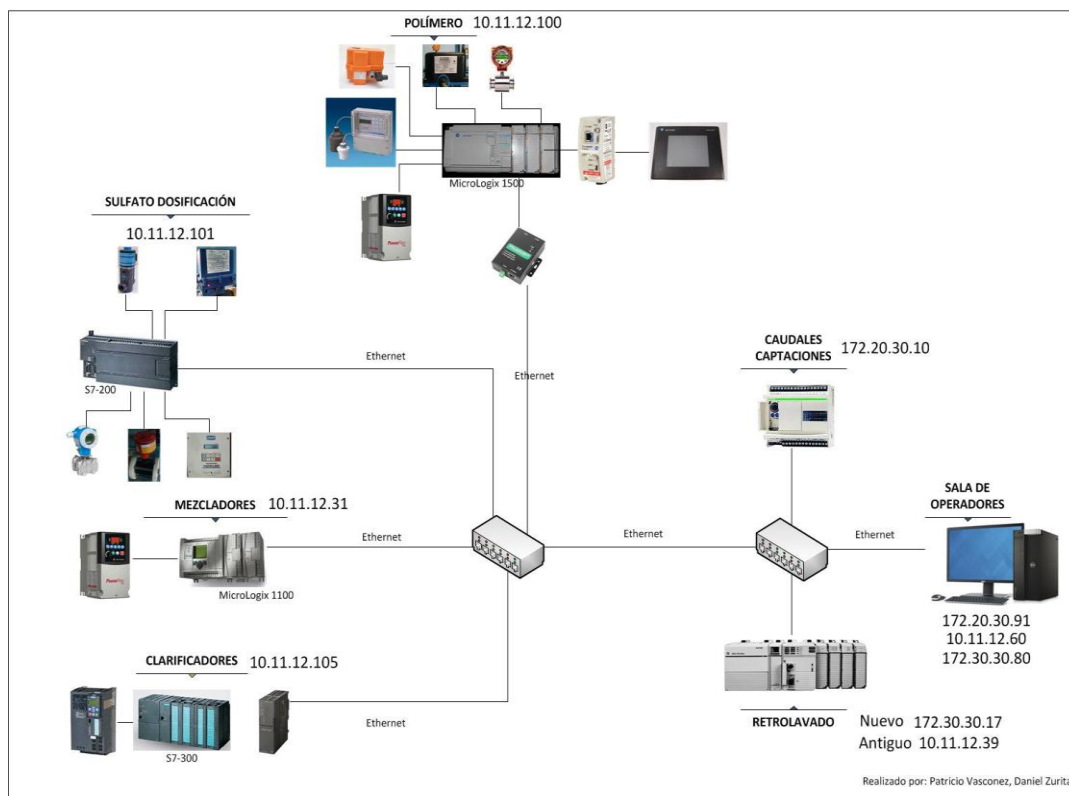


Figura 94. Red implementada mediante Ethernet.

Tabla 72
Tabla de direcciones IP

Área	Equipo	Dirección IP	Mascara
Polímero	Convertor Serial-Ethernet	10.11.12.100	255.255.0.0
Clarificadores	PLC S7-300	10.11.12.105	255.255.0.0
Mezcladores	PLC MicroLogix 1100	10.11.12.31	255.255.0.0
Retrolavado	PLC CompactLogix	10.11.12.39	255.255.0.0
	Pantalla Inview	10.11.12.35	255.255.0.0
	Pantalla Inview	10.11.12.36	255.255.0.0
	PLC Modicon M340	172.30.30.17	255.255.0.0
Sala de Operadores	Computadora antigua	10.11.12.37	255.255.0.0
	Computadora nueva	10.11.12.60	255.255.0.0
	PanelView Plus 600	10.11.12.32	255.255.0.0

5.7.2. Configuración de Servidores para el Sistema de Comunicación

Para establecer la comunicación con los procesos intervenidos en este proyecto es necesario realizar la configuración de los medios de comunicación, para comunicar el SCADA con las áreas de Sulfato de Aluminio y de Clarificadores, los cuales poseen los PLCs, Siemens S7-200 y Siemens S7-300 respectivamente, se utilizó el servidor SIDirect DAServer 3.0, perteneciente a Wonderware. Por otro lado para comunicar el SCADA con el área de Polímero, donde se posee el PLC MicroLogix 1500 se utilizó el software RSLinx Classic perteneciente a Rockwell Automation, debido a que este PLC de momento no posee un módulo de comunicación Ethernet, por lo cual no se pudo establecer una comunicación por medio de un servidor del System Management Console, como en los dos casos anteriores, por lo que se estableció la comunicación con el PLC de este proceso por medio de una comunicación RS-232 del RSLinx.

- **SIDirect DAServer 3.0**

Primeramente se debe abrir el programa System Management Console, el cual debe estar instalado. Se debe también instalar el servidor que servirá para la comunicación que en este caso es SIDirect DAServer 3.0.

Configuración para el PLC S7-200

Una vez descargado e instalado el servidor, este aparecerá dentro de la pestaña DAServer Manager del System Manager Console. Primeramente se ubica en el servidor presionando clic izquierdo sobre el mismo, donde aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 95.

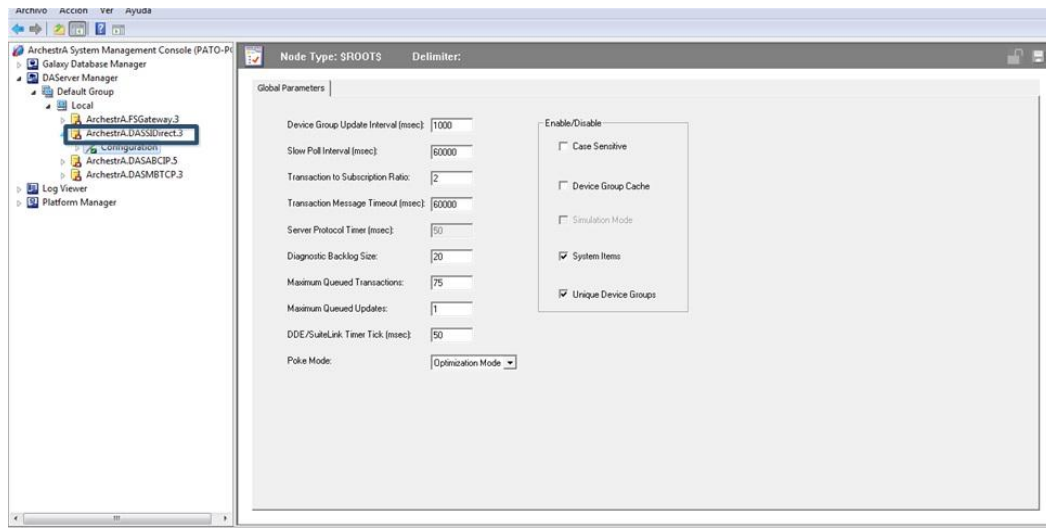


Figura 95. Ventana DASSIDirect.

Luego de desplegar las opciones dentro del DASSIDirect, aparecerá la opción de Configuración, se presiona clic derecho sobre la Configuración y aparecerán varias opciones. Una vez aparezcan, se presiona clic izquierdo sobre Add PortCpS7 Object.

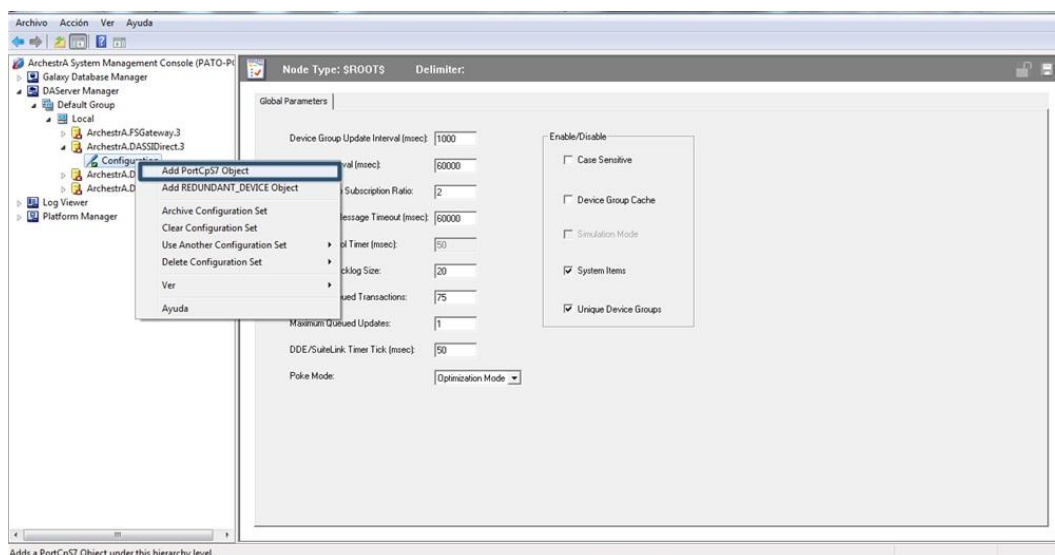


Figura 96. Opciones de configuración del DASSIDirect.

Luego de ser añadido este objeto, aparecerá dentro de la Configuración. Se presiona clic derecho sobre este objeto y aparecerán varias opciones, como el PLC que se va a comunicar es el Siemens S7-200, se presiona clic izquierdo sobre la opción Add S7CP_200 Object.

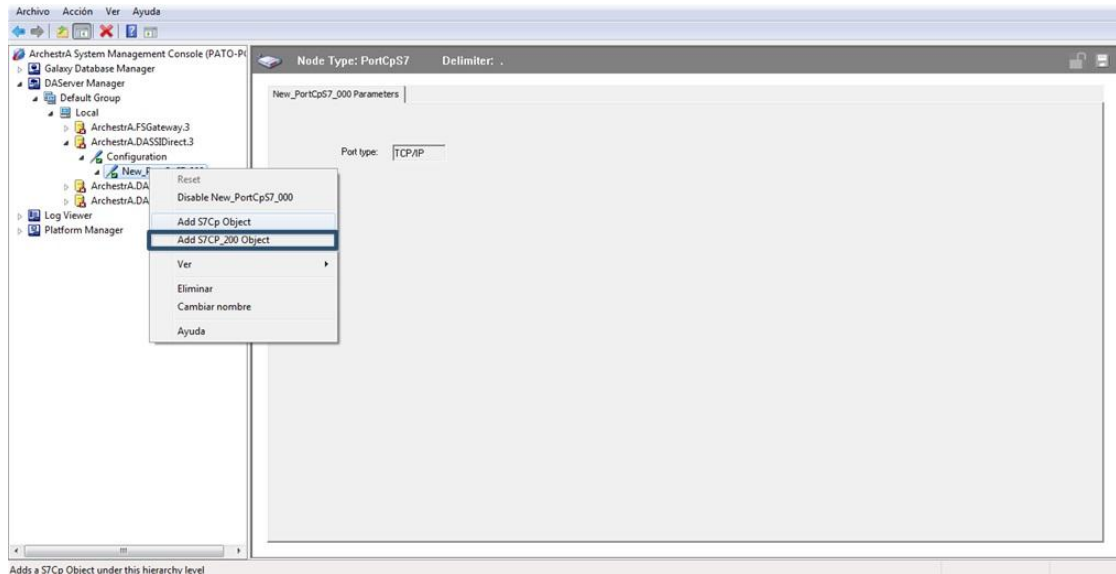


Figura 97. Añadiendo objeto para comunicación con el PLC S7-200.

Este objeto se añadirá dentro del objeto añadido anteriormente, se presiona clic izquierdo sobre este nuevo objeto, lo cual mostrará la ventana que aparece en la Figura 98. En esta ventana se debe ingresar la dirección IP del PLC S7-200 dentro del recuadro que dice Network Address.

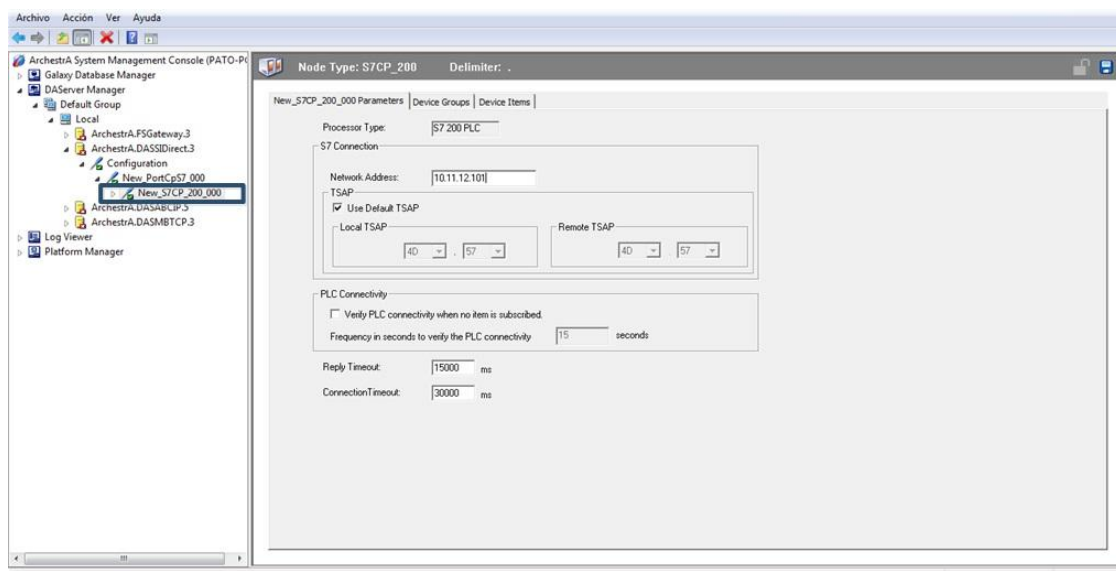


Figura 98. Configuración del objeto S7CP_200.

Además, dentro de la ventana del objeto S7CP_200 existen tres pestañas en la parte superior. Se ingresa en la pestaña Device Groups presionando clic izquierdo sobre esta pestaña, aparecerá entonces una tabla donde se debe añadir un Topic Name que servirá para la comunicación

con la interfaz de InTouch, para esto se presiona clic derecho sobre esta tabla, lo cual mostrará la opción de Add y se presiona clic izquierdo sobre la opción para añadir.

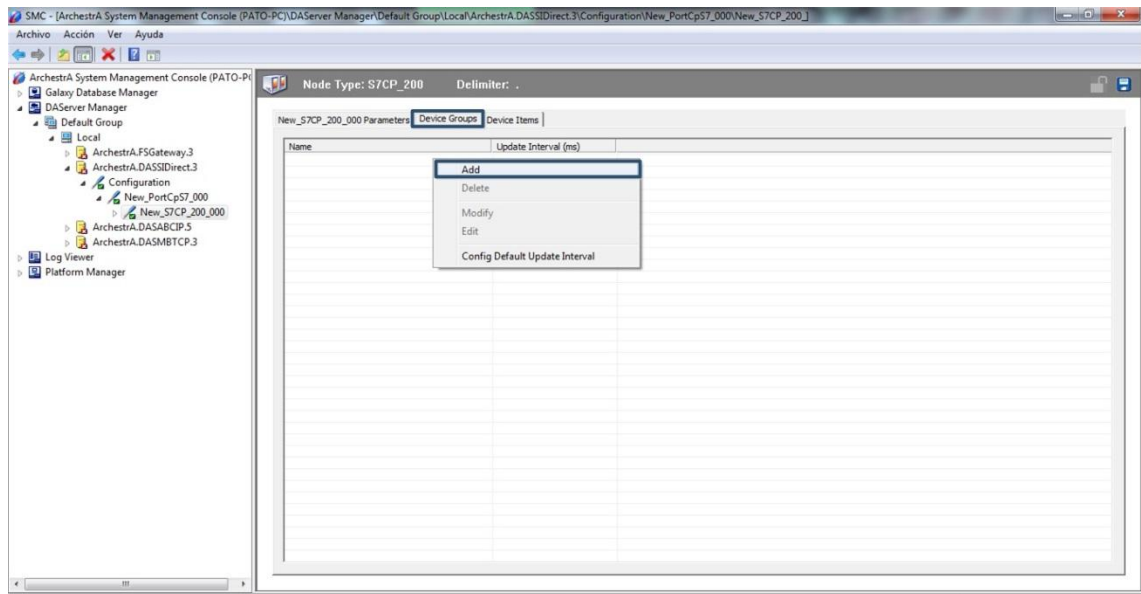


Figura 99. Agregar un Topic Name a objeto S7CP_200.

Al momento de añadir aparece en el primer cuadro de la tabla, donde se debe elegir el nombre del Topic Name, el cual es el que se referirá desde la interfaz InTouch.

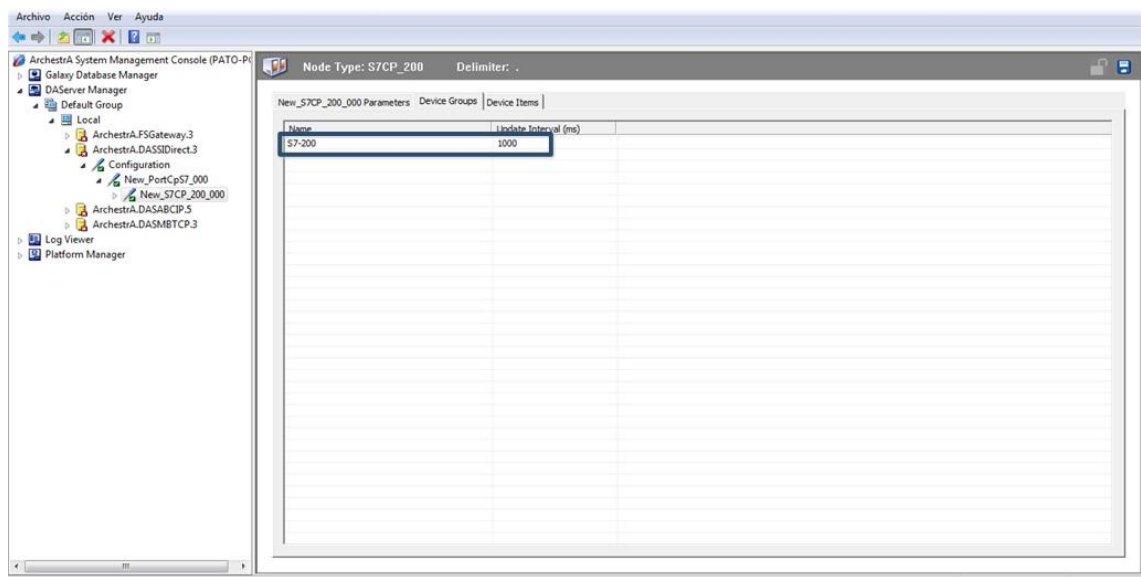


Figura 100. Asignación de un nombre al Topic Name.

Configuración para el PLC S7-300

De igual manera al caso anterior, primeramente se ubica en el servidor presionando clic izquierdo sobre el mismo, donde aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 101.

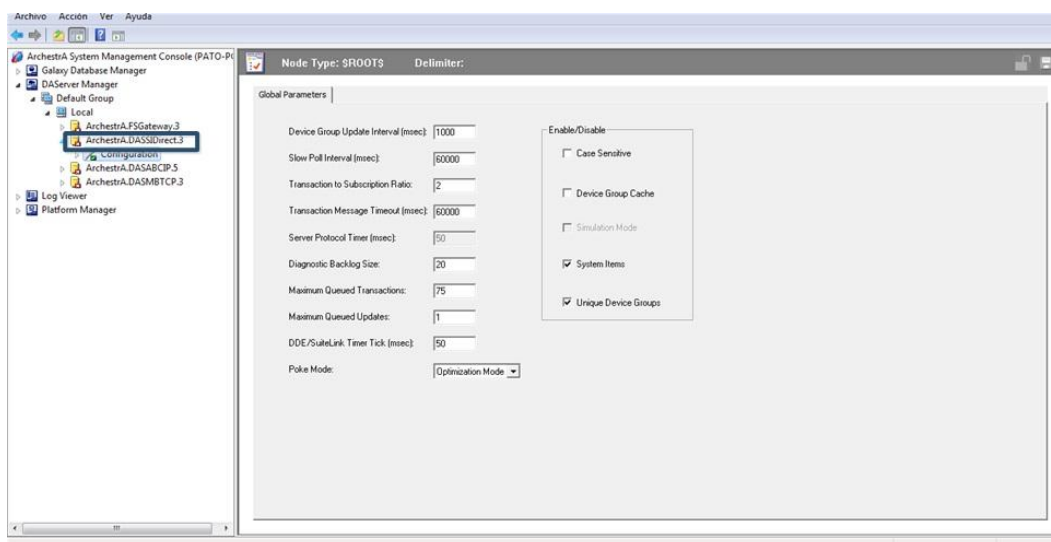


Figura 101. Ventana del DASSIDirect.

Luego de desplegar las opciones dentro del DASSIDirect, aparecerá la opción de Configuración, se presiona clic derecho sobre la Configuración y aparecerán varias opciones. Una vez aparezcan, se presiona clic izquierdo sobre Add PortCpS7 Object.

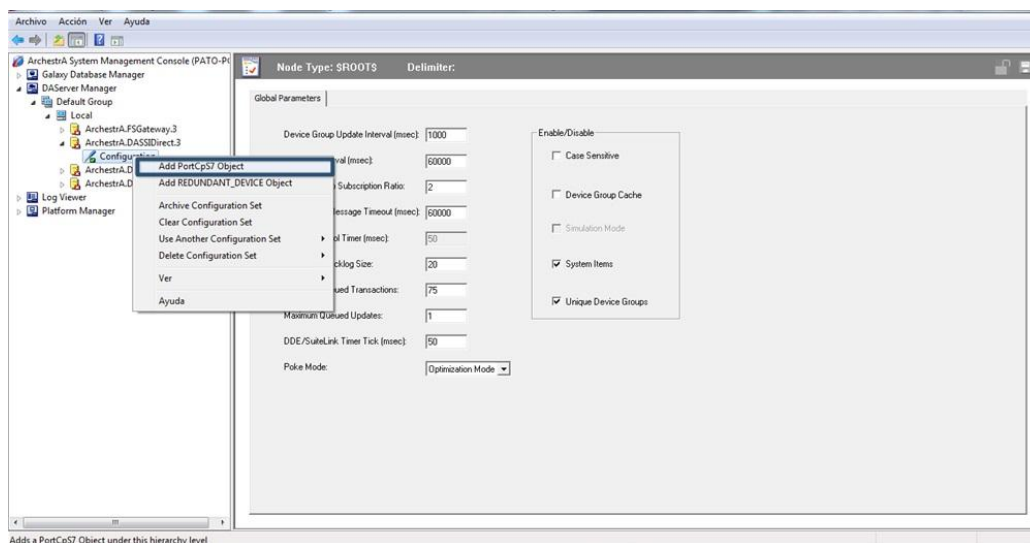


Figura 102. Opciones de configuración del DASSIDirect.

Luego de ser añadido este objeto, aparecerá dentro de la Configuración. Se presiona clic derecho sobre este objeto y aparecerán varias opciones, como el PLC que se va a comunicar es el Siemens S7-300, se presiona clic izquierdo sobre la opción Add S7Cp Object.

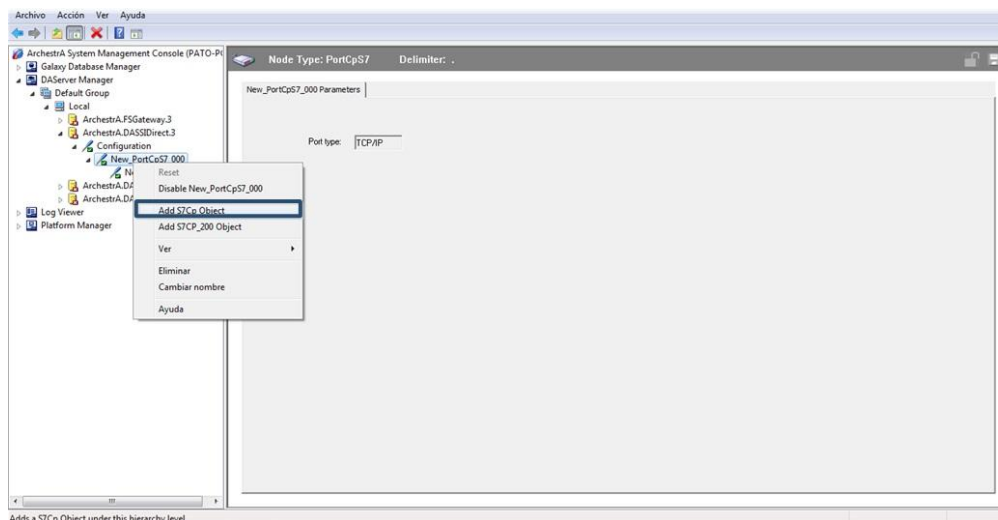


Figura 103. Añadiendo objeto para comunicación con el PLC S7-300.

Este objeto se añadirá dentro del objeto añadido anteriormente, se presiona clic izquierdo sobre este nuevo objeto, lo cual mostrará la ventana que aparece en la Figura 128. En esta ventana se debe ingresar la dirección IP del PLC S7-300 dentro del recuadro que dice Network Address, además en la opción de Remote Slot No. se debe ingresar el número de slot donde se encuentra ubicado el CPU del PLC en el rack.

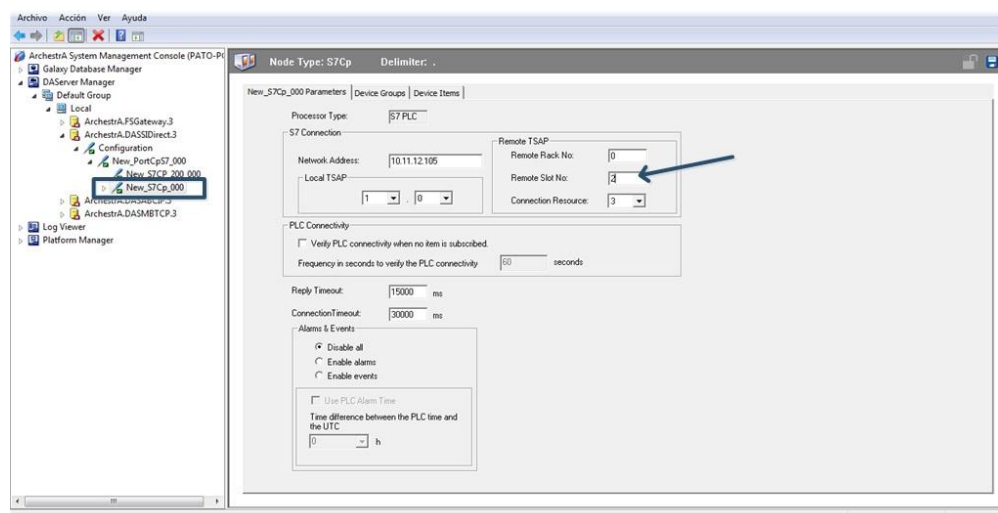


Figura 104. Configuración del objeto S7Cp.

Además, dentro de la ventana del objeto S7Cp existen tres pestañas en la parte superior. Se ingresa en la pestaña Device Groups presionando clic izquierdo sobre esta pestaña, aparecerá entonces una tabla donde se debe añadir un Topic Name que servirá para la comunicación con la interfaz de InTouch, para esto se presiona clic derecho sobre esta tabla, lo cual mostrará la opción de Add y se lo presiona con clic izquierdo.

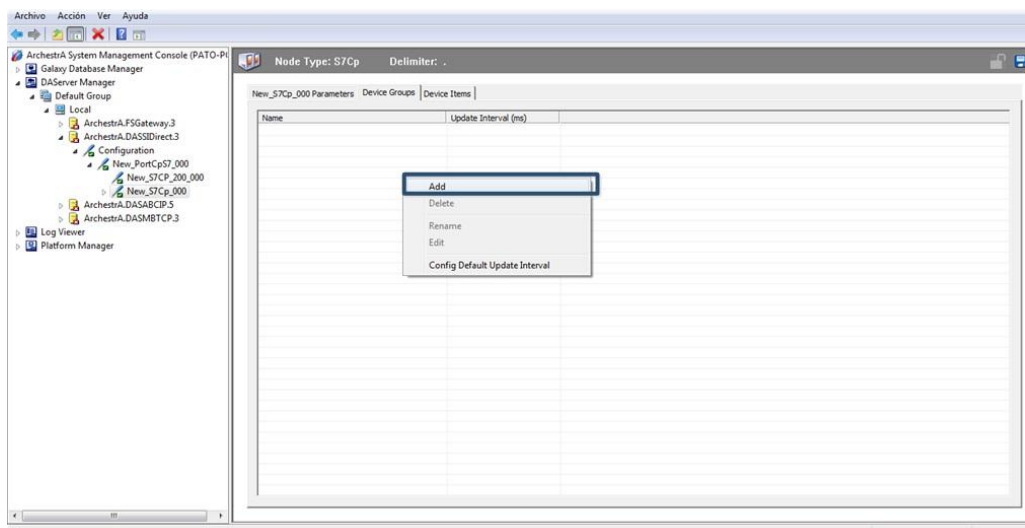


Figura 105. Agregar un Topic Name a objeto S7Cp.

Al momento de añadir aparece en el primer cuadro de la tabla, donde se debe elegir el nombre del Topic Name, el cual es el que se referirá desde la interfaz InTouch.

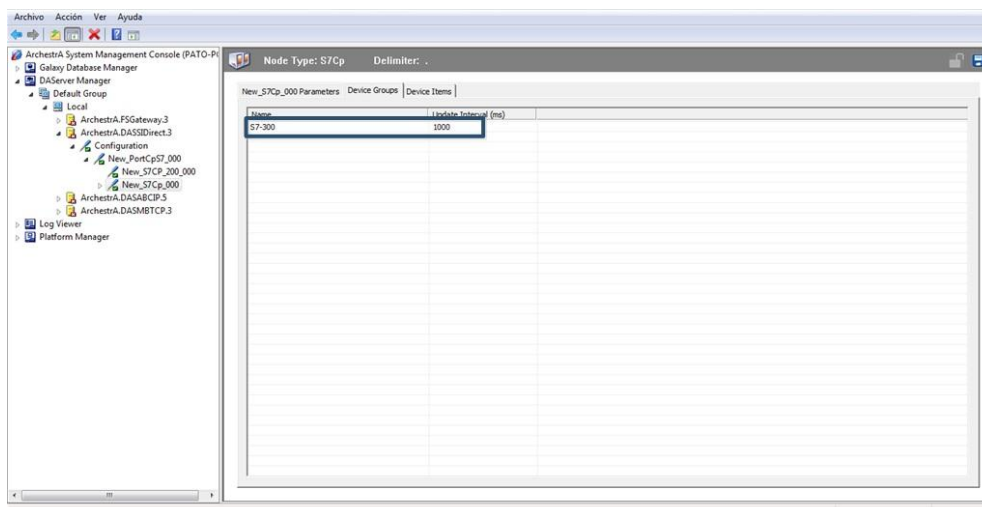


Figura 106. Asignación de un nombre al Topic Name.

- **RSLinx**

Primeramente se abre el programa RSLinx, lo cual desplegará una ventana como la mostrada en la Figura 107.

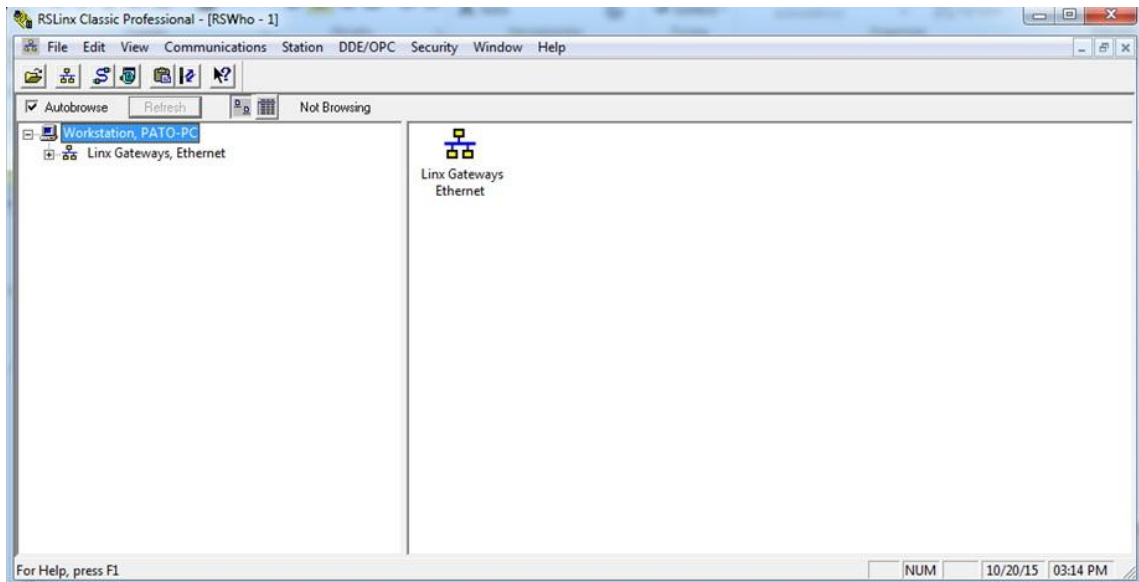


Figura 107. Ventana del programa RSLinx.

En la parte superior de la ventana se encuentra el menú de opciones, se presiona clic izquierdo sobre la pestaña de Communications, aparecerán varias opciones y se presiona clic izquierdo sobre Configure Drivers.

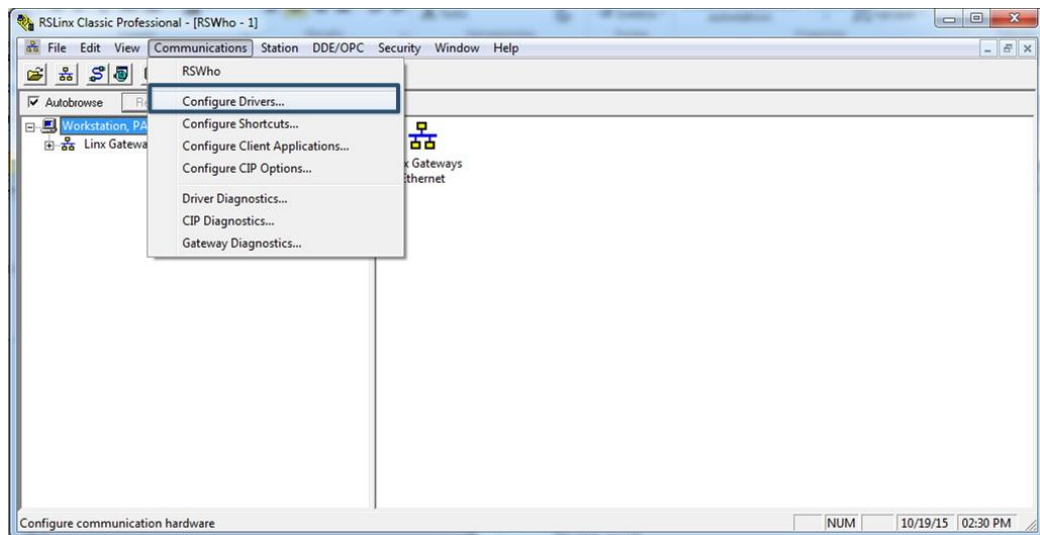


Figura 108. Ventana del software RSLinx.

Entonces aparecerá una nueva ventana la cual permite escoger el tipo de comunicación a establecerse. Dentro de esta ventana en la parte superior existe la opción de Available Driver Types, se despliegan estas opciones presionando clic izquierdo sobre el espacio en blanco y se elige el tipo de comunicación que se va a establecer. En este caso se elige la opción de RS-232 DF1 devices y se presiona sobre el botón de Add New para añadir.

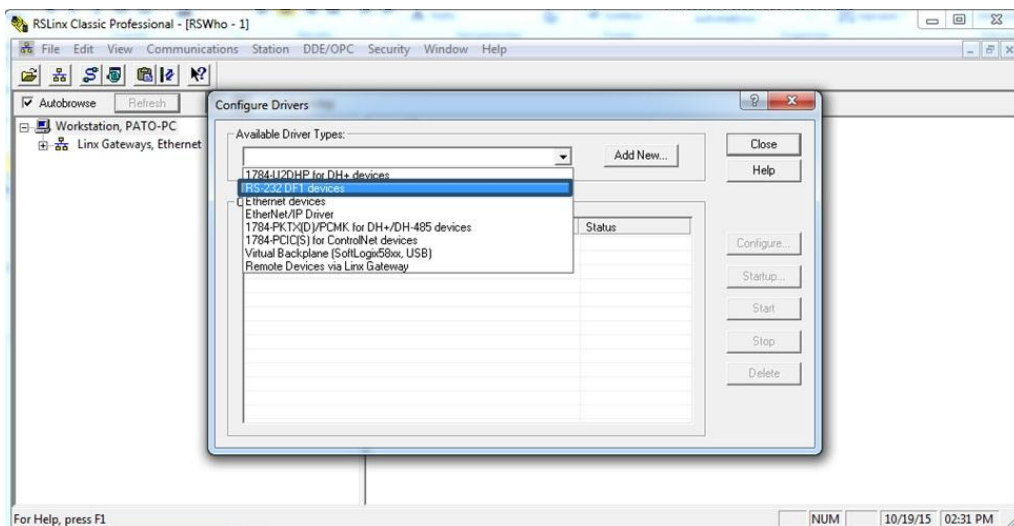


Figura 109. Añadiendo el tipo de comunicación.

Aparecerá una pequeña ventana donde se puede elegir el nombre de esta comunicación añadida, o si se prefiere se puede dejar con el nombre predefinido por el software, se presiona clic sobre el botón OK.

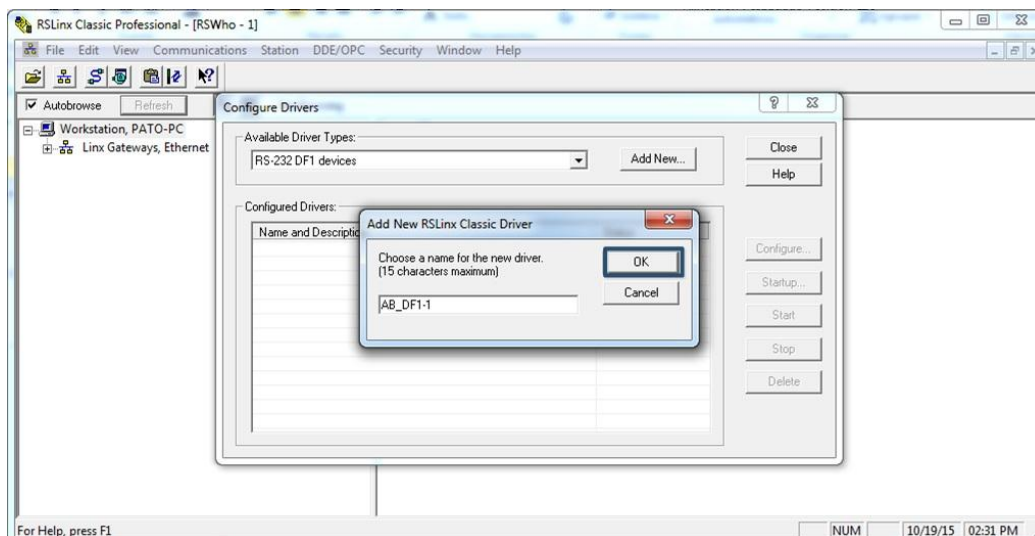


Figura 110. Definiendo el nombre de la comunicación.

Finalmente aparecerá una nueva ventana como la que se muestra en la Figura 135, la cual permite realizar la configuración de la comunicación. Dentro de esta ventana se debe primero elegir el dispositivo a comunicar, para esto se presiona clic izquierdo sobre el espacio en blanco de Device, en este caso se le ha dejado el predefinido, luego de esto se elige el puerto Comm al que está conectado este dispositivo, presionando clic izquierdo sobre el espacio en blanco de Comm Port. Además en el recuadro de Station Number se coloca el slot donde se encuentra el CPU del PLC. Finalmente se presiona clic sobre el botón de Auto-Configure, cuando se ha realizado correctamente la configuración en la parte derecha de Auto-Configure se indicará que la configuración ha sido exitosa.

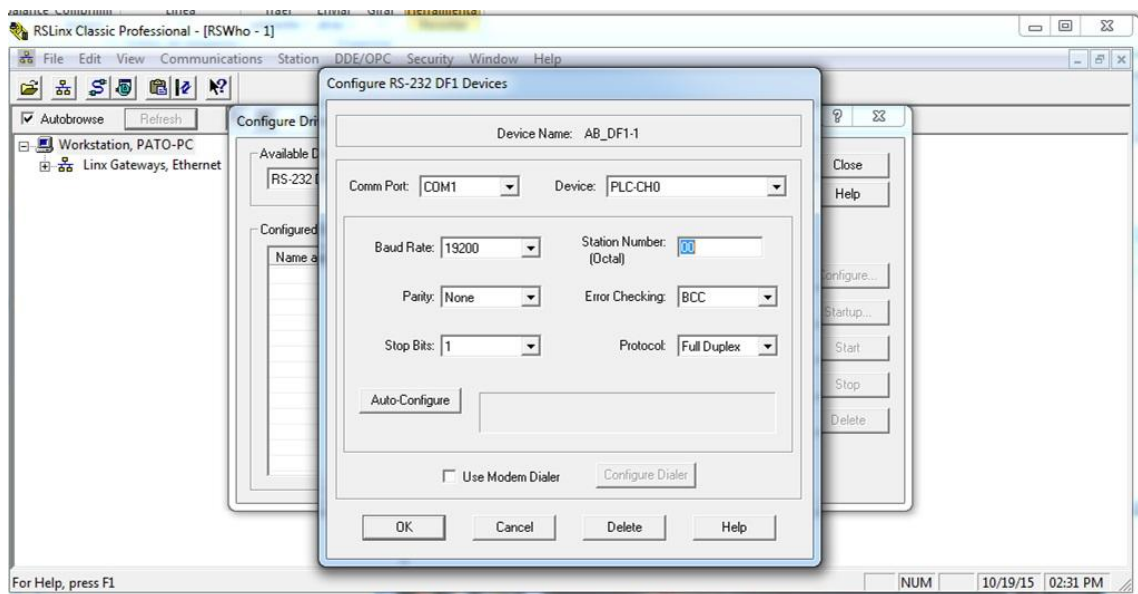


Figura 111. Configurando la comunicación con el PLC.

5.8. Implementación de Históricos

5.8.1. Manejo de Históricos en InTouch

InTouch tiene la capacidad de manejar datos tanto en tiempo real como en históricos. Cuando una aplicación en InTouch está siendo ejecutada, algunos tags de datos pueden ser almacenados y guardados permanentemente en el disco duro en archivos de datos Históricos .IDX y .LGH, cada vez que exista un cambio en el valor del respectivo tag.

El archivo .LGH contiene los datos almacenados en un formato tipo base de datos y el archivo .IDX contiene un índice de los datos.

Cada 24 horas se van creando estos archivos para almacenar los datos con un ciclo que empieza y termina a la media noche. Es decir que se cuenta con un par de archivos conteniendo los datos de un día entero.

El diagrama de comportamiento del sistema de históricos se lo indica a continuación.

Fuente: Invensys Systems, Inc. (2007). InTouch HMI Data Management Guide

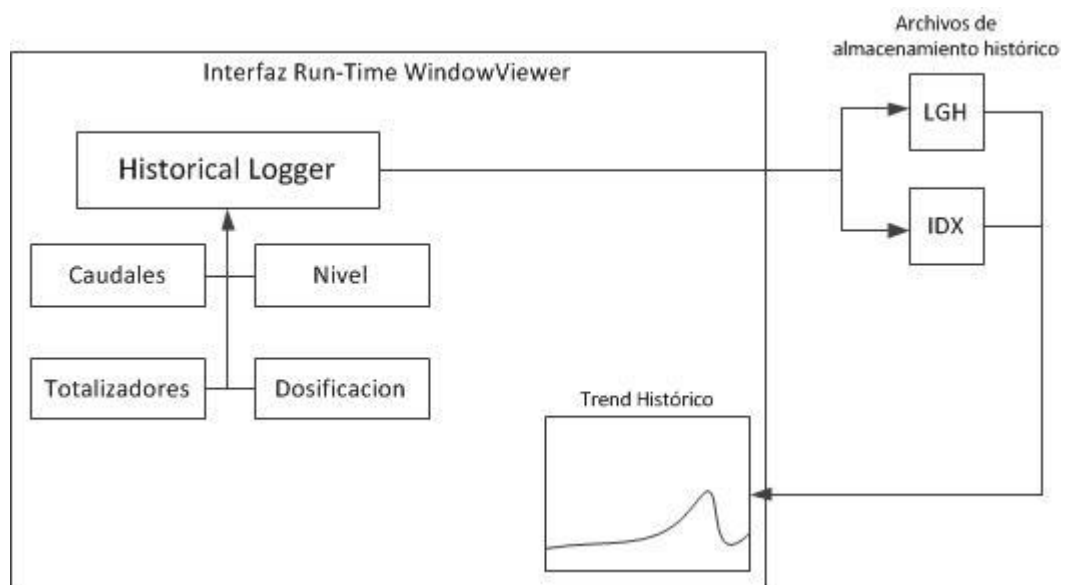


Figura 112. Diagrama de comportamiento Históricos.

5.8.2. Configuración de Almacenamiento de Históricos en InTouch

En InTouch es necesario realizar dos configuraciones para utilizar Históricos.

- Configurar las propiedades generales para almacenamiento en la aplicación InTouch
- Configurar los tags para almacenamiento Histórico.

Configuración de propiedades generales

Es necesario activar y configurar las propiedades que van a ser utilizadas en la aplicación de InTouch.

Para realizarlo es necesario abrir la ventana “Historical Logging Properties”, la cual se encuentra en el la barra de herramientas del Window Maker, seleccionando las siguientes opciones: Special >> Configure >> Historical Logging.

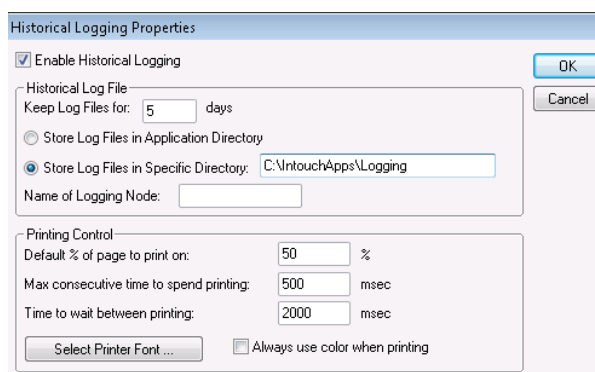


Figura 113. Configuración propiedades de almacenamiento

En esta ventana se tiene que realizar lo siguiente:

Primero se debe activar la casilla “Enable Historical Logging”. A continuación se debe ingresar la cantidad de días que se desea mantener los datos Históricos, en el proyecto se ingresó 365 días para que se mantengan los datos por un año.

Por último se debe seleccionar una ubicación en el disco duro donde se desea que se almacenen estos datos. La ubicación seleccionada es “D:\HISTORICOS”.

Configuración de los Tags

Los tags requeridos para ser utilizados como históricos se los tiene que configurar a través del “Tagname Dictionary”.

Para activar el almacenamiento se tiene que activar la casilla “log Data”, la cual indicara a InTouch que este dato se tiene que ir almacenando.

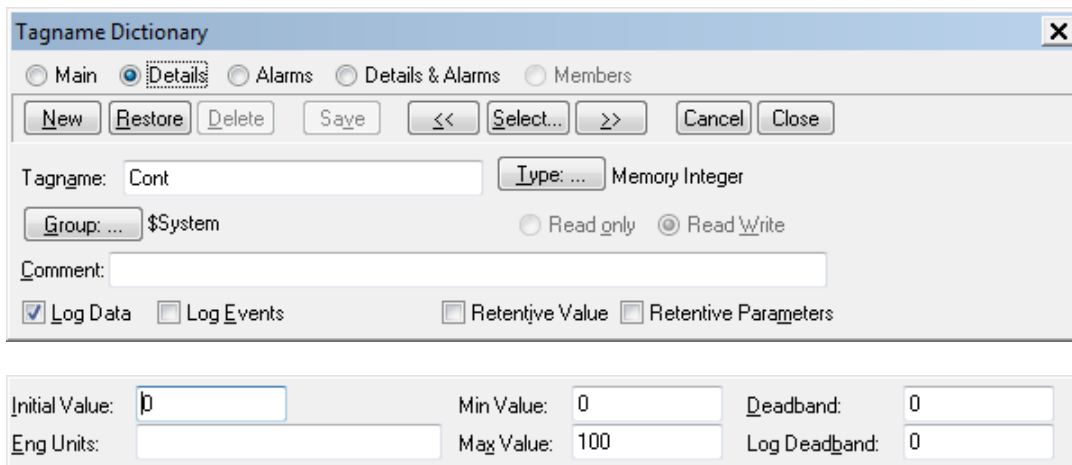


Figura 114. Configuración de tags para Históricos

Además en caso de ser necesario se debe ingresar un valor en “Log Deadband”, el cual indica el cambio mínimo que tiene que darse en la variable utilizada para que se almacene. En la Figura 115 se aprecia el funcionamiento:

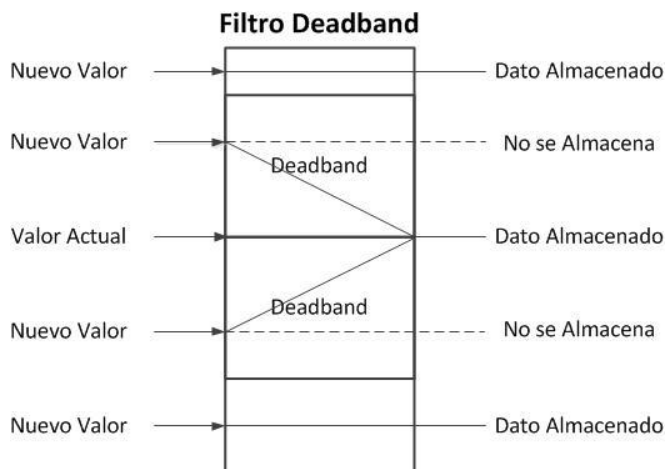


Figura 115. Filtro Deadband

5.8.3. Visualización y selección de datos Históricos

Todos los datos almacenados en Históricos se los puede visualizar en un Trend Histórico, el cual es un recuadro en donde se van graficando los datos seleccionados en función del tiempo tal como se parecía en la Figura 116.

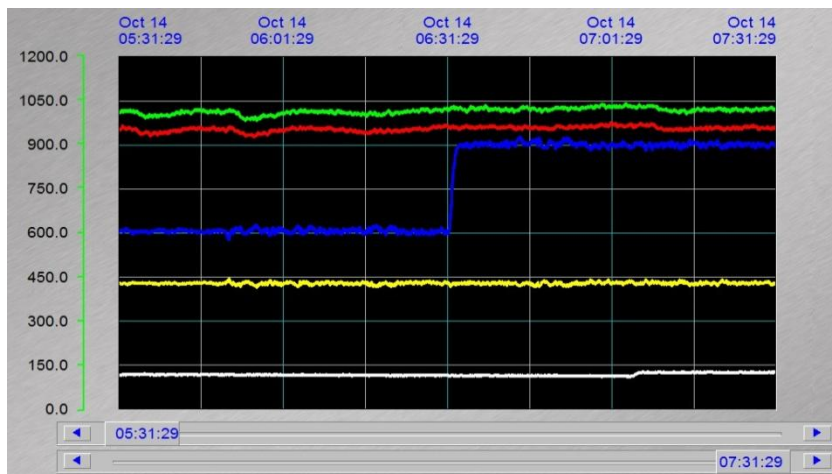


Figura 116. Visualización de Históricos

Hay que tener en cuenta que mientras este corriendo el programa en WindowViewer, si se da un clic en este Trend aparecerá una ventana en la cual se puede ingresar la fecha y hora inicial, en la cual se desee que empiece el Trend.

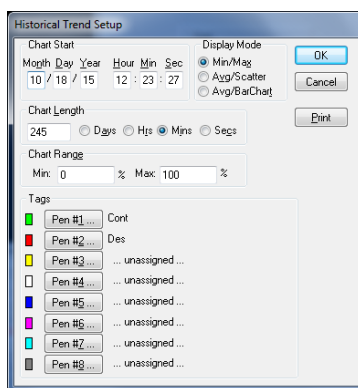


Figura 117. Configuración de fecha de inicio

Se ha implementado de forma simplificada el ingreso de rango de visualización del Trend mediante dos números correspondientes a días o horas, además se creó un botón para activar una función de Tiempo Real, la

cual actualiza el Trend de forma continua cada 5 segundos y muestra el último dato más reciente. Estas opciones se observan en la Figura 118.



Figura 118. Configuración de visualización de Trend

Para seleccionar los diversos datos a ser visualizados se implementó un conjunto de botones los cuales al ser pulsados muestran un grupo de datos que pertenecen a un área específica de la Planta de Tratamiento. Estos botones se observan en la Figura 119.



Figura 119. Botones selección visualización

Tabla 73
Tags de históricos

Área	Tag	Descripción
Sistema Pita	PitaFT06CATAHUANGO	Caudal línea Catahuango norte
	PitaFT07CATAHUANGO	Caudal línea Catahuango sur
	PitaFT08PROCESO_TROJE	Caudal procesamiento Planta Troje
	PitaFT09CONOCOTO	Caudal de ingreso a Planta Conocoto
	PitaFTRAPIDA_TROJE	Caudal de salida Planta Troje
Proceso Puengasí	PuengFTingreso	Caudal de ingreso a Puengasí
	PuengFTproceso	Caudal de proceso en Puengasí
	PuengFTC1_4	Caudal clarificadores 1-4
	PuengFTC5_8	Caudal clarificadores 5-8
Distribución Puengasí	PuengFTPlacer	Caudal enviado a Planta Placer
	CaudChiri	Caudal línea Chiriacu
	CaudSurOcc	Caudal línea Sur Occidente
	CaudalPUENGASÍ	Caudal línea Puengasí
	CaudalSAN_ISIDRO	Caudal línea San Isidro
Polímero	PolCaudalDosis1	Caudal de dosis Clarificadores 1-4
	PolCaudalDosis2	Caudal de dosis Clarificadores 5-8
Retrolavado	PuengCaudalRetrolavado	Caudal de Retrolavado
Sulfato	SulAforo1	Caudal de dosis Clarificadores 1-4
	SulDosisApli1	Dosis aplicada en Clarificadores 1-4
	SulAforo2	Caudal de dosis Clarificadores 5-8
	SulDosisApli2	Dosis aplicada en Clarificadores 5-8

Al realizar esta selección, los nombres, color y dato se los indica en un conjunto de recuadros de forma automática como se muestra en la Figura 120.

PitaFT06CATAHUANGO	1010.3	1019.9
PitaFT07CATAHUANGO	954.7	960.8
PitaFT08PROCESO_TROJE	710.0	708.0
PitaFT09CONOCOTO	189.9	206.0
PitaFTRAPIDA_TROJE	607.3	902.3

Figura 120. Leyenda de Tags

5.8.4. Exportar Datos en Hojas de Excel

InTouch utiliza una aplicación llamada HistData para exportar los datos almacenados a diversas aplicaciones mediante DDE.

En la Figura 121 se aprecia el diagrama de funcionamiento del sistema de exportación de datos a una Hoja de Excel.

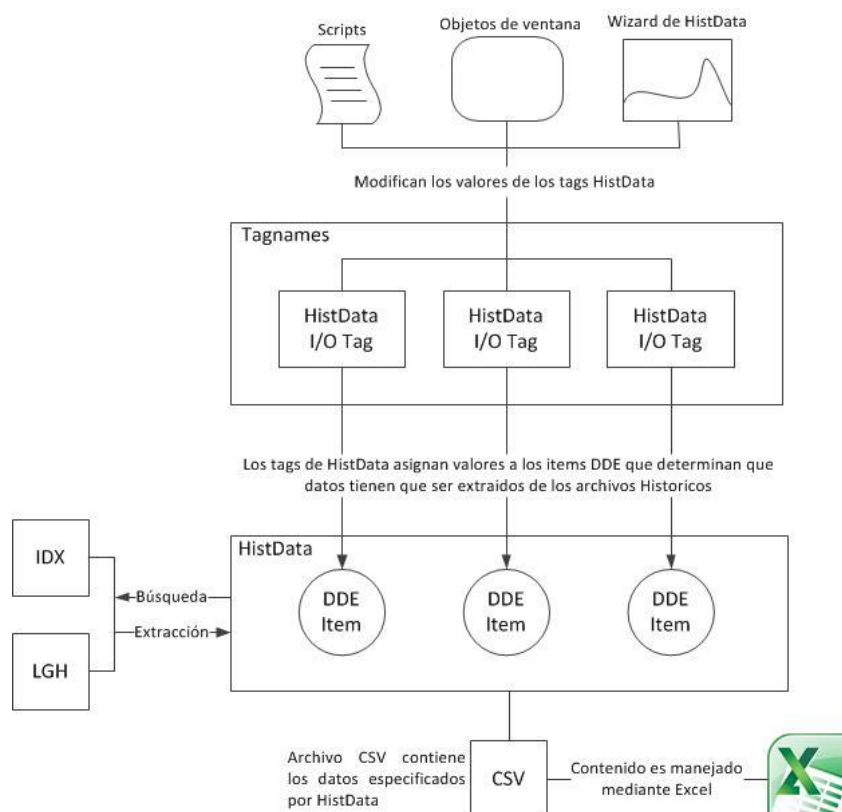


Figura 121. Diagrama de funcionamiento exportación a hoja de Excel

Para que sea posible exportar estos datos es necesario realizar algunas configuraciones las cuales se detallan a continuación:

- Crear el nombre de acceso a HistData
- Crear los Tags I/O que se utilizaran en HistData
- Crear los elementos de control en ventana.

Creación del Nombre de Acceso a HistData

Se tiene que acceder en la barra de herramientas: Special>>Access Names. A continuación se da clic en “ADD”, lo cual va a desplegar la ventana que se observa en la Figura 122

Figura 122. Parámetros de Access name

En esta ventana se tiene que configurar:

- Un nombre de acceso, el cual puede ser HistdataViewstr.
- En Node Name se puede dejar en blanco si el programa va a estar corriendo en la misma computadora.
- Application Name: se escribe HistData
- Topic Name: se escribe ViewStream1

Creación de los Tags que se Utilizaran en HistData

Es necesario definir varios tags los cuales se observan en la Tabla 74, que van a servir para ejecutar y enviar datos hacia la aplicación de Históricos.

Tabla 74
Tags de HistData

Tag	Tipo	Item
HDWDATADIR	Message	DataDir
HDWDBDIR	Message	DbDir
HDWDURATION	Message	Duration
HDWERROR	Message	Error
HDWFILENAME	Message	FileName
HDWINTERVAL	Message	Interval
HDWSTARTDATE	Message	StartDate
HDWSTARTTIME	Message	StartTime
HDWSTATUS	Message	Status
HDWTAGS, HDWTAGS1, HDWTAGS2	Message	Tags
PRINTTAGNAMES	Discrete	PrintTagNames
HDWWRITEFILE	Integer	WriteFile

5.8.5. Creación de los elementos de control en ventana

En la interfaz es necesario añadir algunos elementos que permitan la ejecución y control de la funcionalidad de exportación de los datos.

Para cumplir con este propósito se ha creado algunos botones y recuadros tal cual como se aprecia en la Figura 123.



Figura 123. Elementos de control para exportación

Mediante Script se ha creado una forma simplificada de manejo, ya que solamente con dar clic en Guardar se ejecutan los comandos necesarios.

Script para exportar datos.

```

HDWDBDir = "D:\HMIPuengasViewer\$\PUENGASI";
HDWDataDir = HTGetLogDirectory();
HDWDuration = Text( HistTrend.ChartLength * ( HistTrend.ScooterPosRight - HistTrend.ScooterPosLeft ), "0" ) + "S";
HDWFilename = "D:\HISTORICOS\Excel\"+Archivo2+".csv";
HDWStartDate = HTGetTimeStringAtScooter( HistTrend.Name, HistTrend.UpdateCount, 1, HistTrend.ScooterPosLeft,
"Date" );
HDWStartTime = StringMid( StringFromTime( HTGetTimeAtScooter( HistTrend.Name, HistTrend.UpdateCount, 1,
HistTrend.ScooterPosLeft),3),12,8);
HDWTemp5 = "$Date,$Time";
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 1 ) <> "" THEN
    HDWTemp5 = HDWTemp5 + "," + HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 1 );
ENDIF;
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 2 ) <> "" THEN
    HDWTemp5 = HDWTemp5 + "," + HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 2 );
ENDIF;
HDWTemp5 = HDWTemp5 + "+";
HDWTags = HDWTemp5;
HDWTemp5 = "";
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 3 ) <> "" THEN
    HDWTemp5 = HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 3 );
ENDIF;
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 4 ) <> "" THEN
    IF HDWTemp5 <> "" THEN
        HDWTemp5 = HDWTemp5 + ",";
    ENDIF;
    HDWTemp5 = HDWTemp5 + HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 4 );
ENDIF;
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 5 ) <> "" THEN
    IF HDWTemp5 <> "" THEN
        HDWTemp5 = HDWTemp5 + ",";
    ENDIF;
    HDWTemp5 = HDWTemp5 + HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 5 );
ENDIF;
HDWTemp5 = HDWTemp5 + "+";
HDWTags1 = HDWTemp5;
HDWTemp5 = "";
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 6 ) <> "" THEN
    HDWTemp5 = HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 6 );
ENDIF;
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 7 ) <> "" THEN
    IF HDWTemp5 <> "" THEN
        HDWTemp5 = HDWTemp5 + ",";
    ENDIF;
    HDWTemp5 = HDWTemp5 + HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 7 );
ENDIF;
IF HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 8 ) <> "" THEN
    IF HDWTemp5 <> "" THEN
        HDWTemp5 = HDWTemp5 + ",";
    ENDIF;
    HDWTemp5 = HDWTemp5 + HTGetPenName( HistTrend.Name, 1, 8 );
ENDIF;
HDWTags2 = HDWTemp5;
HDWInterval = Text( ChartDatos,"0.00000" ) + "S";
HDWWriteFile = 1;
HDWWriteFile = HDWWriteFile;

```

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

Antes de iniciar el presente proyecto, todos los procesos se encontraban funcionando de forma individual sin poder controlar y visualizar su funcionamiento en una interfaz HMI como se muestra en la Figura 124.

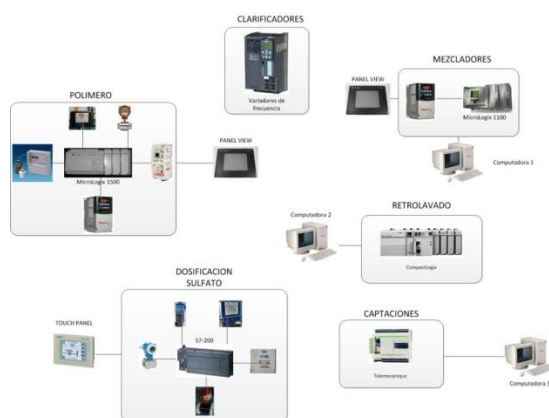


Figura 124. Diagrama del antiguo sistema

Luego de haber culminado y logrado cumplir los objetivos del proyecto, todos los procesos se pueden monitorear y controlar desde un sistema SCADA que incluye a todos los procesos, tal como se observa en la Figura 125.

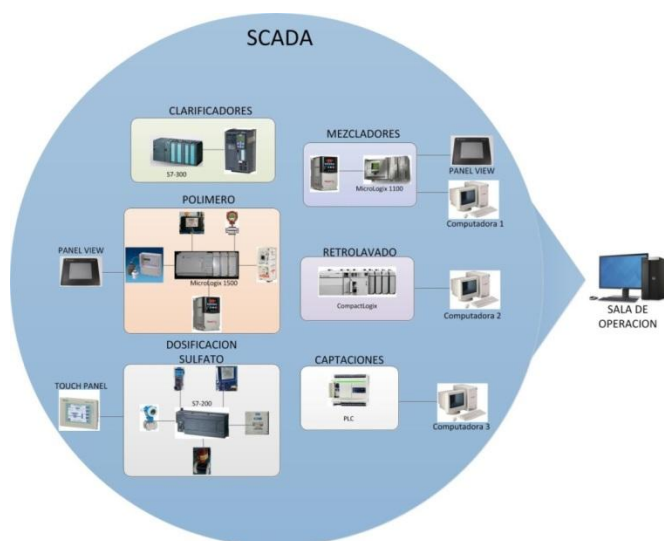


Figura 125. Diagrama del nuevo sistema

6.1. Condiciones normales

Una vez implementados los programas en los PLC y diseñadas e implementadas las interfaces HMI, se realizaron las pruebas pertinentes del funcionamiento de cada uno de los procesos intervenidos como son: el proceso de clarificación, el proceso de dosificación de sulfato y el proceso de preparación y dosificación de polímero. Estas pruebas se pueden observar en la Tabla 75.

Tabla 75
Pruebas de funcionamiento en condiciones normales

Señal	PLC	HMI
Clarificadores		
Arranque de motores	SI	SI
Paro de motores	SI	SI
Subir velocidad	SI	SI
Bajar velocidad	SI	SI
Velocidad (RPM)	SI	SI
Indicador de arranque	SI	SI
Indicador de detenido	SI	SI
Indicador de falla eléctrica	SI	SI
Indicador de Sobretorque	SI	SI
Polímero		
Nivel Tanque 1	SI	SI
Nivel Tanque 2	SI	SI
SP de nivel	SI	SI
Apertura de válvulas	SI	SI
Cierre de válvulas	SI	SI
Caudal de dosificación	SI	SI
Cálculo de dosificación	SI	SI
Indicador de falla en válvula	SI	SI
Indicador de válvula abierta	SI	SI
Sulfato		
Apertura de válvulas	SI	SI
Cierre de válvulas	SI	SI
Caudal de dosificación	SI	SI
Cálculo de dosificación	SI	SI
Indicador de falla en válvula	SI	SI
Indicador de válvula abierta	SI	SI

Estas pruebas se realizaron en sitio utilizando los botones, switches, indicadores y entre otros elementos que están presentes en el campo. Además luego de que se observó que cada uno de estos procesos funcionó correctamente se procedió a realizar las pruebas de control y monitoreo desde las interfaces HMI diseñadas.

Clarificadores

Para el área de Clarificadores se desarrollaron tres pantallas, una pantalla de vista general en la cual se monitoreó el correcto funcionamiento de cada uno de los motores de los clarificadores como lo muestra la Figura 126. También desde esta pantalla se realizó un encendido general, un detenido general de todos los motores y cuando se presentó alguna falla de encendido o un sobretorque en los motores se pudo resetear de manera correcta las fallas desde esta pantalla.

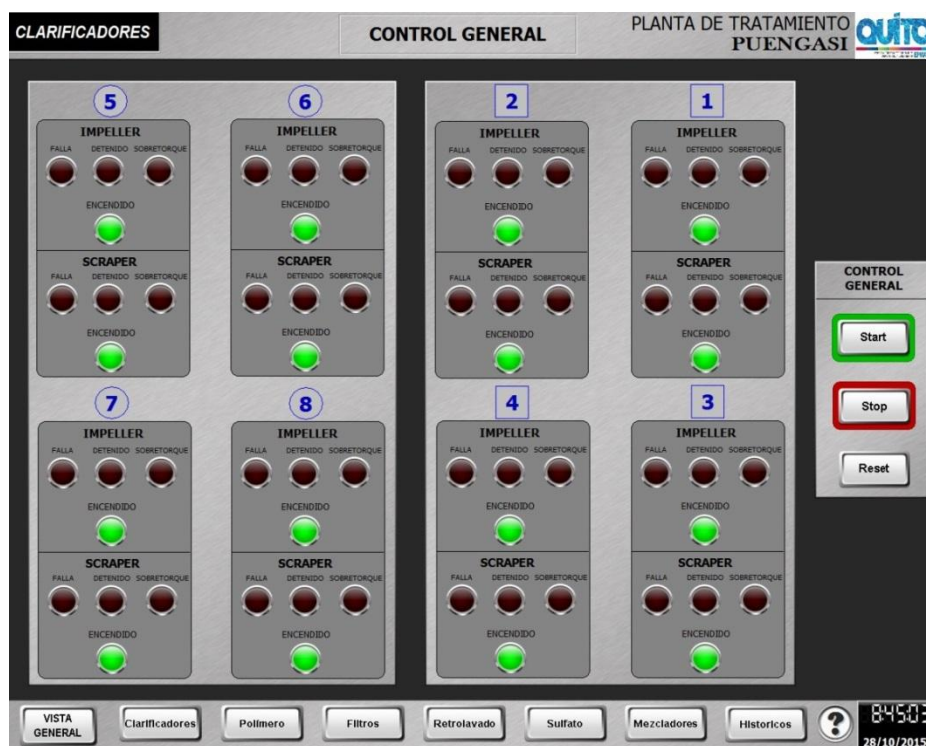


Figura 126. Pantalla de vista general de Clarificadores.

Además de la pantalla de vista general se desarrollaron dos pantallas adicionales, una pantalla que permite el control y monitoreo de los motores de los clarificadores rectangulares y una pantalla que permite el control y

monitoreo de los motores de los clarificadores circulares. Desde estas pantallas se pudo encender y apagar cada motor de manera individual, así como también se logró controlar la velocidad a la que se requería que estos funcionen.

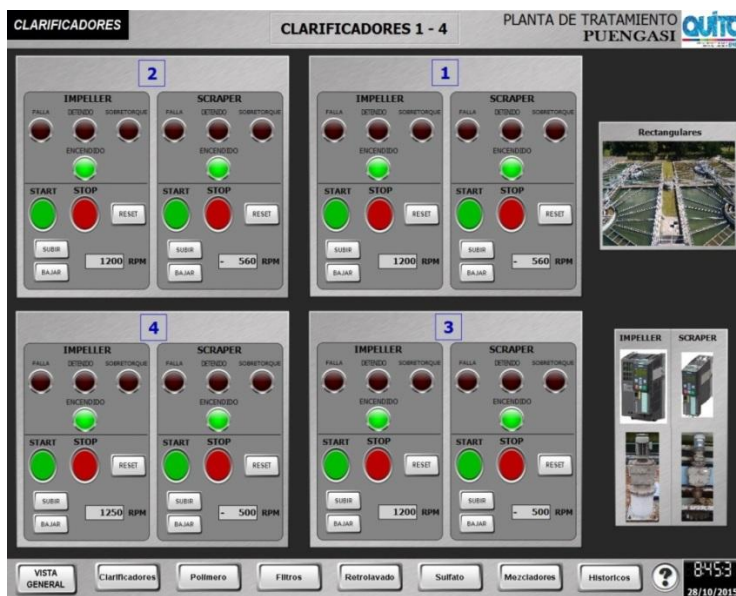


Figura 127. Pantalla de control y monitoreo de los clarificadores rectangulares.

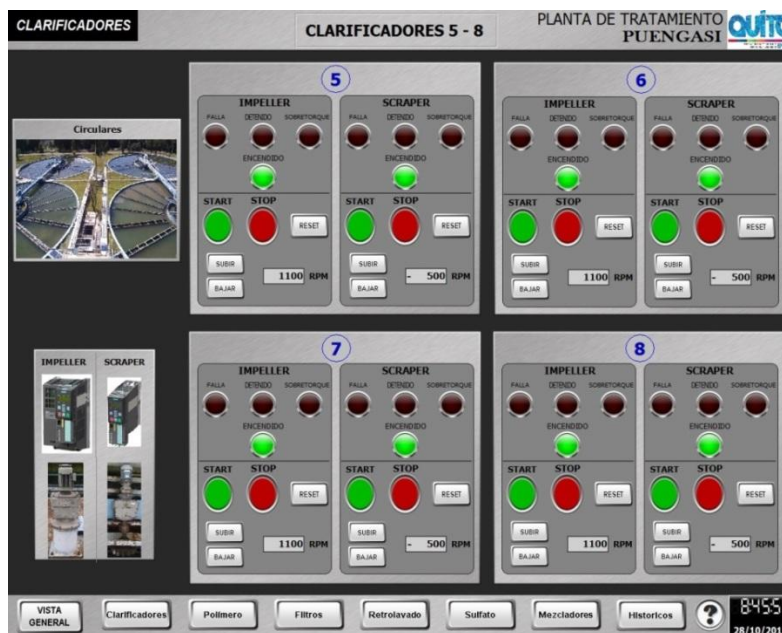


Figura 128. Pantalla de control y monitoreo de los clarificadores circulares.

Polímero

Para el área de Polímero se desarrollaron dos pantallas. La pantalla de elaboración de polímero la cual se observa en la Figura 129, donde se pudo controlar el llenado de los dos tanques de preparación ingresando un valor de set point, el cual permitió el llenado automático de los mismos hasta que llegue al set point indicado, además se logró controlar la apertura y cierre exitosamente de cada una de las válvulas en esta área. En esta pantalla también se pudo monitorear los niveles de ambos tanques mediante indicadores, para luego proceder a la dosificación de esta sustancia.

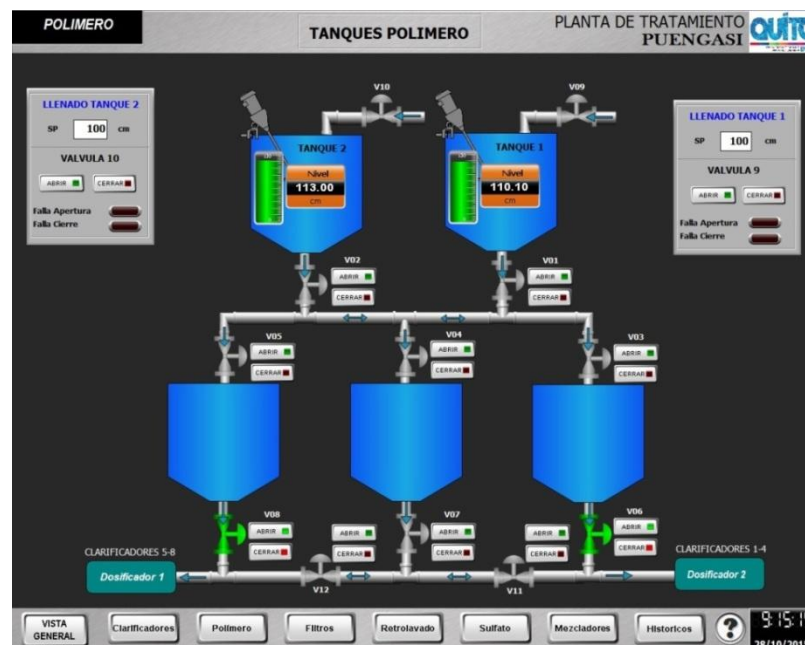


Figura 129. Pantalla de control y monitoreo de preparación de polímero.

Por otro lado en la pantalla para la dosificación de polímero se pudo controlar la apertura y cierre de las válvulas para este propósito, además de monitorear constantemente el caudal de dosificación que se dirige tanto a los clarificadores rectangulares como a los circulares, por medio de las señales enviadas desde caudalímetros ubicados en las tuberías de salida de este proceso. En esta pantalla se pudo calcular también la dosificación según el peso de polvo de polímero ingresado a los tanques para su preparación.

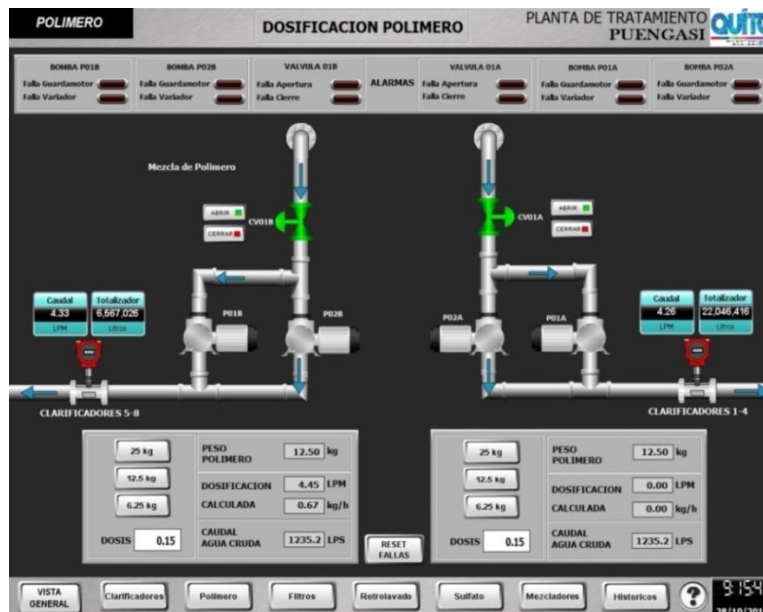


Figura 130. Pantalla de control y monitoreo para dosificación de polímero.

Sulfato

Para el área de dosificación de sulfato de aluminio se desarrollaron dos pantallas, la primera que se observa en la Figura 131 donde se puede controlar y monitorear la apertura y cierre de válvulas de llenado y desfogue de los tanques de esta área.

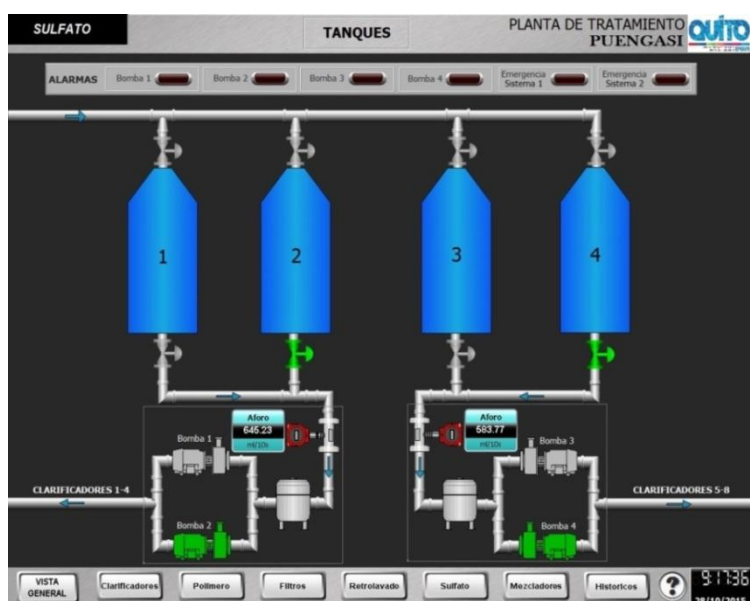


Figura 131. Pantalla de monitoreo de válvulas y bombas de sulfato.

La segunda pantalla donde se controló el encendido y apagado de las bombas para la dosificación, además de monitorear el aforo de sulfato de aluminio que se dirige tanto a los clarificadores rectangulares como los circulares. Adicionalmente se pudo incrementar o disminuir la velocidad de la bomba encendida según la dosificación requerida.

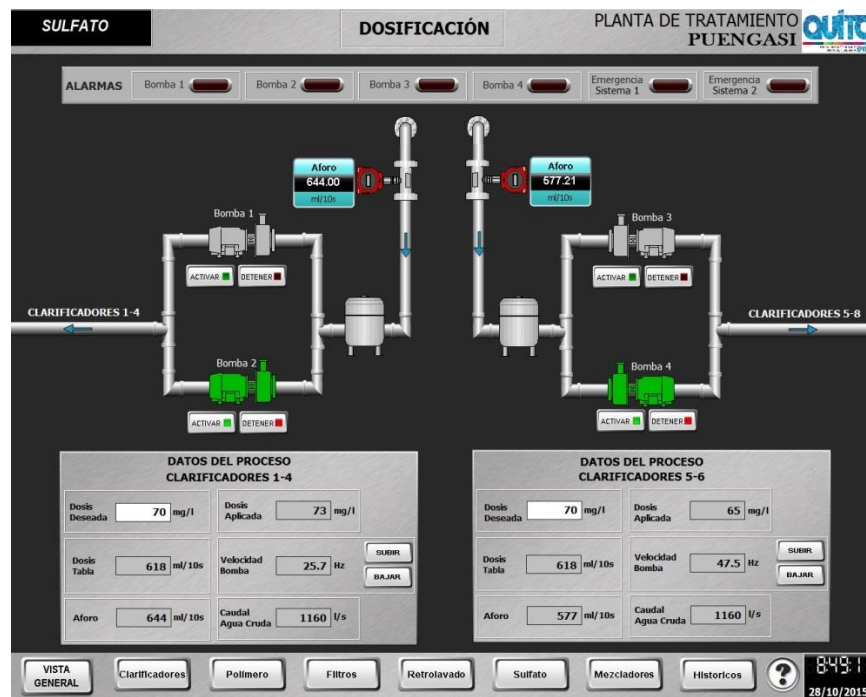


Figura 132. Pantalla de control y monitoreo de dosificación de sulfato.

Se obtuvieron buenos resultados al realizar las pruebas de funcionamiento respectivas de cada uno de los procesos, tanto sin las interfaces como con las interfaces, lo cual permitió un sencillo control y monitoreo de cada uno de los procesos.

6.2. Condiciones anormales

El sistema implementado debe tener la capacidad de reconocer las posibles fallas que se vayan presentando en el transcurso de su operación, por lo que se realizó diferentes pruebas las cuales permitan conocer la fiabilidad del sistema.

Área de Clarificadores

En ésta área las pruebas realizadas están orientadas a conocer el comportamiento y resultado de fallas que podrían ocasionarse en los diferentes variadores de frecuencia y motores que se encuentran en esta área. Se puede observar los resultados en la Tabla 76, Tabla 77, Tabla 78 y Tabla 79.

Tabla 76
Prueba Falla eléctrica momentánea - Clarificadores

Prueba	Falla eléctrica momentánea
Comportamiento	Falla en los variadores
	Motores se detienen
Alarma asociada	Falla eléctrica en motor
Respuesta del sistema	PLC detecta la falla
	PLC intenta reiniciar los variadores
Resultado	PLC reactiva variadores y motores automáticamente

Tabla 77
Prueba Falla eléctrica general - Clarificadores

Prueba	Falla eléctrica general
Comportamiento	Motores de detienen
	Variadores de frecuencia se apagan
	PLC se apaga
Alarma asociada	Falla eléctrica en motores
	Falla de comunicación
Respuesta del sistema	Luego de retornar la energía el PLC se reactiva automáticamente
Resultado	Operador necesita activar mediante la HMI los motores

Tabla 78
Prueba de Sobre torque - Clarificadores

Prueba	Sobre torque en motores
Comportamiento	Variadores detectan el sobre torque
Alarma asociada	Sobre torque en motores
Respuesta del sistema	PLC detecta la falla
	PLC detiene los motores asociados
Resultado	Motores permaneces detenidos hasta que el operador reconozca la falla y active los motores

Tabla 79
Prueba Falla de comunicación – Clarificadores

Prueba	Falla de comunicación
Comportamiento	PLC mantiene el sistema en funcionamiento
Alarma asociada	Falla de comunicación
Respuesta del sistema	HMI detecta e indica la falla
Resultado	PLC mantiene su funcionamiento y en caso de requerirlo el operador puede modificar el funcionamiento con pulsadores hasta solucionar el problema

Área de Sulfato

En ésta área las pruebas realizadas están orientadas a conocer el comportamiento y resultado de fallas que podrían ocasionarse en los diferentes variadores de frecuencia, válvulas y equipos que se encuentran en esta área. Se puede observar los resultados en la Tabla 80, Tabla 81, Tabla 82 y Tabla 83.

Tabla 80
Prueba Falla eléctrica general – Sulfato

Prueba	Falla eléctrica general
Comportamiento	Bombas de detienen
	Variadores de frecuencia se apagan
	Válvulas quedan en su último estado
	PLC se apaga
Alarma asociada	Emergencia Sistema
	Falla de comunicación
Respuesta del sistema	Luego de retornar la energía el PLC se reactiva automáticamente
Resultado	Operador necesita reactivar mediante la HMI el sistema

Tabla 81
Prueba Falla en válvula – Sulfato

Prueba	Válvula trabada
Comportamiento	Válvula queda semi-abierta
Alarma asociada	Falla en válvula
Respuesta del sistema	PLC intenta regresar al estado anterior de la válvula
Resultado	Operador maneja manualmente la vía hasta solucionar el problema

Tabla 82
Prueba Falla en variadores – Sulfato

Prueba	Falla en variadores de frecuencia
Comportamiento	Bombas detienen su funcionamiento
Alarma asociada	Falla en bombas
Respuesta del sistema	PLC intenta reconocer la falla
Resultado	Operador necesita activar la otra bomba de respaldo

Tabla 83
Prueba Falla de comunicación – Sulfato

Prueba	Falla de comunicación
Comportamiento	PLC mantiene el sistema en funcionamiento
Alarma asociada	Falla de comunicación
Respuesta del sistema	HMI detecta e indica la falla
Resultado	PLC controla el sistema de forma automática, el operador puede obtener las lecturas en sitio hasta que se solucione el problema

Área de Polímero

En ésta área las pruebas realizadas están orientadas a conocer el comportamiento y resultado de fallas que podrían ocasionarse en los diferentes variadores de frecuencia, válvulas y equipos que se encuentran en esta área. Se puede observar los resultados en la Tabla 84, Tabla 85, Tabla 86, Tabla 87.

Tabla 84
Prueba Falla eléctrica general – Polímero

Prueba	Falla eléctrica general
Comportamiento	Bombas de detienen
	Variadores de frecuencia se apagan
	Válvulas quedan en su último estado
	PLC se apaga
Alarma asociada	Emergencia Sistema
	Falla de comunicación
Respuesta del sistema	Luego de retornar la energía el PLC se reactiva automáticamente
Resultado	Operador necesita reactivar mediante la HMI el sistema

Tabla 85
Prueba Falla en válvula – Polímero

Prueba	Válvula trabada
Comportamiento	Válvula queda semi-abierta
Alarma asociada	Falla Cierre
	Falla Apertura
Respuesta del sistema	PLC detecta e indica la falla
Resultado	Operador maneja manualmente la vía hasta solucionar el problema

Tabla 86
Prueba Falla en variadores – Polímero

Prueba	Falla en variadores de frecuencia
Comportamiento	Bombas detienen su funcionamiento
Alarma asociada	Falla en variador
Respuesta del sistema	PLC intenta reconocer la falla
Resultado	Operador requiere activar la otra bomba de respaldo

Tabla 87
Prueba Falla de comunicación – Polímero

Prueba	Falla de comunicación
Comportamiento	PLC mantiene el sistema en funcionamiento
Alarma asociada	Falla de comunicación
Respuesta del sistema	HMI detecta e indica la falla
Resultado	PLC controla el sistema de forma automática, el operador puede obtener las lecturas del proceso en sitio.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Durante la etapa de recopilación del marco teórico se observó que es necesaria una correcta configuración de los variadores de frecuencia, ya que se debe configurarlos con todas las características de los motores a los que están conectados, ya que esto permite un manejo adecuado de los variadores y alargar la vida tanto de los motores como de los variadores de frecuencia.
- En base al proceso de clarificación se verificó que las velocidades a las que se deben mover los motores Scaper de los clarificadores deben ser bajas de 300 a 400 r.p.m. para que luego de pasar por una caja reductora las paletas se muevan a unas 3 r.p.h., ya que esto permite que las partículas de lodo que se encuentran flotando dentro del agua se depositen con mayor facilidad al fondo de los clarificadores.
- El diseño del programa de control de clarificadores se lo realizó desde cero ya que los variadores de frecuencia fueron recientemente instalados, además que era necesario realizar una nueva asignación de los cables de control.
- En los procesos de sulfato de aluminio y polímero se realizó varias correcciones en los programas de control existentes en los PLCs, con la finalidad de que el control de llenado de los diferentes tanques funcione de una forma robusta evitando así las fallas y bloqueos que se producían en las válvulas.

- En el área de sulfato de aluminio no existían diagramas referentes a las señales que ingresan y salen del PLC S7-200, por lo que se debió realizar un análisis de los diferentes cables para conocer su funcionalidad, además de realizar la respectiva documentación en planos del mismo.
- En el área de polímero a pesar que existían diagramas de conexión, éstos no correspondían a las conexiones actuales por lo que se realizó varias pruebas para realizar nuevos diagramas de conexión que estén acordes al comportamiento actual.
- Las interfaces HMI se las realizó siguiendo los lineamientos contenidos en el estándar ISA101, pero siempre teniendo en cuenta de realizarlas con funcionalidades similares a las interfaces de control con las que los Operadores se encuentran familiarizados.
- La funcionalidad de Históricos permite visualizar el comportamiento en función del tiempo de los diferentes caudales y señales en una fecha específica o en tiempo real.
- El sistema SCADA desarrollado, facilita el control y monitoreo de cada uno de los procesos, lo cual permite una optimización del uso del tiempo, ya que los operadores no tienen la necesidad de dirigirse hacia cada proceso directamente para activar, desactivar equipos, resetear en caso de ser necesario las fallas, o monitorear si cada uno de ellos se encuentra funcionando correctamente.
- Los sistemas de control intervenidos de Clarificadores, Sulfato de aluminio, Polímero, Mezcladores y Retrolavado se los ha integrado en un solo sistema SCADA para que puedan ser monitoreados y controlados desde la Sala de Operadores.

- La Planta de Tratamiento cuenta con varios equipos de medición y control que no están en funcionamiento, si hubieran existido todos los equipos y estuvieran en buen estado, el presente proyecto se pudiera haber culminado con diversas funcionalidades adicionales. Sin embargo a pesar de estas limitaciones, se ha cumplido los objetivos y alcance planteados.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda la instalación de nuevos equipos e instrumentos que permiten mejorar aún más el sistema SCADA implementado, ya que existen muchos sensores y equipos obsoletos. Esto permitiría inclusive la generación automática de reportes de cada uno de los procesos.
- Para el correcto manejo del sistema SCADA se recomienda conocer las variables que intervienen en cada uno de los proceso para que no se produzcan fallas durante la operación.
- Se recomienda realizar la adquisición de un módulo Ethernet 1761 net-eni para el PLC MicroLogix 1500. Para que no existan problemas de comunicación con el conversor Serial-Ethernet que actualmente se encuentra instalado.
- Se recomienda realizar el cambio de direcciones IP del sistema de retrolavado nuevo, para que estén acordes con las demás direcciones IP de clase A que se manejan en la Planta.
- Para futuras implementaciones y mejoras de los sistemas existentes en la Planta, es recomendable que se maneje una sola marca de PLCs que cuenten con comunicación Ethernet. Esto solucionaría los diversos problemas de comunicación existentes y se tendría interconectividad entre todos ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- Environmental Protection Agency. (2009). *Drinking Water Treatment*. Obtenido de http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/sdwa/upload/2009_08_28_sdwa_fs_30ann_treatment_web.pdf
- EPMAPS. (s.f.). Obtenido de Planta Puengasí: http://www.aguaquito.gob.ec/images/stories/contenido/plantas_tratamiento/planta_puengasi.pdf
- EPMAPS. (2015). Obtenido de <http://www.aguaquito.gob.ec/>
- Fitzpatrick, B. (Agosto de 2015). Obtenido de ISA101 and HMI Workshop: http://www.yokogawausersconference.com/uploads/3/1/8/5/3185440/mesatutorial_-_isa101_hmiworkshop.pdf
- Grupo TAR. Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla. (s.f.). Obtenido de Tratamiento de Potabilización del Agua: <http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20%28Grupo%20TAR%29.pdf>
- Invensys. (s.f.). Obtenido de Wonderware InTouch 2014: <http://software.schneider-electric.com/products/wonderware/hmi-and-supervisory-control/intouch/whats-new/>
- Invensys. (2005). Wonderware Intouch Data sheet.
- Invensys. (2014). Wonderware Device Integration Overview.
- Lehmann, G., & Wilkins, M. (Agosto de 2015). Obtenido de ISA101 HMI standard nears completion: <https://www.isa.org/intech/20140805/>
- Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. México D.F.: Alfaomega.
- Padilla, P. J. (s.f.). Obtenido de Redes Industriales: http://jpadilla.docentes.upbbga.edu.co/redes_industriales/1-Introduccion.pdf
- Siemens. (Agosto de 2015). Obtenido de Step 7 Micro/Win para S7-200: http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/software/steps7_s7200/pages/step7microwinparas7-200.aspx
- Universidad de Buenos Aires. (s.f.). Obtenido de Medición de nivel: <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0303MedicionNivel1.pdf>
- Universidad Tecnológica Nacional Avellaneda. (s.f.). Obtenido de Variadores de frecuencia: http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/plan_estudio/quintonivel/electronical/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf